

# Instalasi Listrik Industri



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

**Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM**

# Instalasi Listrik Industri

**Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM**

## BIO DATA PENULIS

Penulis memiliki berbagai disiplin ilmu yang diperoleh dari Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang dan dari Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga (UKSW) Disiplin ilmu itu antara lain teknik elektro, komputer, manajemen dan ilmu sosiologi. Penulis memiliki pengalaman kerja pada industri elektronik dan sertifikasi keahlian dalam bidang Jaringan Internet, Telekomunikasi, Artificial Intelligence, Internet Of Things (IoT), Augmented Reality (AR), Technopreneurship, Internet Marketing dan bidang pengolahan dan analisa data (komputer statistik).

Penulis adalah pendiri dari Universitas Sains dan Teknologi Komputer (Universitas STEKOM ) dan juga seorang dosen yang memiliki Jabatan Fungsional Akademik Lektor Kepala (Associate Professor) yang telah menghasilkan puluhan Buku Ajar ber ISBN, HAKI dari beberapa karya cipta dan Hak Paten pada produk IPTEK.

Penulis juga terlibat dalam berbagai organisasi profesi dan industri yang terkait dengan dunia usaha dan industri, khususnya dalam pengembangan sumber daya manusia yang unggul untuk memenuhi kebutuhan dunia kerja secara nyata.



YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK

### **PENERBIT :**

**YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK**

JL. Majapahit No. 605 Semarang  
Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144  
Email : penerbit\_ypat@stekom.ac.id

ISBN 978-623-6141-99-1 (PDF)



# Instalasi Listrik Industri

**Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM**



**YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK**

**PENERBIT :**

**YAYASAN PRIMA AGUS TEKNIK**

JL. Majapahit No. 605 Semarang

Telp. (024) 6723456. Fax. 024-6710144

Email : penerbit\_ypat@stekom.ac.id

## **Instalasi Listrik Industri**

### **Penulis :**

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom., M.Si., MM.

**ISBN : 9 786236 141991**

### **Editor :**

Dr. Joseph Teguh Santoso, S.Kom., M.Kom.

### **Penyunting :**

Dr. Mars Caroline Wibowo. S.T., M.Mm.Tech

### **Desain Sampul dan Tata Letak :**

Irdha Yudianto, S.Ds., M.Kom.

### **Penebit :**

Yayasan Prima Agus Teknik Bekerja sama dengan  
Universitas Sains & Teknologi Komputer (Universitas STEKOM)

### **Redaksi :**

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. (024) 6723456

Fax. 024-6710144

Email : [penerbit\\_ypat@stekom.ac.id](mailto:penerbit_ypat@stekom.ac.id)

### **Distributor Tunggal :**

#### **Universitas STEKOM**

Jl. Majapahit no 605 Semarang

Telp. (024) 6723456

Fax. 024-6710144

Email : [info@stekom.ac.id](mailto:info@stekom.ac.id)

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin dari penulis

# KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Kuasa bahwa akhirnya buku yang berjudul “Instalasi Listrik Industri” ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini sangat berguna untuk dibaca bagi mahasiswa Teknik yang akan melaksanakan instalasi listrik pada industri. Buku ini akan memandu para pembacanya selangkah demi selangkah melalui dasar-dasar pemasangan sistem instalasi listrik pada industri. Satu perencanaan instalasi harus menerapkan konsep perencanaan yang lengkap dalam mematuhi peraturan instalasi listrik pada industri, ataupun persyaratan yang telah ditetapkan oleh National Electrician Code (NEC).

Instalasi kabel Listrik Industri didasarkan pada aturan NEC 2014. NEC telah digunakan sebagai standar dasar untuk tata letak dan konstruksi sistem kelistrikan. Untuk mendapatkan manfaat terbesar dari buku ini, para mahasiswa harus menggunakan standar NEC secara berkelanjutan. Selain NEC, peraturan standar kabel listrik pada negara tertentu bisa berbeda, misalnya Indonesia punya standar SNI (Standar Nasional Indonesia), ini akan mempengaruhi biaya instalasi listrik pada industri.

Seorang ahli listrik harus memiliki pemahaman yang menyeluruh tentang prinsip dasar kelistrikan, pengetahuan tentang alat dan bahan yang digunakan dalam instalasi, prosedur dan standar baku yang diterapkan secara umum dalam instalasi. Kemampuan seorang ahli listrik untuk menafsirkan gambar konstruksi listrik, akan mempengaruhi hasil kerja instalasi listrik yang dihasilkan, apakah aman dan dapat dipertanggung jawabkan dalam jangka yang panjang pada Industri.

Teknisi listrik pada industri harus bertanggung jawab atas pemasangan layanan listrik, sistem penerangan, dan sistem jaringan optik yang merupakan perubahan dari sistem lama ke sistem yang baru dalam bangunan industri yang mapan dan terencana dengan baik, sehingga suatu saat tetap dapat melayani penyediaan tambahan kapasitas listrik untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhan bangunan industri; maupun pemeliharaan dan perbaikan berkala dari berbagai sistem jaringan listrik, maupun tambahan peralatan mesin-mesin baru baru yang diperlukan bagi pengembangan industri pada masa depan.

Semoga buku ini bermanfaat bagi para mahasiswa, maupun semua orang yang tertarik untuk membaca buku ini. Diharapkan buku ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan khususnya bagi mereka yang tertarik dalam mengelola instalasi listrik industri.

Semarang, 1 Maret 2021

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM

# DAFTAR ISI

## Kata Pengantar

<b>BAB 1 PERENCANAAN INSTALASI LISTRIK</b>	<b>1</b>
1.1 Rencana Konstruksi	1
1.2 Penjelasan Simbol Rencana	1
1.3 Lokasi Unit Kerja	3
1.4 Menguji Lokasi untuk Persyaratan Grounding	4
1.5 Menafsirkan Rencana Lokasi	13
1.6 Metrik (SI) dan NEC	19
1.7 Kesimpulan	25
1.8 Pertanyaan Ulangan	25
<b>BAB 2 UNIT GARDU INDUK</b>	<b>27</b>
2.1 Bagian Tegangan Tinggi	30
2.2 Proteksi Trafo	33
2.3 Proteksi Arus Lebih	34
2.4 Menentukan Ukuran Sekering (Fuse) Trafo	37
2.5 Bagian Trafo	40
2.6 Bagian Tegangan Rendah	40
2.7 Peralatan Pengukuran Tegangan Tinggi	43
2.8 Pintu Masuk Layanan	45
2.9 Pemeliharaan Trafo	52
2.10 Pertanyaan Ulangan	60
<b>BAB 3 SISTEM JALUR PENGUMPAN</b>	<b>62</b>
3.1 Saluran Pengumpan (Feeder)	62
3.2 Kotak Pemutus Arus	67
3.3 Busway Plug-in	67
3.3 Colokan (Plug) Jalur Utama (Busway)	71
3.4 Pertanyaan Ulangan	72
<b>BAB 4 KOTAK PANEL</b>	<b>73</b>
4.1 Kotak panel	73
4.2 Perangkat Pelindung Rangkaian (Sirkuit) Cabang	77
4.3 Perangkat Pelindung Kotak Panel	78

4.4	Kotak Panel Daya	79
4.5	Pertanyaan Ulangan	80
<b>BAB 5</b>	<b>JALUR UTAMA TROLI</b>	<b>81</b>
5.1	Jalur Utama (Busway) Troli Tiga Fase	81
5.2	Jalur Utama (Busway) Troli Berjalan	81
5.3	Pencahayaan di Wilayah Manufaktur	86
5.4	Pencahayaan di Ruang Boiler	90
5.5	Pertanyaan Ulangan	94
<b>BAB 6</b>	<b>TABEL KAWAT DAN UKURAN KONDUKTOR</b>	<b>95</b>
6.1	Konduktor	95
6.2	Jenis Isolasi	101
6.3	Faktor Koreksi	104
6.4	Tiga Konduktor di Jalur Balap (Raceway)	105
6.5	Konduktor Bawah Tanah	105
6.6	Menghitung Ukuran dan Resistansi Konduktor	106
6.7	Panjang Kawat Panjang	106
6.8	Menghitung Resistansi	108
6.9	Konduktor Paralel	113
6.10	Menguji Instalasi Kawat	115
6.11	Pengukur Kawat Amerika (AWG)	117
6.12	Pertanyaan Ulangan	119
<b>BAB 7</b>	<b>SISTEM SINYAL</b>	<b>121</b>
7.1	Jam Utama (Master)	121
7.2	Sistem Program	123
7.3	Sistem Halaman (Paging)	124
7.4	Sistem Alarm Kebakaran	127
7.5	Pertanyaan Ulangan	130
<b>BAB 8</b>	<b>KONTROL MOTOR DASAR</b>	<b>132</b>
8.1	Kontrol Dua Kawat.	132
8.2	Kontrol Tiga Kawat	135
8.3	Simbol Skema	136
8.4	Relai Beban Lebih (Overload Relay)	127
8.5	Skema dan Diagram Pengkabelan	149
8.6	Sirkuit Kontrol Tombol Tekan Start–Stop	150

8.7	Kontrol Maju–Mundur	153
8.8	Rangkaian Dasar Pendingin Udara	155
8.9	Relai Waktu	155
8.10	Pertanyaan Ulangan	168
<b>BAB 9</b>	<b>MOTOR DAN PENGENDALI</b>	<b>170</b>
9.1	Mesin dan Motornya	170
9.2	Jenis Motor	171
9.3	Motor Induksi Sangkar Tupai Kecepatan Tunggal	171
9.4	Motor Induksi Rotor Leads (Belitan)	182
9.5	Menentukan Arah Putaran Motor Tiga Fase	185
9.6	Menghubungkan Motor Tiga-Fase Tegangan Ganda	189
9.7	Motor Fase Tunggal Tegangan Ganda	193
9.8	Menentukan Arah Putaran Motor Satu Fasa	196
9.10	Identifikasi Terminal untuk Motor DC (Arus Searah)	200
9.11	Menentukan Arah Putaran Motor DC (Arus searah)	201
9.12	Catu Daya Listrik DC (Arus Searah)	202
9.13	Penggerak Frekuensi Variabel	208
9.14	Transistor Bipolar Gerbang Terisolasi (IGBT)	211
9.15	Pertanyaan Ulangan	218
<b>BAB 10</b>	<b>INSTALASI MOTOR</b>	<b>220</b>
10.1	Data Pelat Nama Motor	220
10.2	Tabel Motor	228
10.3	Motor DC (Arus Searah)	228
10.4	Motor AC (Arus Bolak-balik) Satu Fasa	228
10.5	Motor Dua Fasa	229
10.6	Motor Tiga Fasa	230
10.7	Menentukan Ukuran Konduktor untuk Motor Tunggal	231
10.8	Ukuran Beban Lebih	233
10.9	Menentukan Arus Rotor Terkunci	234
10.10	Perlindungan Hubungan Pendek	235
10.11	Perhitungan Beberapa Motor atau Beban	240
10.12	Pertanyaan Ulangan	245
<b>BAB 11</b>	<b>FAKTOR DAYA</b>	<b>246</b>
11.1	Memuat pada Sirkuit Arus Bolak-balik	246
11.2	Pengukuran Faktor Daya	258

11.3	Kondensor Sinkron	260
11.4	Koneksi	263
11.5	Memperbaiki Faktor Daya dengan Kapasitor	265
11.6	Memperbaiki Faktor Daya Motor	271
11.7	Memasang Kapasitor	271
11.8	Pengujian Kapasitor	272
11.9	Pertanyaan Ulangan	277
<b>BAB 12</b>	<b>VENTILASI, AC, DAN FASILITAS LAINNYA</b>	<b>278</b>
12.1	Ventilator dan Sistem Pembuangan	278
12.2	Terminologi Khusus	280
12.3	Peralatan Pendingin	280
12.4	Pendingin Cair	283
12.5	Unit Presipitasi	285
12.6	Pertanyaan Ulangan	288
<b>BAB 13</b>	<b>SISTEM KEAMANAN</b>	<b>290</b>
13.1	Sistem Keamanan	290
13.2	Pemutus Sirkuit	292
13.3	Bagan Karakteristik Arus-Waktu Pemutus Arus	305
13.4	Grafik Karakteristik Arus-Waktu Sekering	307
13.5	Bagan Karakteristik Arus-Waktu Pelindung Gangguan Tanah	307
13.6	Sistem Koordinasi	308
13.7	Pertanyaan Ulangan	312
<b>BAB 14</b>	<b>PENANGKAL PETIR</b>	<b>314</b>
14.1	Struktur Atom	314
14.2	Bagaimana Petir Dihasilkan	316
14.3	Label Utama	317
14.5	Peraturan Keselamatan	319
14.6	Pertanyaan Ulangan	320
<b>BAB 15</b>	<b>PENCAHAYAAN LOKASI</b>	<b>321</b>
15.1	Pemilihan Lampu	321
15.2	Pilihan Pencahayaan	326
15.3	Batasan Daya	326
15.4	Penempatan Luminer	327
15.5	Instalasi Listrik	328

15.6	Pertanyaan Ulangan	329
<b>BAB 16</b>	<b>PENGONTROL LOGIKA YANG DAPAT DIPROGRAM</b>	<b>331</b>
16.1	Perbedaan Antara Pengontrol Logika yang Dapat Diprogram dan Komputer Pribadi	331
16.3	Komponen Dasar	331
16.4	Memasang Pengontrol Logika yang Dapat Diprogram	344
16.5	Penguat Diferensial	346
16.6	Pertanyaan Ulangan	346
<b>BAB 17</b>	<b>MENGEMBANGKAN PROGRAM UNTUK PLC</b>	<b>347</b>
17.1	Menetapkan Input dan Output	348
17.2	Mengubah Skema	349
17.3	Pertanyaan Ulangan	353
<b>BAB 18</b>	<b>SERAT OPTIK</b>	<b>354</b>
18.1	Serat Optik	354
18.2	Konektor Serat Optik	359
18.3	Pencahayaan Serat Optik	362
18.4	Pertanyaan Ulangan	364
<b>BAB 19</b>	<b>LOKASI BERBAHAYA</b>	<b>365</b>
19.1	Persetujuan Peralatan	366
19.2	Sirkuit dan Peralatan yang Aman Secara Intrinsik	368
19.3	Peralatan	368
19.4	Segel	369
19.5	Kotak Panel Pemutus Sirkuit	335
19.6	Luminer	373
19.7	Kontrol Motor	375
19.8	Kabel dan Wadah Fleksibel	379
19.9	Area Berbahaya	381
19.10	Peralatan Tahan Ledakan	385
19.11	Pertanyaan Ulangan	387
<b>BAB 20</b>	<b>HARMONIK</b>	<b>389</b>
20.1	Efek Harmonik	390
20.2	Masalah Pemutus Sirkuit	392
20.3	Masalah Saluran Bus dan Papan Panel	392

20.4	Menentukan Masalah Harmonik pada Sistem Fasa Tunggal	393
20.5	Menentukan Masalah Harmonik pada Sistem 3 Fasa	396
20.6	Menangani Masalah Harmonik	397
20.7	Menentukan Faktor Penurunan Harmonik Trafo	397
20.8	Pertanyaan Ulangan	399
<b>BAB 21</b>	<b>SPESIFIKASI LISTRIK</b>	<b>400</b>
21.1	Bahan	400
21.2	Pencahayaan	400
21.3	Wadah dan Sakelar	400
21.4	saluran	400
21.5	Konduktor	400
21.6	Troli Busway Berjalan untuk Penerangan	401
21.7	Troli Busway Berjalan untuk Alat Listrik	401
21.8	Papan Panel Pencahayaan dan Daya	401
21.9	Kotak Outlet dan Perlengkapannya	402
21.10	Transformer Jenis Kering	402
21.11	Busway Pengumpan Berventilasi No. 1	402
21.12	Pengumpan Busway No. 2	402
21.13	Busway Terpasang	403
21.14	Sirkuit Cabang Motor dan Pengumpan	404
21.15	Motor dan Pengontrol	404
21.16	Unit Presipitasi	405
21.17	Kondensor Sinkron	405
21.18	Blower Atap	406
21.19	Catu Daya Lift.	407
21.20	Peralatan AC	407
21.21	Sistem Paging	407
21.22	Jam dan Sistem Program	407
21.23	Sistem Alarm Kebakaran	407
21.24	Unit Gardu Induk	408
21.25	Fasilitas Pengukuran Tegangan Tinggi	408
21.26	Raceways Telepon	409
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>410</b>

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Kuasa bahwa akhirnya buku yang berjudul “Instalasi Listrik Industri” ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini sangat berguna untuk dibaca bagi mahasiswa Teknik yang akan melaksanakan instalasi listrik pada industri. Buku ini akan memandu para pembacanya selangkah demi selangkah melalui dasar-dasar pemasangan sistem instalasi listrik pada industri. Satu perencanaan instalasi harus menerapkan konsep perencanaan yang lengkap dalam mematuhi peraturan instalasi listrik pada industri, ataupun persyaratan yang telah ditetapkan oleh National Electrician Code (NEC).

Instalasi kabel Listrik Industri didasarkan pada aturan NEC 2014. NEC telah digunakan sebagai standar dasar untuk tata letak dan konstruksi sistem kelistrikan. Untuk mendapatkan manfaat terbesar dari buku ini, para mahasiswa harus menggunakan standar NEC secara berkelanjutan. Selain NEC, peraturan standar kabel listrik pada negara tertentu bisa berbeda, misalnya Indonesia punya standar SNI (Standar Nasional Indonesia), ini akan mempengaruhi biaya instalasi listrik pada industri.

Seorang ahli listrik harus memiliki pemahaman yang menyeluruh tentang prinsip dasar kelistrikan, pengetahuan tentang alat dan bahan yang digunakan dalam instalasi, prosedur dan standar baku yang diterapkan secara umum dalam instalasi. Kemampuan seorang ahli listrik untuk menafsirkan gambar konstruksi listrik, akan mempengaruhi hasil kerja instalasi listrik yang dihasilkan, apakah aman dan dapat dipertanggung jawabkan dalam jangka yang panjang pada Industri.

Teknisi listrik pada industri harus bertanggung jawab atas pemasangan layanan listrik, sistem penerangan, dan sistem jaringan optik yang merupakan perubahan dari sistem lama ke sistem yang baru dalam bangunan industri yang mapan dan terencana dengan baik, sehingga suatu saat tetap dapat melayani penyediaan tambahan kapasitas listrik untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhan bangunan industri; maupun pemeliharaan dan perbaikan berkala dari berbagai sistem jaringan listrik, maupun tambahan peralatan mesin-mesin baru baru yang diperlukan bagi pengembangan industri pada masa depan.

Semoga buku ini bermanfaat bagi para mahasiswa, maupun semua orang yang tertarik untuk membaca buku ini. Diharapkan buku ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan khususnya bagi mereka yang tertarik dalam mengelola instalasi listrik industri.

Semarang, 1 Maret 2021

Dr. Ir. Agus Wibowo, M.Kom, M.Si, MM

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iv</b>
<b>BAB 1 PERENCANAAN INSTALASI LISTRIK .....</b>	<b>1</b>
1.1 Rencana Konstruksi .....	1
1.2 Penjelasan Simbol Rencana .....	2
1.3 Lokasi Unit Kerja.....	3
1.4 Menguji Lokasi Untuk Persyaratan <i>Grounding</i> .....	3
1.5 Menafsirkan Rencana Lokasi .....	12
1.6 Metrik (SI) Dan NEC.....	17
1.7 Kesimpulan.....	22
1.8 Pertanyaan .....	23
<b>BAB 2 UNIT GARDU INDUK.....</b>	<b>25</b>
2.1 Bagian Tegangan Tinggi .....	28
2.2 Proteksi Trafo .....	30
2.3 Proteksi Arus Lebih.....	31
2.4 Menentukan Ukuran Sekring (Fuse) Trafo .....	34
2.5 Bagian Trafo .....	36
2.6 Bagian Tegangan Rendah .....	36
2.7 Peralatan Pengukuran Tegangan Tinggi .....	38
2.8 Pintu Masuk Layanan .....	40
2.9 Pemeliharaan Trafo .....	46
2.10 Pertanyaan .....	54
<b>BAB 3 SISTEM JALUR PENGUMPAN .....</b>	<b>55</b>
3.1 Saluran Pengumpan (Feeder) .....	55
3.2 Kotak Pemutus Sirkuit .....	59
3.3 Busway Plug-In .....	60
3.4 Colokkan (Plug) Utama (Bus) .....	63
3.5 Pertanyaan .....	64
<b>BAB 4 KOTAK PANEL .....</b>	<b>66</b>
4.1 Kotak Panel .....	66
4.2 Perangkat Pelindung Rangkaian (Sirkuit) Cabang .....	70
4.3 Perangkat Pelindung Kotak Panel .....	70
4.4 Kotak Panel Daya.....	71
4.5 Pertanyaan .....	73
<b>BAB 5 JALUR UTAMA TROLI .....</b>	<b>74</b>
5.1 Jalur Utama ( <i>Busway</i> ) Trolis Tiga Fasa .....	74

5.2 Jalur Utama (Busway) Troli Berjalan .....	74
5.3 Pencahayaan Di Wilayah Manufaktur .....	79
5.4 Pencahayaan Di Ruang Boiler .....	83
5.5 Pertanyaan .....	86
<b>BAB 6 TABEL KAWAT DAN UKURAN KONDUKTOR .....</b>	<b>87</b>
6.1 Konduktor .....	87
6.2 Jenis Isolasi .....	99
6.3 Faktor Koreksi .....	102
6.4 Tiga Konduktor Di Jalur Balap (Raceway) .....	103
6.5 Konduktor Bawah Tanah .....	103
6.6 Menghitung Ukuran Dan Resistensi Konduktor.....	104
6.7 Panjang Kabel Panjang .....	104
6.8 Menghitung Resistensi .....	106
6.9 Konduktor Paralel.....	110
6.10 Menguji Instalasi Kawat.....	112
6.11 Pengukur Kawat Amerika (AWG) .....	114
6.12 Pertanyaan .....	116
<b>BAB 7 SISTEM SINYAL.....</b>	<b>118</b>
7.1 Jam Utama (Master).....	118
7.2 Sistem Program .....	120
7.2 Sistem Program .....	121
7.4 Sistem Alarm Kebakaran.....	124
7.5 Pertanyaan.....	127
<b>BAB 8 KONTROL MOTOR DASAR .....</b>	<b>129</b>
8.1 Kontrol Dua Kawat .....	129
8.2 Kontrol Tiga Kawat .....	132
8.3 Simbol Skema .....	133
8.4 Relai Beban Lebih ( <i>Overload Relay</i> ) .....	138
8.5 Skema Dan Diagram Pengkabelan .....	146
8.6 Sirkuit Kontrol Tombol Tekan <i>Start–Stop</i> .....	147
8.7 Kontrol Maju–Mundur.....	150
8.8 Rangkaian Dasar Pendingin Udara .....	152
8.9 Relay Waktu .....	152
8.10 Pertanyaan .....	165
<b>BAB 9 MOTOR DAN PENGENDALI.....</b>	<b>166</b>
9.1 Mesin Dan Motornya.....	166
9.2 Jenis Motor .....	167
9.3 Motor Induksi Sangkar Tupai Kecepatan Tunggal.....	167
9.4 Motor Induksi Rotor Leads (Belitan) .....	178
9.5 Menentukan Arah Putaran Motor Tiga – Fase .....	181

9.6 Menghubungkan Motor Tiga Fasa Tegangan Ganda .....	185
9.7 Motor Fasa Tunggal Tegangan Ganda .....	188
9.8 Menentukan Arah Putaran Motor Satu Fasa.....	191
9.9 Identifikasi Terminal Untuk Motor Dc (Arus Searah) .....	196
9.10 Menentukan Arah Putaran Motor Dc (Arus Searah).....	196
9.11 Catu Daya Listrik DC (Arus Searah).....	198
9.12 Penggerak Frekuensi-Variabel .....	204
9.13 Transistor Bipolar Gerbang Terisolasi (Igbt) .....	207
9.14 Pertanyaan .....	214
<b>BAB 10 INSTALASI MOTOR .....</b>	<b>215</b>
10.1 Data Pelat Nama Motor .....	215
10.2 Tabel Motor .....	222
10.3 Motor Dc Arus Searah .....	222
10.4 Motor Ac (Arus Bolak Balik) Satu Fasa .....	223
10.5 Motor Dua Fasa .....	224
10.6 Motor Tiga Fasa.....	225
10.7 Menentukan Ukuran Konduktor Untuk Motor Tunggal.....	225
10.8 Ukuran Beban Lebih .....	228
10.9 Menentukan Arus Rotor Terkunci.....	229
10.10 Perlindungan Hubungan Pendek.....	229
10.11 Perhitungan Beberapa Motor Atau Beban .....	234
10.12 Pertanyaan .....	238
<b>BAB 11 FAKTOR DAYA .....</b>	<b>240</b>
11.1Memuat Pada Sirkuit Ac (Arus Bolak Balik) .....	240
11.2 Pengukuran Faktor Daya.....	250
11.3 Kondenser Sinkron .....	253
11.4 Koneksi.....	256
11.5 Memperbaiki Faktor Daya Dengan Kapasitor .....	257
11.6 Memperbaiki Faktor Daya Motor .....	263
11.7 Memasang Kapasitor .....	264
11.8 Pengujian Kapasitor .....	264
11.9 Pertanyaan .....	268
<b>BAB 12 VENTILASI, AC, DAN FASILITAS LAINNYA .....</b>	<b>270</b>
12.1 Sistem Ventilator Dan Sistem Pembuangan .....	270
12.2 Terminologi Khusus .....	271
12.3 Peralatan Pendinginan.....	272
12.4 Pendingin Cair ( <i>Chiller</i> ) .....	275
12.5 Unit Presipitasi .....	276
12.6 Pertanyaan .....	279
<b>BAB 13 SISTEM KEAMANAN .....</b>	<b>281</b>

13.1 Sistem Keamanan .....	281
13.2 Pemutus Sirkuit .....	282
13.3 Bagan Karakteristik Arus Waktu Pemutus Arus .....	278
13.4 Grafik Karakteristik Arus-Waktu Sekering .....	298
13.5 Bagan Karakteristik Arus-Waktu Pelindung Gangguan Tanah .....	298
13.6 Sistem Koordinasi .....	298
13.7 Pertanyaan .....	303
<b>BAB 14 PENANGKAL PETIR .....</b>	<b>305</b>
14.1 Struktur Atom .....	305
14.2 Bagaimana Petir Dihasilkan .....	307
14.3 Label Utama .....	308
14.4 Peraturan Keselamatan .....	309
14.5 Pertanyaan .....	311
<b>BAB 15 PENCAHAYAAN LOKASI .....</b>	<b>312</b>
15.1 Pemilihan Lampu .....	312
15.2 Pilihan Pencahayaan .....	316
15.3 Batasan Daya .....	316
15.4 Penempatan Luminer .....	317
15.5 Instalasi Listrik .....	319
15.6 Pertanyaan .....	320
<b>BAB 16 PENGONTROL LOGIKA YANG DAPAT DIPROGRAM .....</b>	<b>321</b>
16.1 Perbedaan Antara Pengontrol Logika Yang Dapat Diprogram Dan Komputer Pribadi .....	321
16.2 Komponen Dasar .....	321
16.3 Memasang Pengontrol Logika Yang Dapat Diprogram .....	332
16.4 Penguat Diferensial .....	334
16.5 Pertanyaan .....	334
<b>BAB 17 MENGEMBANGKAN PROGRAM UNTUK PLC .....</b>	<b>335</b>
17.1 Menetapkan Input Dan Output .....	336
17.2 Mengubah Skema .....	337
17.3 Pertanyaan .....	340
<b>BAB 18 SERAT OPTIK .....</b>	<b>341</b>
18.1 Serat Optik .....	341
18.2 Konektor Serat-Optik .....	346
18.3 Pencahayaan Serat-Optik .....	348
18.4 Pertanyaan .....	350
<b>BAB 19 LOKASI BERBAHAYA .....</b>	<b>351</b>
19.1 Persetujuan Peralatan .....	352
19.2 Sirkuit Dan Peralatan Yang Aman Secara Intrinsik .....	353
19.3 Peralatan .....	354

19.4 Segel .....	354
19.5 Kotak Panel Pemutus Sirkuit .....	357
19.6 Luminer .....	358
19.7 Kontrol Motor .....	360
19.8 Kabel Dan Wadah Fleksibel.....	364
19.9 Area Berbahaya .....	366
19.10 Peralatan Tahan Ledakan.....	370
19.11 Pertanyaan .....	372
<b>BAB 20 HARMONIK .....</b>	<b>373</b>
20.1 Efek Harmonis .....	374
20.2 Masalah Pemutus Sirkuit .....	375
20.3 Masalah Saluran Bus Dan Papan Panel .....	376
20.4 Menentukan Masalah Harmonis Pada Sistem Fasa Tunggal.....	376
20.5 Menentukan Masalah Harmonik Pada Sistem 3 Fasa .....	379
20.6 Menangani Masalah Harmonik.....	380
20.7 Menentukan Faktor Penurunan Harmonik Trafo .....	380
20.8 Pertanyaan .....	381
<b>BAB 21 SPESIFIKASI LISTRIK.....</b>	<b>383</b>
21.1 Bahan .....	383
21.2 Petir .....	383
21.3 Wadah Dan Saklar .....	383
21.4 Saluran .....	383
21.5 Konduktor .....	383
21.6 Troli Busway Berjalan Untuk Pencahayaan .....	384
21.7 Troli Busway Berjalan Untuk Alat Listrik.....	384
21.8 Papan Pencahayaan Dan Daya.....	384
21.9 Kotak Outlet Dan Perlengkapannya .....	384
21.10 Transformer Jenis Kering .....	385
21.11 Busway Pengumpan Berventilasi No. 1 .....	385
21.12 Pengumpan Busway No. 2 .....	385
21.13 Busway Terpasang.....	386
21.14 Sirkuit Cabang Motor Dan Pengumpan .....	386
21.15 Motor Dan Pengontrol.....	387
21.16 Unit Presipitasi .....	387
21.17 Kondensor Sinkron .....	388
21.18 Blower Atap.....	389
21.19 Catu Daya Lift .....	389
21.20 Peralatan AC.....	389
21.21 Sistem <i>Paging</i> .....	389
21.22 Sistem Jam Dan Program .....	390

21.23 Sistem Alarm Kebakaran.....	390
21.24 Unit Gardu Induk.....	390
21.25 Fasilitas Pengukuran Tegangan Tinggi.....	390
21.26 <i>Raceway</i> Telepon .....	391
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>392</b>

## **BAB 1**

### **PERENCANAAN INSTALASI LISTRIK**

#### **Tujuan**

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- Membaca denah lokasi untuk menentukan lokasi instalasi listrik tertentu.
- Memilih bahan untuk pekerjaan lokasi instalasi listrik.
- Mengidentifikasi metode kabel bawah tanah.
- Melakukan konversi pada sistem Satuan Internasional (SI) ke Bahasa Inggris dan Bahasa Inggris ke SI.
- Menghitung pengukuran metrik.

#### **1.1 Rencana Konstruksi**

Seorang ahli listrik yang memasang instalasi kabel di tempat tinggal atau bangunan komersial pasti melengkapi gambarnya dengan gambar denah dan simbol listrik. Meskipun denah dan simbol kelistrikan pada dasarnya selalu serupa untuk proyek bangunan industri, ada penekanan tambahan yang sering diberikan pada lokasi pekerjaan. Teknisi listrik harus terus berkoordinasi dan bekerja dengan mandor umum yang dipekerjakan oleh kontraktor umum.

Setelah kontrak proyek diberikan, kontraktor listrik harus memeriksa denah lokasi untuk menentukan perkiraan lokasi bangunan industri di lokasi, serta lokasi kabel bawah tanah, jalan raya, dan lubang got. Kontraktor kemudian memindahkan trailer ke lokasi dan menempatkannya sehingga membutuhkan sedikit relokasi selama konstruksi. Trailer ini digunakan untuk menyimpan bahan dan alat selama konstruksi bangunan.

#### **Lokasi Gedung**

Lokasi bangunan diberikan pada site plan dengan mengacu pada titik-titik yang ada seperti garis tengah jalan. Jika kontraktor listrik dan kru tiba di lokasi sebelum kontraktor umum tiba, mereka tidak diharuskan untuk “mengintai” (menemukan) bangunan. Namun, mereka harus dapat menentukan perkiraan lokasinya. Sebuah rencana lokasi, seperti yang diberikan pada Lembar Z-1 dari rencana bangunan industri yang termasuk dalam teks ini, menunjukkan garis properti dan garis tengah jalan dari mana teknisi listrik dapat menemukan bangunan dan perbaikan lokasi lainnya.

#### **1.2 Penjelasan Simbol Rencana**

##### **Garis Kontur**

Garis kontur diberikan pada denah lokasi untuk menunjukkan tingkat perataan yang ada dan yang baru. Jika pekerjaan listrik bawah tanah yang diperlukan akan dipasang sebelum perataan selesai, parit harus dilengkapi dengan kedalaman yang cukup untuk memastikan bahwa instalasi memiliki penutup yang tepat setelah perataan akhir. Tanggung jawab siapa yang melakukan pekerjaan parit (kontraktor umum atau ahli listrik) biasanya disepakati

sebelum kontrak diberikan. Gambar 1-1 memberikan simbol standar yang digunakan pada rencana lokasi konstruksi untuk garis kontur dan fitur lainnya.

### Tolok ukur

Patokan (BM), seperti yang diberikan pada denah lokasi, adalah titik acuan dari mana semua elevasi berada. Ketinggian patokan ditetapkan oleh surveyor yang bertanggung jawab untuk survei pendahuluan lokasi industri. Elevasi BM ini terkait dengan datum kota atau nilai rata-rata permukaan laut untuk lokasi tersebut. Ketinggian biasanya diberikan dalam kaki dan sepersepuluh kaki. Misalnya, ketinggian 123,4 kaki dibaca sebagai "seratus dua puluh tiga dan empat persepuluh kaki." Tabel 1-1 digunakan dalam membuat konversi dari sepersepuluh kaki ke inci.

### Ketinggian

Teknisi listrik harus memberikan perhatian yang cermat pada ketinggian bangunan yang diusulkan. Rincian ini ditunjukkan pada Lembar Z-1 dari denah terlampir untuk bangunan industri. Gambar-gambar ini memberikan informasi berharga mengenai konstruksi bangunan. Pengukuran pada elevasi dapat menjadi referensi plus atau minus untuk elevasi BM seperti yang diberikan pada denah lokasi.

### Ketinggian Balik (INV)

Ketika elevasi terbalik (INV) diberikan, jumlah ini menunjukkan tingkat tepi bawah bagian dalam saluran yang memasuki lubang got (saluran ini biasanya yang lebih rendah dalam instalasi). Lihat gambar 1-19.

### Skala Rencana Situs

Denah lokasi perumahan umumnya dibuat dengan skala yang sama seperti yang digunakan pada denah bangunan; yaitu,  $1/8'' = 1' - 0''$  atau  $1/4'' = 1' - 0''$ . Namun, denah lokasi bangunan industri biasanya menggunakan skala mulai dari  $1'' = 20'$  dan  $1'' = 30'$  hingga  $1'' = 60'$ . Disarankan agar teknisi listrik menggunakan alat pengukur khusus, yang disebut timbangan, untuk mengukur denah lokasi, Gambar 1-2.

**Tabel 1** Konversi sepersepuluh kaki ke inci.

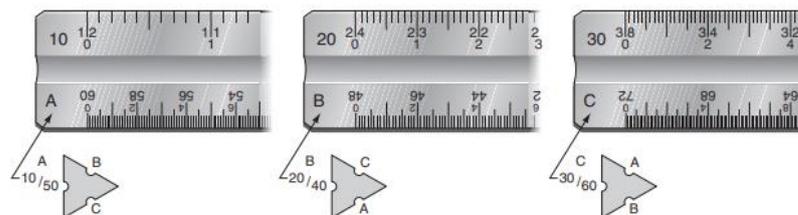
TENTHS	DECIMAL	FRACTIONAL
0.1 ft	1.2 in.	$1\frac{3}{16}$ in.
0.2 ft	2.4 in.	$2\frac{3}{8}$ in.
0.3 ft	3.6 in.	$3\frac{5}{8}$ in.
0.4 ft	4.8 in.	$4\frac{13}{16}$ in.
0.5 ft	6 in.	6 in.
0.6 ft	7.2 in.	$7\frac{3}{8}$ in.
0.7 ft	8.4 in.	$8\frac{3}{8}$ in.
0.8 ft	9.6 in.	$9\frac{5}{8}$ in.
0.9 ft	10.8 in.	$10\frac{13}{16}$ in.

Standard format symbols	Other symbols and indications	Standard format symbols	Other symbols and indications
● BM-1-680.0 Benchmark — Number — Elevation	● BM EL. 680.0	⊙ Light standard	
● TB-1 Test boring — Number		⊙ Existing tree to remain 10" diam. oak	⊙ 10" Oak
● 350.0 Existing spot elevation to change	+ 350.0	⊙ Existing tree to be removed 10" diam. oak	⊙ 10" Oak
● 352.0 Existing spot elevation to remain	+ 352.0	— W — Water main (size)	— 6" W —
● 354.0 New spot elevation	+ 354.0	— T — Telephone line (underground)	
Existing spot elevation New spot elevation	+ 380.0 + 362.0	— P — Power line (underground)	
240 Existing contour to change	240	— G — Gas main (size)	— 4" G —
240 Existing contour to remain	240	— O — Fuel oil line (size)	— 1" O —
244 New contour	244	— SAS — Sanitary sewer (size)	— 12" SAN —
Existing contour New contour	406 404	— STS — Storm sewer (size)	— 24" ST —
Existing contour to change Final contour or proposed contour	108 104	— COS — Combined sewer (size)	— 18" S —
○ Fire hydrant		..... DRT ..... Drain tile (size)	..... 6" DR. T. ....
○ MH Manhole (Number — Rim elevation)	○ MH-4-680.0	FENCE x—x—x—x—x— Fence (or required construction fence)	
○ MH Manhole — Rim elev. — Inv. elev.	○ MH EL. 680.0 INV. EL. 675.5	— CLL — Contract limit line	
○ CB Catch basin (Rim elevation)	○ CB 680.0	— PRL — Property line	
▨ Curb inlet (Inlet elevation)	▨ 680.0	Centerline (as of a street)	— — — — —
▨ Drainage inlet — Inlet elevation	▨ DR 680.0	▨ New building	
○ Power and/or telephone pole	○ O <sub>T</sub> O <sub>P</sub>	▨ Existing building to remain	
		▨ Existing building to be removed	

GAMBAR 1-1 Simbol denah lokasi.

### 1.3 Lokasi Unit Kerja

Mungkin ada persyaratan untuk beberapa jenis sistem kelistrikan yang berbeda untuk dipasang di lokasi selain dari bangunan itu sendiri. Teknisi listrik harus meninjau rencana dan spesifikasi dengan hati-hati untuk mengetahui semua persyaratan. Maka merupakan tanggung jawab kontraktor listrik / ahli listrik untuk memastikan bahwa persyaratan ini dipenuhi dan bahwa pemasangan dilakukan pada waktu yang paling menguntungkan dan dengan cara yang tidak akan bertentangan dengan pekerjaan lapangan yang dilakukan oleh perdagangan lain.



GAMBAR 1-2 Skala.

### 1.4 Menguji Lokasi Untuk Persyaratan Grounding

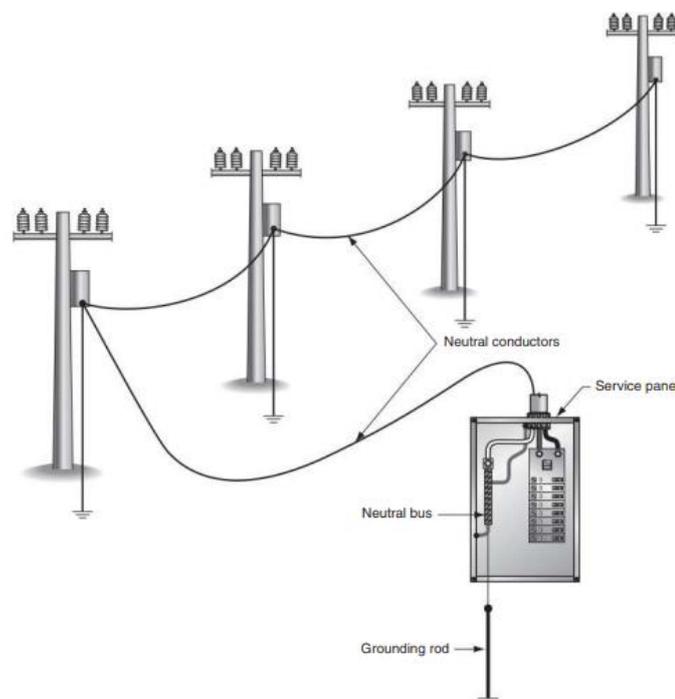
Saat menentukan lokasi untuk sebuah bangunan, salah satu pertimbangan terpenting adalah sistem ground. Pengardean yang tepat membantu melindungi dari arus transien, kebisingan listrik, dan sambaran petir. Beberapa metode dapat digunakan untuk menguji

sistem pentanahan listrik. Efektivitas sistem pentanahan sangat tergantung pada resistivitas bumi di lokasi sistem pentanahan. Resistivitas bumi sangat bervariasi di seluruh dunia dan bahkan di dalam area kecil. Banyak faktor yang mempengaruhi resistivitas bumi seperti jenis tanah (tanah liat, cangkang, pasir, dll), kadar air, kadar elektrolit (asam, garam, dll), dan suhu.

Secara teori, sistem arde dianggap memiliki resistansi nol karena terhubung ke sistem arde di mana-mana, melalui konduktor netral, Gambar 1-3. Namun, dalam praktik sebenarnya, daya dukung sistem pembumian saat ini dapat sangat bervariasi dari satu area ke area lainnya.

### Pengujian

Ada berbagai metode untuk menentukan resistivitas sistem pentanahan. Metode lama yang digunakan oleh ahli listrik selama bertahun-tahun adalah menghubungkan lampu 100 watt antara konduktor yang tidak ditanahkan (panas) dan konduktor pembumian, Gambar 1-4. Untuk melakukan pengujian ini, konduktor pentanahan harus diputuskan dari bus netral di panel. Kecerahan lampu memberikan indikasi efektivitas sistem pentanahan. Meskipun tes ini menunjukkan apakah sistem pentanahan berfungsi, itu tidak menunjukkan resistansi sebenarnya dari sistem. Untuk mengukur tahanan sebenarnya dari sistem pentanahan memerlukan penggunaan peralatan khusus seperti penguji tahanan tanah, Gambar 1-5. Ada tiga pengujian utama yang digunakan untuk mengukur tahanan tanah: uji empat titik Wenner, uji potensial jatuh tiga titik, dan uji tahanan tanah dengan penjepit.



**GAMBAR 1-3** Semua konduktor netral terikat bersama, membentuk sistem pembumian kontinu.

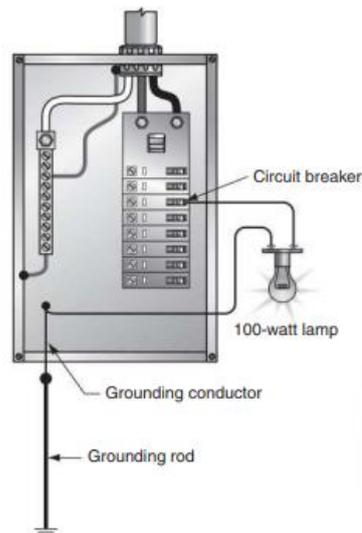
### Metode Empat Titik Wenner

Tes empat titik Wenner umumnya dilakukan sebelum konstruksi bangunan dimulai. Metode ini mengukur resistensi tanah di area yang luas. Hasilnya digunakan dalam merancang sistem pentanahan untuk memastikan bahwa ia bekerja dengan baik. Pengujian ini

memerlukan penggunaan meteran tahanan tanah 4 kutub, empat batang logam, dan konduktor. Keempat batang didorong ke tanah dalam garis lurus, dengan jarak yang sama antara masing-masing batang,

Gambar 1-6. Untuk melakukan pengujian ini, penguji tahanan arde menghasilkan jumlah arus yang diketahui antara batang C1 dan C2, menghasilkan penurunan tegangan pada batang P1 dan P2. Besarnya jatuh tegangan sebanding dengan besarnya arus dan tahanan tanah. Pembacaan umumnya dilakukan dengan probe C1 dan C2 dengan jarak 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, dan 100 kaki terpisah. Jika memungkinkan, direkomendasikan untuk melakukan pengujian dengan jarak probe 150 kaki.

Tahanan tanah yang dihitung adalah rata-rata tahanan tanah dari permukaan sampai kedalaman yang sama dengan ruang antara probe. Jika probe diletakkan terpisah 30 kaki, misalnya, setiap probe akan memberikan pengukuran resistansi rata-rata dari permukaan hingga kedalaman 30 kaki. Pengujian tidak hanya harus dilakukan dengan probe dengan jarak yang berbeda tetapi juga dengan probe dalam arah yang berbeda dari titik pusat. Jika lokasinya cukup besar, umumnya disarankan untuk melakukan pengujian di setidaknya dua sisi, umumnya dari satu sudut ke sudut lainnya. Perlu dicatat bahwa struktur bawah tanah seperti pipa air logam dapat mempengaruhi pembacaan. Hasil terbaik akan diperoleh dengan mengumpulkan data sebanyak-banyaknya.



**GAMBAR 1-4** Lampu 100 watt digunakan untuk menguji sistem pentanahan.



**GAMBAR 1-5** Penguji Tahanan Tanah

### **Tes Potensi Jatuh Tiga Titik**

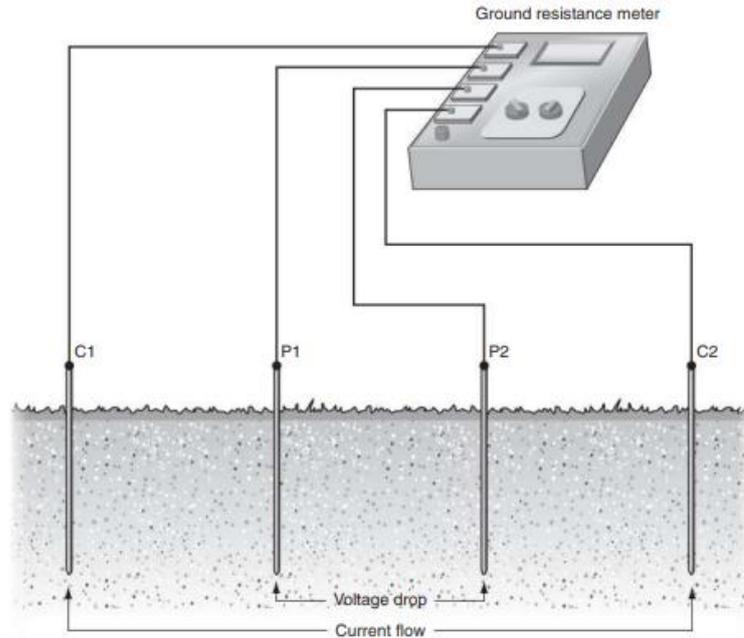
Uji potensi jatuh memerlukan penggunaan meteran tahanan tanah. Ini dilakukan setelah pemasangan sistem pentanahan dan harus dilakukan setiap tahun untuk memastikan kualitas sistem pentanahan. Pengujian tahunan memberikan perlindungan terhadap degradasi sistem sebelum kerusakan peralatan dan masalah kinerja terjadi.

Dalam uji potensial jatuh tiga titik, tiga titik kontak tanah adalah

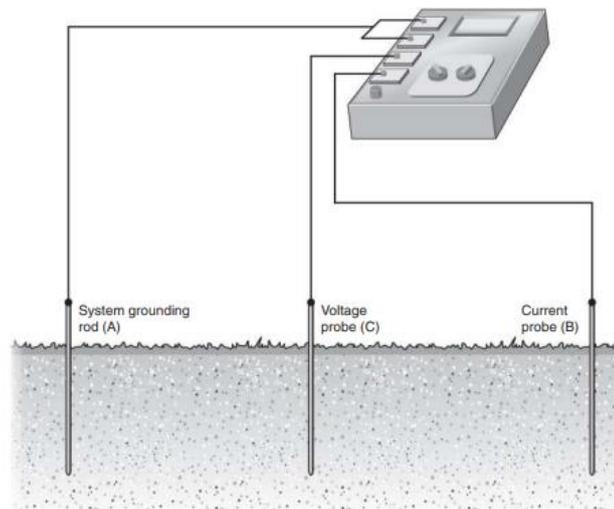
1. sistem pembumian (grounding rod) (titik A);
2. probe arus ditempatkan agak jauh dari batang pembumian (titik B); dan
3. probe tegangan yang dimasukkan pada berbagai jarak antara batang pembumian dan probe arus (C). Probe tegangan ditempatkan pada garis lurus antara batang pembumian dan probe arus.

Idealnya, probe arus (B) harus ditempatkan pada jarak setidaknya 10 kali panjang grounding rod (A), Gambar 1-7. Jika batang arde panjangnya 8 kaki, probe arus harus ditempatkan setidaknya 80 kaki dari batang arde.

Untuk melakukan pengujian ini, batang pembumian harus diputuskan (terisolasi secara elektrik) dari bus netral di panel servis. Kegagalan untuk melakukannya akan sepenuhnya membatalkan tes. Meter memberikan jumlah arus yang diketahui yang mengalir dari probe saat ini dan kembali ke meter melalui batang pembumian sistem. Hambatan bumi menyebabkan penurunan tegangan yang diukur antara probe arus dan probe tegangan. Besarnya jatuh tegangan sebanding dengan besarnya arus yang mengalir dan tahanan tanah. Pembacaan resistansi harus dilakukan di beberapa lokasi dengan menggerakkan probe tegangan pada jarak yang sama dengan 10% jarak antara batang pembumian sistem dan probe arus. Jika dilakukan dengan benar, uji tahanan tanah tiga titik adalah metode yang paling akurat untuk menentukan tahanan tanah.



**GAMBAR 1-6** Tes empat poin Wenner.



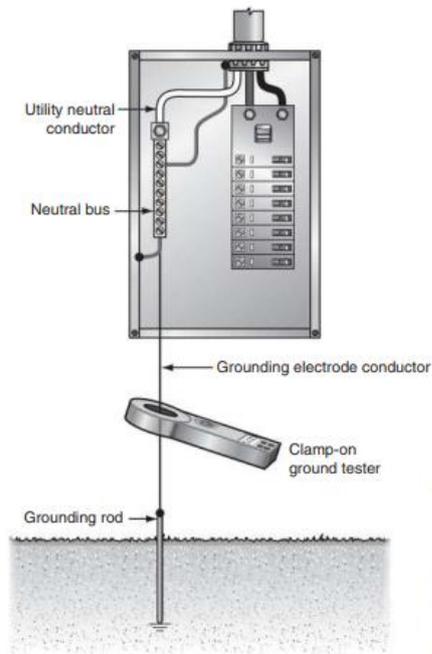
**GAMBAR 1-7** Uji potensi jatuh tiga titik.

### Uji Tahanan *Grounding Clamp-On*

Uji tahanan arde penjepit memerlukan penggunaan pengukur tahanan tanah penjepit khusus. Tes ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan tes potensi jatuh tiga titik.

1. Sistem pembumian layanan tidak harus diputuskan dan diisolasi dari bus netral.
2. Tidak ada probe yang harus didorong ke tanah atau konduktor penghubung panjang.
3. Konduktor netral yang disuplai oleh perusahaan utilitas mengikat arde yang tak terhitung banyaknya secara paralel. Penguji pembumian penjepit mengukur resistansi efektif seluruh sistem pembumian.
4. Karena pengujian ini dilakukan dengan meteran penjepit, tidak ada sambungan yang harus diputuskan atau disambungkan kembali, sehingga prosedur lebih aman, Gambar 1-8.

Peng uji tahanan arde penjepit, Gambar 1-9, berisi dua trafo. Satu transformator menginduksi tegangan tetap kecil sekitar 2 kHz pada konduktor pentanahan. Jika ada jalur, tegangan akan menghasilkan aliran arus. Jalur disediakan oleh sistem pembumian yang diuji, netral utilitas, dan sistem pembumian utilitas. Trafo kedua di dalam meter merasakan jumlah arus pada frekuensi unik yang disediakan oleh trafo pertama. Besarnya arus sebanding dengan tegangan induksi dan hambatan sistem pentanahan. Meteran menggunakan dua besaran listrik yang diketahui untuk menghitung hambatan sistem pentanahan.



**GAMBAR 1-8** Uji tahanan arde dengan penjepit.



**GAMBAR 1-9** Peng uji tahanan tanah.

### **Pertimbangan *Grounding* dan *Bonding***

Banyak teknisi dan teknisi listrik tidak terlalu memperhatikan grounding dan hanya mengetahui persyaratan dasar yang ditentukan oleh National Electrical Code. Namun, *Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)*

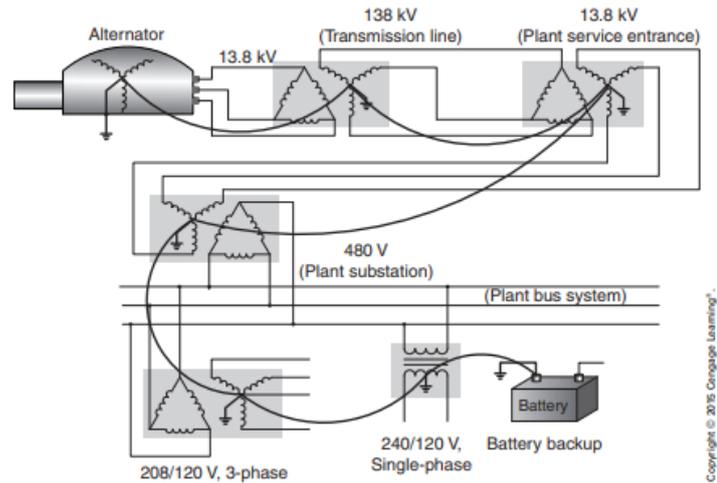
pembumian adalah salah satu bagian terpenting dari setiap instalasi listrik. Pengardean yang tepat melindungi sirkuit dan peralatan dari kerusakan dan personel dari cedera. Pembumian umumnya dianggap sebagai menghubungkan sistem ke bumi melalui elektroda pembumian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1-8. Pada kenyataannya, pentanahan menghubungkan sirkuit ke titik referensi umum. Hampir semua sistem pembumian terhubung ke pembumian, yang merupakan titik acuan umum, tetapi pembumian umumnya tidak menyediakan jalur impedansi rendah yang diperlukan untuk melindungi terhadap arus gangguan pembumian. NEC 250.4(A)(5) menyatakan, Bumi tidak boleh dianggap sebagai jalur arus gangguan tanah yang efektif.

Pembumian tidak hanya menyediakan jalur impedansi rendah untuk arus gangguan, tetapi juga menyediakan titik referensi umum untuk sistem dan tegangan listrik yang berbeda, Gambar 1-10. Jalur impedansi rendah ada dari alternator yang memasok daya ke perangkat terakhir yang terhubung ke sirkuit. Alternator memiliki output 13,8 kV, yang ditingkatkan menjadi 138 kV untuk transmisi. Tegangan diturunkan kembali menjadi 13,8 kV pada unit gardu induk. Gardu induk pembangkit menurunkan tegangan menjadi 480 volt untuk memberi makan sistem bus pembangkit. Transformator 3 fasa dan satu fasa lainnya ditenagai oleh bus pembangkit. Sistem cadangan baterai digunakan oleh catu daya yang tidak pernah terputus. Semua sistem daya dan voltase yang berbeda ini dihubungkan bersama melalui konduktor pentanahan. Pembumian juga digunakan untuk melindungi terhadap petir, listrik statis, dan pengaruh frekuensi tinggi. Perlu dicatat, bagaimanapun, bahwa persyaratan pentanahan yang tercantum dalam Kode Kelistrikan Nasional dimaksudkan untuk sistem AC arus searah dan 60-hertz. Persyaratan ini mungkin tidak memberikan landasan yang efektif untuk frekuensi tinggi. Sistem arus bolak-balik tunduk pada efek kulit, yang merupakan kecenderungan elektron untuk bergerak menuju permukaan konduktor, Gambar 1-11.

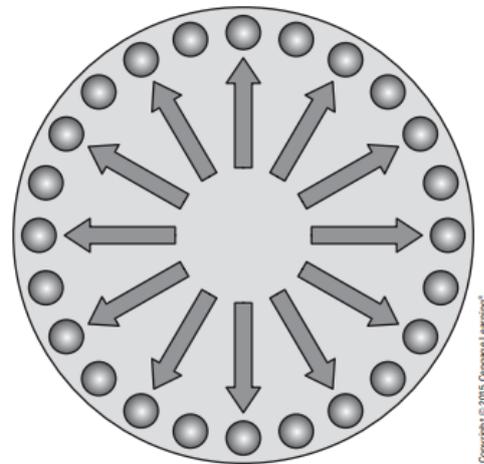
Semakin tinggi frekuensinya, semakin besar efek kulitnya. Pada frekuensi 10 MHz, konduktor tembaga 6 AWG dapat menunjukkan resistansi beberapa ribu ohm. Sirkuit frekuensi tinggi harus diarde dengan konduktor yang memiliki area permukaan yang luas, seperti kabel jalinan atau pita tembaga lebar.

### **Keamanan**

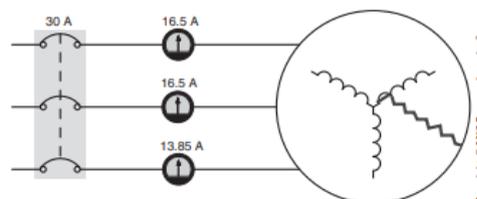
Selain menyediakan titik koneksi umum untuk sistem dan voltase yang berbeda, pembumian memainkan peran besar dalam keselamatan peralatan dan pribadi. Ketika sistem pembumian dipasang dan dipelihara dengan benar, sistem ini menyediakan jalur impedansi rendah ke pembumian. Pepatah umum di antara orang-orang dalam perdagangan listrik adalah bahwa arus mengikuti jalan dengan hambatan paling kecil. Ada beberapa kebenaran untuk gagasan itu, tetapi itu bukan keseluruhan kebenaran. Arus akan berperilaku dengan cara yang ditentukan oleh hukum Ohm. Asumsikan bahwa motor 3-fase, 480 volt dilindungi oleh pemutus sirkuit 30 ampere. Juga asumsikan bahwa belitan stator memiliki impedansi 20 ohm. Jika belitan stator dihubungkan dengan wye, Gambar 1-12, masing-masing belitan akan diberi tegangan 277 volt ( $480/1.732$ ).



**GAMBAR 1-10** Sebuah ground impedansi rendah terhubung ke seluruh sistem.



**GAMBAR 1-11** Arus bolak-balik menyebabkan elektron bergerak menuju permukaan konduktor. Tindakan ini disebut efek kulit.

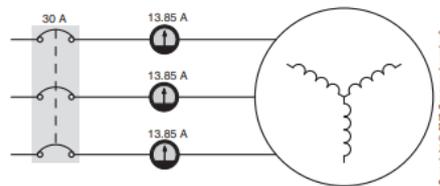


**GAMBAR 1-12** Gulungan satu stator mengalami hubungan pendek pada casing motor.

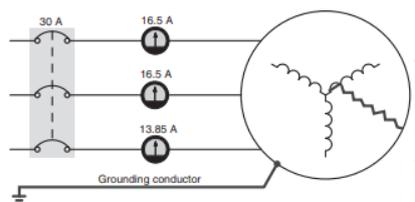
Arus fasa akan menjadi 13,85 A ( $277/20$ ). Karena belitan stator dihubungkan secara wye, arus saluran akan sama dengan arus fasa. Sekarang asumsikan bahwa salah satu belitan fase mengembangkan belitan korsleting ke tanah. Jika hanya sebagian belitan yang korsleting, motor masih dapat beroperasi dengan peningkatan arus pada dua saluran, dan arus mungkin tidak cukup untuk menyebabkan pemutus sirkuit terbuka, Gambar 1-13.

Jika casing motor tidak diarde, tidak ada rangkaian lengkap untuk aliran arus, yang menyebabkan casing motor menunjukkan tegangan sekitar 277 volt ke ground. Siapa pun yang menyentuh motor berada dalam bahaya sengatan listrik. Resistansi tubuh manusia dapat bervariasi dari serendah 500 ohm hingga setinggi 600.000 ohm. Asumsikan bahwa seseorang yang menyentuh motor memiliki hambatan 1000 ohm ke tanah. Itu akan menghasilkan aliran arus sekitar 277 mA, yaitu sekitar tiga kali jumlah yang diperlukan untuk menyebabkan kematian.

Jika motor ditanahkan dengan benar, Gambar 1-14, konduktor pembumian akan menyediakan jalur impedansi yang sangat rendah ke arde. Konduktor pembumian impedansi rendah memaksa casing motor berada pada potensi arde, dan bahaya kejut dihilangkan. Juga, jalur arus ke ground kemungkinan besar akan menyebabkan aliran arus yang cukup untuk membuka pemutus sirkuit. Perlu dicatat bahwa konduktor pembumian harus dipasang di saluran yang sama dengan konduktor sirkuit; jika tidak, impedansi konduktor pembumian dapat meningkat karena induktansi.



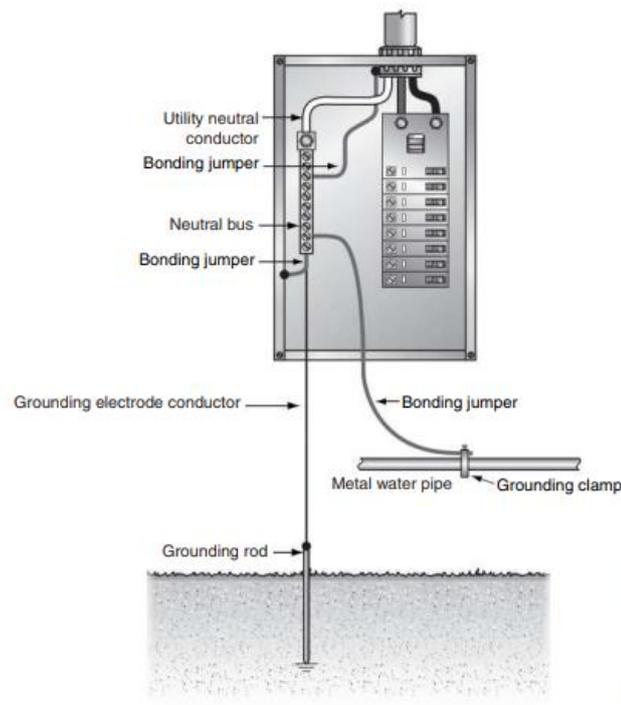
**GAMBAR 1-13** Sebuah motor 3 fasa dihubungkan ke 480 volt.



**GAMBAR 1-14** Konduktor pembumian menyediakan jalur impedansi rendah ke pembumian.

## Ikatan

Ikatan digunakan untuk menghubungkan bagian logam dari peralatan atau struktur bangunan ke sistem pentanahan. NEC menyatakan bahwa Pengikatan harus disediakan jika diperlukan untuk memastikan kontinuitas listrik dan kapasitas untuk menghantarkan dengan aman setiap arus gangguan yang mungkin terjadi. Pasal 250 NEC mencantumkan persyaratan dan spesifikasi untuk penyambungan peralatan. Bonding jumper adalah panjang kawat yang digunakan untuk menghubungkan peralatan ke sistem pentanahan. Beberapa contoh di mana jumper ikatan diperlukan adalah di sekitar sambungan yang rusak seperti ring pereduksi atau knockout yang terlalu besar, konsentris, atau eksentrik. Kotak logam, raceways, nampan kabel, selubung kabel, kabel lapis baja, pipa air logam, dan bagian bangunan logam yang terbuka juga harus direkatkan, Gambar 1-15.



**GAMBAR 1-15** Bond jumper digunakan untuk menghubungkan bagian listrik ke ground.

### 1.5 Menafsirkan Rencana Lokasi

Notasi yang biasanya tidak muncul pada denah lokasi telah ditambahkan ke denah Z1 denah yang terletak di bagian belakang teks. Notasi ini adalah alat bantu yang digunakan untuk menemukan titik-titik tertentu pada denah. Notasi diidentifikasi dengan tanda bintang diikuti oleh angka seperti \*1, \*2, dan seterusnya.

Lihat Rencana Lokasi Gabungan. Perhatikan tolok ukur yang terletak di kuadran tenggara denah. Ini adalah titik di mana surveyor mulai mengukur ketinggian yang terlihat pada rencana. Perhatikan bahwa beberapa garis elevasi memiliki tanda pagar yang bersilangan. Tanda hash menunjukkan bahwa bagian elevasi tersebut akan diubah. Temukan garis kontur untuk 748 dan 749. Bagian dari garis ini memiliki tanda pagar yang bersilangan dan sebagian tidak. Hanya bagian yang dilambangkan dengan tanda hash yang akan diubah.

Ketinggian baru ditunjukkan dengan garis tebal gelap. Garis-garis tebal gelap ini diperlihatkan terhubung di beberapa titik dengan garis kontur yang ada. Elevasi dari garis kontur penghubung menunjukkan seperti apa elevasi baru tersebut. Di posisi \*1, terletak di kuadran barat daya atas, garis gelap tebal menghubungkan dengan garis elevasi 749. Area yang ditunjukkan oleh garis kontur baru adalah 749. Temukan garis kontur baru yang menghubungkan dengan garis kontur 749 di \*2. Telusuri garis ini ke titik di mana ia bersinggungan dengan tata letak bangunan. Perhatikan bahwa seluruh bangunan diposisikan di area yang ditandai oleh dua garis kontur baru ini. Ini menunjukkan bahwa lokasi bangunan harus diubah menjadi 749 kaki yang seragam dalam persiapan untuk menuangkan pelat beton.

Ketinggian tempat baru digunakan untuk menunjukkan elevasi yang berbeda dari yang ditandai oleh rencana plot. Misalnya, cari garis kontur baru di \*3. Garis kontur baru ini

terhubung dengan garis kontur 747. Sekarang temukan ketinggian tempat baru di posisi \*4. Panah menunjuk ke saluran masuk trotoar. Drain inlet trotoar terletak di area yang diindikasikan 747 ft. Namun, elevasi spot baru menunjukkan bahwa drain inlet trotoar harus 0,3 ft (90 mm) lebih rendah dari area sekitarnya.

### **Layanan Telepon**

Layanan telepon disediakan oleh saluran yang mengalir dari tiang telepon. Saluran ini mengalir di bawah tanah pada kedalaman minimum 18 inci (450 mm) dan kemudian mengalir ke tiang telepon untuk jarak 8 kaki (2,5 m), Gambar 1-16. Tutup tiang standar sementara dipasang untuk melindungi peralatan dari air sampai kabel ditarik masuk. Perusahaan telepon kemudian melepas penutup ini dan memperpanjang saluran ke atas tiang ke titik sambungan. Ujung itu kemudian disegel dengan sambungan telepon khusus atau dengan senyawa yang disebut gunk. Siku saluran penyapu panjang atau tikungan seperempat dipasang di dasar tiang. Pada titik terendah pemasangan ini, alur V kecil dipotong atau lubang 3/8 inci (9,5 mm) dibor untuk drainase kelembaban. Lubang drainase ini dikenal sebagai lubang tangisan. Sebuah sumur kering kecil kemudian dibangun di bawah lubang tangisan dan diisi dengan batu. Kawat penarik (kawat ikan) dipasang di raceway dari tiang ke kotak persimpangan pada titik di mana ia memasuki gedung. Secara umum, kawat galvanis 12-gauge digunakan sebagai kawat ikan, tetapi tali nilon juga dapat digunakan.

### **Pengkabelan Pemakaman Langsung**

Teknisi listrik mungkin memiliki pilihan beberapa metode pemasangan kabel bawah tanah. Pemilihan metode yang akan digunakan tergantung pada jenis bahan yang tersedia dan apakah ketentuan harus dibuat untuk mengganti konduktor. Jika kabel penguburan langsung digunakan, Gambar 1-17, harus berhati-hati untuk melindungi kabel dari kerusakan. Misalnya, kabel dapat dipasang di tanah hingga kedalaman yang lebih dalam daripada saat penggalian normal dilakukan. Perlindungan tambahan diperoleh dengan menempatkan papan yang dirawat di atas kabel untuk memberikan pelindung terhadap penggalian dan pemeriksaan di dekat kabel. Kabel juga harus dikelilingi oleh lapisan pasir untuk mencegah abrasi kabel oleh batu tajam dan benda lain di dalam tanah.

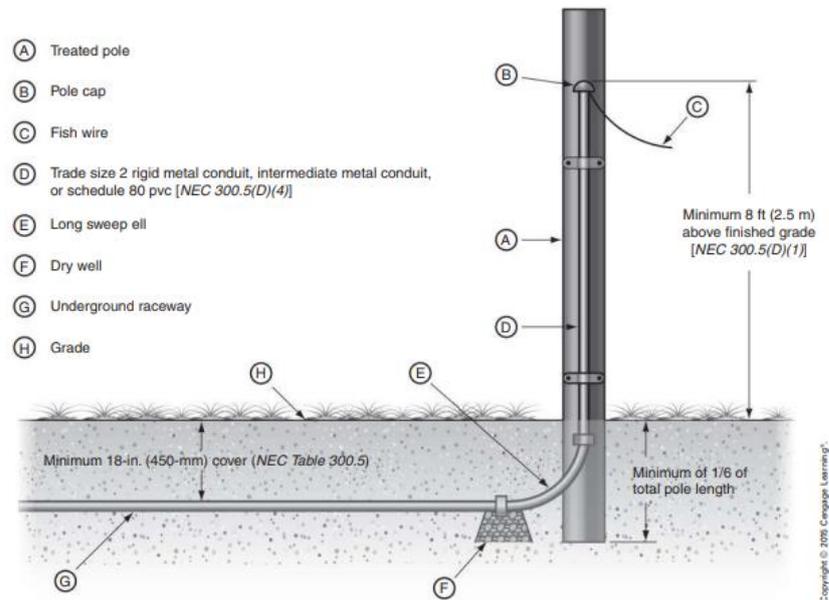
### **Arena Balap Bawah Tanah**

Meskipun jalur bawah tanah lebih mahal untuk dipasang, mereka memberikan banyak keuntungan yang tidak dimiliki oleh instalasi penguburan langsung, seperti memungkinkan pelepasan konduktor asli dan/atau pemasangan konduktor baru dengan peringkat arus atau tegangan yang lebih tinggi. Balap bawah tanah tersedia dalam sejumlah bahan yang berbeda, termasuk saluran logam kaku dan saluran nonlogam kaku.

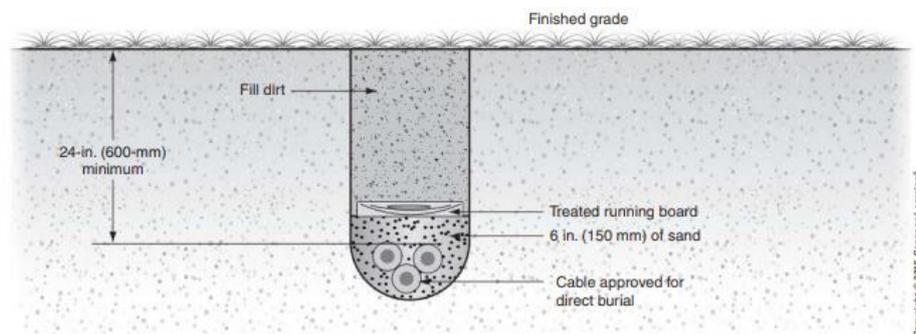
Saluran logam kaku dapat dipasang langsung di tanah jika (300.5 dan 300.6 dari National Electrical Code [NEC]):

- saluran besi (besi atau baja) tidak hanya mengandalkan enamel untuk perlindungan korosi;
- saluran terbuat dari bahan yang dinilai cocok untuk kondisi tersebut; dan
- saluran tidak ditempatkan dalam galian yang mengandung batu besar, bahan paving, abu, bahan bersudut besar atau tajam, atau bahan korosif.

Tindakan pencegahan khusus harus diambil saat menggunakan saluran nonferrous (aluminium) untuk mencegah saluran dari kontak dengan campuran natrium klorida (garam). Campuran beton sering menggunakan campuran tersebut untuk menurunkan suhu beku beton hijau. Reaksi kimia antara aluminium dan garam dapat menyebabkan beton retak atau terkelupas (chip atau fragmen). Ketika perlindungan diinginkan atau diperlukan untuk jenis raceway yang digunakan, beton dituangkan di sekitar saluran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1-18, dengan penutup minimal 2 inci (50 mm) sesuai dengan Tabel NEC 300.5.



**GAMBAR 1-16** Instalasi layanan telepon.



**GAMBAR 1-17** Pemasangan kabel penguburan langsung.

Penggunaan PVC tipe saluran polivinil klorida kaku tercakup dalam Pasal 352 NEC. Saluran ini dapat digunakan:

- tersembunyi di dinding, lantai, dan langit-langit;
- di bawah cinder fill;
- di lokasi yang mengalami kondisi korosif yang parah;
- di lokasi kering dan lembab;
- terkena di mana tidak mengalami kerusakan fisik; dan
- bawah tanah.

Jika sistem kelistrikan yang akan dipasang beroperasi pada potensial yang lebih tinggi dari 600 volt, saluran nonlogam harus terbungkus beton tidak kurang dari 2 inci (50 mm). Pasal 344 NEC memberikan persyaratan pemasangan untuk saluran logam kaku dan Pasal 352 NEC mencakup saluran pipa polivinil klorida kaku jenis PVC. Persyaratan minimum untuk pemasangan saluran dan kabel bawah tanah diberikan dalam Tabel NEC 300.5. Persyaratan instalasi umum adalah sebagai berikut.

Untuk kabel penguburan langsung:

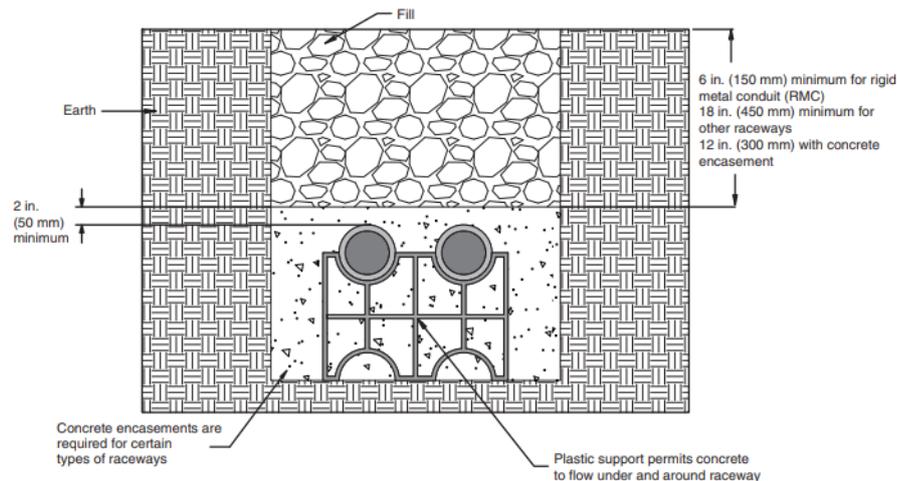
- kedalaman penguburan minimum adalah 24 inci (600 mm);
- bila perlu, perlindungan tambahan harus disediakan, seperti pasir, papan lari, atau selongsong;
- pengecualian perumahan mengizinkan penguburan kabel hingga kedalaman hanya 12 inci (300 mm) dengan perlindungan GFCI; NEC Tabel 300.5, kolom 4.

Untuk PVC tipe saluran polivinil klorida kaku:

- kedalaman penguburan minimum adalah 18 inci (450 mm);
- kedalaman penguburan 12 in. (300 mm) diizinkan jika penutup beton 2 in. (50 mm) disediakan di atas saluran;
- kedalaman penguburan 24 inci (600 mm) diperlukan di area yang dilalui lalu lintas kendaraan berat.

Untuk saluran kaku:

- kedalaman penguburan minimum adalah 6 inci (150 mm);
- kedalaman penguburan 24 inci (600 mm) diperlukan di area yang dilalui lalu lintas kendaraan berat.



**GAMBAR 1-18** Selubung beton dari raceways.

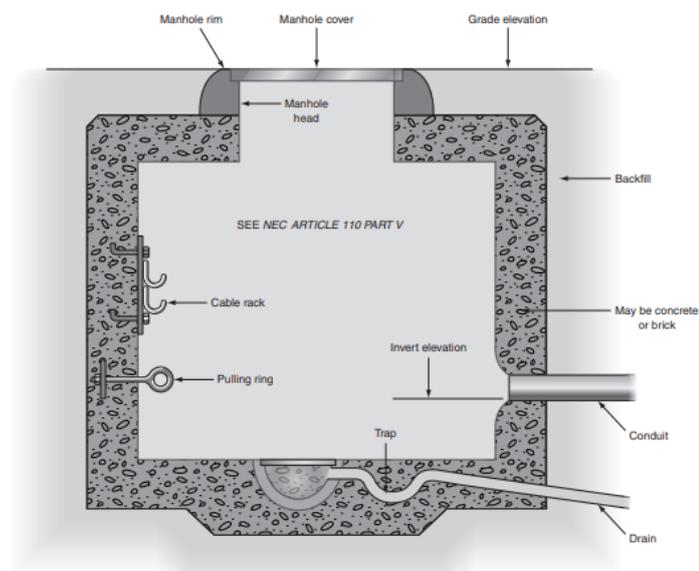
### lubang got

Balap bawah tanah berakhir di lubang got bawah tanah mirip dengan yang ditunjukkan pada Gambar 1-19. Lubang got ini bervariasi dalam ukuran tergantung pada jumlah dan ukuran raceways dan konduktor yang akan dipasang. Saluran pembuangan merupakan bagian penting dari instalasi karena menghilangkan kelembaban dan memungkinkan lubang got tetap

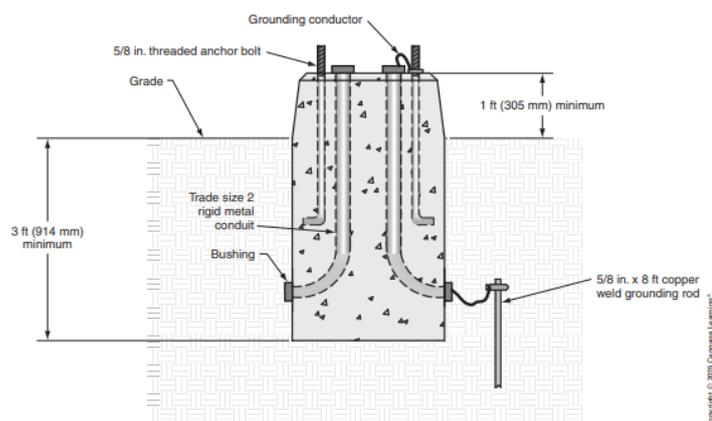
relatif kering. Jika saluran pembuangan badai tidak tersedia untuk drainase, pemasangan sumur kering adalah pilihan alternatif.

### Standar Pencahayaan

Sebagian besar jenis standar pencahayaan area memerlukan pemasangan dasar beton, Gambar 1-20. Pabrikan standar pencahayaan harus menyediakan templat untuk penempatan baut jangkar. Jika pabrikan gagal menyediakan template untuk penempatan baut jangkar, teknisi listrik harus menyediakan template untuk kontraktor umum. Saluran yang dipasang di dasar harus dilengkapi dengan busing di ujungnya untuk melindungi kabel. Adalah penting bahwa pembumian yang tepat dicapai pada setiap standar pencahayaan. Konduktor pembumian harus dipasang dengan konduktor suplai karena pembumian tidak dapat menjadi satu-satunya jalur pembumian; lihat 250.54. Bagian ini juga mengizinkan pemasangan elektroda pembumian tambahan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1-20. Adalah wajib bahwa semua bagian konduktif, termasuk elektroda pembumian, alas, baut, dan konduktor, direkatkan bersama untuk mencapai pembumian yang menyeluruh. Lihat 250.2, 250.134, dan 250.54.



**GAMBAR 1-19** Lubang got tipikal.



**GAMBAR 1-20** Dasar beton tipikal untuk standar penerangan area.

## 1.6 Metrik (SI) Dan NEC

Amerika Serikat adalah negara besar terakhir di dunia yang tidak menggunakan sistem metrik sebagai sistem utama. Kami sangat nyaman menggunakan nilai-nilai Bahasa Inggris (U.S. Customary), tetapi ini berubah. Pabrik sekarang menunjukkan dimensi inci-pon dan metrik dalam katalog mereka. Rencana dan spesifikasi proyek konstruksi dan renovasi baru pemerintah yang dimulai setelah 1 Januari 1994, telah menggunakan sistem metrik. Anda mungkin merasa tidak nyaman dengan metrik, tetapi metrik akan tetap ada. Anda mungkin juga terbiasa dengan sistem metrik.

Beberapa pengukuran panjang yang umum dalam sistem bahasa Inggris (Adat) ditunjukkan dengan ekuivalen metrik (SI) pada Tabel 1-2. NEC dan Standar National Fire Protection Association (NFPA) lainnya menjadi standar internasional. Semua pengukuran di NEC 2014 ditampilkan dengan metrik terlebih dahulu, diikuti dengan nilai inci-pon dalam tanda kurung—misalnya, 600 mm (24 inci). Dalam Pengkabelan Listrik—Industri, kemudahan dalam memahami adalah yang paling penting. Oleh karena itu, nilai inci-pon ditampilkan terlebih dahulu, diikuti dengan nilai metrik dalam tanda kurung—misalnya, 24 inci (600 mm).

**TABEL 1-2** Perbandingan kebiasaan dan metrik.

CUSTOMARY UNITS	NEC SI UNITS	SI UNITS
0.25 in.	6 mm	6.3500 mm
0.5 in.	12.7 mm	12.7000 mm
0.62 in.	15.87 mm	15.8750 mm
1.0 in.	25 mm	25.4000 mm
1.25 in.	32 mm	31.7500 mm
2 in.	50 mm	50.8000 mm
3 in.	75 mm	76.2000 mm
4 in.	100 mm	101.6000 mm
6 in.	150 mm	152.4000 mm
8 in.	200 mm	203.2000 mm
9 in.	225 mm	228.6000 mm
1 ft	300 mm	304.8000 mm
1.5 ft	450 mm	457.2000 mm
2 ft	600 mm	609.6000 mm
2.5 ft	750 mm	762.0000 mm
3 ft	900 mm	914.4000 mm
4 ft	1.2 m	1.2192 m
5 ft	1.5 m	1.5240 m
6 ft	1.8 m	1.8288 m
6.5 ft	2.0 m	1.9182 m
8 ft	2.5 m	2.4384 m
9 ft	2.7 m	2.7432 m
10 ft	3.0 m	3.0480 m
12 ft	3.7 m	3.6576 m
15 ft	4.5 m	4.5720 m
18 ft	5.5 m	5.4864 m
20 ft	6.0 m	6.0960 m
22 ft	6.7 m	6.7056 m
25 ft	7.5 m	7.6200 m
30 ft	9.0 m	9.1440 m
35 ft	11.0 m	10.6680 m
40 ft	12.0 m	12.1920 m
50 ft	15.0 m	15.2400 m
75 ft	23.0 m	22.8600 m
100 ft	30.0 m	30.4800 m

Konversi metrik lunak adalah ketika dimensi produk yang sudah dirancang dan diproduksi ke sistem inci-pon diubah dimensinya menjadi dimensi metrik. Produk tidak berubah ukuran. Pengukuran metrik keras adalah di mana produk telah dirancang untuk dimensi metrik SI. Tidak ada konversi dari unit pengukuran inci-pon yang terlibat. Konversi keras adalah di mana produk yang ada didesain ulang menjadi ukuran baru.

Pada NEC edisi 2014, dimensi inci-pon yang ada tidak berubah. Konversi metrik dibuat, lalu dibulatkan. Harap perhatikan bahwa saat membandingkan perhitungan yang dibuat oleh sistem bahasa Inggris dan metrik, akan terjadi sedikit perbedaan sebagai akibat dari metode konversi yang digunakan. Perbedaan ini tidak signifikan, dan perhitungan untuk kedua sistem karena itu valid. Jika pembulatan akan menimbulkan bahaya keamanan, konversi metrik identik secara matematis.

Misalnya, jika dimensi harus 6 kaki, itu ditampilkan di NEC sebagai 1,8 m (6 kaki). Perhatikan bahwa 6 kaki tetap sama, dan nilai metrik 1,83 m telah dibulatkan menjadi 1,8 M. Edisi Pengkabelan Listrik—Industri ini mencerminkan perubahan menyeluruh ini. Dalam teks ini, pengukuran inci-pon ditampilkan terlebih dahulu—misalnya, 6 kaki (1,8 m).

### Ukuran Perdagangan

Ada situasi unik. Kelihatannya aneh, apa yang disebut oleh teknisi listrik selama bertahun-tahun tidak benar! Ukuran raceway selalu merupakan perkiraan. Sebagai contoh, tidak pernah ada 1/2 in. raceway! Pengukuran yang diambil dari NEC untuk beberapa jenis raceways ditunjukkan pada Tabel 1-3.

**TABEL 1-3** Ukuran trade dari raceways vs. diameter dalam sebenarnya.

TRADE SIZE	INSIDE DIAMETER (I.D.)
1/2 Electrical Metal Tubing	0.622 in.
1/2 Electrical Nonmetallic Tubing	0.560 in.
1/2 Flexible Metal Conduit	0.635 in.
1/2 Rigid Metal Conduit	0.632 in.
1/2 Intermediate Metal Conduit	0.660 in.

**TABEL 1-4** Tabel ini menunjukkan penanda metrik untuk jalur balap melalui ukuran perdagangan 3.

METRIC DESIGNATOR AND TRADE SIZE	
METRIC DESIGNATOR	TRADE SIZE
12	3/8
16	1/2
21	3/4
27	1
35	1 1/4
41	1 1/2
53	2
63	2 1/2
78	3

Copyright © 2015 Cengage Learning®.

Anda dapat dengan mudah melihat bahwa luas penampang, yang penting saat menentukan pengisian konduktor, berbeda. Masuk akal untuk merujuk pada ukuran saluran, jalur balap, dan tabung sebagai ukuran perdagangan. NEC dalam 90.9(C)(1) menyatakan bahwa jika ukuran aktual yang diukur dari suatu produk tidak sama dengan ukuran nominal, penanda ukuran perdagangan harus digunakan daripada dimensi. Praktek perdagangan harus diikuti dalam semua kasus. Edisi Wiring Listrik—Industri ini menggunakan istilah trade size ketika mengacu pada conduit, raceways, dan tubing. Misalnya, alih-alih 12 in. tabung logam listrik (EMT), ini disebut sebagai ukuran perdagangan 1/2 EMT.

NEC juga menggunakan istilah penunjuk metrik. A 1/2 in. EMT ditampilkan sebagai penanda metrik 16 (1/2). A 1 in. EMT ditampilkan sebagai penunjuk metrik 27 (1). Angka 16 dan 27 adalah nilai penunjuk metrik. (1/2) dan (1) adalah ukuran perdagangan. Penanda metrik adalah diameter dalam lintasan—dalam milimeter yang dibulatkan (mm). Tabel 1-4 menunjukkan beberapa ukuran conduit, raceways, dan tubing yang lebih umum. Tabel lengkap dapat ditemukan di NEC, Tabel 300.1(C). Karena kemungkinan kebingungan, teks ini hanya menggunakan istilah ukuran perdagangan ketika mengacu pada ukuran saluran dan

jalur balap. KO saluran dalam kotak tidak sesuai dengan apa yang kita sebut mereka. Tabel 1-5 menunjukkan KO ukuran perdagangan dan pengukuran aktualnya.

**TABEL 1-5** Tabel ini membandingkan ukuran perdagangan KO dengan pengukuran KO yang sebenarnya.

TRADE SIZE KNOCKOUT	ACTUAL MEASUREMENT
$\frac{1}{2}$	$\frac{7}{8}$ in.
$\frac{3}{4}$	$1\frac{3}{32}$ in.
1	$1\frac{1}{8}$ in.

Copyright © 2015 Cengage Learning®.

Kotak outlet dan kotak perangkat menggunakan ukuran nominalnya sebagai ukuran perdagangannya. Misalnya, 4 inci × 4 inci × 11/2 inci tidak memiliki luas inci kubik internal 4 inci × 4 inci × 11/2 inci = 24 inci kubik. Tabel 314.16(A) menunjukkan kotak ukuran ini memiliki luas 21 inci.<sup>3</sup> Tabel ini menunjukkan ukuran perdagangan dalam dua kolom—milimeter dan inci. Tabel 1-6 memberikan dimensi terperinci dari beberapa ukuran tipikal kotak outlet dan perangkat dalam satuan metrik dan bahasa Inggris.

Dalam praktiknya, kotak outlet persegi disebut sebagai kotak persegi 4 × 4 × 11/2 inci, 4 × 4 × 11/2 kotak persegi, atau ukuran perdagangan 4 × 4 × 11/2 kotak persegi. Demikian pula, kotak perangkat geng tunggal dapat disebut sebagai kotak perangkat 3 × 2 × 3 inci, kotak perangkat dalam 3 × 2 × 3, atau kotak perangkat ukuran perdagangan 3 × 2 × 3. Jenis kotak harus selalu mengikuti nomor ukuran perdagangan.

Ukuran perdagangan untuk bahan konstruksi tidak akan berubah. A 2 × 4 benar-benar sebuah nama, bukan dimensi yang sebenarnya. Sebuah stud 2 × 4 masih akan disebut sebagai stud 2 × 4. Ini adalah ukuran perdagangannya. Dalam teks ini, pengukuran yang terkait langsung dengan NEC diberikan dalam satuan inci-pon dan metrik. Dalam banyak kasus, hanya unit inci-pon yang ditampilkan. Hal ini terutama berlaku untuk contoh perhitungan raceway, perhitungan box fill, dan perhitungan beban untuk area kaki persegi, dan pada denah (gambar). Menampilkan ukuran Inggris dan metrik pada sebuah rencana tentu akan membingungkan dan benar-benar akan mengacaukan rencana, membuatnya sulit untuk dibaca.

Karena NEC membulatkan sebagian besar nilai konversi metrik, penghitungan menggunakan metrik menghasilkan jawaban yang berbeda jika dibandingkan dengan penghitungan yang sama yang dilakukan menggunakan inci-pon. Misalnya, perhitungan beban untuk tempat tinggal didasarkan pada 3 volt-ampere per kaki persegi atau 33 volt-ampere per meter persegi.

TABEL 1-6 Tabel 314.16(A) Kotak Logam

Box Trade Size			Minimum Volume		Maximum Number of Conductors* (arranged by AWG size)						
			mm	in.	cm <sup>3</sup>	in. <sup>3</sup>	18	16	14	12	10
100 × 32	(4 × 1¼)	round/octagonal	205	12.5	8	7	6	5	5	5	2
100 × 38	(4 × 1½)	round/octagonal	254	15.5	10	8	7	6	6	5	3
100 × 54	(4 × 2⅙)	round/octagonal	353	21.5	14	12	10	9	8	7	4
100 × 32	(4 × 1¼)	square	295	18.0	12	10	9	8	7	6	3
100 × 38	(4 × 1½)	square	344	21.0	14	12	10	9	8	7	4
100 × 54	(4 × 2⅙)	square	497	30.3	20	17	15	13	12	10	6
120 × 32	(4⅞ × 1¼)	square	418	25.5	17	14	12	11	10	8	5
120 × 38	(4⅞ × 1½)	square	484	29.5	19	16	14	13	11	9	5
120 × 54	(4⅞ × 2⅙)	square	689	42.0	28	24	21	18	16	14	8
75 × 50 × 38	(3 × 2 × 1½)	device	123	7.5	5	4	3	3	3	2	1
75 × 50 × 50	(3 × 2 × 2)	device	164	10.0	6	5	5	4	4	3	2
75 × 50 × 57	(3 × 2 × 2¼)	device	172	10.5	7	6	5	4	4	3	2
75 × 50 × 65	(3 × 2 × 2½)	device	205	12.5	8	7	6	5	5	4	2
75 × 50 × 70	(3 × 2 × 2¾)	device	230	14.0	9	8	7	6	5	4	2
75 × 50 × 90	(3 × 2 × 3½)	device	295	18.0	12	10	9	8	7	6	3
100 × 54 × 38	(4 × 2⅙ × 1½)	device	169	10.3	6	5	5	4	4	3	2
100 × 54 × 48	(4 × 2⅙ × 1⅞)	device	213	13.0	8	7	6	5	5	4	2
100 × 54 × 54	(4 × 2⅙ × 2⅙)	device	238	14.5	9	8	7	6	5	4	2
95 × 50 × 65	(3¾ × 2 × 2½)	masonry box/gang	230	14.0	9	8	7	6	5	4	2
95 × 50 × 90	(3¾ × 2 × 3½)	masonry box/gang	344	21.0	14	12	10	9	8	7	4
min. 44.5 depth	FS — single cover/gang (1¼)		221	13.5	9	7	6	6	5	4	2
min. 60.3 depth	FD — single cover/gang (2⅞)		295	18.0	12	10	9	8	7	6	3
min. 44.5 depth	FS — multiple cover/gang (1¼)		295	18.0	12	10	9	8	7	6	3
min. 60.3 depth	FD — multiple cover/gang (2⅞)		395	24.0	16	13	12	10	9	8	4

\*Where no volume allowances are required by 314.16(B)(2) through (B)(5).

Untuk hunian 40 ft × 50 ft:

3 VA × 40 kaki × 50 kaki = 6000 volt-ampere.

Dalam metrik, menggunakan nilai yang dibulatkan di

NEC:

33 VA × 12 m × 15 m = 5940 volt-ampere.

Perbedaannya kecil, tetapi bagaimanapun, ada perbedaan. Untuk menampilkan perhitungan dalam kedua unit di seluruh teks ini akan sangat sulit untuk dipahami dan akan memakan terlalu banyak ruang. Perhitungan dalam metrik atau inci-pon sesuai dengan 90.9(D). Dalam 90.9(C)(3) kami menemukan bahwa satuan metrik tidak diperlukan jika praktik industri menggunakan satuan inci-pon. Sangat menarik untuk dicatat bahwa contoh di Bab 9 NEC menggunakan satuan inci-pon, bukan metrik.

### Panduan Penggunaan Metrik

Sistem metrik adalah sistem basis-10 atau desimal yang nilainya dapat dengan mudah dikalikan atau dibagi dengan 10 atau pangkat 10. Sistem metrik seperti yang kita kenal sekarang dikenal sebagai Sistem Satuan Internasional (SI) yang berasal dari bahasa Prancis istilah le System International d'Unités.

Di Amerika Serikat, merupakan praktik menggunakan titik sebagai penanda desimal dan koma untuk memisahkan serangkaian angka menjadi kelompok tiga agar lebih mudah dibaca. Di banyak negara, koma telah digunakan sebagai pengganti penanda desimal, dan spasi dibiarkan untuk memisahkan serangkaian angka menjadi tiga kelompok. Sistem SI,

mengambil sesuatu dari keduanya, menggunakan titik sebagai penanda desimal dan spasi untuk memisahkan serangkaian angka menjadi kelompok tiga, mulai dari titik desimal dan menghitung di kedua arah. Misalnya, 12345.789 99. Pengecualian untuk ini adalah bila ada empat angka di kedua sisi titik desimal. Dalam hal ini, angka ketiga dan keempat dari titik desimal tidak dipisahkan. Misalnya, 2015.1415.

Dalam sistem metrik, satuan bertambah atau berkurang dalam kelipatan 10.100.1000, dan seterusnya. Misalnya, satu megawatt (1.000.000 watt) adalah 1000 kali lebih besar dari satu kilowatt (1000 watt).

Dengan menetapkan nama untuk pengukuran, seperti watt, nama menjadi unit. Menambahkan awalan ke unit, seperti kilo-, membentuk nama baru kilo-watt, yang berarti 1000 watt. Lihat Tabel 1-7 untuk awalan yang digunakan dalam sistem numerik. Awalan tertentu yang ditunjukkan pada Tabel 1-7 memiliki preferensi dalam penggunaan. Awalan ini adalah mega-, kilo-, satuan itu sendiri, centi-, mili-, mikro-, dan nano-. Pertimbangkan bahwa satuan metrik dasar adalah meter (satu). Jadi, satu kilometer adalah 1000 meter, satu sentimeter adalah 0,01 meter, dan satu milimeter adalah 0,001 meter. Keuntungan dari sistem metrik SI adalah bahwa mengenali arti dari awalan yang tepat mengurangi kemungkinan kebingungan.

Dalam teks ini, ketika menulis angka, nama sering dieja secara lengkap, tetapi ketika digunakan dalam perhitungan, disingkat. Misalnya: m untuk meter, mm untuk milimeter, inci untuk inci, dan ft untuk kaki. Sangat menarik untuk dicatat bahwa singkatan untuk inci diikuti oleh periode (12 inci), tetapi singkatan untuk kaki tidak diikuti oleh periode (6 kaki). Mengapa? Karena ft. adalah singkatan dari fort.

## 1.7 Kesimpulan

Seiring berjalannya waktu, tidak ada keraguan bahwa metrik akan umum digunakan di negara ini. Sementara itu, kita perlu melakukannya dengan lambat dan mudah. Transisi akan memakan waktu. Tabel 1-8 menunjukkan faktor konversi yang berguna untuk mengonversi satuan bahasa Inggris ke satuan metrik.

**TABEL 1-7** Awalan sistem numerik.

NAME	EXPONENTIAL	METRIC (SI)	SCRIPT	CUSTOMARY
mega	(10 <sup>6</sup> )	1 000 000	one million	1, 000, 000
kilo	(10 <sup>3</sup> )	1 000	one thousand	1000
hecto	(10 <sup>2</sup> )	100	one hundred	100
deka		10	ten	10
unit		1	one	1
deci	(10 <sup>-1</sup> )	0.1	one-tenth	1/10 or 0.1
centi	(10 <sup>-2</sup> )	0.01	one-hundredth	1/100 or 0.01
milli	(10 <sup>-3</sup> )	0.001	one-thousandth	1/1000 or 0.001
micro	(10 <sup>-6</sup> )	0.000 001	one-millionth	1/1,000,000 or 0.000,001
nano	(10 <sup>-9</sup> )	0.000 000 001	one-billionth	1/1,000,000,000 or 0.000,000,001

**TABEL 1-8** Konversi yang berguna dan singkatannya.

inches (in.) $\times$ 0.0254 = meter (m)	square centimeters (cm <sup>2</sup> ) $\times$ 0.155 = square inches (in. <sup>2</sup> )
inches (in.) $\times$ 0.254 = decimeters (dm)	square feet (ft <sup>2</sup> ) $\times$ 0.093 = square meters (m <sup>2</sup> )
inches (in.) $\times$ 2.54 = centimeters (cm)	square meters (m <sup>2</sup> ) $\times$ 10.764 = square feet (ft <sup>2</sup> )
centimeters (cm) $\times$ 0.3937 = inches (in.)	square yards (yd <sup>2</sup> ) $\times$ 0.8361 = square meters (m <sup>2</sup> )
millimeters (mm) = inches (in.) $\times$ 25.4	square meters (m <sup>2</sup> ) $\times$ 1.196 = square yards (yd <sup>2</sup> )
millimeters (mm) $\times$ 0.039 37 = inches (in.)	kilometers (km) $\times$ 1 000 = meters (m)
feet (ft) $\times$ 0.3048 = meters (m)	kilometers (km) $\times$ 0.621 = miles (mi)
meters (m) $\times$ 3.2802 = feet (ft)	miles (mi) $\times$ 1.609 = kilometers (km)
square inches (in. <sup>2</sup> ) $\times$ 6.452 = square centimeters (cm <sup>2</sup> )	

## 1.8 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap, dan perhitungan harus ditampilkan secara rinci.

1. Buatlah satu set gambar konstruksi, di mana seorang teknisi listrik akan menemukan informasi tentang lokasi dan penempatan sebuah bangunan?
2. Dari informasi Site Plan Gabungan, dimanakah area terendah pada tapak dan berapa ketinggiannya?
3. Dengan menggunakan skala, berapakah panjang, dalam satuan kaki, dari “jejak kaki” bangunan industri tersebut?
4. Berapakah elevasi, pada tiang, dari dasar parit yang digali untuk memasang layanan telepon menggunakan saluran nonlogam yang kaku?
5. Raceways ditentukan untuk digunakan di bawah trotoar dan drive untuk pemasangan kabel bawah tanah yang melayani penerangan lokasi. Berapa meter raceway yang harus dipesan untuk pemasangan ini?
6. Apa perbedaan, dalam satuan SI, antara kontur terendah dan tertinggi?

Untuk menjawab pertanyaan berikut, periksa denah komposit, elevasi utara dan barat, simbol denah lokasi, dan NEC.

1. Berapa elevasi pelek lubang got di mana tolok ukur dipasang?
2. Berapa elevasi lantai pertama gedung industri?
3. Berapa jarak vertikal dari tepi lubang got ke lantai pertama gedung industri? (Ukur dalam kaki desimal.)
4. Berapa jarak vertikal dari tepi lubang got ke lantai pertama gedung industri, diukur dalam kaki dan inci yang akurat hingga 1/16 inci?
5. Di mana area yang disukai untuk lokasi trailer konstruksi? Mengapa Anda memilih daerah itu?
6. Ditentukan bahwa saluran nonlogam kaku untuk layanan telepon dapat dipasang di parit dengan elevasi dasar 743,65 kaki. Jika saluran dibiarkan naik sejauh 1 kaki, berapa kedalaman parit di gedung?
7. Jarak dari lantai satu sayap kantor ke lantai dua adalah berapa meter?
8. Kabel yang berisi dua konduktor berinsulasi dan kabel pembumian telanjang dipasang pada standar penerangan yang dipasang pada alas yang serupa dengan yang ditunjukkan pada Gambar 1-20. Asumsikan Anda adalah teknisi listrik yang bertanggung jawab. Instruksi apa yang akan Anda berikan kepada magang tahun pertama yang akan membuat koneksi grounding?

9. Mengapa perlu memiliki sistem pentanahan yang baik untuk bangunan?
10. Apa tiga metode paling umum untuk menentukan tahanan tanah?

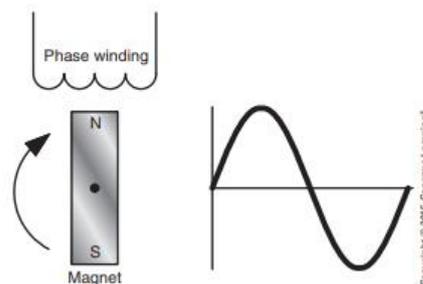
## BAB 2 UNIT GARDU INDUK

### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

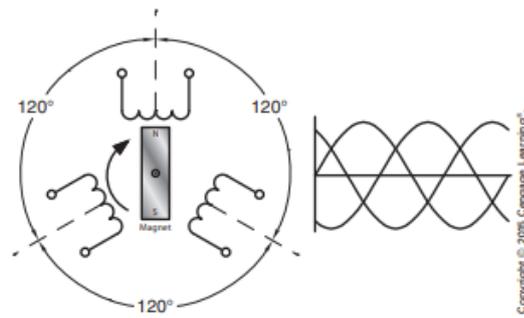
- menentukan fungsi komponen dari unit gardu induk.
- pilih ukuran sekering tegangan tinggi yang tepat.
- menjelaskan cara menyetel tap trafo.
- menjelaskan cara kerja detektor pembumian.
- mengidentifikasi koneksi pengukuran yang tepat.
- mendiskusikan perbedaan antara koneksi 3 fase wye dan delta.
- menghitung nilai tegangan dan arus saluran dan fasa untuk sambungan 3 fasa wye dan delta.
- mendiskusikan berbagai jenis koneksi pintu masuk layanan.

Perusahaan utilitas umumnya memasok listrik 3 fase ke pelanggan industri. Persyaratan lokasi industri menentukan jenis sambungan layanan-masuk, tegangan, dan kapasitas arus. Untuk memahami perbedaan antara daya fase tunggal dan 3 fase, bayangkan belitan fase tunggal dan medan magnet yang berputar, Gambar 2-1. Magnet yang berputar menghasilkan gelombang sinus tunggal. Daya tiga fasa dihasilkan dengan menempatkan tiga belitan fasa yang berbeda pada jarak  $120^\circ$ . Medan magnet yang berputar menghasilkan tiga gelombang sinus terpisah dengan jarak  $120^\circ$ , Gambar 2-2.

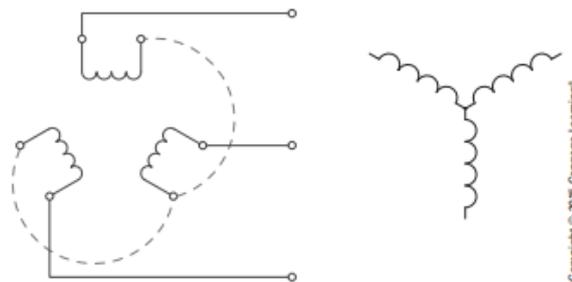


**GAMBAR 2-1** Daya fase tunggal dihasilkan dengan memutar medan magnet pada belitan tunggal.

Ada dua jenis utama dari koneksi 3-fase: wye, atau bintang, dan delta. Sambungan wye dibuat dengan menghubungkan salah satu ujung dari setiap fase yang berliku bersama-sama pada titik pusat, Gambar 2-3. Dalam contoh ini, diasumsikan bahwa ujung akhir dari setiap belitan fase dihubungkan bersama. Ujung awal setiap belitan adalah titik koneksi ke sirkuit luar. Secara skematis, koneksi terlihat seperti huruf Y atau bintang tiga titik. Sambungan delta dibentuk dengan menghubungkan ujung akhir belitan ke ujung awal belitan lain, Gambar 2-4.

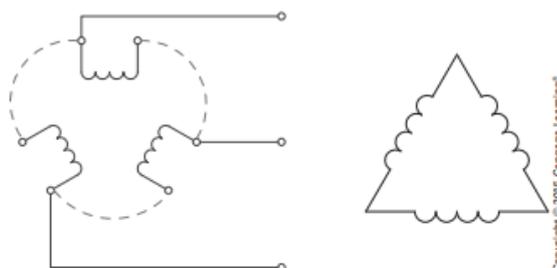


**GAMBAR 2-2** Daya tiga fasa dihasilkan dengan menempatkan belitan tiga fasa terpisah 120°.

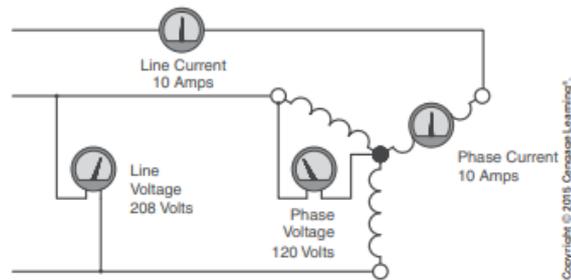


**GAMBAR 2-3** Sambungan wye dibuat dengan menghubungkan salah satu ujung dari setiap belitan fasa bersama-sama.

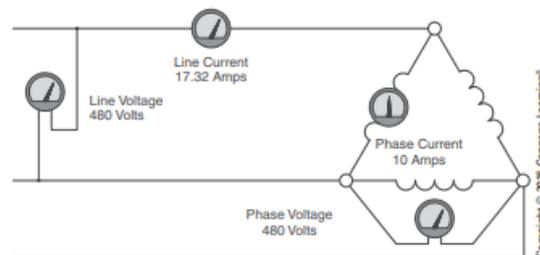
Jika koneksi digambar secara skematis, sepertinya huruf Yunani delta ( $\Delta$ ). Masing-masing koneksi ini menunjukkan karakteristik yang berbeda. Sambungan tiga fasa memiliki dua nilai tegangan dan arus yang berbeda. Salah satunya adalah nilai garis-ke-garis, umumnya disebut nilai garis, dan yang lainnya adalah nilai fase. Dalam sambungan wye, nilai tegangan saluran dan arus saluran adalah nilai yang terkait dengan saluran yang terhubung. Nilai fase tegangan dan arus adalah nilai yang terkait dengan masing-masing belitan fase individu, Gambar 2-5. Dalam sambungan wye, tegangan fasa lebih kecil dari tegangan saluran dengan faktor akar kuadrat 3. Dalam contoh yang ditunjukkan, beban tersambung-wye disuplai oleh sumber daya 3 fasa 208 volt.



**GAMBAR 2-4** Sambungan delta dibuat oleh: menghubungkan ujung akhir dari satu fase berliku ke ujung awal yang lain.



**GAMBAR 2-5** Dalam sambungan wye, tegangan fasa lebih kecil dari tegangan saluran dengan faktor akar kuadrat dari 3. Arus saluran dan arus fasa adalah sama.



**GAMBAR 2-6** Pada sambungan delta, tegangan fasa dan tegangan saluran adalah sama. Arus fasa lebih kecil dari arus saluran dengan faktor akar kuadrat dari 3.

Tegangan di setiap fasa belitan, bagaimanapun, adalah 120 volt.

$$E_{(\text{Phase})} = \frac{E_{(\text{Line})}}{\sqrt{3}}$$

$$E_{(\text{Phase})} = \frac{208}{1.732}$$

$$E_{(\text{Phase})} = 120 \text{ V}$$

Dalam sambungan wye, tegangan saluran lebih besar dari tegangan fasa dengan faktor akar kuadrat 3. Asumsikan bahwa beban tersambung wye memiliki tegangan fasa 277 volt. Tegangan saluran yang terhubung ke beban adalah 480 volt.

$$E_{(\text{Line})} = E_{(\text{Phase})} \times \sqrt{3}$$

$$E_{(\text{Line})} = 277 \times 1.732$$

$$E_{(\text{Line})} = 480 \text{ V}$$

Dalam koneksi wye, arus saluran dan arus fasa adalah sama.

$$I_{(\text{Line})} = I_{(\text{Phase})}$$

Dalam hubungan delta, arus fasa lebih kecil dari arus saluran dengan faktor akar kuadrat dari 3, Gambar 2-6. Dalam contoh yang ditunjukkan, beban delta 3-fase terhubung ke 480 volt. Arus saluran yang mensuplai beban adalah 17,32 ampere. Arus fasa hanya 10 ampere.

$$I_{(\text{Phase})} = \frac{I_{(\text{Line})}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{(\text{Phase})} = \frac{17.32}{1.732}$$

$$I_{(\text{Phase})} = 10 \text{ A}$$

Dalam hubungan delta arus saluran lebih besar dari arus fasa dengan faktor akar kuadrat dari 3.

$$I_{(\text{Line})} = I_{(\text{Phase})} \times \sqrt{3}$$

Pada sambungan delta tegangan saluran dan tegangan fasa adalah sama

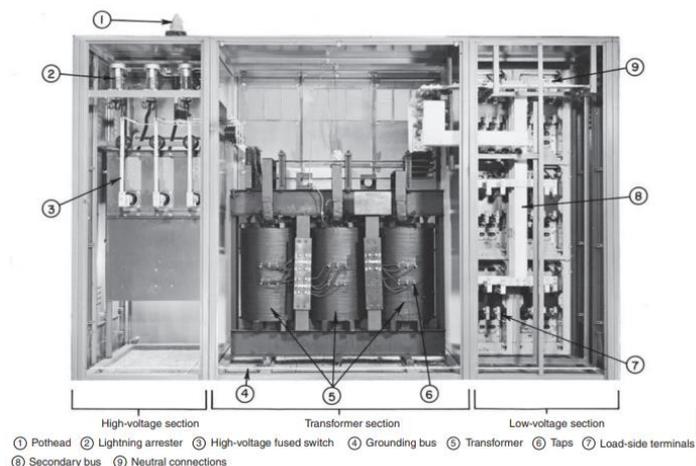
$$E_{(\text{Line})} = E_{(\text{Phase})}$$

Perusahaan listrik biasanya memasok layanan tegangan tinggi ke gedung dan kompleks komersial atau industri besar. Pelanggan memiliki transformator step-down, meteran, dan peralatan switching yang diperlukan untuk memasok beban tegangan rendah. Peralatan ini ditempatkan di unit gardu, Gambar 2-7. Unit gardu terdiri dari tiga kompartemen: bagian tegangan tinggi, bagian transformator, dan bagian tegangan rendah.

## 2.1 Bagian Tegangan Tinggi

### Kepala Pot

Bagian tegangan tinggi harus mencakup sarana di mana saluran masuk dapat diakhiri. Perangkat yang disebut pothead menyediakan metode yang andal untuk mengakhiri kabel tegangan tinggi, Gambar 2-7 dan Gambar 2-8. Untuk menghubungkan kabel tertutup timah yang masuk di kepala pot, kabel dibuka dan konduktor dibuka beberapa inci. Selongsong penyeka pothead dipotong sampai bukaan adalah ukuran yang benar untuk menerima kabel. Kabel kemudian dimasukkan sampai selubung timah berada di dalam selongsong.



**GAMBAR 2-7** Satuan Gardu Induk.

Langkah-langkah berikut kemudian diselesaikan dalam urutan yang diberikan: (1) Konduktor kabel dihubungkan ke terminal di ujung isolator porselen; (2) kabel utama diseka (disolder) ke selongsong penyeka; dan (3) pothead diisi dengan senyawa pelindung dan penyekat (biasanya terbuat dari dasar aspal atau resin). Instalasi pothead sekarang siap untuk koneksi eksternal. Beberapa tindakan pencegahan harus diperhatikan ketika pothead diisi dengan senyawa yang dipilih. Pertama, senyawa yang benar dipanaskan sampai suhu tertentu (biasanya antara 250 ° F dan 450 ° F). Pothead kemudian diisi sesuai dengan instruksi pabrik. Sangat hati-hati harus diambil untuk memastikan bahwa rongga tidak terjadi di dalam pothead di mana kelembaban dapat menumpuk.

### Penangkal Petir

Penangkal petir, Gambar 2-9, dipasang pada bangunan di daerah di mana badai petir sering terjadi. Perangkat ini dirancang untuk menyediakan jalur impedansi rendah ke tanah untuk setiap arus lonjakan seperti yang dihasilkan dari sambaran petir. Arester surja yang dipasang sesuai dengan persyaratan Pasal 280 NEC harus dipasang pada setiap konduktor layanan overhead yang tidak diarde. Lihat 230.209. Komponen internal arester bervariasi menurut jenis arester dan aplikasi spesifik. Teknisi listrik harus memastikan bahwa sambungan arde yang baik dibuat ke arester.

Tips: Jika bagian transformator dari unit gardu induk akan diuji megohmmeter, sambungan saluran ke arester harus diputuskan selama pengujian untuk mencegah pembacaan arde yang salah.

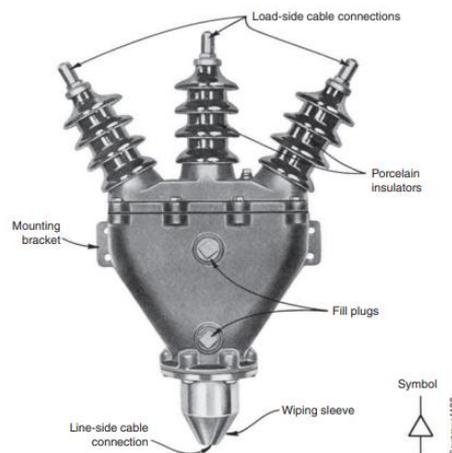
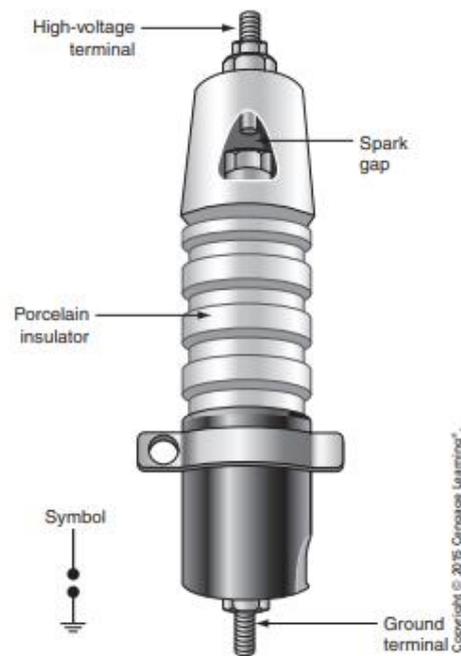


FIGURE 2-8 Pothead.

**GAMBAR 2-8** Pothead.

### Sekering Pembatas Arus Tegangan Tinggi

Sekering pembatas arus tegangan tinggi dipasang sebagai perangkat pelindung dalam sistem distribusi daya seperti yang dipasang di gedung industri. Pemilihan sekering yang tepat didasarkan pada beberapa faktor, termasuk peringkat arus kontinu, peringkat tegangan, peringkat frekuensi, peringkat interupsi, dan koordinasi. Sekering yang dipilih untuk instalasi tertentu harus memenuhi persyaratan tegangan dan frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya. Sekering tersedia untuk sistem 25- dan 60-hertz dan untuk peringkat tegangan 2400 volt ke atas, Gambar 2-10.



**GAMBAR 2-9** Penangkal petir.

### Peringkat Saat Ini Berkelanjutan

Sekering tegangan tinggi tersedia dengan peringkat N atau E. Peringkat ini menunjukkan bahwa standar tertentu yang ditetapkan oleh Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. (IEEE) dan National Electrical Manufacturers Association (NEMA) telah dipenuhi. Peringkat N mewakili seperangkat standar yang lebih lama dan menunjukkan bahwa tautan sekering tipe kabel akan terbuka dalam waktu kurang dari 300 detik pada beban 220% dari arus pengenalnya.

Sekering tipe-E dengan nilai 100 ampere atau kurang akan terbuka dalam 300 detik pada arus 200% hingga 240% dari peringkatnya. Di atas 100 ampere, sekering berperingkat-E akan terbuka dalam 600 detik pada arus 220 hingga 264% dari arus pengenalnya. Namun, teknisi listrik harus memperhatikan bahwa sekering berperingkat-E tidak memberikan perlindungan dalam kisaran satu hingga dua kali nilai arus beban kontinu.

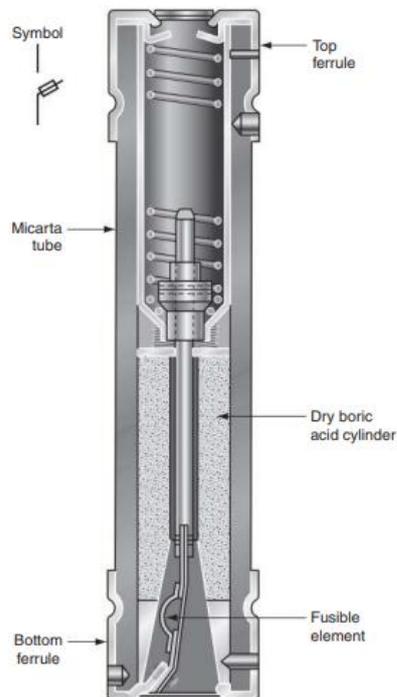
Pemilihan sekering dengan rating arus kontinu yang benar untuk memberikan perlindungan transformator didasarkan pada rekomendasi berikut:

- pilih sekering dengan rating terendah yang memiliki waktu leleh minimum 0,1 detik pada 12 kali rating arus kontinu transformator;
- pilih sekering dengan rating arus kontinu 1,6 kali nilai arus kontinu transformator;
- pilih sekering yang sesuai dengan Pasal 450 NEC.

## 2.2 Proteksi Trafo

Secara umum, sekering dipilih untuk proteksi tegangan tinggi karena lebih murah daripada jenis proteksi lainnya, sangat andal, dan tidak memerlukan perawatan sebanyak pemutus sirkuit. Perlindungan akan lebih ditingkatkan jika perangkat pelindung memiliki peringkat interupsi yang tepat.

Peringkat interupsi minimum yang diizinkan untuk sekering dalam instalasi tertentu adalah arus gangguan simetris maksimum yang tersedia di lokasi sekering. Perusahaan listrik akan memberikan informasi saat diminta dan akan merekomendasikan peringkat sekering yang melebihi nilai ini.



**GAMBAR 2-10** Tampilan potongan sekering tegangan tinggi.

### 2.3 Proteksi Arus Lebih

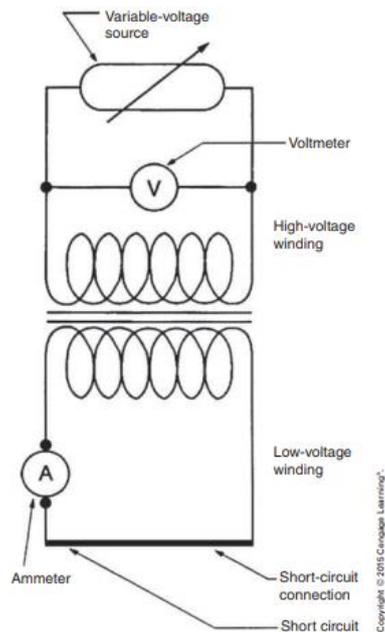
#### Peringkat Interupsi

Seperti yang dinyatakan sebelumnya, peringkat maksimum perangkat arus lebih untuk transformator dengan peringkat 1000 volt atau lebih tinggi ditetapkan dalam Tabel NEC 450.3(A). Untuk menggunakan tabel ini, persen impedansi (%Z) dari transformator harus diketahui. Nilai ini tertera pada pelat nama transformator dengan nilai 25 kVA dan lebih besar. Lihat 450.11. Impedansi sebenarnya dari sebuah transformator ditentukan oleh konstruksi fisiknya, seperti ukuran kawat pada belitan, jumlah lilitan, jenis bahan inti, dan efisiensi magnetik dari konstruksi inti. Persen impedansi adalah nilai empiris yang dapat digunakan untuk memprediksi kinerja transformator. Ini adalah praktik umum untuk menggunakan simbol %Z untuk mewakili persen impedansi. Persentase harus dikonversi ke bentuk desimal sebelum dapat digunakan dalam rumus matematika.

Ketika konversi ini telah dibuat, simbol  $\bullet Z$  akan digunakan untuk mewakili impedansi desimal, yaitu persen impedansi dalam bentuk desimal. Nilai persen dikonversi ke nilai numerik dengan memindahkan titik desimal dua tempat ke kiri; dengan demikian, 5,75% menjadi 0,0575. Nilai ini tidak memiliki satuan, karena mewakili rasio.

Saat bekerja dengan transformator apa pun, penting untuk mengingat arti penuh dari istilah primer dan sekunder dan tegangan tinggi dan tegangan rendah. Primer adalah belitan yang disambungkan ke sumber tegangan; sekunder adalah belitan yang terhubung ke beban

listrik. Sumber dapat dihubungkan ke terminal tegangan rendah atau tegangan tinggi transformator. Jika seseorang secara tidak sengaja menghubungkan sumber tegangan tinggi ke terminal tegangan rendah, transformator akan meningkatkan tegangan dengan rasio putaran. Trafo 600 volt hingga 200 volt akan menjadi trafo 600 volt hingga 1800 volt jika sambungannya dibalik. Hal ini tidak hanya akan menciptakan situasi yang sangat berbahaya tetapi juga dapat mengakibatkan kerusakan permanen pada transformator karena aliran arus yang berlebihan pada belitan. Selalu berhati-hati saat bekerja dengan transformator, dan jangan pernah menyentuh terminal kecuali sumber listrik telah diputuskan.



**GAMBAR 2-11** Menentukan impedansi transformator.

Impedansi persen diukur dengan menghubungkan ammeter melintasi terminal tegangan rendah dan sumber tegangan variabel melintasi terminal tegangan tinggi. Susunan ini ditunjukkan pada Gambar 2-11. Sambungan ammeter adalah hubungan pendek sekunder transformator. Sebuah ammeter harus dipilih yang memiliki skala dengan sekitar dua kali rentang nilai yang akan diukur sehingga pembacaan akan diambil di tengah rentang. Jika arus yang akan diukur diperkirakan sekitar 30 ampere, meter dengan kisaran 0 hingga 60 ampere akan ideal. Menggunakan meteran dengan jangkauan di bawah 40 ampere atau lebih dari 100 ampere mungkin tidak memungkinkan pembacaan yang akurat.

Setelah sambungan dibuat, tegangan dinaikkan sampai ammeter menunjukkan arus beban penuh pengenal dari sekunder (belitan tegangan rendah). Nilai tegangan sumber kemudian digunakan untuk menghitung impedansi desimal ( $\bullet Z$ ).  $\bullet Z$  ditemukan dengan menentukan rasio tegangan sumber dibandingkan dengan tegangan pengenal dari belitan tegangan tinggi.

### CONTOH

Asumsikan bahwa transformator yang ditunjukkan pada Gambar 2-11 adalah transformator 2400/480 volt, 15 kVA. Untuk menentukan impedansi transformator, pertama-tama hitung nilai arus beban penuh dari belitan sekunder. Mengingat peringkat transformator dalam VA, dan tegangan sekunder  $E$ , arus sekunder  $I$  dapat dihitung:

$$I = \frac{VA}{E} = \frac{15,000}{480} = 31.25 \text{ amperes}$$

Selanjutnya naikan tegangan sumber yang terhubung pada belitan tegangan tinggi hingga terdapat arus sebesar 31,25 ampere pada belitan tegangan rendah. Untuk tujuan contoh ini, asumsikan bahwa nilai tegangan menjadi 138 volt. Akhirnya, tentukan rasio tegangan sumber dibandingkan dengan tegangan pengenal.

$$\begin{aligned} .Z &= \frac{\text{Source voltage}}{\text{Rated voltage}} \\ &= \frac{138}{2400} = 0.0575 \end{aligned}$$

Untuk mengubah nilai desimal menjadi %Z, pindahkan koma desimal dua tempat ke kanan dan tambahkan tanda %. Ini sama dengan mengalikan nilai desimal dengan 100.

$$\%Z = 5.75\%$$

Impedansi transformator adalah faktor utama dalam menentukan jumlah jatuh tegangan yang akan ditunjukkan oleh transformator antara tanpa beban dan beban penuh dan dalam menentukan arus pada kondisi hubung singkat. Ketika impedansi transformator diketahui, dimungkinkan untuk menghitung arus hubung singkat maksimum yang mungkin. Ini akan menjadi skenario terburuk, dan arus hubung singkat yang tersedia akan berkurang karena panjang kabel penghubung meningkatkan impedansi. Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung nilai arus hubung singkat ketika impedansi transformator diketahui.

$$\begin{aligned} \text{(Single-phase) } I_{sc} &= \frac{VA}{E \times .Z} \\ \text{(3-phase) } I_{sc} &= \frac{VA}{E \times \sqrt{3} \times .Z} \end{aligned}$$

Persamaan  $I = VA/.Z$  dibaca “ampere sama dengan volt-ampere dibagi dengan impedansi desimal.” Persamaan ini bukan penerapan hukum Ohm karena impedansi desimal tidak diukur dalam ohm. Tujuan persamaan tersebut adalah untuk menentukan arus dalam suatu rangkaian ketika kapasitas transformator (volt-ampere) dan persen impedansi diberikan. Persamaan untuk menghitung arus pengenal untuk transformator satu fasa adalah:

$$I = \frac{VA}{E}$$

Persamaan untuk menghitung arus pengenal untuk transformator 3 fasa adalah

$$I = \frac{VA}{E \times \sqrt{3}}$$

Arus hubung singkat dapat ditentukan dengan membagi arus sekunder pengenal dengan impedansi desimal transformator:

$$I_{sc} = \frac{I_{\text{SECONDARY}}}{.Z}$$

Arus hubung singkat untuk transformator pada contoh sebelumnya adalah:

$$\begin{aligned} I_{sc} &= \frac{31.25}{0.0575} \\ &= 543.5 \text{ amperes} \end{aligned}$$

## 2.4 Menentukan Ukuran Sekring (Fuse) Trafo

Nilai impedansi transformator juga digunakan untuk menentukan ukuran sekering untuk belitan primer dan sekunder. Diasumsikan bahwa transformator yang ditunjukkan pada Gambar 2-11 adalah transformator step-down dan belitan 2400 volt digunakan sebagai primer dan belitan 480 volt digunakan sebagai sekunder. Tabel NEC 450.3(A) menunjukkan bahwa ukuran sekering untuk primer lebih dari 1000 volt dan memiliki impedansi 6% atau kurang adalah 300% dari arus pengenal. Arus pengenal untuk belitan primer dalam contoh ini adalah

$$I = \frac{15.000}{2400} \\ = 6.25 \text{ amperes}$$

Ukuran sekering akan menjadi :

$$6,25 \times 3,00 = 18,75 \text{ ampere}$$

NEC Tabel 450.3(A) Catatan 1 mengizinkan penggunaan peringkat sekering yang lebih tinggi berikutnya jika nilai yang dihitung tidak sesuai dengan salah satu ukuran sekering standar yang tercantum dalam 240.6. Ukuran sekering standar yang lebih tinggi berikutnya adalah 20 ampere.

Tabel NEC 450.3(A) menunjukkan bahwa jika tegangan sekunder 1000 volt atau kurang, ukuran sekering akan diatur pada 125% dari arus sekunder pengenal. Dalam contoh ini, ukuran sekering akan menjadi

$$31,25 \times 1,25 = 39,06 \text{ ampere}$$

Sekering 40 ampere akan digunakan sebagai gawai pelindung hubung singkat sekunder, Gambar 2-12.

### Transformer Dinilai 1000 Volt atau Kurang

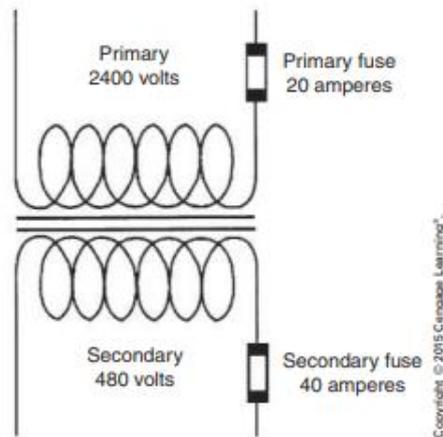
Proteksi sekering untuk transformator dengan nilai 1000 volt atau kurang ditetapkan oleh 450,3(B). Jika arus primer pengenal kurang dari 9 ampere, perangkat proteksi arus lebih dapat diatur tidak lebih dari 167% dari nilai ini. Jika arus primer kurang dari 2 ampere, perangkat pelindung hubung singkat dapat diatur tidak lebih dari 300% dari nilai ini. Perhatikan bahwa jika arus primer adalah 9 ampere atau lebih, diperbolehkan untuk meningkatkan ukuran sekering ke peringkat standar tertinggi berikutnya. Jika arus primer kurang dari 9 ampere, ukuran sekering terendah berikutnya harus digunakan.

NEC 450.3(B) hanya membahas transformator yang memiliki proteksi hubung singkat pada belitan primer dan sekunder. Jika belitan sekunder diproteksi dengan gawai proteksi arus lebih yang pengenalnya tidak lebih dari 125% dari arus pengenal sekunder, belitan primer tidak harus dilengkapi dengan proteksi arus lebih terpisah jika penyulang yang disambungkan diproteksi dengan gawai proteksi arus lebih yang pengenalnya tidak lebih dari 250% arus primer.

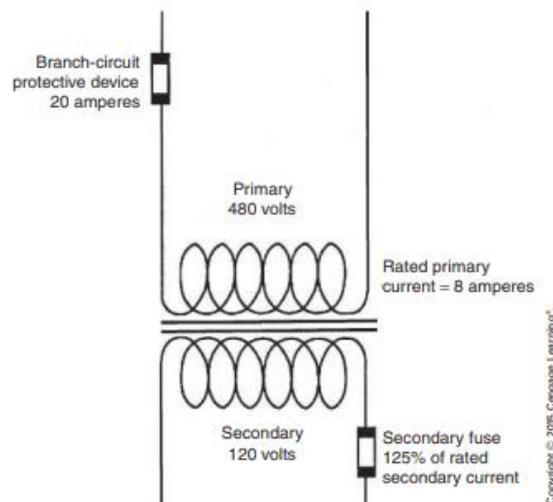
### CONTOH

Asumsikan bahwa transformator memiliki tegangan 480/120 volt, dan belitan sekunder diproteksi dengan sekering yang tidak lebih besar dari 125% dari arus pengenalnya. Sekarang asumsikan bahwa arus primer pengenal transformator ini adalah 8 ampere. Jika

penyulang yang mensuplai primer transformator diproteksi dengan gawai proteksi arus lebih dengan nilai 20 ampere atau kurang ( $8 \times 2,50 = 20$ ), primer transformator tidak memerlukan proteksi arus lebih yang terpisah, Gambar 2-13. Kode lebih lanjut menyatakan dalam 450.3(B) bahwa jika transformator pengenal pada 1000 volt atau kurang dan telah dilengkapi dengan perangkat kelebihan beban termal pada belitan primer oleh pabrikan, tidak ada proteksi primer lebih lanjut yang diperlukan jika gawai proteksi arus lebih pengumpan adalah tidak lebih besar dari enam kali arus primer untuk transformator dengan impedans pengenal tidak lebih dari 6%, dan tidak lebih dari empat kali arus pengenal primer untuk transformator dengan impedansi pengenal lebih besar dari 6% tetapi tidak lebih dari 10%.



**GAMBAR 2-12** Sekering transformator.



**GAMBAR 2-13** Proteksi arus lebih trafo.

## CONTOH

Asumsikan bahwa transformator memiliki belitan primer dengan nilai 240 volt dan dilengkapi dengan perangkat kelebihan beban termal oleh pabrikan. Juga asumsikan bahwa primer memiliki arus pengenal 3 ampere dan impedansi 4%. Untuk menentukan apakah proteksi arus lebih terpisah diperlukan untuk primer, kalikan arus primer pengenal [NEC Tabel

450.3(B), Catatan 3] dengan 6 ( $3 \times 6 = 18$  ampere). Jika gawai proteksi rangkaian cabang yang mensuplai daya ke primer transformator memiliki gawai proteksi arus lebih dengan nilai 18 ampere atau kurang, tidak diperlukan proteksi tambahan. Jika gawai proteksi arus lebih rangkaian cabang dihitung lebih besar dari 18 ampere, diperlukan gawai proteksi arus lebih yang terpisah untuk gawai primer.

Jika proteksi arus lebih terpisah diperlukan, itu dihitung pada 167% dari nilai arus primer karena arus primer kurang dari 9 ampere tetapi lebih besar dari 2 ampere. Dalam contoh ini, gawai proteksi arus lebih primer harus diberi nilai  $3 \times 1,67 = 5,01$  ampere. Sekering 5 ampere akan digunakan untuk memberikan perlindungan arus lebih primer.

### **Koordinasi**

Koordinasi adalah proses pemilihan perangkat pelindung sehingga terjadi gangguan listrik seminimal mungkin jika terjadi gangguan atau kelebihan beban. Dengan kata lain, untuk situasi tertentu, nilai sekering tegangan tinggi harus dipilih yang memastikan bahwa gawai proteksi lain di antara sekering itu dan beban dapat bereaksi terhadap kondisi tertentu dalam waktu yang lebih singkat.

Studi koordinasi mensyaratkan bahwa karakteristik arus waktu dari gawai proteksi yang berbeda dibandingkan dan pemilihan gawai yang tepat harus dibuat sesuai dengan itu.

Masalah dalam koordinasi sekering tegangan tinggi paling sering terjadi ketika:

- pemutus sirkuit digunakan sebagai perangkat pelindung sekunder,
- satu perangkat pelindung utama dipasang di sisi sekunder transformator.

## **2.5 Bagian Trafo**

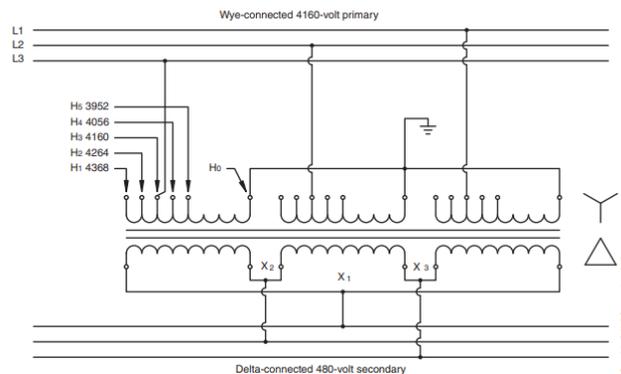
Ada sedikit perbedaan antara trafo dalam satu unit gardu dan trafo daya lainnya (lihat diagram sambungan pada Gambar 2-14). Namun, topik keran transformator harus dijelaskan secara rinci.

### **Ketuk**

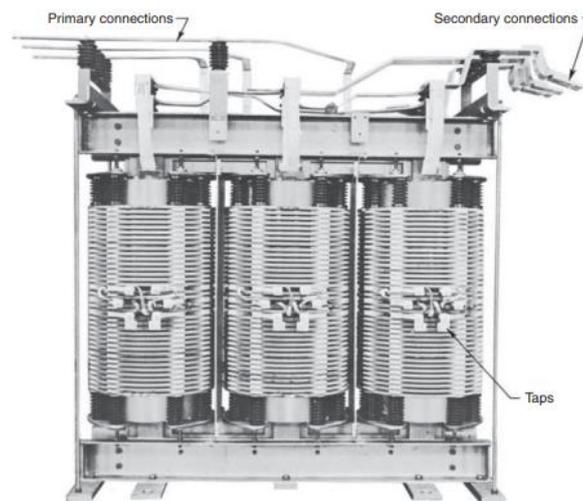
Meskipun sistem tegangan umumnya diklasifikasikan berdasarkan nilai tegangan, seperti sistem 2300 volt atau 4160 volt, nilai pasti ini jarang diberikan pada tegangan transformator. Untuk mengkompensasi kemungkinan perbedaan tegangan ini, tap dibuat ke dalam trafo, Gambar 2-15. Keran ini biasanya disediakan dengan kenaikan  $2\frac{1}{2}\%$  di atas dan di bawah tegangan pengenalan standar. Misalnya, ketukan pada transformator 4160/480 volt dapat memberikan tegangan 3952, 4056, 4160, 4264, dan 4368 volt. Sambungan pada tingkat tegangan yang tepat akan memberikan 480 volt yang diinginkan pada sekunder.

## **2.6 Bagian Tegangan Rendah**

Setelah tegangan yang masuk diturunkan ke nilai yang diinginkan, dibawa oleh busbar ke bagian tegangan rendah. Di sini, perangkat pelindung dipasang untuk mendistribusikan tegangan ke seluruh area yang akan dilayani. Berbagai variasi dalam pengaturan perangkat ini dimungkinkan tergantung pada kebutuhan instalasi. Perangkat utama dapat dipasang untuk menghentikan total daya, atau kombinasi perangkat utama dan pengumpan apa pun dapat digunakan.



**GAMBAR 2-14** Trafo daya tiga fase dengan primer terhubung-wye dan sekunder terhubung-delta.



**FIGURE 2-15** Taps built into a transformer.

**GAMBAR 2-15** Keran terpasang pada transformator.

### Landasan

Sebagian besar koneksi ke ground dibuat di bagian tegangan rendah. Namun, teknisi listrik harus menyadari bahwa bus pembumian biasanya beroperasi sepanjang unit gardu induk. Bus ini menyediakan sarana untuk koneksi ground positif antara kompartemen, serta tempat yang nyaman untuk membuat koneksi ground lainnya. Dua jenis koneksi pembumian menarik perhatian khusus. Sambungan pentanahan sistem digunakan untuk menghubungkan fasa atau netral sekunder transformator ke pentanahan. Konduktor elektroda pembumian ini berukuran menurut NEC 250.66 dan Tabel 250.66.

Koneksi pembumian kedua yang menarik adalah koneksi semua jalur logam yang masuk ke sistem pembumian. Tidak ada masalah dalam pentanahan saat raceways memasuki gardu induk melalui struktur logam. Namun, ketika raceway masuk melalui dasar unit, koneksi grounding harus dipasang antara saluran dan sistem grounding. Konduktor ini berukuran menurut NEC 250.122 dan Tabel 250.122.

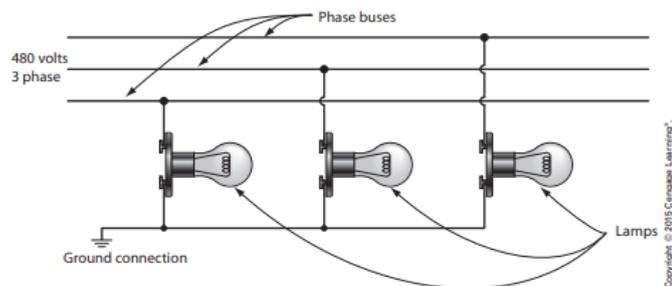
### Detektor Tanah

Pemeriksaan yang cermat pada Gambar 2-14 mengungkapkan bahwa ada dua koneksi pembumian, satu di keran tengah dari wye 3-fase, koneksi tegangan tinggi dan satu lagi ke X2

pada delta sekunder 3-fase. Keputusan apakah sisi atas akan di-ground dibuat oleh perusahaan utilitas. Aturan umum, bagaimanapun, adalah untuk membumikan sistem wye seperti yang ditunjukkan pada gambar ini. Pengardean sistem sekunder adalah opsional bila sistemnya adalah tipe terhubung delta 480 volt, menurut 250,26(4). Jika fase di-ground, maka perhatian khusus harus diberikan pada 240.22. Bagian ini mengatakan bahwa jika sekering digunakan untuk proteksi arus lebih, harus dipasang hanya pada konduktor yang tidak diarde.

Alternatif untuk membumikan sekunder adalah membiarkannya mengapung; yaitu, sekunder tetap ungrounded. Jika desain ini dipilih, detektor pembumian harus dipasang, Gambar 2-16, untuk mendeteksi pembumian sistem yang tidak disengaja. Lihat 250.21(B). Perlu dicatat bahwa jika konduktor membuat kontak dengan tanah di setiap titik, seluruh sistem diarde. Namun, arde seperti itu mungkin bukan koneksi arde yang efektif, dan kerusakan peralatan yang serius dapat terjadi bila koneksi arde kedua terjadi pada fase lain.

Sistem detektor tanah pada Gambar 2-16 terdiri dari tiga lampu yang terhubung seperti yang ditunjukkan. Lampu yang digunakan memiliki peringkat tegangan yang sama dengan tegangan saluran ke saluran. Lampu menyala redup ketika tidak ada konduktor yang diarde. Namun, jika ada fase yang diarde, lampu yang terhubung ke fase tersebut akan semakin redup atau padam seluruhnya, sedangkan dua lampu lainnya menjadi lebih terang. Dengan demikian, pemeriksaan visual cepat oleh personel pemeliharaan dapat menentukan apakah tanah telah berkembang. Detektor tanah ditunjukkan pada diagram riser pada Lembar E-1 dari denah bangunan industri.



**GAMBAR 2-16** Detektor tanah untuk sistem yang tidak ditanahkan.

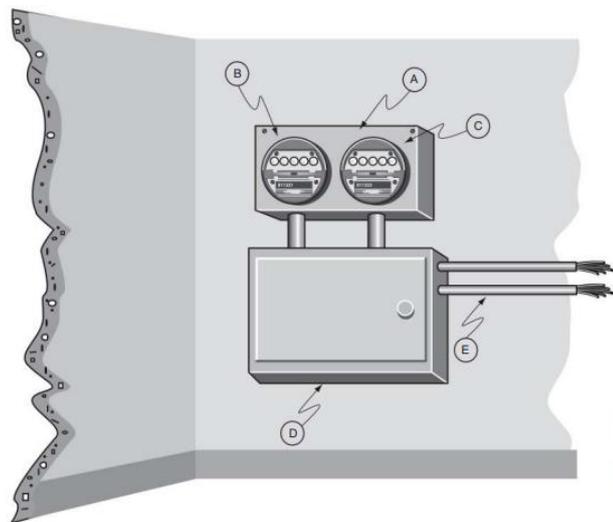
## 2.7 Peralatan Pengukuran Tegangan Tinggi

Spesifikasi untuk bangunan industri menunjukkan bahwa untuk menyediakan pengukuran penggunaan energi, dua saluran 3/4 inci harus dijalankan dari bagian tegangan tinggi gardu unit ke kabinet yang terletak di bagian terkurung dari platform pemuatan di belakang unit gardu induk, Gambar 2-17. Trafo arus dan potensial yang terletak di bagian tegangan tinggi (4160 volt) merupakan bagian integral dari gardu induk yang dirakit di pabrik. (Rasio transformator potensial adalah 40:1, dan rasio transformator arus adalah 400:1.) Kabinet pengukur dilengkapi dengan blok uji meteran dan autotransformator instrumen.

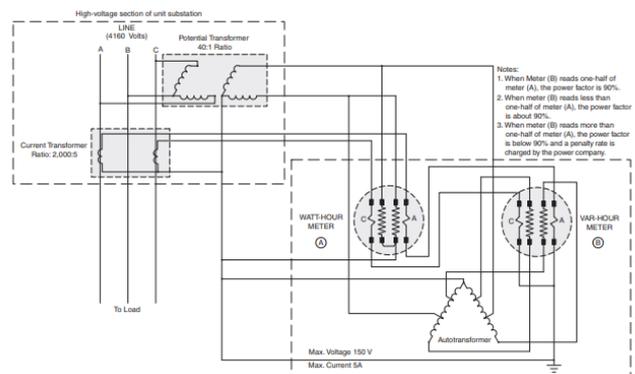
Palung soket meteran 3-fase ganda harus dipasang di atas kabinet meteran. Palung soket ini terhubung ke kabinet dengan puting saluran. Sambungan antara trafo arus dan potensial di bagian tegangan tinggi gardu induk unit dan soket trafo otomatis serta meteran di kabinet dibuat dengan kabel American Wire Gauge (AWG) ukuran 12. Transformator  
*Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)*

otomatis dirancang untuk menyediakan komponen tegangan dengan besaran yang tepat dan pada sudut fasa yang tepat terhadap kumparan potensial meter reaktif (akan dijelaskan segera). Komponen tegangan ini berbeda fasa  $90^\circ$  dengan tegangan saluran. Soket meteran sebelah kiri disambungkan untuk menerima meter watt-jam tipe soket standar yang mengukur jam kilowatt aktif. Soket meteran sebelah kanan akan menerima meteran var-jam reaktif (volt-ampere-reaktif), Gambar 2-18. Meteran kedua ini mengukur kilovar-jam reaktif.

Dua meter dilengkapi dengan lampiran permintaan 15 menit. Perusahaan listrik setempat menyediakan meteran ini, yang dipasang oleh personel perusahaan listrik. Meter masing-masing memiliki dua elemen dan peringkat maksimum 150 volt dan 5 ampere. Dua lampiran permintaan (tidak diperlihatkan) mencatat permintaan dalam kilowatt dan kilovar untuk meter masing-masing jika permintaan dipertahankan untuk jangka waktu lebih dari 15 menit pada satu waktu.



**GAMBAR 2-17** Pemasangan meteran di bagian tertutup dari ceruk di ujung platform pemuatan.



**GAMBAR 2-18** Sambungan untuk pengukuran tegangan tinggi watt-jam dan var-jam.

### Tarif Daya Industri

Tarif yang dikenakan oleh perusahaan listrik untuk energi yang digunakan didasarkan pada pembacaan register meter dan indikator permintaan maksimum. Beberapa perusahaan listrik mengenakan penalti jika faktor daya turun di bawah tingkat tertentu, seperti yang ditunjukkan pada contoh yang ditunjukkan pada Gambar 2-18, Catatan 3. Asumsikan bahwa

*Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)*

pembacaan meter reaktif adalah setengah dari pembacaan kilowatt-jam. Jadi, tangen sudut fasa adalah  $5/10$ , atau  $0,5$ , dan kosinus sudut fasa adalah  $0,9$ . Akibatnya, tidak ada penalti yang dikenakan oleh perusahaan listrik karena faktor daya adalah  $90\%$ .

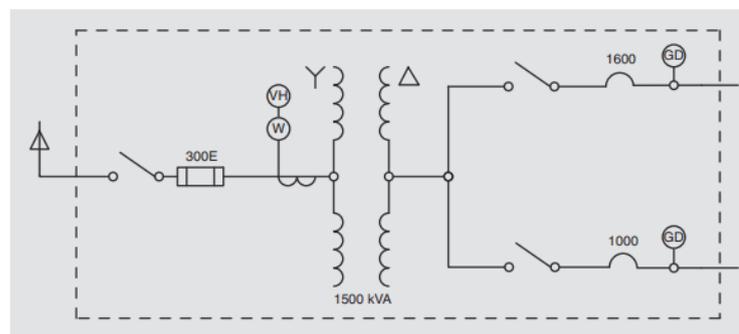
Tarif preferensial diberikan ketika transformator daya dimiliki oleh pelanggan. Pengurangan laju lebih lanjut dilakukan bila pengukuran dilakukan pada sisi tegangan tinggi transformator. Kedua kondisi untuk tarif preferensi ini ada dalam instalasi industri yang dipertimbangkan dalam teks ini.

Jika faktor daya adalah satu ( $1,00$ ), terbukti bahwa meteran reaktif (pengukur var-jam) menunjukkan disk stasioner. Namun, jika faktor daya turun di bawah satu, maka piringan meteran var-jam akan berputar ke satu arah untuk arus tertinggal dan ke arah yang berlawanan untuk arus utama.

Di gedung industri, dua kondensor sinkron  $350$  kVAR memberikan arus utama sesuai keinginan untuk menaikkan dan memperbaiki faktor daya. (Kondensor sinkron dijelaskan dalam Bab 10.) Penyesuaian sederhana dari mesin ini meminimalkan kVAR-jam, seperti yang terdaftar pada meter reaktif.

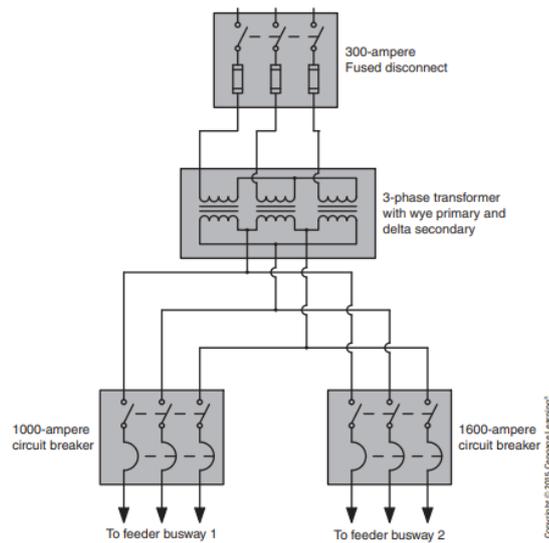
## 2.8 Pintu Masuk Layanan

Halaman E1 dari rencana menunjukkan bahwa daya yang masuk untuk instalasi ini adalah trafo 3-fase wye-delta dengan nilai  $1500$  kVA. Primer transformator dilindungi oleh sekering  $300$  A. Gambar adalah diagram satu garis yang menunjukkan busway pengumpan dan catu daya di seluruh gedung. Diagram satu baris adalah metode yang sangat umum digunakan untuk aplikasi ini. Unit gardu digambarkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-19.



**GAMBAR 2-19** Diagram satu garis dari unit gardu induk.

Diagram pengkabelan dari instalasi ini akan menunjukkan pemutusan sekering 3 fase, bank transformator 3 fase, pemutus sirkuit  $1000$  A dengan pemutusan yang melindungi feeder busway 1, dan pemutus sirkuit  $1600$  A dengan pemutusan yang melindungi feeder busway 2, Gambar 2-20. Sebagian besar sambungan transformator 3 fasa memiliki sambungan delta sebagai sambungan primer atau sekunder. Sambungan delta menstabilkan tegangan jika terjadi kondisi tidak seimbang. Diagram skema sambungan unit gardu ditunjukkan pada Gambar 2-21.

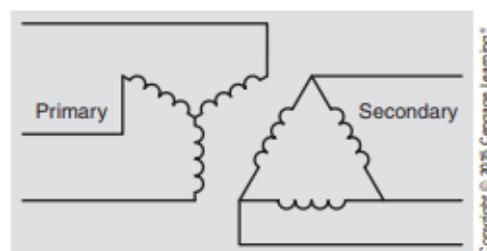


**GAMBAR 2-20** Diagram skema unit gardu.

Sambungan ini sering disebut sebagai sambungan delta mengambang karena tidak di-ground. Meskipun koneksi delta mengambang umum terjadi, mereka dapat mengalami beberapa transien tegangan yang tidak dapat diprediksi relatif terhadap ground. Transien ini dapat menyebabkan kegagalan isolasi dan masalah lainnya.

Instalasi yang tidak memerlukan kapasitas kVA yang besar umumnya disuplai oleh trafo satu fasa terpasang tiang yang dihubungkan membentuk bank 3 fasa, Gambar 2-22. Sambungan jenis ini memiliki keuntungan karena jika satu transformator gagal, hanya satu transformator yang harus diganti. Instalasi yang membutuhkan daya dalam jumlah besar umumnya disuplai oleh transformator 3 fasa yang dipasang dengan bantalan, Gambar 2-3.

Trafo tiga fasa memiliki keuntungan karena lebih efisien daripada bank 3 fasa yang terdiri dari transformator satu fasa. Trafo 3-fase berisi tiga trafo terpisah yang berbagi bahan inti yang sama, yang meningkatkan kopling magnetik di antara trafo. Tegangan keluaran umum untuk sekunder terhubung delta adalah 240 volt dan 480 volt. Beberapa instalasi mungkin menggunakan tegangan 560 volt, tetapi tidak biasa seperti sambungan 240 atau 480 volt. Meskipun sambungan trafo wye-delta yang digunakan dalam instalasi ini sangat umum di industri, ini bukan satu-satunya sambungan yang digunakan untuk aplikasi industri dan komersial.



**GAMBAR 2-21** Gambar skema sambungan trafo wye-delta.



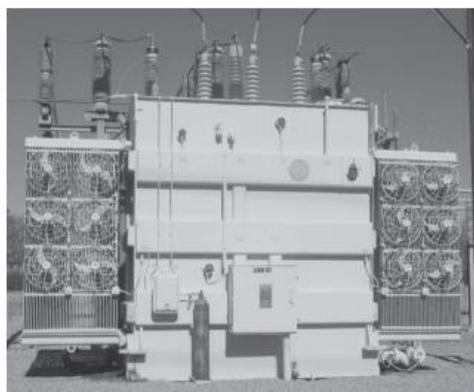
**GAMBAR 2-22** Trafo satu fasa dipasang pada sebuah tiang dan dihubungkan untuk membentuk bank 3 fasa.

### Koneksi Delta Beralas

Sambungan industri umum lainnya adalah sambungan delta yang diarde. Sambungan ini disebut sebagai sistem pentanahan fase B karena fase B sekunder delta diarde, Gambar 2-24. Pengardean satu fase transformator memang mengurangi masalah dengan tegangan transien dan membuat pemecahan masalah menjadi lebih sederhana karena ada referensi yang benar ke pentanahan. Sistem ground fase B dapat diidentifikasi dengan fakta bahwa hanya dua sekering yang diperlukan untuk melindungi sirkuit. Proteksi arus lebih tidak diperlukan untuk konduktor yang diarde.

### Buka Koneksi Delta

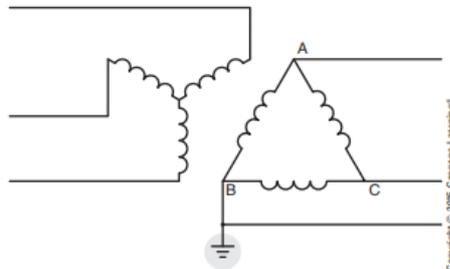
Koneksi delta terbuka digunakan untuk instalasi yang tidak memiliki kebutuhan kVA yang besar. Keuntungan dari sambungan delta terbuka adalah hanya membutuhkan dua transformator untuk mensuplai daya 3 fasa, Gambar 2-25.



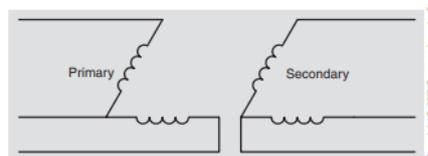
**GAMBAR 2-23** Trafo tiga fasa, dipasang di bantalan.

Meskipun hanya dua trafo yang diperlukan untuk sambungan, mereka harus memiliki kapasitas kVA yang lebih besar daripada sambungan delta tertutup dengan tiga trafo. Sebagai contoh, jika suatu instalasi memerlukan kapasitas total kVA 600 kVA, ketiga transformator sambungan delta tertutup akan membutuhkan kapasitas masing-masing 200 kVA ( $200 \text{ kVA} \times$

3 = 600 kVA). Sambungan delta terbuka hanya dapat mensuplai 86,6% dari total kapasitas kedua transformator. Oleh karena itu, kapasitas total kVA dari kedua transformator harus 692,8 kVA ( $600 \text{ kVA}/0,866 = 692,8 \text{ kVA}$ ). Setiap transformator membutuhkan kapasitas kVA minimal 346,4 kVA ( $692,8 \text{ kVA}/2 = 346,4 \text{ kVA}$ ). Seperti koneksi delta tertutup, tegangan keluaran umum untuk koneksi delta terbuka adalah 240 dan 480 volt.



**GAMBAR 2-24** Delta sekunder dengan fase B diarde.



**GAMBAR 2-25** Sambungan delta terbuka hanya memerlukan dua transformator.

### Buka Koneksi Delta dengan Ground

Sambungan delta terbuka sering mengardekan center tap dari salah satu transformator, Gambar 2-26. Sambungan ini digunakan bila instalasi membutuhkan daya satu fasa dan tiga fasa. Tegangan keluaran umumnya 240 volt antar fasa. Keran tengah dari satu transformator diarde untuk menyediakan konduktor netral. Sambungan ini disebut sambungan kaki tinggi, karena tegangan antara penghantar netral dan penghantar fasa transformator yang tidak disadap pusat adalah 208 volt ( $120 \text{ volt} \times 1,732$  [akar kuadrat 3]). Tegangan antara netral dan penghantar fasa dari transformator yang disadap tengah adalah 120 volt. Karena satu transformator harus mensuplai semua beban satu fasa dan sebagian dari beban tiga fasa, maka transformator tersebut harus memiliki kapasitas kVA yang lebih besar daripada transformator yang tidak mensuplai beban satu fasa. Sambungan ini dapat diidentifikasi dengan fakta bahwa satu transformator akan lebih besar dari yang lain, Gambar 2-27.

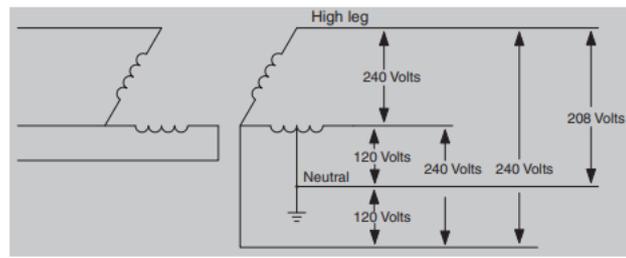
Asumsikan bahwa suatu bisnis membutuhkan 50 kVA beban fase tunggal dan 30 kVA beban 3 fasa. Pertama tentukan ukuran minimum transformator yang akan mensuplai beban 3 fasa.

$$30.000 \text{ VA}/0.866 = 34.642 \text{ VA}$$

$$34.642 \text{ VA}/2 = 17.321 \text{ VA}$$

Setiap trafo harus memiliki kapasitas minimal 17.321 untuk mensuplai beban 3 fasa yang dibutuhkan. Namun, satu transformator juga harus mensuplai seluruh beban satu fasa.

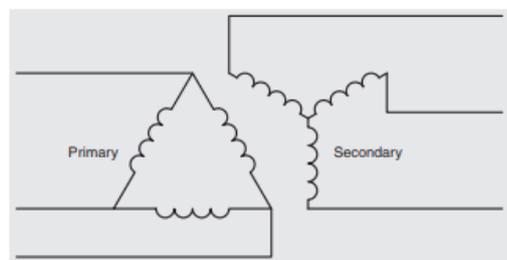
$$17.321 + 50.000 = 67.321 \text{ VA}$$



**GAMBAR 2-26** Sambungan delta terbuka dengan ground.



**GAMBAR 2-27** Salah satu transformator lebih besar dari yang lain.

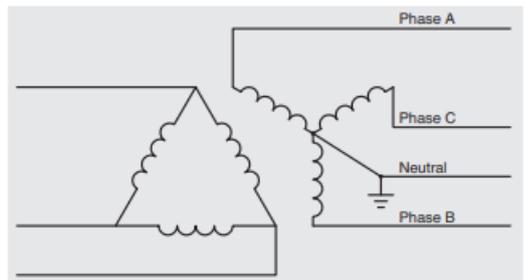


**GAMBAR 2-28** Sambungan Delta-wye.

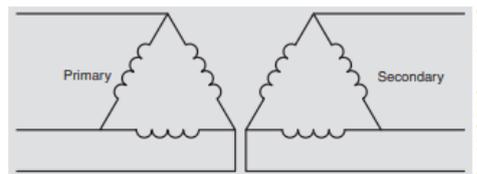
### Koneksi Delta-Wye

Untuk membuat hubungan ini, belitan primer dihubungkan secara delta, dan belitan sekunder dihubungkan dengan wye, Gambar 2-28. Primer terhubung delta memberikan tegangan yang stabil untuk sekunder terhubung wye. Titik tengah sekunder sering diarde untuk menyediakan konduktor netral, Gambar 2-39. Tegangan yang sangat umum untuk sambungan jenis ini adalah 208/120 volt. Sebuah tegangan 208 volt disediakan antara salah satu konduktor fase dan tegangan 120 volt ada antara setiap fase konduktor dan netral. Sambungan 208/120 volt biasanya digunakan untuk kompleks apartemen dan sekolah.

Tegangan umum lainnya untuk wye yang diarde adalah 480/277. Tegangan 480 volt ada di antara dua konduktor fase, dan tegangan 277 volt ada di antara konduktor fase apa pun dan netral ( $480/1.732$ ). Koneksi ini umum di department store besar dan gedung perkantoran.



**GAMBAR 2-29** Titik tengah sekunder diarde untuk membentuk konduktor netral.



**GAMBAR 2-30** Sambungan delta-delta.

Banyak sistem pencahayaan komersial beroperasi pada 277 volt. Sistem AC dan pemanas ditenagai oleh 480 volt.

#### **Koneksi Delta-Delta**

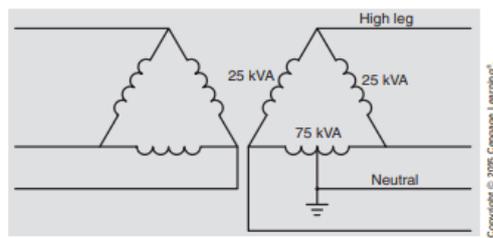
Sambungan delta-delta dibuat dengan menghubungkan primer dan sekunder transformator dalam delta, Gambar 2-30. Koneksi delta-delta menunjukkan karakteristik dasar yang sama dengan koneksi wye-delta yang dibahas sebelumnya. Salah satu gulungan sekunder delta-delta sering disadap tengah dan diarde untuk menghasilkan koneksi netral. Seperti delta terbuka dengan satu transformator yang memiliki center tap yang diarde untuk mensuplai beban satu fasa, hubungan ini juga akan menghasilkan kaki yang tinggi. Trafo yang mensuplai beban satu fasa akan memiliki kapasitas kVA yang lebih besar dibandingkan dengan dua trafo lainnya.

#### **CONTOH**

Sebuah instalasi membutuhkan beban 3 fasa sebesar 75 kVA dan tambahan beban satu fasa sebesar 50 kVA. Dua trafo akan memiliki rating minimum 25 kVA ( $75 \text{ kVA}/3 = 25 \text{ kVA}$ ). Trafo ketiga yang mensuplai beban satu fasa akan memiliki nilai minimum 75 kVA ( $25 \text{ kVA} + 50 \text{ kVA} = 75 \text{ kVA}$ ), Gambar 2-31.

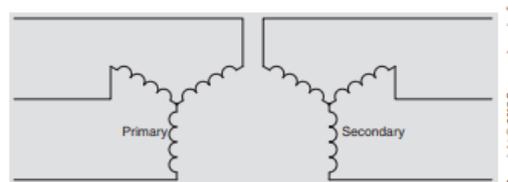
#### **Koneksi Wye-Wye**

Sambungan wye-wye, Gambar 2-32, jarang digunakan karena dapat menunjukkan tegangan antar fasa yang sangat tidak stabil jika arus saluran menjadi tidak seimbang. Ketika koneksi wye-wye digunakan, perusahaan utilitas umumnya menghubungkan konduktor ground (netral) ke koneksi pusat dari primer, Gambar 2-33.

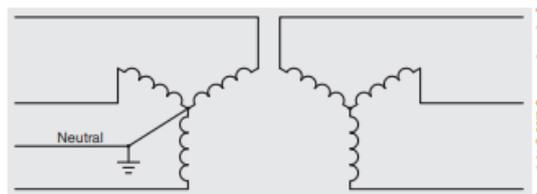


**GAMBAR 2-31** Sambungan delta-delta dengan satu pusat sekunder transformator disadap dan diarde.

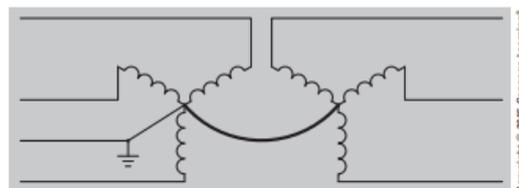
Mengardekan titik tengah primer sangat meningkatkan stabilitas tegangan sambungan. Juga merupakan praktik umum untuk menghubungkan titik pusat dari belitan primer dan sekunder bersama-sama untuk membantu meningkatkan stabilitas tegangan, Gambar 2-34. Melakukan hal ini, bagaimanapun, memiliki kerugian kehilangan isolasi garis antara gulungan primer dan sekunder.



**GAMBAR 2-32** Koneksi wye-wye.



**GAMBAR 2-33** Perusahaan utilitas menghubungkan konduktor yang diarde ke titik pusat primer.



**GAMBAR 2-34** Titik pusat dari primer dan sekunder dihubungkan bersama untuk membantu meningkatkan stabilitas tegangan.

## 2.9 Pemeliharaan Trafo

Terlepas dari jenis koneksi pintu masuk layanan, umumnya perlu dilakukan perawatan transformator secara teratur. Transformer biasanya dianggap sebagai benda diam tanpa bagian yang bergerak. Karena kesalahpahaman ini, transformator sering diabaikan dan ditinggalkan dari jadwal pemeliharaan preventif rutin. Ini bisa menjadi kelalaian yang sangat

mahal. Transformer harus diperiksa dan dirawat secara teratur untuk mendapatkan kinerja dan umur maksimum darinya. Ini berlaku untuk semua transformator tidak peduli seberapa besar atau kecilnya. Kondisi lingkungan seperti perubahan suhu yang disebabkan oleh beban yang bervariasi dan perubahan suhu lingkungan mempengaruhi operasi dan umur transformator. Debu, kelembaban, dan bahan kimia korosif di udara sekitar trafo sangat mempengaruhi operasi dan umurnya. Jenis prosedur perawatan dan interval antar prosedur diatur oleh jenis, ukuran, lokasi, dan aplikasi transformator.

### **Prosedur keamanan**

Seperti halnya peralatan listrik lainnya, pertimbangan utama saat bekerja di atas atau di dekat trafo adalah keselamatan personel. Sebelum mengerjakan transformator apa pun, tentukan apakah transformator diberi energi dan apakah pekerjaan dapat dilakukan dengan aman dengan daya pada transformator. Sebagian besar prosedur pemeliharaan mengharuskan daya diputuskan dan dikunci atau diberi tag.

Pada trafo yang lebih besar dengan sambungan tegangan tinggi, biasanya disarankan untuk menyiapkan prosedur pensaklaran tertulis yang merinci setiap langkah proses penghilangan energi peralatan. Dengan mengikuti prosedur tertulis dan menginisialisasi setiap langkah yang diambil, kesalahan dalam pengalihan dapat dihindari. Di banyak instalasi yang lebih besar, arde ditempatkan di setiap sisi trafo setelah dimatikan, untuk melindungi pekerja. Jika arde ini tidak dilepas sebelum transformator diberi energi, belitan dapat rusak parah. Prosedur pensaklaran tertulis mencakup penempatan dan pelepasan koneksi pembumian ini.

Ini membantu menghindari memberi energi pada transformator dengan arde yang masih terpasang.

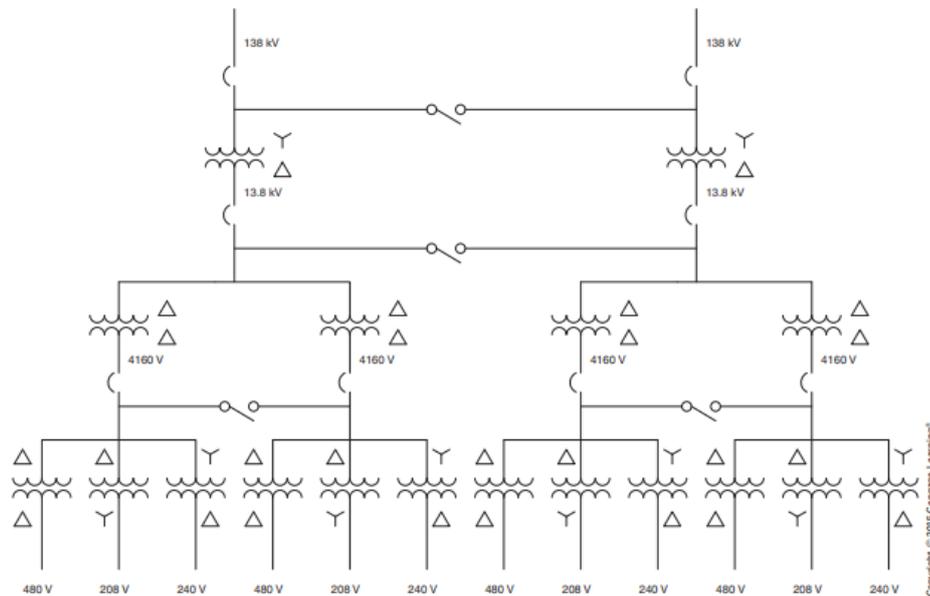
Setelah daya ke trafo telah diputus dan sebelum melakukan pekerjaan apa pun, disarankan untuk menguji semua sambungan yang terbuka untuk tegangan. Pastikan untuk menggunakan instrumen uji yang tepat dengan peringkat tegangan setidaknya setinggi peringkat tegangan koneksi. Hal ini terutama penting bila terdapat lebih dari satu sumber daya, seperti pada gardu induk berujung ganda, Gambar 2-35.

Gardu-gardu ujung ganda mengizinkan daya disuplai dari sumber lain jika terjadi kegagalan peralatan. Meskipun kapasitas kVA sirkuit berkurang, daya dapat dipertahankan sampai peralatan yang rusak diperbaiki atau diganti. Hal ini dapat, bagaimanapun, menyebabkan umpan balik ke sisi sekunder transformator yang memiliki primer terputus. Kehati-hatian yang ekstrim harus diberikan saat bekerja dengan sistem ujung ganda untuk memastikan bahwa daya tidak diterapkan ke belitan primer atau sekunder.

### **Memasuki Tangki Transformer**

Dalam beberapa prosedur perawatan, perlu untuk memasukkan tangki transformator. Jika ini merupakan bagian dari prosedur pemeliharaan, atmosfer di dalam tangki harus diuji untuk keberadaan gas yang mudah terbakar dan/atau beracun dan juga untuk keberadaan oksigen yang cukup. Oksigen biasanya hadir di atmosfer sekitar 21,2%. Jika konsentrasi ini kurang dari sekitar 20%, itu bisa menjadi ancaman kesehatan bagi pekerja. Jika ada gas berbahaya atau jika tidak ada cukup oksigen di dalam tangki, tangki harus diberi ventilasi dengan udara segar sampai kondisi aman terpenuhi. Ketika ada orang di dalam tangki, harus

ada orang di luar pintu masuk untuk mengamati pekerja di dalam tangki dan waspada terhadap masalah yang dihadapi.



**GAMBAR 2-35** Gardu ujung ganda.

### **Pemeliharaan preventif**

Langkah pertama dalam setiap prosedur pemeliharaan preventif adalah inspeksi peralatan. Pemeriksaan transformator akan mengungkapkan adanya karat atau korosi. Penumpukan kotoran atau debu atau karat dan korosi harus diperhatikan saat ini.

### **Pembersihan**

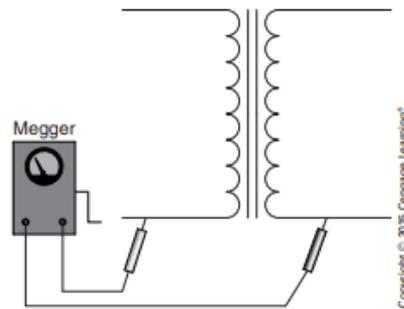
Bagian luar transformator harus dibersihkan dengan pelarut atau pembersih yang disetujui. Karat dan korosi harus dihilangkan dan casing dicat jika perlu.

### **Mengencangkan**

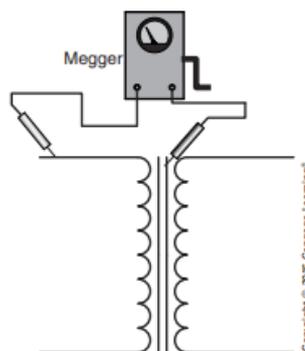
Semua sambungan dan baut pemasangan harus dikencangkan. Setiap sambungan yang berkarat harus diganti.

### **Pengujian**

Trafo kecil ini harus diuji untuk hubungan pendek dan arde setiap tahun. Uji megger antara belitan primer dan sekunder akan menguji insulasi antara belitan, Gambar 2-36. Uji megger dari setiap belitan ke selubung atau inti akan menunjukkan kelemahan insulasi di area ini, Gambar 2-37. Gunakan megger dengan peringkat tegangan dekat dengan peringkat belitan transformator; misalnya, megger 500 volt akan digunakan untuk menguji insulasi pada transformator dengan belitan pengenalan 480 volt.



**GAMBAR 2-36** Pengujian hubung singkat antara belitan primer dan sekunder dengan megger.

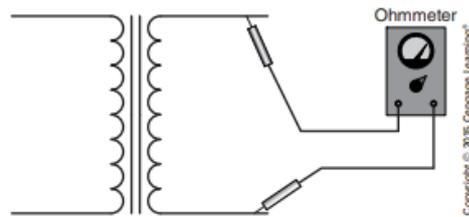


**GAMBAR 2-37** Pengujian untuk alasan.

Setelah menguji belitan dengan megger, setiap belitan harus diuji kontinuitasnya dengan ohmmeter, Gambar 2-38.

Hal ini dapat dicapai dengan menghubungkan kabel ohmmeter melintasi terminal atau kabel yang terhubung ke ujung setiap belitan. Tes ini akan menentukan apakah salah satu belitan terbuka, tetapi mungkin tidak akan menentukan apakah mereka korslet. Dalam beberapa kasus, insulasi kawat rusak dan memungkinkan lilitan menjadi pendek bersama-sama. Ketika ini terjadi, ini memiliki efek mengurangi jumlah belitan untuk belitan itu. Jika belitan korsleting ini tidak membuat kontak dengan casing atau inti transformator, tes megger tidak akan mengungkapkan masalah.

Jenis masalah ini umumnya ditemukan dengan menghubungkan transformator ke daya dan mengukur nilai arus dan tegangan. Penarikan arus yang berlebihan atau penyimpangan besar dari tegangan pengenal belitan merupakan indikator yang baik dari belitan korsleting. Namun, saat melakukan pengujian ini, perhatikan bahwa tegangan sekunder tidak jarang lebih tinggi dari nilai pengenal dalam kondisi tanpa beban. Peringkat tegangan terdaftar untuk beban penuh, bukan tanpa beban. Tidak jarang belitan transformator dengan nilai 24 volt untuk mengukur 28 atau 30 volt tanpa beban terhubung.



**GAMBAR 2-38** Ohmmeter digunakan untuk menguji kontinuitas.

### Trafo Berpendingin Oli yang Dipasang di Pad

Inspeksi Eksternal Langkah pertama dalam merawat trafo ini adalah inspeksi eksternal yang menyeluruh. Cari bukti kebocoran di housing atau radiator pendingin. Periksa rumah dari karat, korosi, atau kerusakan, dan perhatikan kondisi umum cat. Periksa busing dari keretakan atau keripik. Cari sambungan yang longgar, berkarat, atau berubah warna. Periksa sambungan ground housing. Pastikan kencang dan bebas dari korosi. Kebanyakan trafo yang dipasang pada bantalan terdapat dalam lemari besi, Gambar 2-39. Banyak yang dilengkapi dengan pengukur suhu dan tekanan untuk mengukur suhu cairan pendingin dan tekanan di dalam transformator. Peralatan Pendingin Jika trafo menggunakan sirip pendingin eksternal, pastikan sirip tersebut bebas dari serpihan dan bersih, Gambar 2-40.



**GAMBAR 2-39** Trafo yang dipasang pada bantalan umumnya terdapat dalam lemari besi.

Jika transformator dilengkapi dengan peralatan pendingin tambahan, harus diperiksa untuk pengoperasian yang benar. Periksa sambungan radiator ke tangki dari kebocoran, dan lakukan perbaikan yang diperlukan. Kipas pendingin otomatis harus dioperasikan secara manual untuk memastikannya berfungsi. Sakelar dan pengukur suhu dan tekanan dilepas dan dikalibrasi setahun sekali untuk memastikan pengoperasiannya dengan benar. Pada transformator dengan selimut gas (biasanya nitrogen kering) di atas minyak, tekanan gas harus diperiksa setidaknya sekali seminggu. Transformator ini sering memiliki pengukur suhu dan tekanan eksternal karena transformator berada dalam wadah tertutup, Gambar 2-31. Regulator tekanan dan pengukur harus dilepas dan dikalibrasi setahun sekali.

### Relai Pelindung Transformator

Transformator yang memiliki selimut gas di atas minyak isolasi memiliki sakelar tekanan yang mengaktifkan sistem alarm jika tekanan gas pada selimut turun di bawah titik tertentu. Sakelar ini harus sering diuji bersama dengan perangkat alarm suhu atau tekanan pada belitan atau tangki transformator. Relai proteksi biasanya mencakup relai arus lebih, relai tekanan mendadak, relai arus balik, dan relai suhu lebih belitan dan oli dari berbagai jenis. Perangkat ini harus diuji dan dikalibrasi oleh teknisi yang memenuhi syarat secara terjadwal secara teratur, tetapi setidaknya setahun sekali.



**GAMBAR 2-40** Trafo yang dipasang di bantalan dengan sirip pendingin eksternal.



**GAMBAR 2-41** Trafo besar yang dipasang di bantalan sering kali berisi pengukur suhu dan tekanan eksternal karena mengandung selimut gas tertutup di atas minyak dielektrik.

### Inspeksi dan Pemeliharaan Internal

Pada transformator yang lebih besar, perlu untuk membuka lubang got atau penutup inspeksi untuk mengetahui kondisi belitan, sambungan, dan bagian lain di dalam rumahan. Sebelum melepas penutup apa pun, disarankan untuk memiliki gasket baru yang tersedia untuk penggantian saat bukaan ditutup kembali. Hilangkan tekanan internal dalam trafo sebelum mengendurkan baut flens. Sangat penting bahwa tidak ada alat atau perlengkapan

yang tertinggal di dalam rumah. Inventarisasi semua perkakas, suku cadang, dan perlengkapan yang dibawa ke area kerja sebelum membuka trafo dan juga sebelum menutupnya kembali. Apa pun yang tertinggal di trafo dapat menyebabkan korsleting atau mengganggu sirkulasi normal media pendingin, dan merusak trafo. Pastikan semua tindakan pencegahan keselamatan diikuti, dan atmosfer diuji sebelum memasuki transformator.

Cari sambungan yang longgar, berkarat, atau berubah warna; belitan terdistorsi atau rusak; dan spacer yang rusak atau hilang di antara belitan. Periksa kondisi umum isolasi untuk kerusakan. Bersihkan dan kencangkan sambungan jika perlu.

Pastikan untuk mengikuti rekomendasi pabrikan untuk torsi saat mengencangkan sambungan apa pun. Periksa dan kencangkan semua baut pemasangan. Cari endapan lumpur pada bahan inti belitan atau struktur lainnya. Endapan lumpur menunjukkan kontaminasi minyak dan mengurangi kekuatan dielektrik dari insulasi. Sludge juga dapat bertindak sebagai insulasi termal, sehingga mengurangi perpindahan panas dari bagian internal ke oli pendingin. Saat memeriksa bagian dalam transformator, adalah praktik yang baik untuk mencari bukti karat di bagian dalam rumahan atau penutup. Ini mungkin menunjukkan kondensasi uap air pada bagian-bagian ini, yang dapat disebabkan oleh kebocoran gasket yang memungkinkan udara sekitar masuk ke rumahan.

### Pengujian Isolasi

Seperti halnya transformator lainnya, kekuatan dielektrik insulasi harus diuji setidaknya setahun sekali. Pengujian megger dapat dilakukan pada trafo tegangan rendah. Engkol tangan dan pengukur yang dioperasikan dengan baterai ditunjukkan pada Gambar 2-42. Peralatan tegangan tinggi khusus diperlukan untuk menguji insulasi pada unit tegangan tinggi. Penguji tegangan tinggi, umumnya disebut sebagai "HiPot," ditunjukkan pada Gambar 2-33. Unit ini mengembangkan tegangan tinggi dan mengukur arus bocor yang disebabkan oleh insulasi yang lemah atau rusak.

Untuk voltase di atas 13.800 volt, biasanya disarankan untuk mengontrak tes insulasi voltase tinggi ke perusahaan yang berspesialisasi dalam jenis tes ini dan memiliki teknisi terlatih serta peralatan yang tersedia. Seperti halnya pengujian insulasi, catatan hasil pengujian harus disimpan untuk menetapkan tren kekuatan dielektrik insulasi.



**GAMBAR 2-42** Megger yang digunakan untuk menguji belitan transformator.



**GAMBAR 2-43** Penguji tegangan tinggi.

### **Pengujian Minyak**

Pengujian oli trafo harus dilakukan setidaknya setahun sekali, dan lebih sering jika terjadi kelebihan beban yang sering, atau jika ada riwayat hasil pengujian oli marjinal. Sampel minyak ditarik ke dalam wadah kering yang bersih. Labeli setiap wadah dengan identitas transformator. Setelah sampel diambil, sampel harus didiamkan dalam waktu singkat agar air bebas mengendap di dasar sampel. Jika wadah kaca digunakan, akan lebih mudah untuk melihat air bebas dalam sampel.

Pengujian kekuatan dielektrik dilakukan dalam perangkat khusus yang memiliki cangkir untuk sampel, dan elektroda ditempatkan terpisah 0,1 inci. Bersihkan dan keringkan cangkir sampel secara menyeluruh, lalu bilas dengan sebagian sampel. Isi cangkir dan biarkan mengendap setidaknya selama tiga menit untuk menghilangkan gelembung udara. Nyalakan perangkat dan naikan voltase secara bertahap hingga melewati sampel. Catat tegangan dan ulangi pengujian lima kali pada masing-masing dari tiga sampel dari setiap transformator. Hitung rata-rata dari lima belas pengujian yang dilakukan dengan cara ini untuk mendapatkan kekuatan dielektrik yang mewakili minyak. Kekuatan dielektrik rata-rata dari 26 kV hingga 29 kV dianggap dapat digunakan. 29 kV sampai 30 kV bagus.

Kurang dari 26 kV buruk, dan oli harus diganti atau disaring untuk meningkatkan kekuatan dielektrik. Peralatan khusus diperlukan untuk menyaring minyak trafo, dan trafo harus dihilangkan energinya. Proses ini biasanya dikontraskan ke perusahaan yang mengkhususkan diri dalam perawatan transformator. Pengujian lain yang dilakukan pada minyak trafo antara lain kadar air, kadar gas, dan warna. Kadar air kurang dari 25 bagian per juta biasanya dapat diterima untuk unit yang beroperasi pada tegangan hingga 228 kV. Kelebihan air dapat berasal dari kondensasi atau kebocoran pada housing atau sistem pendingin, dan ini mengurangi kekuatan dielektrik dari insulasi dan oli. Penyaringan menghilangkan kelebihan air dari minyak.

Busur atau panas berlebih dapat menyebabkan gas yang mudah terbakar seperti asetilena, hidrogen, metana, dan etana terbentuk dalam minyak. Kehadiran gas-gas ini hanya dapat dideteksi oleh alat uji khusus dan harus dilakukan oleh teknisi yang berkualifikasi. Sampel harus dikirim ke laboratorium yang mengkhususkan diri dalam jenis pengujian ini.

Sebagian besar perusahaan konsultan transformator lebih suka teknisi mereka mengumpulkan sampel untuk memastikan prosedur pengambilan sampel yang seragam. Dalam kebanyakan kasus, perusahaan yang melakukan pengujian jenis ini menyerahkan laporan yang mencantumkan kondisi yang ditemukan, kemungkinan penyebab, saran perbaikan, dan frekuensi pengujian ulang yang disarankan.

## 2.10 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap, dan perhitungan harus ditampilkan secara rinci.

Tiga komponen utama dari unit gardu berikut. Untuk setiap komponen, beri nama bagian-bagian utama dan identifikasi fungsinya. Bagian-bagiannya tercantum pada Gambar 2-7.

1. Bagian tegangan tinggi
2. Bagian transformator
3. Bagian tegangan rendah

Pertanyaan yang tersisa terkait dengan peralatan yang terkait dengan unit gardu.

4. Jelaskan pengoperasian detektor tanah dan identifikasi situasi yang memerlukan penggunaannya.
5. Jelaskan alasan pemasangan kedua meter tersebut.
6. Dua kumparan arus dipasang. Apa fungsinya dan mengapa tidak perlu memasang tiga kumparan?
7. Jika sekunder tidak diarde (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-11), koneksi apa yang mungkin dibuat ke bus pembumian?
8. Jika sekunder diarde, koneksi apa, selain yang tercantum dalam masalah 7, yang akan dibuat ke bus pembumian?
9. Jenis sambungan 3 fasa apa yang hanya membutuhkan dua trafo?
10. Sebuah instalasi membutuhkan kapasitas 86 kVA. Perusahaan utilitas bermaksud untuk mengatur dua trafo sebagai delta terbuka untuk memasok instalasi ini. Berapa kapasitas kVA minimum masing-masing transformator?
11. Mengapa sebagian besar sambungan transformator 3 fasa memiliki setidaknya satu sisi (primer atau sekunder) yang terhubung secara delta?
12. Jenis sambungan 3 fasa apa yang memerlukan proteksi arus lebih hanya dalam dua dari tiga fasa?
13. Buat daftar beberapa relai pelindung yang ditemukan dengan transformator besar.
14. Bahan apa yang harus tersedia sebelum membuka lubang got pada trafo besar?
15. Mengapa penting untuk menginventarisasi peralatan dan perlengkapan sebelum dan sesudah bekerja di dalam trafo?
16. Apa dua jenis utama koneksi 3-fase?
17. Pada jenis sambungan 3 fasa apa arus saluran dan arus fasa sama?
18. Pada jenis sambungan 3 fasa apa tegangan saluran dan tegangan fasa sama?

## **BAB 3**

### **SISTEM JALUR PENGUMPAN**

#### **TUJUAN**

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- menjelaskan manfaat penggunaan jalur utama (busway).
- mengidentifikasi aplikasi umum jalur utama (busway).
- daftar komponen jalur utama (busway).
- menjelaskan berbagai sistem pendukung.

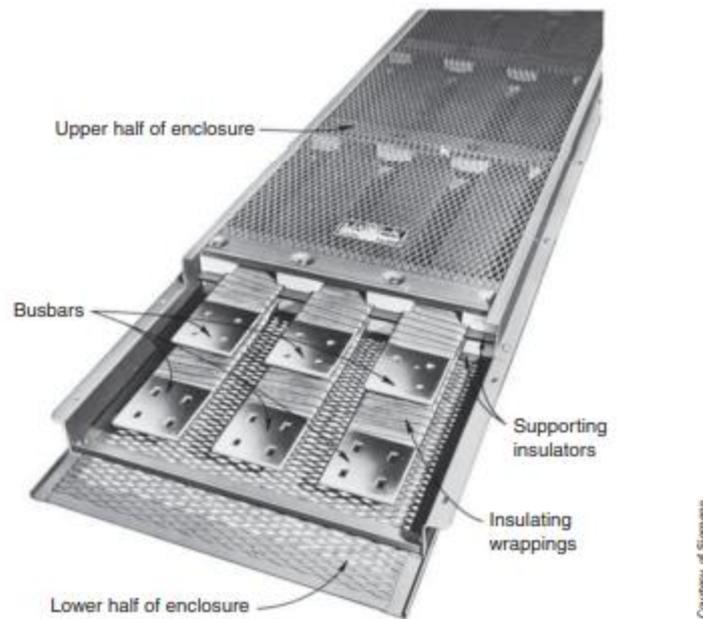
#### **3.1 Saluran Pengumpan (Feeder)**

Sistem kelistrikan industri modern menggunakan beberapa metode untuk mengangkut energi listrik dari sumber pasokan ke titik-titik di dalam pabrik di mana panelboard atau switchboard berada. Metode ini dapat mencakup penggunaan konduktor pengumpan berat atau kabel yang dipasang di bak atau baki, atau busbar berat yang tertutup dalam saluran berventilasi. Untuk bangunan industri yang tercakup dalam teks ini, busbar dalam selungkup berventilasi ditentukan dan ditunjukkan pada denah. Nama yang tepat untuk majelis ini adalah busway; namun, sebagian besar ahli listrik dan lainnya menyebut perakitan sebagai saluran bus. Pasal 368 NEC memuat ketentuan tentang pemasangan busway. Sumber energi listrik dalam hal ini adalah unit gardu induk yang terletak di bagian belakang bangunan industri. Dua busway pengumpan berventilasi berasal dari unit gardu.

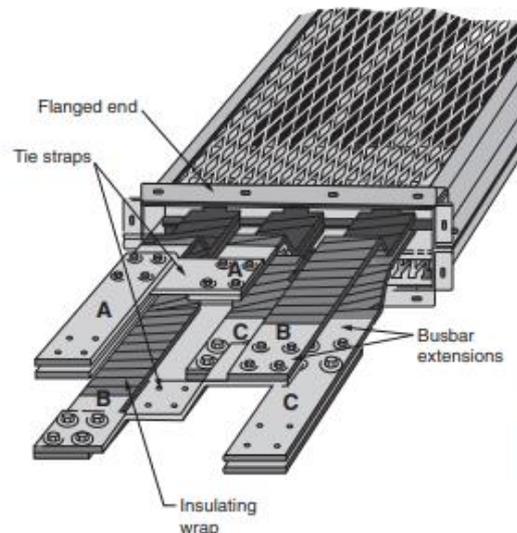
Bagian busway feeder tersedia dengan panjang standar 10 kaki (3 m) dan panjang lainnya berdasarkan pesanan khusus. Banyak alat kelengkapan dapat digunakan untuk membuat cabang, membelokkan sudut (baik pada jenis pemasangan tepi dan datar), dan pada umumnya mengikuti kontur bangunan.

Selungkup yang berisi bus dibangun dari dua bagian baja berventilasi yang identik. Ketika bagian-bagian ini dibaut bersama-sama, mereka membentuk rumah lengkap untuk busbar. Busbar tembaga ditopang pada isolator di dalam enklosur, Gambar 3-1. Enklosur berisi enam busbar yang dihubungkan bersama berpasangan untuk membentuk sistem 3-konduktor. Busbar dibungkus mesin dengan pita isolasi cambric yang dipernis, kecuali jika sambungan harus dibuat.

Sambungan busway ke selungkup seperti unit gardu diselesaikan dengan sambungan ujung bergelang. Selain itu, koneksi ini digunakan untuk mengubah posisi bus yang terhubung ke fase yang sama, Gambar 3-2. Transposisi ini mengurangi impedansi dari total panjang busway. Karena setiap fase terletak di dua tempat (atau lebih di busway yang lebih besar), efek medan magnet berkurang, dan perlawanan terhadap aliran arus juga berkurang. Lihat 300.20 di NEC untuk persyaratan pemasangan yang terkait dengan arus induksi.



**GAMBAR 3-1** Bagian busway feeder.



**GAMBAR 3-2** Busway menunjukkan koneksi lintas fase.

### **Pengumpan Busway No. 1**

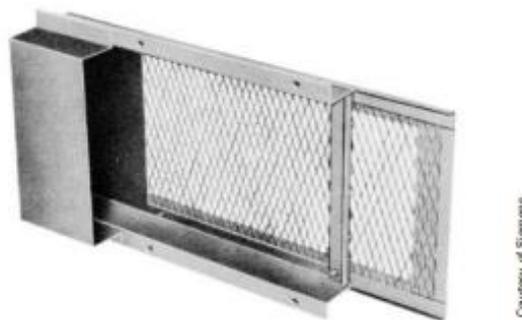
Feeder busway No. 1 dari bangunan industri memiliki rating 600 volt dan 1000 ampere. Itu dimulai di bagian tegangan rendah dari unit gardu dan naik secara vertikal hampir 8 kaki (2,5 m). Pada titik ini, tee section dipasang untuk membawa busway dalam formasi bercabang ganda di kedua arah di sepanjang dinding timur struktur utama (menuju dinding utara dan selatan bangunan).

Ketika dua cabang busway bertemu dengan dinding utara dan selatan bangunan, garis tepi mengubah arah cabang. Cabang-cabang dari feeder busway No. 1 berlanjut dengan pemasangan tepi di sepanjang dinding utara dan selatan area manufaktur pada ketinggian

sekitar 16 kaki (4,9 m) di atas lantai. Busway pengumpan berjalan di sepanjang selatan berakhir di sekitar titik tengah tembok.

Cabang feeder busway yang membentang di sepanjang dinding utara memanjang ke dinding barat area manufaktur. El edgewise yang dipasang di titik ini mengubah arah busway sekali lagi. Sekarang berlanjut di sepanjang dinding barat gedung dan berakhir sebelum mencapai sudut barat daya area manufaktur. Bagian penutup akhir, Gambar 3-3, digunakan pada penghentian setiap jalur busway, NEC 368.10.

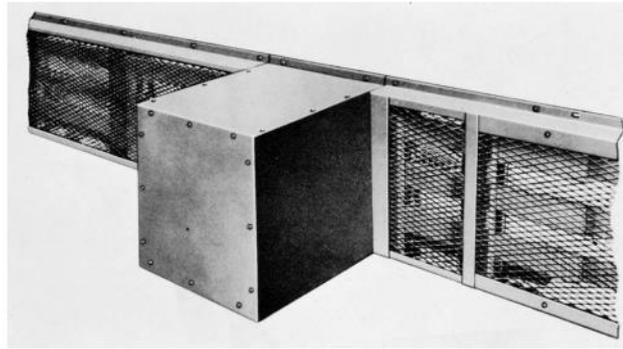
Daya dapat disadap dari feeder busway di setiap bukaan handhole. Bukaan handhole terletak di setiap sambungan dalam enklosur. Untuk panjang standar, sambungan dan bukaan handhole berjarak 10 kaki (3 m). Kotak tap kabel digunakan untuk tapoff kabel atau saluran atau feed-in pada setiap bukaan handhole, Gambar 3-4A. Lug dan strap kabel kotak tap, Gambar 3-4B, disediakan dengan setiap kotak tap. Adaptor sakelar sekering (bilik) dan bilik pemutus sirkuit tersedia untuk digunakan saat diperlukan untuk menghubungkan beban ke pengumpan, NEC 368.17(C).



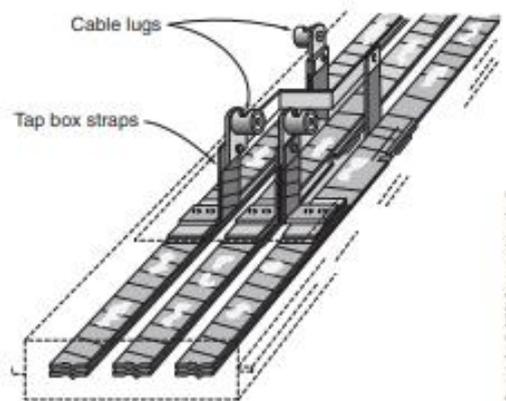
**GAMBAR 3-3** Penutupan akhir untuk busway berventilasi.

### **Pengumpan Busway No.2**

Sebagian besar informasi yang disajikan untuk feeder busway No. 1 berventilasi juga berlaku untuk feeder busway No. 2. Feeder ini juga dimulai pada bagian tegangan rendah dari unit gardu induk dan naik secara vertikal ke titik sedikit di bawah struktur atap di atas kepala dari gedung. Bagian siku dipasang pada titik ini untuk mengubah arah busway sambil memosisikannya sehingga berjalan secara horizontal membentuk tipe instalasi datar. Busway berjalan ke arah barat di tengah area manufaktur hingga mencapai perkiraan pusat area di mana tee section dipasang. Akibatnya, cabang dari saluran pengumpan yang sama berjalan ke utara dan selatan dan memanjang sejauh dua busway plug-in luar, Gambar 3-5. Feeder busway No. 2 dirancang untuk membawa nilai arus yang besar dengan rugi daya minimum dan pada suhu operasi yang rendah. Busway memiliki rating 1600 ampere dan 600 volt.



**GAMBAR 3-4A** Busway dengan kotak kabel tap



**GAMBAR 3-4B** Perpanjangan bus untuk memfasilitasi koneksi kabel.

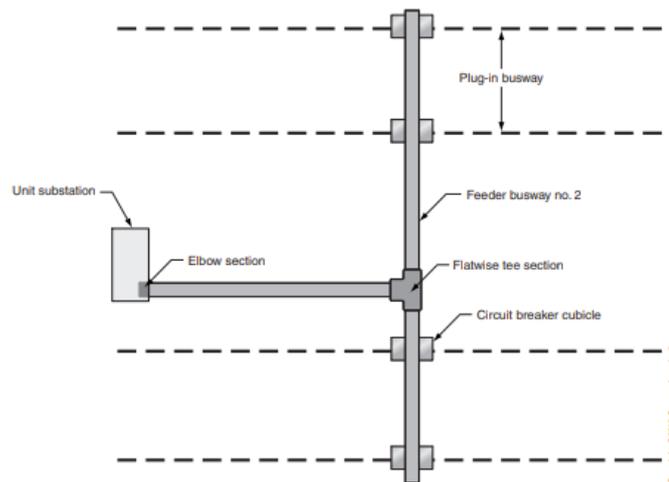
Busway pengumpulan No. 2 dibangun dari busbar fase berpasangan yang datar, berjarak rapat, terisolasi sepenuhnya, tertutup dalam selubung baja berventilasi serupa dengan busway No. 1. Bagian lurus, siku, tee, dan salib adalah komponen standar yang tersedia untuk digunakan sehingga saluran dapat dipasang secara horizontal atau vertikal, tepi atau datar, dan dapat memenuhi persyaratan belokan atau ketinggian apa pun. Ujung selubung dari bagian yang berdekatan saling tumpang tindih dan dibaut bersama-sama untuk membentuk sambungan scarf-lap yang kaku, Gambar 3-6.

Busbar datar tumpang tindih dengan cara yang sama seperti untuk casing. Busbar dibaut bersama dengan ring pegas, sekrup tutup, dan mur yang dilengkapi dengan bagian-bagiannya. Penutup snap-on plastik vinil melindungi bagian busbar yang dibaut. Ada dua busbar per fase, dengan total enam bar. Setiap batang berukuran  $2\frac{1}{4}$  kali  $27/16$  inci (6 mm kali 58 mm). Setiap busbar memiliki luas penampang  $0,61 \text{ in.}^2$  ( $394 \text{ mm}^2$ ); dengan demikian, luas total per fase adalah  $1,22 \text{ in.}^2$  ( $788 \text{ mm}^2$ ). Karena rakitan diberi nilai 1600 ampere, kerapatan arus di busbar adalah

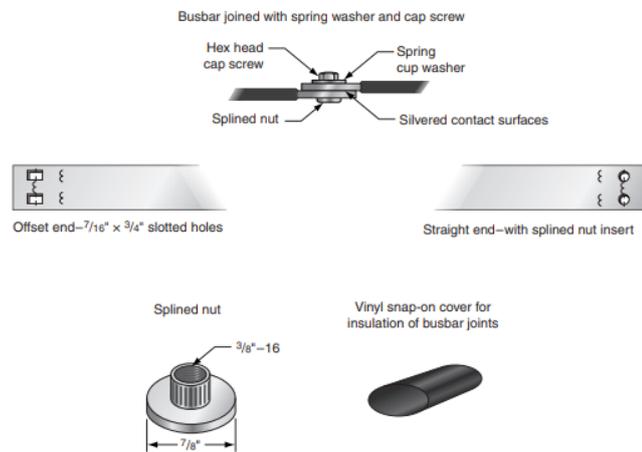
$$\frac{1600 \text{ A}}{1,22 \text{ in.}^2} = 1311 \text{ amperes/in.}^2 \text{ (of cross-sectional area)}$$

$$\frac{1600 \text{ A}}{788 \text{ mm}^2} = 2 \text{ amperes/mm}^2$$

Ketika ini dibandingkan dengan nilai kerapatan standar 1000 ampere per inci persegi (1,55 ampere per milimeter persegi), nilai transposisi bus untuk mengurangi impedansi terlihat jelas.



**GAMBAR 3-5** Pengumpan busway No. 2.



**GAMBAR 3-6** Aksesori busbar.

Pasangan busbar disambung pada ujung bergeleng yang terletak di gardu induk. Penutup ujung dipasang di dua bagian buntut pengumpan.

### 3.2 Kotak Pemutus Sirkuit

Bilik pemutus arus digunakan untuk menghubungkan busway pengumpan No. 2 ke jalur busway plug-in 225-ampere, Gambar 3-7. Ada sepuluh jalur ini di gedung industri; dengan demikian, lima bilik pemutus sirkuit ganda diperlukan.

Bilik pemutus sirkuit terdiri dari rumah baja berbentuk kubus. Rumah ini dapat dipasang ke sisi bawah saluran pengumpan berventilasi. Dua pemutus sirkuit 225 ampere disediakan dalam satu rumahan. Bukaannya di sisi bilik memungkinkan pemasangan busway plug-in. Busway ini berjalan dalam arah yang berlawanan di sudut kanan ke feeder (tinjau Gambar 3-5). Pemutus sirkuit melindungi saluran plug-in dari kelebihan beban, seperti yang disyaratkan oleh 368.17(C). Bagian Kode ini mensyaratkan bahwa sarana seperti rantai, tali, atau tongkat disediakan sehingga sarana pemutus dapat dioperasikan dari lantai. Dalam

instalasi ini, sebuah tali harus disambungkan ke setiap pegangan operasi dan dipanjangkan dalam jarak 7 kaki (2,1 m) dari lantai.



**GAMBAR 3-7** Bilik pemutus arus.

### 3.3 Busway Plug-in

Busway plug-in sebenarnya adalah subfeeder yang diambil dari feeder berventilasi No. Menurut tata letak yang ditunjukkan pada rencana, busway plug-in membuat daya 3-fase, 480 volt tersedia untuk semua bagian dan di setiap titik area manufaktur pabrik.

Busbar di busway dilapisi dengan perak di setiap titik sambungan. Perak tiada bandingnya sebagai konduktor listrik. Selain itu, perak lebih sedikit mengalami pitting (korosi) dibandingkan tembaga. Jadi, ketika jari-jari bus plug menyentuh lapisan perak busbar, koneksi konduktivitas tinggi dipastikan. Bagian plug-in standar memiliki panjang 10 kaki (3 m) dan terdiri dari dua bagian baja identik yang dibaut bersama untuk membentuk rumah luar yang lengkap, Gambar 3-8. Housing ini juga menyediakan fitur scarf-lap, yang memungkinkan dua bagian saluran yang berdekatan saling tumpang tindih sejauh 12 inci (300 mm). Putaran yang dihasilkan mensimulasikan sambungan yang saling bertautan dan memberikan kekakuan dan kekuatan yang tinggi pada rakitan, Gambar 3-9.

Busway yang ditentukan untuk bangunan industri adalah saluran 3-fase dan memiliki tegangan 225 ampere dan 480 volt. Meskipun *ells*, *tee*, dan penampang (atau *fitting*) tidak diperlukan untuk instalasi bangunan industri, *fitting* tersebut tersedia untuk digunakan bila ditentukan oleh desain atau tata letak. Beberapa alat kelengkapan ini ditunjukkan pada Gambar 3-10.

Bukaan plug-in power takeoff ditempatkan pada interval yang nyaman di sisi lain dari enklosur. (Setiap sisi memiliki jumlah bukaan yang sama.) Colokan bus dapat dimasukkan ke salah satu bukaan ini. Dengan cara ini, sirkuit cabang dapat dijatuhkan ke item peralatan apa pun yang membutuhkan tenaga listrik. Desain busi sedemikian rupa sehingga menempel pada penutup sebelum jari-jari busi menyentuh busbar. Keamanan tambahan disediakan oleh desain ini selama penyisipan steker, Gambar 3-11.

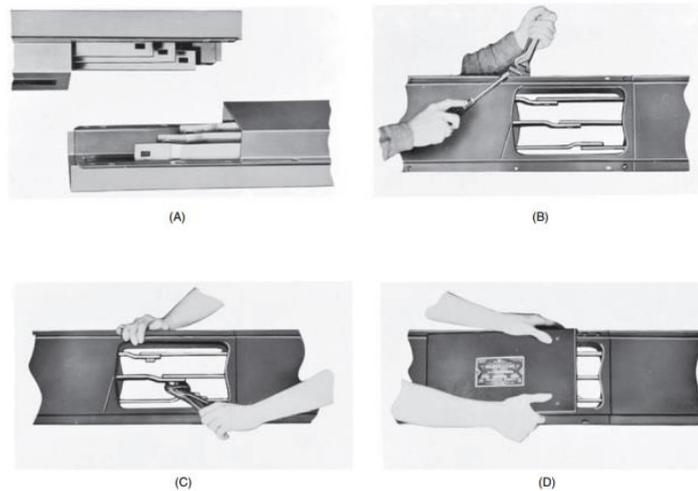
Busway plug-in digunakan untuk menyediakan sarana tapoff yang fleksibel untuk sirkuit cabang motor. Dengan kata lain, busway plug-in mengangkut energi listrik dari penyulang berventilasi ke lokasi mesin produksi. Bukaan tapoff setiap 10 inci (250 mm) di sepanjang busway berarti selalu ada lokasi yang nyaman untuk menghubungkan mesin.



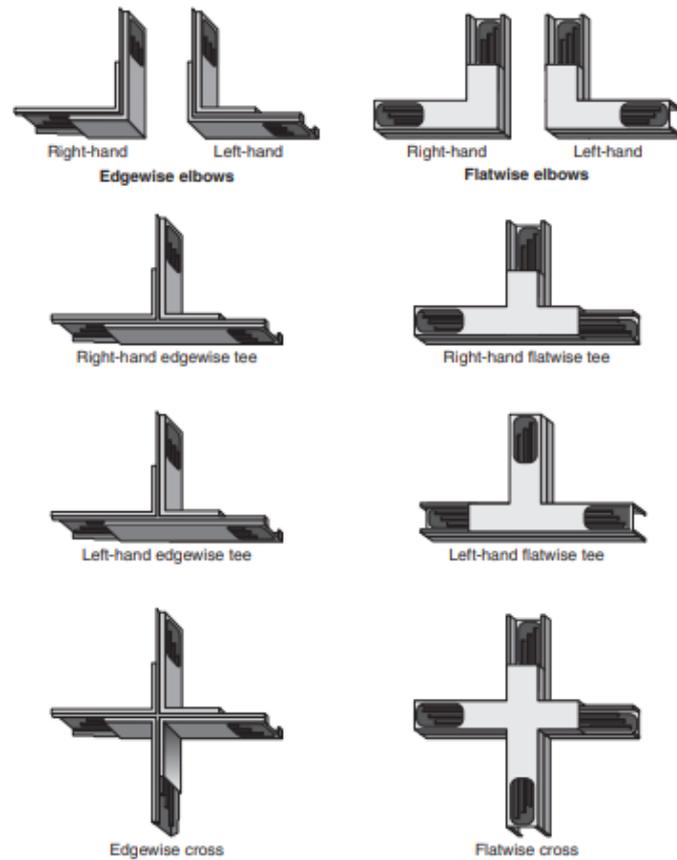
**GAMBAR 3-8** Busway plug-in.

Busway plug-in sangat mirip dengan kotak panel yang memanjang melalui area beban yang lengkap. Namun, sistem busway jauh lebih fleksibel. Jika mesin akan dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi lain, cukup mudah untuk mencabut perangkat pelindung sirkuit, memindahkannya dan mesin ke lokasi baru, dan memasang kembali perangkat pelindung ke sistem busway. Pemindahan jenis ini dapat dilakukan tanpa mematikan daya ke sistem atau mengganggu produksi dengan cara apa pun. Gambar 3-12 menunjukkan sistem distribusi daya yang khas.

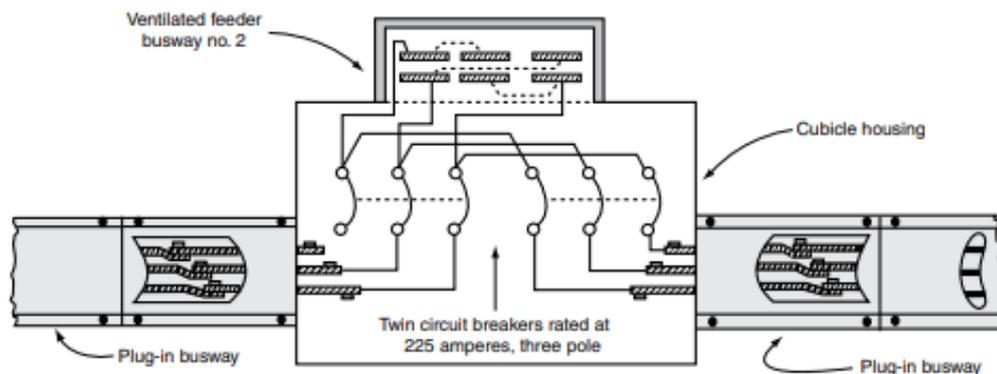
Sepuluh jalur busway plug-in yang terpisah di gedung industri dimulai dari bilik pemutus arus dan memanjang sejauh kira-kira 96 kaki (29 m) di kedua arah (timur-barat). Lintasan berjarak sekitar 32 kaki (9,6 m) di tengah dengan jarak yang lebih kecil antara lintasan luar dan dinding struktur. Ujung setiap run dilengkapi dengan fitting ujung yang lebih dekat.



**GAMBAR 3-9** Menggabungkan bagian saluran bus plug-in.



**GAMBAR 3-10** Sambungan busway fitting.

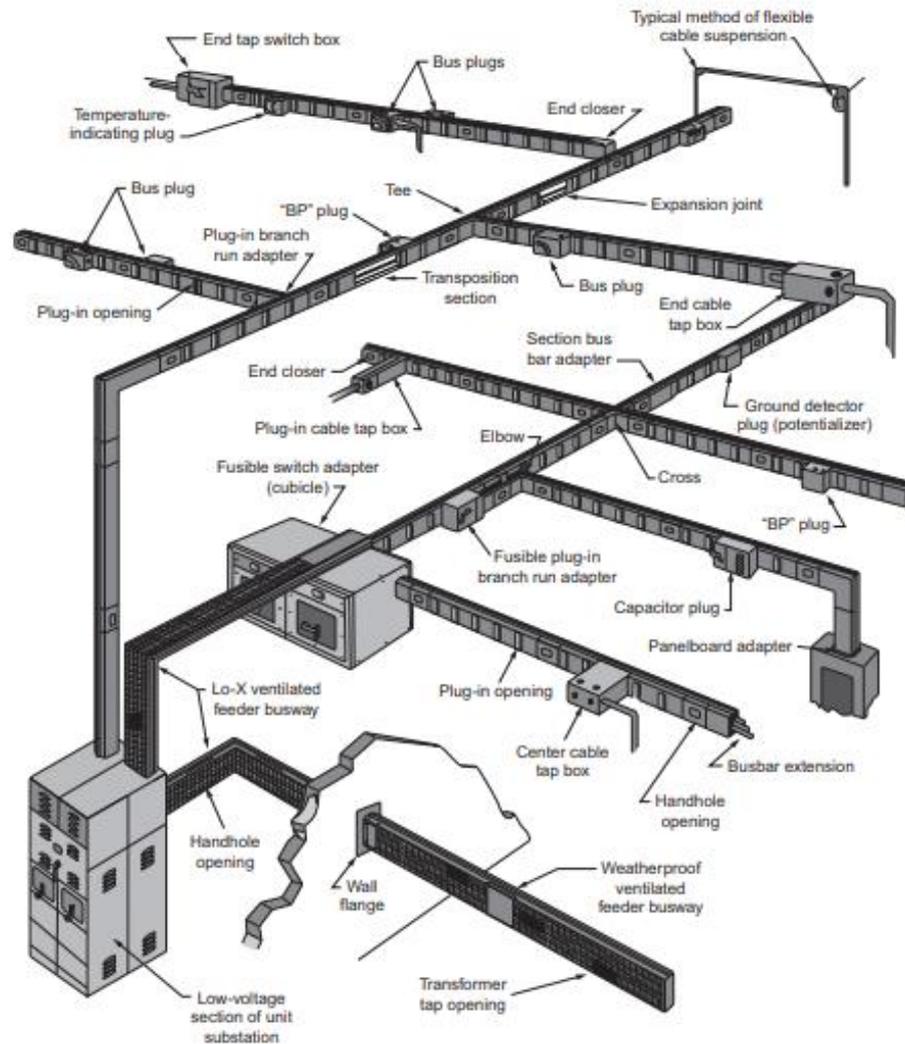


**GAMBAR 3-11** Busway plug-in.

### Metode Penangguhan

Ada pilihan metode yang hampir tidak terbatas untuk menggantung atau mendukung busway plug-in. Susunan penyangga diperlihatkan pada Gambar 3-13 untuk mengilustrasikan beberapa metode yang lebih umum untuk menggantung bagian menggunakan gantungan penjepit. Gantungan klem prefabrikasi menghilangkan pengeboran, pemotongan, atau pembengkokan yang umumnya terkait dengan gantungan yang dibangun di tempat kerja. Bagian gantungan klem diselipkan di atas selubung saluran dan dibaut bersama-sama. Susunan penopang yang diperlihatkan meliputi penopang braket, gantungan tali, gantungan batang, dan suspensi kabel messenger.

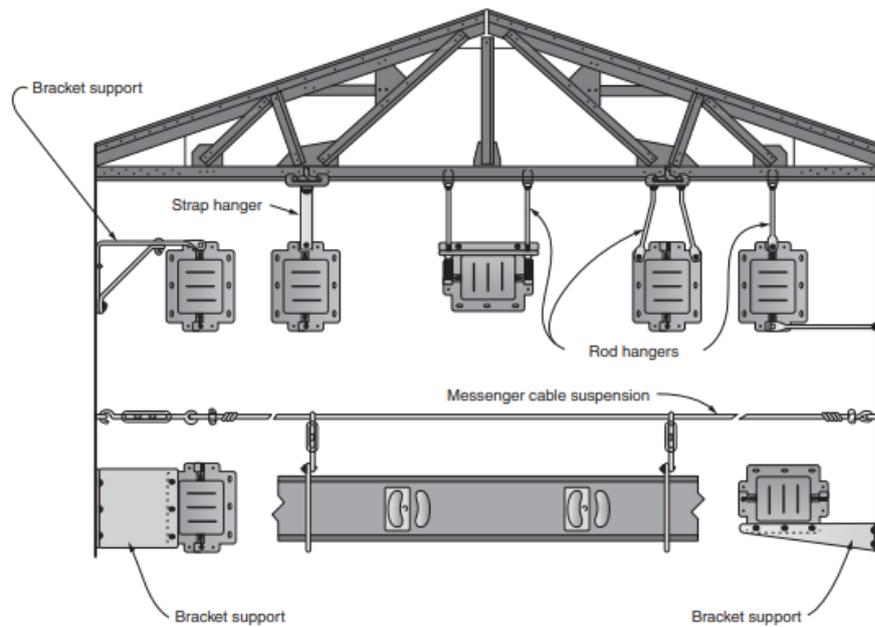
Busway yang digunakan pada bangunan industri ditopang oleh rod dan kabel messenger. Kabel ini, pada gilirannya, didukung dari struktur overhead. Busway semuanya didukung pada interval 5 kaki (1,5 m) atau kurang, sesuai dengan 368.30.



**GAMBAR 3-12** Sistem distribusi tenaga listrik.

### 3.4 Colokkan (Plug) Utama (Bus)

Satu colokkan (plug) bus, Gambar 3-14, harus dilengkapi untuk setiap mesin di area manufaktur pabrik. Menurut rencana dan spesifikasi untuk bangunan industri, ada 111 mesin yang akan disuplai dengan daya dari sistem plug-in. Jumlah dan ukuran busi yang dibutuhkan dirangkum dalam Tabel 3-1. Colokkan utama memberikan perlindungan sirkuit cabang untuk masing-masing mesin dan harus dipilih sesuai dengan persyaratan khusus masing-masing mesin. Perangkat plug-in diidentifikasi pada Lembar E-2 dari rencana sehubungan dengan jenis peralatan mesin yang akan dipasang.



**GAMBAR 3-13** Metode dukungan untuk busway.



**GAMBAR 3-14** Colokan bus.

Informasi lebih rinci diberikan dalam spesifikasi. Salah satu keuntungan dari unit plug-in yang dapat dilebur adalah jumlah ukuran minimum yang dibutuhkan. Ukuran unit plug-in didasarkan pada peringkat ampere sakelar. Selain itu, peringkat perangkat pelindung dapat dengan mudah diubah. Dimana perangkat tersebut berada di luar jangkauan operator mesin, sarana yang sesuai harus disediakan untuk mengoperasikan sarana pemutus. Lihat 368.17(C).

**TABEL 3-1** Jumlah dan ukuran busi yang dibutuhkan.

NUMBER OF BUS PLUGS REQUIRED	PROTECTIVE DEVICES RATING, AMPERES	SWITCH RATING, AMPERES
47	15	30
26	20	30
30	30	30
3	60	60
5	90	100

### 3.5 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditunjukkan secara rinci, dan referensi Kode harus dikutip bila perlu.

1. Kepadatan arus busway 1600-ampere dihitung menjadi 1313 ampere per inci persegi. Bandingkan ini dengan rapat arus yang diizinkan dari konduktor THWN tipe 500 kcmil (seribu mil melingkar).
2. Apakah diperbolehkan untuk memotong enam bukaan di bagian atas unit gardu, dengan setiap busbar dipasang melalui bukaan individu? Mengapa atau mengapa tidak?
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan transposing bus dan apa yang dicapai.
4. Jelaskan kapan waktu yang tepat untuk menggunakan busway dan kapan busway plug-in lebih disukai.
5. Jelaskan setidaknya empat metode dukungan, dan berikan contoh kapan penggunaannya akan sesuai.

## **BAB 4**

### **KOTAK PANEL**

#### **TUJUAN**

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

1. mengidentifikasi jenis kotak panel.
2. memilih dan menyetel pemutus sirkuit.
3. membuat sambungan pengumpan ke kotak panel.

#### **4.1 Kotak Panel**

Kontrol sirkuit dan proteksi arus lebih harus disediakan untuk semua sirkuit dan perangkat konsumsi daya yang terhubung ke sirkuit ini. Penerangan dan kotak panel daya yang terletak di seluruh bangunan yang disuplai dengan energi listrik memberikan kontrol dan perlindungan ini. Lima belas kotak panel disediakan di gedung industri untuk memasok energi listrik ke berbagai sirkuit, Tabel 4-1.

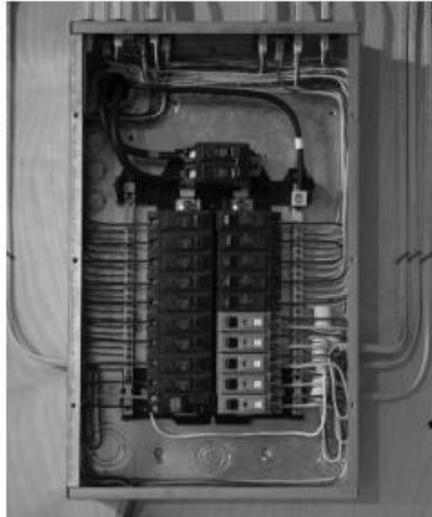
Semua kotak panel yang diperlukan tercantum dalam spesifikasi dan ditunjukkan pada denah atau dirujuk pada diagram riser. Kotak panel ini mendistribusikan energi listrik dan melindungi sirkuit yang memasok outlet ke seluruh gedung. Jadwal pada Tabel 4-1 menunjukkan bahwa sebelas dari lima belas kotak panel mencantumkan sirkuit penerangan dan stopkontak suplai. Sebagai aturan umum, kotak panel yang lebih dari 10% perangkat arus lebihnya dinilai pada 30 ampere atau kurang, dan yang disediakan sambungan netral, didefinisikan sebagai kotak panel sirkuit cabang penerangan dan peranti. Sepanjang teks ini, jenis kotak panel ini akan disebut kotak panel pencahayaan. Kotak panel yang tidak memenuhi persyaratan ini dikenal sebagai kotak panel daya atau distribusi.

#### **Kotak panel Pencahayaan dan Peralatan**

Persyaratan dasar untuk kotak panel diberikan dalam 408.36. Kotak panel P-1 sampai P-10 dan P-12 dianggap sebagai kotak panel penerangan dan peralatan (Tabel 4-1).

Untuk kotak panel ini, ikuti persyaratan berikut:

- Kotak panel harus memiliki peringkat tidak kurang dari kapasitas pengumpan minimum yang dihitung menurut NEC Pasal 408.
- Kotak panel harus dilindungi menggunakan perangkat pelindung arus lebih dengan pengaturan trip tidak melebihi nilai kotak panel.
- Beban total 3 jam tidak boleh melebihi 80% dari peringkat kotak panel kecuali jika secara khusus dinilai untuk tugas kontinu 100%.
- Kotak panel tersedia dengan peringkat utama standar 100, 225, 400, 600, 800, dan 1200 ampere.



**GAMBAR 4-1** Kotak panel penerangan dan peralatan dengan pemutus utama.

Kotak panel ini dapat dipasang tanpa perangkat pelindung utama dan dapat dihubungkan langsung ke pengumpan yang dilindungi tidak lebih dari peringkat kotak panel. Perlindungan individu diperlukan pada penerangan dan kotak panel peranti bila kotak panel ini dihubungkan ke sekunder transformator yang hanya memiliki perlindungan primer, Gambar 4-1.

Jika subfeeder, seperti yang berasal dari TA transformator (seperti yang ditunjukkan pada Lembar E-1 gambar kerja), melayani lebih dari satu panelboard, maka sambungan harus dibuat di subfeeder untuk masing-masing panelboard. Sambungan ini dapat dibuat baik dengan mengetuk konduktor atau dengan menggunakan lug subfeed di kotak panel, Gambar 4-2.

Jika lug subfeed digunakan, teknisi listrik harus memastikan bahwa lug cocok untuk membuat banyak sambungan, seperti yang dipersyaratkan oleh 110.14(A). Secara umum, ini berarti bahwa lug terpisah harus disediakan untuk setiap konduktor yang dihubungkan, Gambar 4-3.

Bila sambungan jenis ini digunakan, sangat penting untuk memastikan bahwa sambungan telah dikencangkan dengan benar. Koneksi yang longgar atau buruk adalah salah satu penyebab utama kebakaran listrik dan peralatan yang rusak. Kerusakan yang disebabkan oleh koneksi yang buruk pada terminal relai ditunjukkan pada Gambar 4-4. Konduktor dan terminal yang rusak ditunjukkan pada Gambar 4-5. Banyak produsen memberikan spesifikasi torsi. Jika hal ini terjadi, kunci momen harus digunakan untuk mengencangkan sambungan dengan benar, Gambar 4-6.

Jika keran dibuat ke subfeeder, ukurannya dapat dikurangi sesuai dengan 240.21. Spesifikasi ini sangat berguna dalam kasus seperti panelboard P-12. Untuk kotak panel ini, pemutus utama 100 ampere diumpankan oleh konduktor 350 kcmil. Dalam jarak yang diberikan pada bagian tersebut, konduktor dengan nilai 100 ampere dapat disadap ke subfeeder dan dihubungkan ke pemutus utama 100 ampere di kotak panel. Peringkat suhu konduktor harus dipilih dan dikoordinasikan agar tidak melebihi peringkat suhu terendah dari setiap terminasi, konduktor, atau perangkat yang terhubung [110,14(C)].

**TABEL 4-1** Jadwal kotak panel listrik untuk bangunan industri.

PANELBOARD NO.	LOCATION	MAINS	VOLTAGE RATING	NO. OF CIRCUITS	BREAKER RATINGS	POLES	PURPOSE
P-1	Basement N. Corridor	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	19	20 A	1	Lighting and
				2	20 A	2	Receptacles
				5	20 A	1	Spares
P-2	1st Floor N. Corridor	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	24	20 A	1	Lighting and
				2	20 A	2	Receptacles
				0			Spares
P-3	2nd Floor N. Corridor	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	24	20 A	1	Lighting and
				2	20 A	2	Receptacles
				0			Spares
P-4	Basement S. Corridor	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	24	20 A	1	Lighting and
				2	20 A	2	Receptacles
				0			Spares
P-5	1st Floor S. Corridor	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	23	20 A	1	Lighting and
				2	20 A	2	Receptacles
				1	20 A	1	Spares
P-6	2nd Floor S. Corridor	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	22	20 A	1	Lighting and
				2	20 A	2	Receptacles
				2	20 A	1	Spares
P-7	Mfg. Area N. Wall E.	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	5	50 A	1	Lighting and
				7	20 A	1	Receptacles
				2	20 A	1	Spares
P-8	Mfg. Area N. Wall W.	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	5	50 A	1	Lighting and
				7	20 A	1	Receptacles
				2	20 A	1	Spares
P-9	Mfg. Area S. Wall E.	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	5	50 A	1	Lighting and
				7	20 A	1	Receptacles
				2	20 A	1	Spares
P-10	Mfg. Area S. Wall W.	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	5	50 A	1	Lighting and
				7	20 A	1	Receptacles
				2	20 A	1	Spares
P-11	Mfg. Area East Wall	Lugs only 225 A	208 V 3 $\phi$ , 3 W	6	20 A	3	Blowers and Ventilators
P-12	Boiler Room	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	10	20 A	1	Lighting and
				4	20 A	1	Spares
P-13	Boiler Room	Lugs only 225 A	208 V 3 $\phi$ , 3 W	6	20 A	3	Oil Burners and Pumps
P-14	Mfg. Area East Wall	Lugs only 400 A	208 V 3 $\phi$ , 3 W	3	175 A	3	Chillers
				2	70 A	3	Fan Coil Units
				1	40 A	3	Fan Coil Units
P-15	Mfg. Area West Wall	Lugs only 600 A	208 V 3 $\phi$ , 3 W	5	100 A	3	Trolley Busway and Elevator

**GAMBAR 4-2** Metode penyambungan kotak panel.



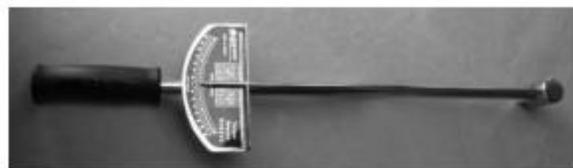
**GAMBAR 4-3** Konektor kabel.



**GAMBAR 4-4** Panas berlebih yang disebabkan oleh koneksi yang buruk.



**GAMBAR 4-5** Konduktor dan terminal terbakar karena koneksi yang buruk.



**GAMBAR 4-6** Kunci pas torsi digunakan untuk mengencangkan mur dan baut hingga kekencangan tertentu.



**GAMBAR 4-7** Pemutus kutub tunggal.



**GAMBAR 4-8** Pemutus kutub ganda

#### 4.2 Perangkat Pelindung Rangkaian (Sirkuit) Cabang

Tabel kotak panel untuk bangunan industri, Tabel 4-1, menunjukkan bahwa kotak panel penerangan P-1 sampai P-6 memiliki pemutus sirkuit 20 ampere, termasuk dua pemutus kutub ganda (untuk memasok outlet stop kontak khusus). Dua pemutus kutub tunggal, Gambar 4-7, memerlukan ruang pemasangan yang sama seperti untuk pemutus kutub ganda, Gambar 4-8. Untuk pemutus sirkuit 3 kutub seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-9, tiga kutub diperlukan untuk setiap pemutus yang digunakan. Ketika kotak panel dibeli, interior ditentukan oleh jumlah total tiang yang dibutuhkan; pemutus sirkuit dipesan secara terpisah.



**GAMBAR 4-9** Pemutus 3-kutub.

#### 4.3 Perangkat Pelindung Kotak Panel

Utama untuk panelboard dapat berupa sekering atau pemutus sirkuit. Karena teks Pengkabelan Listrik– Komersial membahas penggunaan sekering secara rinci, teks ini akan berkonsentrasi pada penggunaan pemutus sirkuit. Pemilihan pemutus sirkuit harus didasarkan pada kebutuhan untuk

- memberikan perlindungan kelebihan beban yang tepat;
- memastikan peringkat tegangan yang sesuai;
- memberikan rating arus interupsi yang cukup;
- memberikan perlindungan hubung singkat; dan
- mengkoordinasikan pemutus dengan perangkat pelindung lainnya.

Pilihan perlindungan kelebihan beban didasarkan pada peringkat kotak panel. Nilai trip pemutus sirkuit tidak boleh melebihi ampacity busbar di kotak panel. Jumlah pemutus

rangkaian cabang umumnya bukan merupakan faktor dalam pemilihan gawai proteksi utama kecuali dalam pengertian praktis. Ini adalah praktik umum untuk memiliki arus listrik total pemutus cabang melebihi peringkat pemutus utama beberapa kali. Peringkat tegangan pemutus harus lebih tinggi dari sistem. Pemutus biasanya dinilai pada 250 atau 600 volt.



**GAMBAR 4-10** Pemutus arus dengan trip magnet yang dapat disesuaikan.

Pentingnya peringkat interupsi dibahas secara rinci dalam Pengkabelan Listrik–Komersial. Siswa harus ingat bahwa jika ada pertanyaan mengenai nilai pasti dari arus hubung singkat yang tersedia pada suatu titik, pemutus sirkuit dengan peringkat interupsi tinggi harus dipasang.

Banyak pemutus sirkuit yang digunakan sebagai alat pelindung utama dilengkapi dengan perjalanan magnetis yang dapat disesuaikan, Gambar 4-10. Penyesuaian trip ini menentukan tingkat perlindungan yang diberikan oleh pemutus sirkuit jika terjadi korsleting. Pabrikan perangkat ini memberikan informasi yang tepat tentang penyesuaian yang akan dilakukan. Secara umum, pengaturan rendah mungkin sepuluh atau dua belas kali peringkat perjalanan kelebihan beban. Dua aturan harus diikuti setiap kali perjalanan magnet diatur:

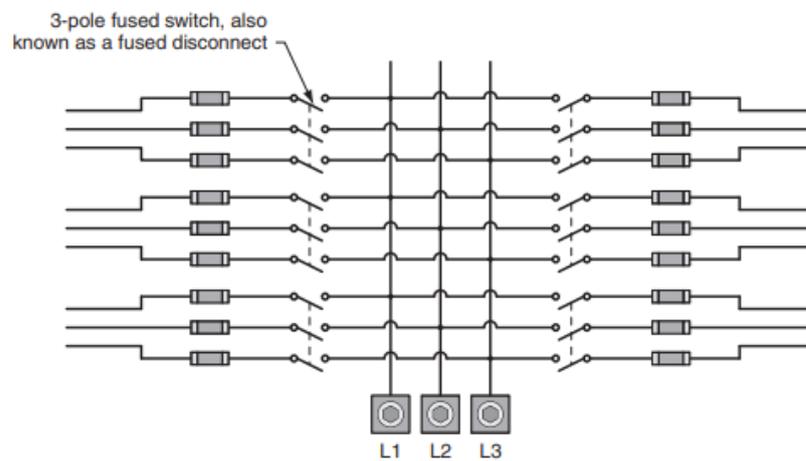
- Pengaturan yang lebih rendah memberikan perlindungan yang lebih besar.
- Pengaturan harus lebih rendah dari nilai arus hubung singkat yang tersedia pada titik tersebut.

#### **4.4 Kotak Panel Daya**

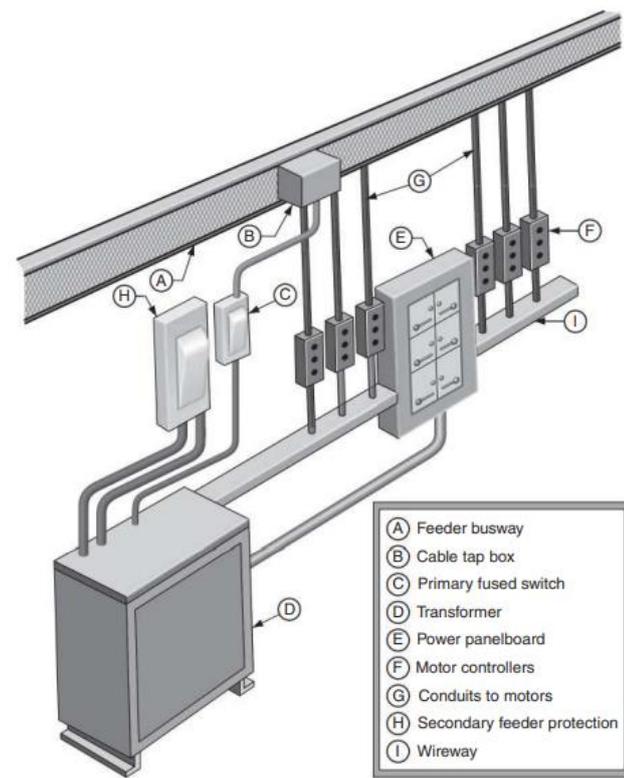
Jadwal kotak panel pada Tabel 4-1 menunjukkan bahwa empat kotak panel di gedung industri adalah kotak panel listrik. Kotak panel daya tipikal ditunjukkan pada Gambar 4-11. Susunan interior yang umum untuk kotak panel fusible 3-kawat ditunjukkan pada Gambar 4-12. Kotak panel dipasang dari sumber utama seperti transformator. Kotak panel kemudian menyediakan sirkuit untuk beban individu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-13.



**GAMBAR 4-11** Kotak panel daya biasa.



**GAMBAR 4-12** Kotak panel daya fusi.



**GAMBAR 4-13** Trafo yang dipasang di lantai memasok kotak panel daya.

#### 4.5 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditampilkan secara rinci, dan Kode referensi harus dikutip bila perlu.

1. Jadwal kotak panel diberikan pada Tabel 4-1. Berapa banyak di antaranya yang merupakan kotak panel listrik, dan apa perbedaannya dari yang lain?
2. Panelboard tiga fase, 4-kawat biasanya dibuat dengan jumlah ruang yang genap untuk setiap fase; dengan demikian, jumlah total ruang akan bertambah 6, seperti 12, 18, 24, 30, 36, atau 42. Berapa banyak ruang yang akan tersedia untuk penambahan pemutus sirkuit selanjutnya di kotak panel P-1 setelah panelboard telah dilengkapi sesuai jadwal?
3. Gambar 4-2 mengilustrasikan dua metode mengumpukan kotak panel dari pengumpulan yang terus melayani beban lain. Bandingkan kedua metode dan tunjukkan preferensi Anda.
4. Jelaskan secara rinci apa yang diilustrasikan pada Gambar 4-13.
5. Bagaimana Anda mengatur perjalanan magnetik pada pemutus sirkuit?

## BAB 5

### JALUR UTAMA TROLI

#### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- mengidentifikasi fitur instalasi busway troli.
- mengidentifikasi fitur busway troli penerangan dan pemasangannya.
- pilih komponen untuk mendukung kabel jatuh.

#### 5.1 Jalur Utama (*Busway*) Troli Tiga Fasa

Banyak pabrik industri modern menggunakan sistem outlet troli bergerak yang bergerak di sepanjang busway yang dibangun secara khusus. Bus troli industri adalah sistem kelistrikan busbar tertutup 100 ampere. Bus troli semacam itu menyediakan sistem outlet kontinu untuk menyalurkan energi listrik ke peralatan listrik portabel, derek, kerekan, dan beban listrik lainnya.

Ketika sistem troli dipasang di atas jalur produksi dan perakitan, sistem ini memberikan arus ke peralatan melalui troli yang bergerak bersama dengan objek tertentu yang sedang dirakit. Karena busbar benar-benar tertutup dalam selubung baja, tidak ada bagian aktif yang terbuka untuk memberikan bahaya bagi keselamatan pekerja. Sistem ini menghilangkan kebutuhan dan bahaya kabel portabel yang dicolokkan ke stopkontak tetap di lantai.

#### 5.2 Jalur Utama (*Busway*) Troli Berjalan

Lembar E-2 dari rencana bangunan industri menunjukkan tata letak empat jalur busway troli yang akan dipasang. Spesifikasi tersebut memberikan informasi yang lebih rinci tentang sistem jalur utama troli (*busway*). Empat lintasan seperti yang ditunjukkan pada Lembar E-2 diberi label A, B, C, dan D. Lari ini adalah 68 kaki (20,7 m), 131 kaki (40 m), 96 kaki (29 m), dan 106 kaki (32,3 m), masing-masing.

Sistem troli dibangun dari bagian lurus yang disambung dari ujung ke ujung, Gambar 5-1. Bagian standar memiliki panjang 10 kaki (3 m), tetapi bagian dengan panjang kurang dari 10 kaki (3 m) tersedia sehingga lintasan dapat dibuat ke dimensi yang tepat. Bagian melengkung dan perlengkapan lainnya juga tersedia.

#### Troli Busway Run A

Trolley run A terdiri dari busway lurus yang memanjang sejauh 68 kaki (20,7 m). Satu bagian drop-out 3-fase dipasang pada perkiraan titik tengah run. Bagian drop-out menyediakan sarana untuk melepas atau memasukkan troli, Gambar 5-2. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5-2, bagian drop-out berisi dua pintu berengsel yang terbuka saat tuas dinaikkan. Saat tuas berada di posisi bawah, pintu tertutup rapat dan troli bergerak melewati bagian ini dengan mulus. Tali pengikat memastikan bahwa troli tidak dapat ditempatkan dengan benar di saluran. Fitur ini juga memastikan bahwa polaritas selalu benar setelah troli

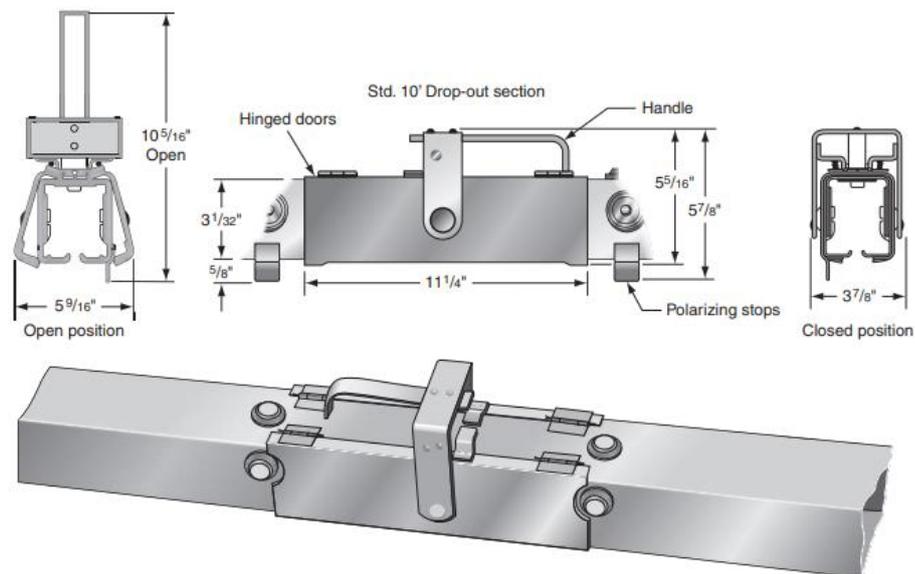
dimasukkan. Bagian drop-out tersedia dengan panjang 10 kaki (3 m), dan satu bagian drop harus dipasang di setiap run.

Troli busway harus digantung 8 kaki (2,5 m) di atas lantai sesuai dengan spesifikasi dan ditopang oleh gantungan standar. Gantungan ini juga berfungsi sebagai sarana untuk menghubungkan bagian yang berdekatan dan secara otomatis menyelaraskan busbar. Gantungan tersebut terbuat dari baja 12-gauge. Namun, satu-satunya alat yang diperlukan untuk menyambung saluran troli tipe industri adalah obeng.

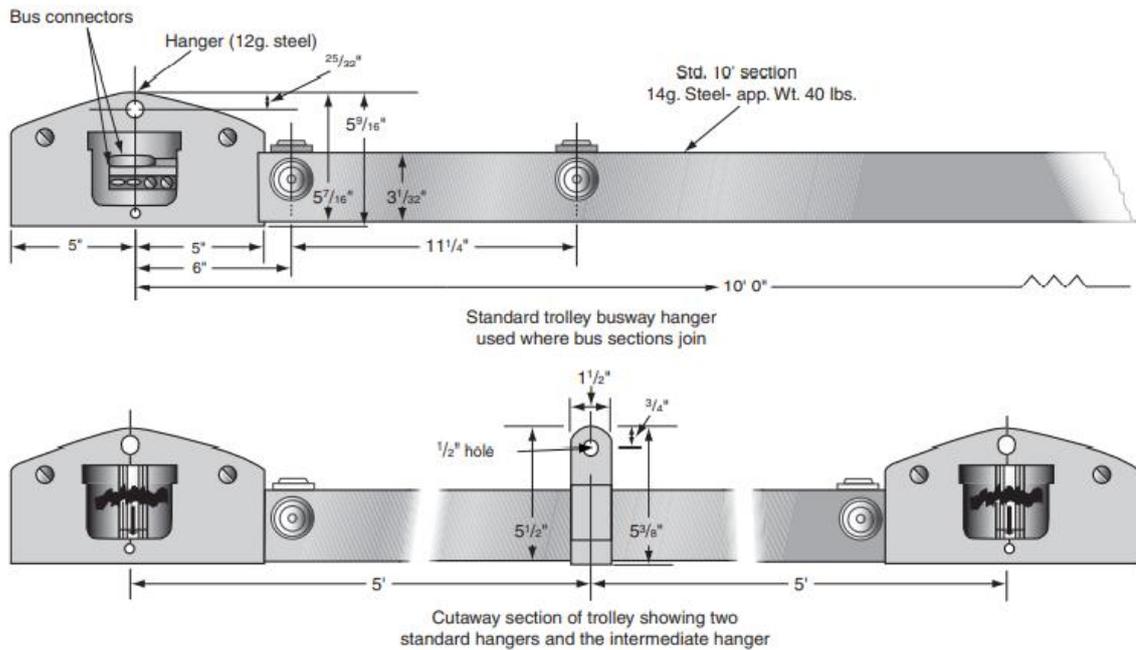
Gantungan tipe menengah digunakan pada titik tengah setiap bagian standar 10 kaki (3 m) untuk memberikan dukungan ekstra. Gantungan perantara pas di sekitar bagian saluran tetapi tidak mengganggu jalan bebas troli. Kombinasi gantungan standar dan gantungan perantara mendukung busway pada interval 5 kaki (1,5 m), menghasilkan pemasangan yang sangat kaku dan aman, Gambar 5-3. Gantungan standar dan perantara dipasang pada struktur di atas kepala dengan penyangga tipe batang atau tali, Gambar 5-4.



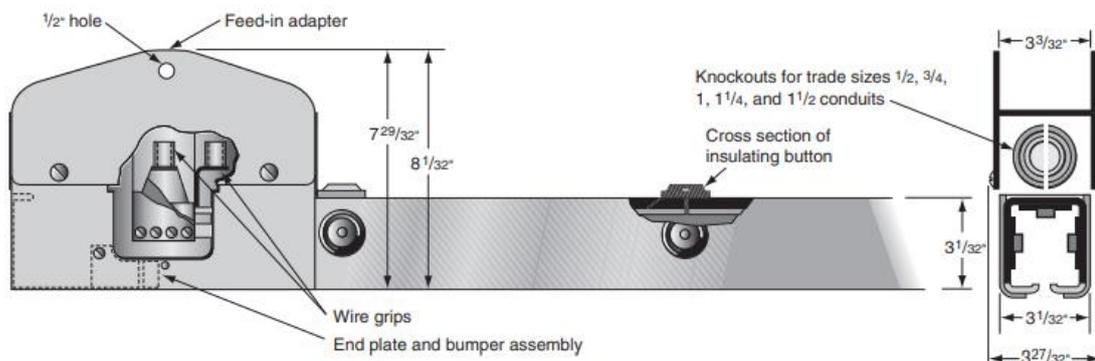
**GAMBAR 5-1** Bagian standar 10 kaki (3 m) dari troli busway.



**GAMBAR 5-2** Bagian drop-out standar.



**GAMBAR 5-3** Troli pendukung busway.



**GAMBAR 5-4** Bagian busway troli dengan adaptor feed-in dan pelat ujung dengan bumper.

Setiap ujung busway ditutup dengan pelat ujung dan rakitan bumper. Perangkat ini menutup ujung jalur busway dan bertindak sebagai bumper untuk setiap troli yang mencapai ujung busway. Bumper menyerap guncangan dan melindungi troli dari kerusakan.

#### Adaptor Umpam Masuk

Catu daya dari panelboard diumpankan ke jalur busway melalui adaptor feed-in, Gambar 5-4. Adaptor feed-in memiliki terminal kabel tipe tekanan. Adaptor ini dapat digunakan di akhir perjalanan, atau dapat dipasang di tengah busway untuk menyediakan umpam tengah untuk sambungan saluran atau kabel dari panelboard. Saluran harus dipasang di antara kotak panel daya dan adaptor masukan untuk mengalirkan daya ke busway troli. Sirkuit 100 ampere akan berjalan di saluran ini dari panelboard P-15.

#### Troli

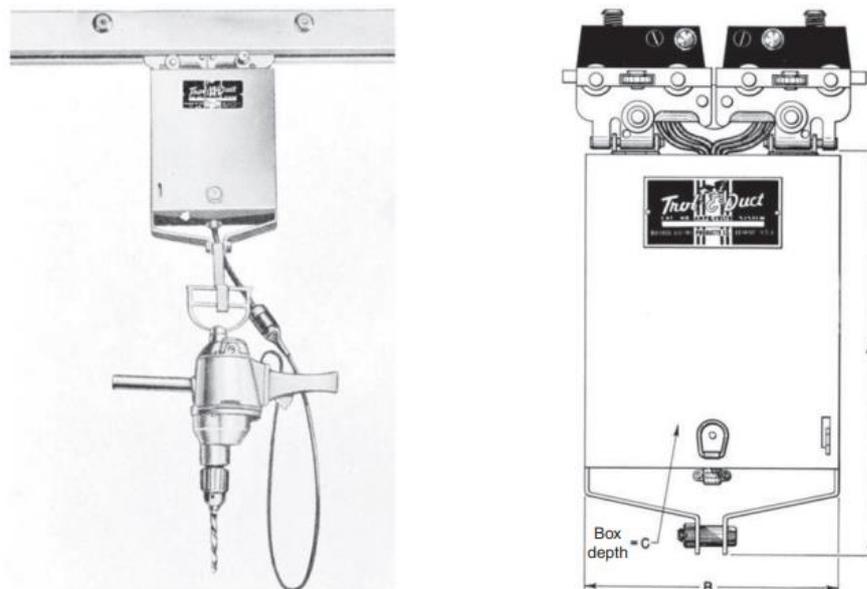
Beberapa jenis troli yang menyatu dan tidak menyatu tersedia. Troli yang ditentukan untuk bangunan industri adalah gantungan alat tipe kotak yang dapat melebur dengan peringkat tugas berat. Gantungan alat kotak, Gambar 5-5, memiliki penutup berengsel dan

dilengkapi dengan pemutus sekering tipe penarik, stop kontak, dan penjepit kabel. Untuk bangunan industri, disediakan pemutus untuk sekering 0 hingga 30 ampere. Troli memiliki delapan roda dan empat roller dorong samping untuk memastikan pergerakan yang mulus di sepanjang busway.

Troli memiliki enam sepatu perunggu grafit. Sepatu ini bersentuhan dengan busbar dan menyediakan jalur yang berlanjut melalui pemutus sekering dan stopkontak ke kabel karet 4-kawat tugas berat. Kabel ini digunakan untuk memasang berbagai alat portabel seperti bor listrik, penyangga, gerinda, dan peralatan lainnya ke sistem busway, Gambar 5-6.



**GAMBAR 5-5** Troli dengan gantungan alat kotak.



**GAMBAR 5-6** Troli tugas berat dengan gantungan alat kotak.

Kabel karet 4-kawat menyediakan tiga konduktor untuk mengoperasikan alat portabel 3 fase yang digunakan di tempat kerja. Konduktor keempat (berwarna hijau) digunakan untuk membumikan peralatan (400.23 dan 400.24).

Salah satu ujung konduktor pembumian harus dipasang dengan aman ke troli, dan ujung lainnya ke rumah alat portabel. Kabel harus disetujui untuk penggunaan tugas berat dan dapat berupa tipe SJ yang berisi 12 konduktor AWG. Sekering di troli diberi nilai 20 ampere,

Gambar 5-7. Spesifikasi untuk bangunan industri memerlukan penggunaan satu troli untuk setiap troli busway sepanjang 15 ft (4,5 m) atau fraksinya. Jadi, untuk lintasan A (panjang 20,7 m), kontraktor harus menyediakan lima troli. Gambar 5-8 menunjukkan tipikal pemasangan troli busway.

### Lari Saluran

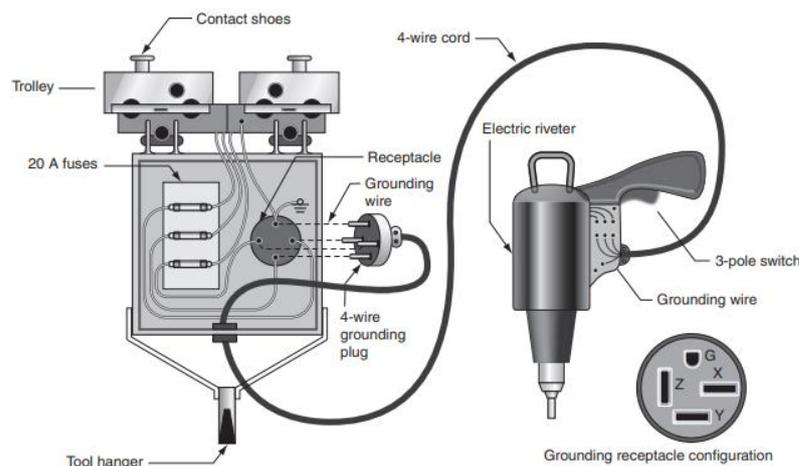
Conduit harus dipasang dari feed-in adapter ke power panelboard untuk membawa energi listrik ke duct run. Sirkuit pengumpan 100 ampere akan berjalan di saluran ini dari panelboard P-15.

### Trolley Busway Run B

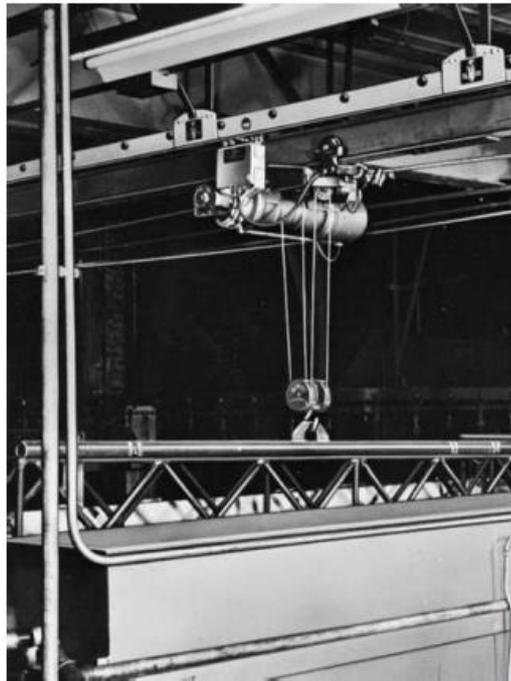
Seperti yang ditunjukkan pada denah, troli busway run B memanjang 131 kaki (40 m). Informasi yang diberikan untuk busway run A juga berlaku untuk trolley run B, C, dan D. Lokasi run B ditunjukkan pada Lembar E-2. Seperti halnya run A, saluran harus dipasang ke kotak panel daya No. 15. Saluran saluran harus dirutekan agar sesuai dengan struktur bangunan. Sembilan troli diperlukan untuk menjalankan troli B.

### Troli Run C

Trolley run C adalah lari lurus dengan panjang 96 ft (29 m) (lihat Lembar E-2 dari rencana). Proses ini terhubung ke kotak panel daya No. 15 melalui saluran dari adaptor feed-in yang terletak di ujung proses. Enam troli diperlukan untuk menjalankan troli C.



**GAMBAR 5-7** Detail gantungan alat tipe kotak troli yang menunjukkan sambungan ground.



**GAMBAR 5-8** Troli busway dapat digunakan untuk menyalurkan daya ke peralatan pengangkat.

### **Troli Run D**

Troli lari D panjangnya 106 kaki (32,3 m). Metode pemasangan dan suku cadang yang digunakan untuk proses ini sama dengan yang digunakan pada proses lainnya. Panelboard P-15 (terletak di dinding barat area manufaktur) kembali mensuplai energi listrik ke run. Menurut spesifikasinya, run D membutuhkan delapan troli termasuk gantungan alat untuk dipasang, satu untuk setiap 15 ft (4,5 m) atau bagiannya dari busway. Masing-masing dari empat sistem troli (A sampai D) adalah sistem 3-fase dan diberi nilai 208 volt dan 100 ampere. Colokan lampiran peralatan yang digunakan dengan sistem saluran terpolarisasi. Fitur ini menghilangkan beberapa masalah ketika alat portabel yang memiliki motor 3-fase digunakan. Misalnya, fase terbalik dan pembalikan yang dihasilkan dalam arah rotasi alat portabel dihilangkan.

Sistem troli ini memiliki beberapa keunggulan. Prosesnya mengikuti jalur produksi dan perakitan pabrik. Kemudahan ini cenderung menambah jumlah pekerjaan yang dapat diselesaikan. Area produksi yang lebih rapi dan aman tetap terjaga karena alat yang biasa digunakan pekerja tidak tersebar di lantai melainkan digantung langsung di atas area kerja.

### **5.3 Pencahayaan Di Wilayah Manufaktur**

Sistem penerangan umum untuk area manufaktur pabrik terdiri dari 180 luminer fluoresen yang digantungkan dari sistem busway troli penerangan 50 ampere. Jenis sistem pencahayaan ini digunakan secara luas dalam aplikasi industri karena mobilitas yang disediakan oleh sistem, Gambar 5-9. Misalnya, dalam industri modern, lini produksi dan tata letak mesin dapat diubah bila diperlukan dengan pengenalan produk baru atau metode manufaktur. Sistem penerangan yang terdiri dari saluran keluar tetap dan sistem saluran tetap

tidak mudah beradaptasi dengan perubahan persyaratan tersebut. Di sisi lain, sistem luminer yang digantung dari sistem troli dapat dengan mudah dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi lain sesuai keinginan. Tidak perlu melepas atau mengganti sistem saluran berat seperti yang diperlukan untuk mengubah sistem outlet penerangan tetap. Jika perubahan ekstensif atau pergantian pabrik besar memerlukan pemindahan saluran troli penerangan, bagian saluran sepenuhnya dapat digunakan kembali.

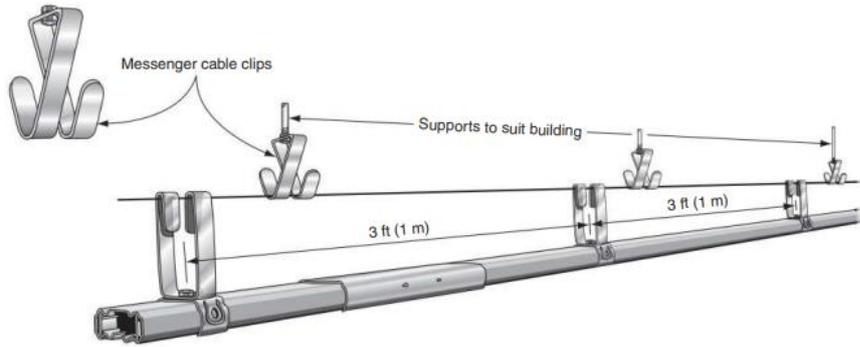
Busway troli penerangan diberi nilai 50 ampere. Dengan demikian, sirkuit penerangan 50 ampere tersedia, dibandingkan dengan sirkuit cabang 15 atau 20 ampere yang digunakan dalam sistem penerangan konvensional. Sirkuit penerangan 50 ampere yang digunakan dalam sistem troli disetujui oleh Underwriters Laboratories, Inc. (UL).

Sirkuit penerangan troli di gedung industri terdiri dari dua puluh sirkuit cabang 50 ampere. Sirkuit cabang ini, pada gilirannya, terdiri dari 20 jalur troli yang dibuat dengan panjang standar 10 kaki (3 m) dan panjang khusus jika diperlukan. Setiap lari memiliki panjang sekitar 96 kaki (29,3 m). Jalannya ditangguhkan oleh klip khusus dari kabel kurir yang direntangkan erat di bawah rangka struktur atap. Kabel messenger ini disesuaikan untuk ketegangan dengan turnbuckle yang terletak di ujung run. Penyangga perantara untuk kabel pembawa pesan, Gambar 5-10, harus dipasang ke struktur di atas kepala pada interval yang sesuai untuk mencegah kendurnya sistem pencahayaan.



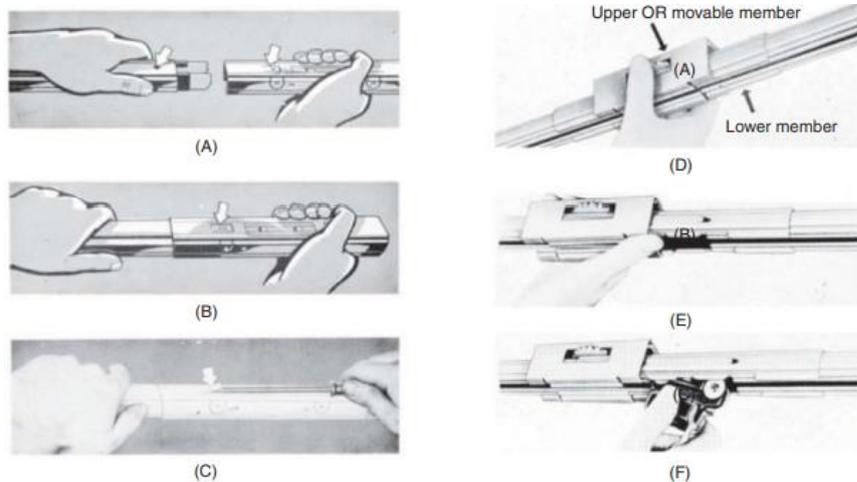
**GAMBAR 5-9** Sistem penerangan busway troli tipikal.

Troli penerangan tersedia dalam bagian 5 kaki (1,5 m) dan 10 kaki (3 m). Bagian-bagian ini digabungkan dengan kopleng biasa. Ujung bagian berisi tutup ujung pintu masuk troli. Kopleng polos membuat sambungan positif, secara elektrik dan mekanis, antara dua bagian saluran dan memungkinkan lintasan bebas troli di sepanjang saluran saluran. Pintu masuk dan tutup troli memiliki dua tujuan: Menutup ujung saluran dan menyediakan titik masuk untuk memasukkan atau melepas troli, Gambar 5-11. Kopleng pintu masuk troli lainnya digunakan di titik tengah (kurang-lebih) dari setiap saluran. Pengaturan ini merupakan kenyamanan tambahan saat melepas atau memasukkan troli. Untuk mencegah terjadinya busur api, troli tidak boleh dimasukkan atau dilepas saat sedang dimuat.



**GAMBAR 5-10** Suspensi kabel Messenger.

Kotak feed-in tengah digunakan untuk membawa kabel suplai listrik ke troli busway. Setiap kotak memiliki dua koping yang dapat disesuaikan (satu di setiap ujung kotak) yang dihubungkan dengan kabel jumper fleksibel yang dapat dilepas. Selain itu, feed-in box memiliki dua set konsentris knockouts yang menyediakan sarana untuk membawa saluran feed-in ke dalam sistem saluran, Gambar 5-12.



**GAMBAR 5-11** Koping pintu masuk biasa dan troli.

### Busbar

Troli busway dilengkapi dengan dua busbar tembaga. Setiap batang memiliki luas penampang 30.557 mil lingkaran dan dinilai oleh UL pada 50 ampere dan 250 volt, Gambar 5-13.



**GAMBAR 5-12** Kotak umpan.



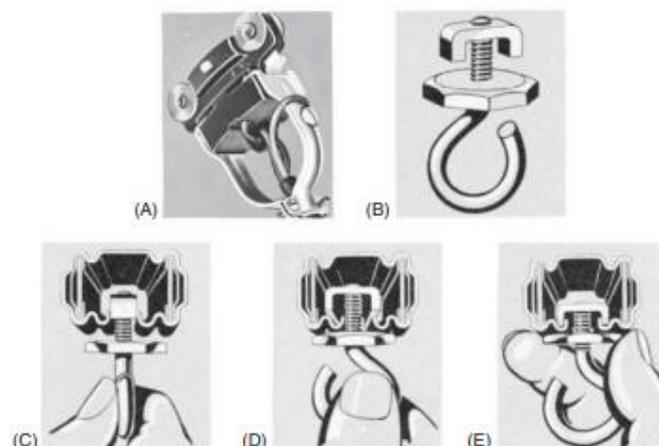
**GAMBAR 5-13** Bagian busbar.

### Troli

Beberapa jenis troli tersedia untuk digunakan dengan troli penerangan busway. Troli yang dikhususkan untuk bangunan industri dilengkapi dengan penjepit kabel dan sekrup pembumian. Troli memiliki roda logam dan dapat bergerak bebas di sepanjang busway dari satu posisi ke posisi lainnya. Dua perangkat penopang beban tugas berat digunakan dengan troli ketika lumener berat harus digantung darinya seperti halnya dengan bangunan industri, Gambar 5-14.

Dua puluh sirkuit penerangan cabang troli busway 50-ampere di area manufaktur berjalan ke timur dan barat dari dua puluh kotak feed-in tengah (lihat Lembar E-3 dari rencana). Sirkuit ini membentuk sepuluh baris lampu gantung troli busway. Setiap sirkuit memiliki sembilan troli, dan lumener fluoresen tipe industri dengan panjang 96 inci (panjang 2,5 m) digantung dari setiap troli.

Lumener yang digunakan di area manufaktur adalah lumener fluoresen tipe industri. Setiap lumener menggunakan dua lampu F96T12/CW/VHO dengan daya masing-masing 215 watt. Namun, rugi-rugi daya pada balast meningkatkan nilai ini menjadi 450 volt-ampere per lumener. Ballast fluoresen yang digunakan adalah semua jenis faktor daya tinggi, dengan sekering individual yang disediakan sesuai dengan 368.17.



**GAMBAR 5-14** Penyangga beban tugas berat.

Lumener juga dilengkapi dengan lead-lag adder, yang menyebabkan lampu menyala pada waktu yang berbeda. Dengan kata lain, puncak gelombang arus dari satu lampu terjadi hampir setengah siklus sebelum lampu kedua menerima puncak gelombang. Susunan ini menghilangkan sebagian besar efek stroboskopik yang terjadi jika lampu individual digunakan atau jika sistem lead-lag tidak digunakan. Lumener ditopang di bagian tengah oleh sambungan troli dan dengan dua penyangga tambahan di dekat ujung setiap lumener. Dari 180 lumener yang dipasang di gedung industri, 45 diumpankan dari masing-masing dari empat kotak panel.

Selain penerangan, beberapa stop kontak juga dialiri daya dari masing-masing panelboard. Menurut rencana dan Jadwal Outlet Wadah yang termasuk dalam spesifikasi, masing-masing dari empat kotak panel penerangan di area manufaktur pabrik berisi tujuh pemutus sirkuit 20 ampere yang memberi makan lima belas soket pentanahan dupleks. Dua atau tiga stopkontak ditempatkan pada masing-masing sirkuit 120 volt ini.

#### **5.4 Pencahayaan Di Ruang Boiler**

Panelboard P-12 terletak di ruang boiler pabrik. Panelboard ini mensuplai kebutuhan penerangan dan stop kontak di area ini. Ada enam belas outlet lampu di ruang boiler yang terhubung ke empat sirkuit terpisah sehingga ada empat outlet di setiap sirkuit. Lumener yang digunakan di ruang ketel sama dengan yang digunakan di area manufaktur. Namun, enam belas lumener ini digantung dengan rantai dari kotak outlet tetap.

##### **Kabel Jatuh (NEC Pasal 400)**

Spesifikasinya menyerukan penggunaan kabel karet SJ tipe 4 konduktor untuk menghubungkan berbagai mesin di area manufaktur ke sistem busway. Kabel ini dinilai untuk penggunaan tugas berat. Warna masing-masing konduktor kabel adalah hitam, putih, merah, dan hijau. Konduktor hijau dicadangkan untuk pentanahan peralatan. Salah satu ujung konduktor ini terhubung ke rumah baja steker bus. Ujung konduktor yang lain terhubung ke rumah baja dari peralatan kontrol motor pada mesin.

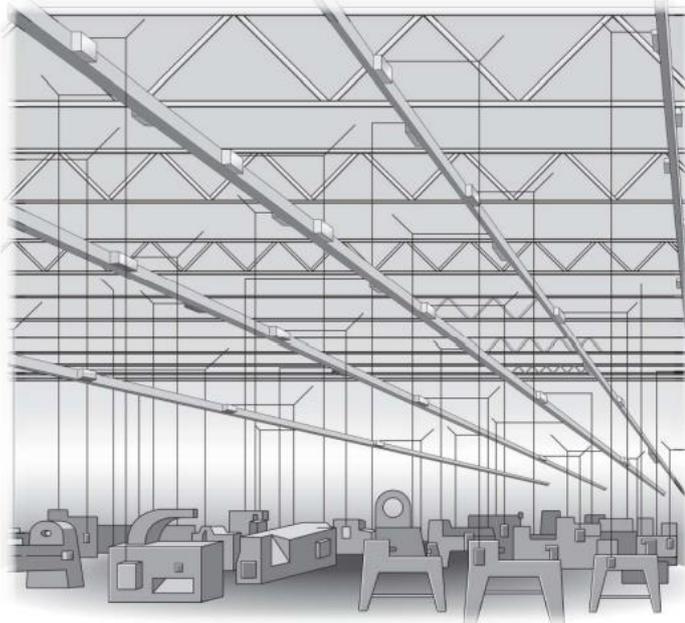
Penurunan dari sistem busway overhead untuk memasok daya ke mesin yang terletak di berbagai titik di lantai biasanya dilakukan dengan salah satu dari dua metode. Salah satu metode melibatkan penggunaan saluran kaku atau dinding tipis untuk memanjang dari steker bus ke mesin yang akan dilayaninya. Saluran dapat dijalankan secara horizontal dengan atau tanpa tikungan ke titik langsung di atas mesin yang akan disuplai dan kemudian dijatuhkan secara vertikal. Sistem yang dihasilkan adalah rakitan raceway kaku yang harus didukung oleh gantungan yang sesuai. Konduktor yang tidak di-ground ditarik ke dalam saluran, yang berfungsi sebagai ground peralatan.

Salah satu kelemahan metode ini adalah tidak fleksibel ketika tata letak mesin yang dilayani harus diatur ulang. Dalam kasus seperti itu, rakitan saluran harus diturunkan, kabel dilepas, dan saluran dibongkar. Kemudian, seluruh rangkaian harus dibangun kembali agar sesuai dengan lokasi baru menggunakan kabel baru dan saluran baru untuk sebagian atau seluruh rakitan. Cara kedua adalah dengan menggunakan drop kabel karet dari busi ke mesin yang dilayani, Gambar 5-15. Metode ini fleksibel dalam hal membuat perubahan dan dengan demikian umum digunakan. Bangunan industri menggunakan metode rubber cord drop.

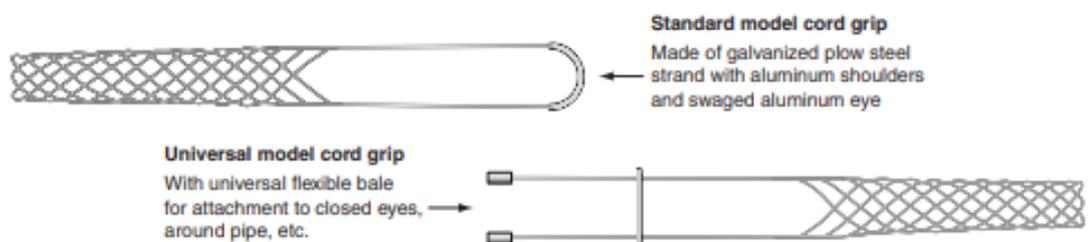
### Pereda Ketegangan

Pegangan pelepas regangan digunakan dalam metode penurunan kabel dalam memasok peralatan untuk memenuhi 400.10. Jenis pegangan pelepas regangan dirancang untuk digunakan di terminal atau ujung kabel karet yang jatuh di mana kabel itu masuk atau keluar dari lubang knockout di busi, di sakelar pemutus, atau di pengontrol motor. Grip drop bus digunakan pada atau di dekat ujung kabel karet dan juga di mana kabel berubah arah dari horizontal ke vertikal, Gambar 5-15 dan Gambar 5-16.

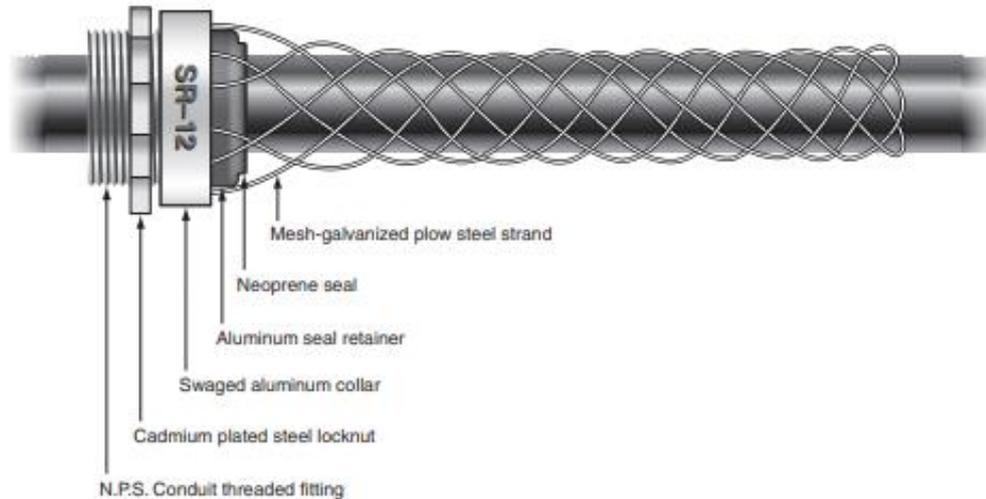
Gambar 5-17 menunjukkan bahwa pegangan kabel dibuat dalam pola anyaman keranjang. Gripnya berbentuk tabung dan terbuat dari untaian kawat baja bajak galvanis. Genggaman tersedia dalam berbagai ukuran agar sesuai dengan sebagian besar kabel atau kabel. Ketika regangan atau tegangan ditempatkan pada tali karet sehingga ditarik kencang, struktur keranjang pegangan tali berkontraksi untuk menerapkan cengkleraman yang lebih kuat pada tali. Pegas pengaman penurunan bus digunakan untuk mempertahankan tegangan yang tepat pada jalur kabel horizontal dan vertikal.



**GAMBAR 5-15** Mesin disuplai dengan kabel karet dari busway di atas.

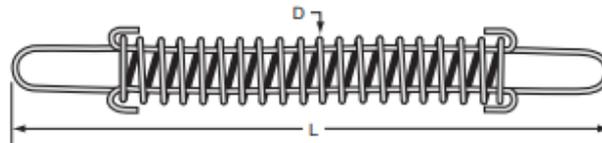


**GAMBAR 5-16** Model pegangan kabel.



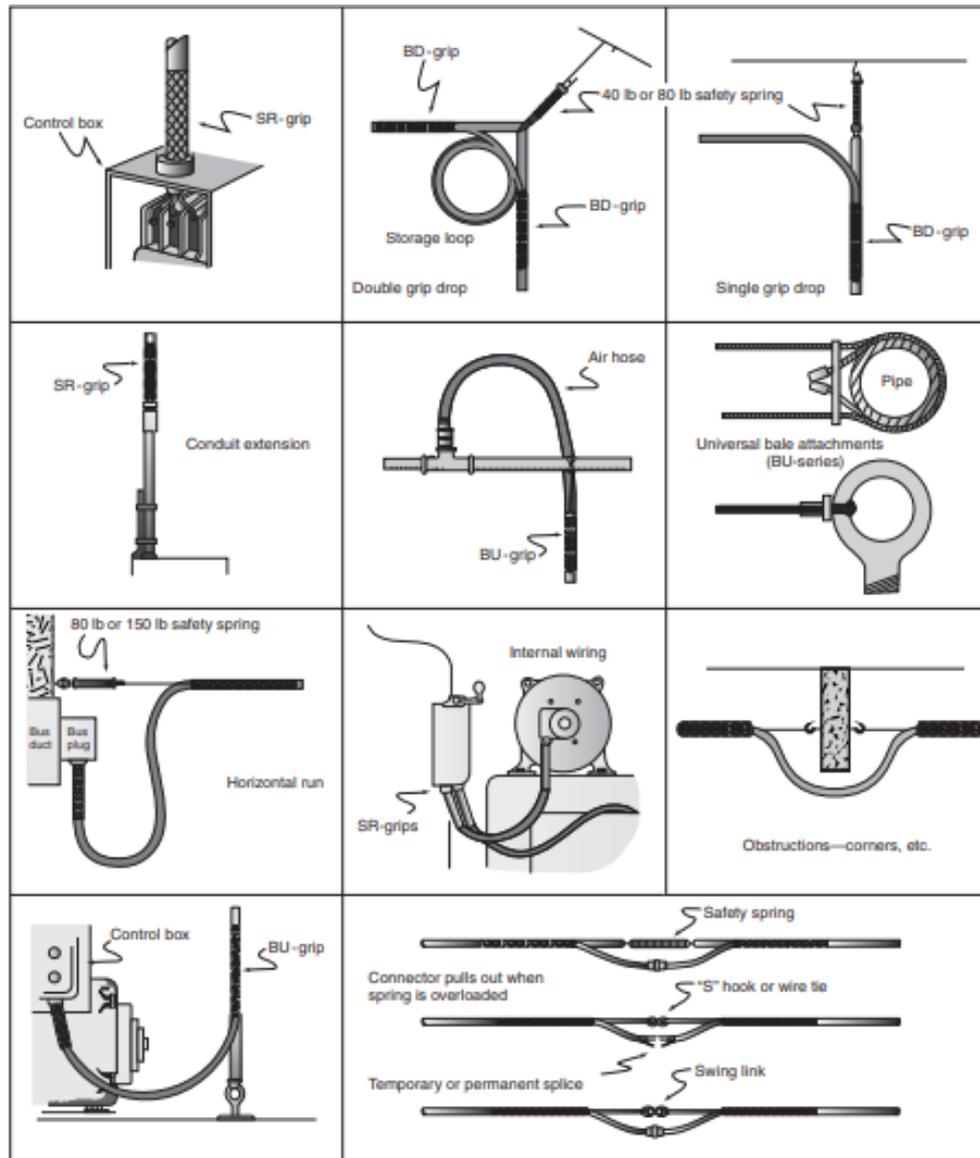
**GAMBAR 5-17** Pegangan kabel drop dan strain relief.

Mata air ini tersedia dengan 40-, 80-, dan 150-pound (18,14, 36,28, dan 68 kg) peringkat. Pemilihan pegas yang tepat tergantung pada berat dan panjang kabel yang disangga, Gambar 5-18. Beberapa cara berbeda dalam menggunakan pegangan kabel ditunjukkan pada Gambar 5-19.



Catalog number	Maximum deflection	Breaking strength	No load length	Diameter
40 lb.	2.875 in. @ 45 lb. 73.0 mm @ 20.4 kg	500 lb. 227 kg	7.25 in. 184 mm	0.75 in. 19 mm
80 lb.	2.62 in. @ 110 lb. 66.5 mm @ 50 kg	850 lb. 385 kg	8.25 in. 209 mm	1 in. 25 mm
150 lb.	2.38 in. @ 175 lb. 60.5 mm @ 79 kg	850 lb. 385 kg	8.25 in. 209 mm	1.125 in. 28 mm

**GAMBAR 5-18** Pegas pegangan penurunan bus.



**GAMBAR 5-19** Aplikasi bus drop dan grip kabel strain relief.

### 5.5 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditampilkan secara rinci, dan Kode referensi harus dikutip bila perlu.

1. Apa keuntungan memasang troli busway?
2. Apakah troli busway dianggap sebagai feeder atau sirkuit cabang?
3. Fitur apa yang disediakan oleh gantungan tipe kotak troli?
4. Jelaskan pengoperasian pegangan pelepas regangan dan identifikasi fungsi dasarnya.
5. Apa keuntungan memasang lampu di busway?

## BAB 6

### TABEL KAWAT DAN UKURAN KONDUKTOR

#### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- pilih konduktor dari tabel kawat yang tepat.
- mendiskusikan berbagai jenis insulasi kawat.
- menentukan karakteristik isolasi.
- menggunakan faktor koreksi dan penyetelan untuk menentukan ampacity konduktor.
- menentukan resistansi konduktor yang panjang.
- menentukan ukuran kabel yang tepat untuk beban yang terletak jauh dari sumber listrik.
- daftar persyaratan untuk menggunakan konduktor paralel.
- diskusikan penggunaan megohmmeter untuk menguji insulasi.

#### 6.1 Konduktor

- Pasal 310 NEC membahas konduktor untuk perkawatan umum.
- NEC Tabel 310.104(A), direproduksi dalam bab ini sebagai Tabel 6-1, daftar aplikasi konduktor dan memberikan informasi spesifik tentang setiap jenis insulasi.
- Tabel NEC 310.15(B)(16) sampai 310.15(B)(19) digunakan untuk menentukan ukuran konduktor menurut persyaratan sirkit. Tabel NEC 310.15(B)(16) dan 310.15(B)(17) direproduksi dalam bab ini masing-masing sebagai Tabel 6-2 dan 6-3.
- Tabel 6-2 (NEC Tabel 310.15(B)(16)) mencantumkan ampasitas yang diizinkan untuk tidak lebih dari tiga konduktor tembaga berinsulasi di jalur balap, berdasarkan suhu udara sekitar 86°F (30°C).
- Jika suhu sekitar di atas 86°F (30°C), faktor koreksi harus diterapkan. Faktor-faktor ini diberikan pada Tabel 310.15(B)(2)
- direproduksi dalam bab ini sebagai Tabel 6-4.
- Jika ada empat atau lebih konduktor di raceway, faktor penyetelan harus diterapkan. Faktor-faktor ini diberikan dalam Tabel NEC 310.15(B) (3)(a), direproduksi dalam bab ini sebagai Tabel 6-5.

**TABEL 6-1** Tabel 310.104(A) Aplikasi dan Isolasi Konduktor dengan Nilai 600 Volt1

nama dagang	ketik surat	Suhu Operasi Maksimum	Ketentuan Aplikasi	Isolasi	Ketebalan Isolasi			Penutup Luar		
					AWG atau kcmil	mm	mil			
Etilen propilena terfluorinasi	FEP or FEPB	90°C 194°F  200°C 392°F	Lokasi kering dan lembab  Lokasi kering—aplikasi khusus <sup>3</sup>	Etilen propilena terfluorinasi  Etilen propilena terfluorinasi	14–10	0.51	20	Tidak ada		
					8–2	0.76	30	Kepang kaca  Kaca atau bahan kepang lain yang sesuai		
					14–8	0.36	14			
Insulasi mineral (diselubungi logam)	MI	90°C 194°F 250°C 482°F	Lokasi kering dan basah Untuk aplikasi khusus <sup>3</sup>	Magnesium oksida	18–164	0.58	23	Tembaga atau baja paduan		
					16–10	0.91	36			
					9–4	1.27	50			
					3–500	1.40	55			
Termoplastik tahan lembab, panas, dan tahan minyak	MTW	60°C 140°F 90°C 194°F	Pengkabelan perkakas mesin di lokasi basah Pengkabelan perkakas mesin di lokasi kering.	Termoplastik tahan api, tahan lembab, panas, dan tahan	22–12 10 8 6 4–2	(A) (B)	(A) (B)	(A) Tidak ada (B) Jaket nilon atau yang setara		
						0.76	0.38		30	15
						0.76	0.51		30	20
						1.14	0.76		45	30
						1.52	0.76		60	30
1.52	1.02	60	40							

			Catatan Informasi: Lihat NFPA 79.	minyak	1-4/0 213-500 501-1000	2.03 2.41 2.79	1.27 1.52 1.78	80 95 110	50 60 70
Kertas		85°C 185°F	Untuk konduktor layanan bawah tanah, atau dengan izin khusus	Kertas					Sarung timah
Perfluoroalkoxy	PFA	90°C 194°F 200°C 392°F	Lokasi kering dan lembab Lokasi kering — aplikasi khusus <sup>3</sup>	Perfluoro-alkoxy	14-10 8-2 1-4/0	0.51 0.76 1.14		20 30 45	Tidak ada
Perfluoroalkoxy	PFAH	250°C 482°F	Lokasi kering saja. Hanya untuk kabel di dalam peralatan atau di dalam jalur yang terhubung ke peralatan (hanya tembaga	Perfluoro-alkoxy	14-10 8-2 1-4/0	0.51 0.76 1.14		20 30 45	Tidak ada

			berlapis nikel atau nikel)					
termoset	RHH	90°C 194°F	Lokasi kering dan lembab		14–10 8–2 1–4/0 213–500 501– 1000 1001– 2000	1.14 1.52 2.03 2.41 2.79 3.18	45 60 80 95 110 125	Tahan lembab, tahan api, penutup bukan logam <sup>2</sup>
Termos tahan lembab	RHW	75°C 167°F	Lokasi kering dan basah	termoset tahan api, tahan lembab	14–10 8–2 1–4/0 213–500 501– 1000 1001– 2000	1.14 1.52 2.03 2.41 2.79 3.18	45 60 80 95 110 125	Tahan lembab, tahan api, penutup nonlogam
	RHW-2	90°C 194°F						

TABEL 6-1 Tabel 310.104(A) Lanjutan

nama dagang	ketik surat	Suhu Operasi Maksimum	Ketentuan Aplikasi	Isolasi	Ketebalan Isolasi			Penutup Luar
					AWG atau kcmil	mm	mil	
silikon	SA	90°C 194°F 200°C 392°F	Lokasi kering dan lembab Untuk aplikasi khusus <sup>3</sup>	Karet silikon	14–10	1.14	45	Kaca atau bahan keping lain yang sesuai
					8–2	1.52	60	
					1–4/0	2.03	80	
					213–500	2.41	95	
					501–1000	2.79	110	
					1001–2000	3.18	125	
termoset	SIS	90°C 194°F	Switchboard dan kabel switchgear saja	termoset tahan api	14–10	0.76	30	Tidak ada
					8–2	1.14	45	
					1–4/0	2.41	55	
Jalanan luar termoplastik dan berserat	TBS	90°C 194°F	Switchboard dan kabel switchgear saja	termoplastik	14–10	0.76	30	Tahan api, penutup nonlogam
					8	1.14	45	
					6–2 1–4/0	1.52 2.03	60 80	
Politetrafluoroetilena yang diperluas	TFE	250°C 482°F	Lokasi kering saja. Hanya untuk kabel di dalam peralatan atau	Politetrafluoroetilena yang diekstrusi	14–10	0.51	20	Tidak ada
					8–2	0.76	30	
					1–4/0	1.14	45	

			di dalam jalur yang terhubung ke peralatan, atau sebagai kabel terbuka (hanya tembaga berlapis nikel atau nikel)					
Termoplastik tahan panas	THHN	90°C 194°F	Lokasi kering dan lembab	Termoplastik tahan api, tahan lembab dan panas	14–12 10 8–6 4–2 1–4/0 250–500 501– 1000	0.38 0.51 0.76 1.02 1.27 1.52 1.78	15 20 30 40 50 60 70	Jaket nilon atau yang setara
Termoplastik tahan lembab dan panas	THHW	75°C 167°F  90°C 194°F	Lokasi basah  Lokasi kering	Termoplastik tahan api, tahan lembab dan panas	14–10 8 6–2 1–4/0 213–500 501– 1000 1001– 2000	0.76 1.14 1.52 2.03 2.41 2.79 3.18	30 45 60 80 95 110 125	Tidak ada

Termoplastik tahan lembab dan panas	THW	75°C 167°F 90°C 194°F	Lokasi kering dan basah Aplikasi khusus dalam peralatan penerangan pelepasan listrik. Terbatas pada 1000 volt sirkuit terbuka atau kurang. (ukuran 14-8 hanya sebagaimana diizinkan dalam 410.68)	Termoplastik tahan api, tahan lembab dan panas	14-10	0.76	30	Tidak ada
					8	1.14	45	
					6-2	1.52	60	
					1-4/0	2.03	80	
					213-500	2.41	95	
					501-	2.79	110	
					1000	3.18	125	
					1001-			
					2000			
	THW-2	90°C 194°F	Lokasi kering dan basah					
Termoplastik tahan lembab dan panas	THWN	75°C 167°F	Lokasi kering dan basah	Termoplastik tahan api, tahan lembab dan panas	14-12	0.38	15	Jaket nilon atau yang setara
						10	0.51	
					8-6	0.76	30	
					4-2	1.02	40	
					1-4/0	1.27	50	
					250-500	1.52	60	
					501-	1.78	70	
					1000			

Termoplastik tahan lembab	TW	60°C 140°F	Lokasi kering dan basah	Termoplastik tahan api, tahan lembab dan panas	14–10	0.76	30	Tidak ada
					8	1.14	45	
					6–2	1.52	60	
					1–4/0	2.03	80	
					213–500	2.41	95	
					501–	2.79	110	
					1000	3.18	125	
					1001– 2000			

TABEL 6-1 Tabel 310.104(A) Lanjutan

nama dagang	ketik surat	Suhu Operasi Maksimum	Ketentuan Aplikasi	Isolasi	Ketebalan Isolasi			Penutup Luar
					AWG atau kcmil	mm	mil	
Pengumpan bawah tanah dan kabel sirkuit cabang — konduktor tunggal (untuk kabel Tipe UF yang menggunakan	UF	60°C 140°F  75°C 167°F	Lihat Pasal 340.	Tahan kelembaban	14–10	1.52	606	Integral dengan isolasi
					8–2	2.03	806	
					1–4/0	2.41	956	
				Tahan lembab dan panas				

lebih dari satu konduktor, lihat Pasal 340.)								
Kabel masuk layanan bawah tanah — konduktor tunggal (untuk kabel Tipe USE yang menggunakan lebih dari satu konduktor, lihat Pasal 338.)	USE	75°C 167°F	Lihat Pasal 338.	Tahan panas dan lembab	14–10	1.14	45	Penutup nonlogam tahan lembab (Lihat 338.2.)
	USE-2	90°C 194°F	Lokasi kering dan basah		8–2	1.52	60	
					1–4/0	2.03	80	
					213–500	2.41	95	
					501–1000	2.79	110	
					1001–2000	3.18	125	
termoset	XHH	90°C 194°F	Lokasi kering dan lembab	termoset tahan api	14–10	0.76	30	Tidak ada
					8–2	1.14	45	
					1–4/0	1.40	55	
					213–500	1.65	65	
					501–1000	2.03	80	
					1001–2000	2.41	95	
Termos tahan lembab	XHHW	90°C 194°F 75°C 167°F	Lokasi kering dan lembab	termoset tahan api, tahan lembab	14–10	0.76	30	Tidak ada
					8–2	1.14	45	
			Lokasi basah		1–4/0	1.40	55	
			213–500		1.65	65		

					501–1000	2.03	80	
					1001–2000	2.41	95	
Termos tahan lembab	XHHW-2	90°C 194°F	Lokasi kering dan basah	termoset tahan api, tahan lembab	14–10	0.76	30	Tidak ada
					8–2	1.14	45	
					1–4/0	1.40	55	
					213–500	1.65	65	
					501–1000	2.03	80	
					1001–2000	2.41	95	
Etilen tetrafluoroetilena yang dimodifikasi	Z	90°C 194°F 150°C 302°F	Lokasi kering dan lembab Lokasi kering — aplikasi khusus <sup>3</sup>	Modifikasi etilena tetrafluoro-etilena	14–12	0.38	15	Tidak ada
					10	0.51	20	
					8–4	0.64	25	
					3–1	0.89	35	
					1/0–4/0	1.14	45	
Etilen tetrafluoroetilena yang dimodifikasi	ZW	75°C 167°F 90°C 194°F 150°C 302°F	Lokasi basah Lokasi kering dan lembab Lokasi kering — aplikasi khusus <sup>3</sup>	Modifikasi etilena tetrafluoro-etilena	14–10	0.76	30	Tidak ada
					8–2	1.14	45	
	ZW-2	90°C 194°F	Lokasi kering dan basah					

(sebelumnya Tabel 310.16) Ampasitas yang Diperbolehkan dari Konduktor Terisolasi Dinilai Hingga dan Termasuk 2000 Volt, 60°C Hingga 90°C (140°F Hingga 194°F), Tidak Lebih Dari Tiga Konduktor Pembawa Arus di Raceway, Kabel, atau Bumi (Dikubur Langsung), Berdasarkan Suhu Sekitar 30°C (86°F)\*

**TABEL 6-2** Tabel 310.15(B)(16)

	Temperature Rating of Conductor [See Table 310.104(A).]						
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
Size AWG or kcmil	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	Types TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE- 2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW- 2	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	Types TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW- 2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Size AWG or kcmil
18**	—	—	14	—	—	—	—
16**	—	—	18	—	—	—	—
14**	1	2	25	—	—	—	—
12**	5	0	30	1	2	2	12*
10**	20	25	40	5	0	5	*
8	30	35	55	25	30	35	10*
	40	50		35	40	45	* 8
6	55	65	75	40	50	55	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	115	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	145	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0

4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	195	230	260	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	350	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	315	375	425	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	445	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	525	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	555	665	750	470	560	630	2000

**TABEL 6-3**

Tabel 310.15(B)(17) (sebelumnya Tabel 310.17) Ampasitas yang Diperbolehkan dari Konduktor Berinsulasi Tunggal Dinilai Hingga dan Termasuk 2000 Volt di Udara Bebas, Berdasarkan Suhu Sekitar 30°C (86°F)\*

Size AWG or kcmil	Temperature Rating of Conductor [See Table 310.104(A).]						Size AWG or kcmil
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60° (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN , XHHW , ZW	Types TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW- 2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Types TW, UF	Types RHW, THHW , THW, THW N, XHH W	Types TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
<b>C</b>			<b>ALUMINUM OR COPPER-CLAD</b>				

	O P P E R			ALUMINUM			
18	—	—	18	—	—	—	—
16	—	—	24	—	—	—	—
14**							
12**	25	30	35	— 25	—	— 35	—
10**	30	35	40	35	30	45	12**
	40	50	55		40		10**
8	60	70	80	45	55	60	8
6	80	95	105	60	75	85	6
4	105	125	140	80	100	115	4
3	120	145	165	95	115	130	3
2	140	170	190	110	135	150	2
1	165	195	220	130	155	175	1
1/0	195	230	260	150	180	205	1/0
2/0	225	265	300	175	210	235	2/0
3/0	260	310	350	200	240	270	3/0
4/0	300	360	405	235	280	315	4/0
250	340	405	455	265	315	355	250
300	375	445	500	290	350	395	300
350	420	505	570	330	395	445	350
400	455	545	615	355	425	480	400
500	515	620	700	405	485	545	500
600	575	690	780	455	545	615	600
700	630	755	850	500	595	670	700
750	655	785	885	515	620	700	750
800	680	815	920	535	645	725	800
900	730	870	980	580	700	790	900
1000	780	935	1055	625	750	845	1000
1250	890	1065	1200	710	855	965	1250
1500	980	1175	1325	795	950	1070	1500
1750	1070	1280	1445	875	1050	1185	1750
2000	1155	1385	1560	960	1150	1295	2000

## 6.2 Jenis Isolasi

Faktor yang menentukan jumlah arus yang boleh dibawa oleh konduktor adalah jenis insulasi yang digunakan. Insulasi adalah penutup nonkonduktif di sekitar kawat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6-1. Beberapa jenis isolasi dapat menahan lebih banyak panas

daripada jenis lainnya. Peringkat tegangan konduktor juga ditentukan oleh jenis insulasi. Besarnya tegangan yang dapat ditahan oleh suatu jenis insulasi tertentu tanpa putus ditentukan oleh jenis bahan dari mana ia dibuat dan ketebalannya. Tabel 6-1 [NEC Tabel 310.104(A)] mencantumkan berbagai jenis insulasi dan spesifikasi tertentu untuk masing-masingnya.

**TABEL 6-4** Tabel 310.15(B)(2)(a) Faktor Koreksi Suhu Sekitar Berdasarkan 30°C (86°F) Untuk suhu sekitar selain 30°C (86°F), kalikan ampasitas yang diizinkan yang ditentukan dalam tabel ampasitas dengan faktor koreksi yang sesuai yang ditunjukkan di bawah ini.

Suhu Sekitar (°C)	Peringkat Suhu Konduktor			Suhu Sekitar (°F)
	60°C	75°C	90°C	
10 or less	1.29	1.20	1.15	50 or less
11–15	1.22	1.15	1.12	51–59
16–20	1.15	1.11	1.08	60–68
21–25	1.08	1.05	1.04	69–77
26–30	1.00	1.00	1.00	78–86
31–35	0.91	0.94	0.96	87–95
36–40	0.82	0.88	0.91	96–104
41–45	0.71	0.82	0.87	105–113
46–50	0.58	0.75	0.82	114–122
51–55	0.41	0.67	0.76	123–131
56–60	—	0.58	0.71	132–140
61–65	—	0.47	0.65	141–149
66–70	—	0.33	0.58	150–158
71–75	—	—	0.50	159–167
76–80	—	—	0.41	168–176
81–85	—	—	0.29	177–185

Dicetak ulang dengan izin dari NFPA 70™, National Electrical Code®, Hak Cipta © 2014, National Fire Protection Association, Quincy, MA 02269. Materi yang dicetak ulang ini bukan posisi resmi National Fire Protection Association, yang diwakili oleh standar dalam keseluruhan.

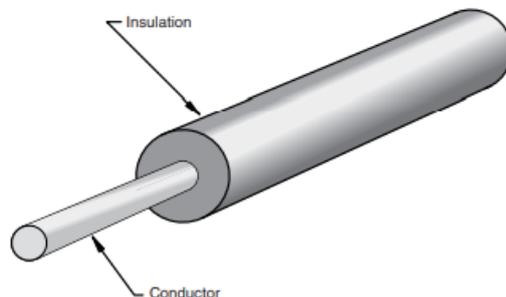
TABEL 6-5

Tabel 310.15(B)(3)(a) Faktor Penyetelan untuk Lebih dari Tiga Konduktor Pembawa Arus

Jumlah Konduktor <sup>1</sup>	Persentase Nilai pada Tabel 310.15(B)(16) hingga Tabel 310.15(B)(19) sebagai Penyesuaian untuk Suhu Sekitar jika Diperlukan
4–6	80
7–9	70
10–20	50
21–30	45
31–40	40
41 dan di atas	35

Dicetak ulang dengan izin dari NFPA 70™, National Electrical Code®, Hak Cipta © 2014, National Fire Protection Association, Quincy, MA 02269. Materi yang dicetak ulang ini bukan posisi resmi National Fire Protection Association, yang diwakili oleh standar dalam keseluruhan.

Tabel dibagi menjadi tujuh kolom utama. Kolom pertama mencantumkan nama dagang dari insulasi; yang kedua mencantumkan huruf kode pengenalnya; kolom ketiga mencantumkan suhu operasi maksimumnya; dan yang keempat menunjukkan aplikasinya dan di mana diizinkan untuk digunakan. Kolom kelima mencantumkan bahan dari mana insulasi dibuat; keenam menyatakan ketebalannya; dan kolom terakhir mencantumkan jenis penutup luar di atas insulasi.



GAMBAR 6-1 Konduktor berinsulasi.

**MASALAH 1:** Temukan suhu operasi maksimum insulasi tipe TW. Lihat Tabel 6-1.

- **Solusi:** Baris data kedelapan belas dari Tabel 6-1 memberikan spesifikasi untuk konduktor tipe TW. Kolom ketiga memberikan suhu operasi maksimum sebagai 60 °C, atau setara dengan 140 °F.

**MASALAH 2:** Dapatkah insulasi tipe THHN digunakan di lokasi basah?

- **Solusi:** Cari insulasi tipe THHN pada Tabel 6-1. Kolom keempat menunjukkan bahwa insulasi ini dapat digunakan di lokasi yang kering dan lembab. Jenis isolasi ini tidak

dapat digunakan di lokasi basah. Untuk penjelasan tentang perbedaan antara lokasi lembab dan basah, lihat "lokasi" di Pasal 100 NEC.

### Logam konduktor

Faktor lain yang menentukan ampacity yang diijinkan dari konduktor adalah jenis logam yang digunakan untuk kawat. Tabel 6-2 (NEC Tabel 310.15(B)(16)) mencantumkan kapasitas pembawa arus dari konduktor tembaga dan aluminium atau aluminium berlapis tembaga. Sebuah studi tabel mengungkapkan bahwa konduktor tembaga diizinkan untuk membawa lebih banyak arus daripada konduktor aluminium dengan ukuran dan jenis insulasi yang sama. Sebuah konduktor tembaga 8 AWG dengan insulasi tipe TW memiliki ampacity yang diijinkan sebesar 40 ampere. Sebuah konduktor aluminium 8 AWG dengan insulasi tipe TW memiliki ampacity yang diijinkan sebesar 30 ampere.

### 6.3 Faktor Koreksi

Salah satu kondisi utama yang menentukan arus yang diizinkan untuk dibawa oleh konduktor adalah suhu udara ambien, atau sekitarnya. Tabel 6-2 mencantumkan ampacity yang diijinkan tidak lebih dari tiga konduktor di raceway. Ampasitas yang diizinkan ini didasarkan pada suhu udara sekitar 86°F, atau 30°C. Jika konduktor ini akan digunakan di lokasi dengan suhu lingkungan yang lebih tinggi, ampacity konduktor harus dikurangi.

Bagan faktor koreksi yang terdapat pada Tabel 310.15(B)(2)(a), Tabel 6-4, memberikan faktor-faktor yang diperlukan untuk suhu sekitar dari 50°F hingga 437°F (10°C hingga 225°C). Tabel ini dibagi menjadi kolom-kolom yang mencantumkan peringkat suhu dari berbagai jenis insulasi. Untuk menggunakan tabel ini, temukan kolom yang mencantumkan peringkat suhu konduktor yang bersangkutan. Kemudian temukan faktor koreksi yang terdaftar untuk suhu sekitar tempat konduktor berada.

**CATATAN:** Setelah reduksi, kapasitas pembawa arus konduktor disebut sebagai ampacity, bukan ampacity yang diijinkan.

**MASALAH 1:** Berapa ampacity konduktor tembaga 4 AWG dengan insulasi tipe THWN yang akan digunakan di area dengan suhu sekitar 43°C?

- **Solusi:** Tentukan ampacity yang diizinkan dari konduktor tembaga 4 AWG dengan insulasi tipe THWN. Insulasi tipe THWN terletak pada kolom 75°C pada Tabel 6-2. Tabel tersebut mencantumkan ampacity yang diizinkan sebesar 85 ampere. Lihat Faktor Koreksi yang ditunjukkan pada Tabel 6-4. Di kolom sebelah kiri, pilih rentang suhu yang mencakup 43°C. Tabel tersebut mencantumkan faktor koreksi 0,82 dalam kolom 75°C. Ampacity harus dikalikan dengan faktor koreksi.

$$85 \times 0,82 = 69,7 \text{ ampere}$$

**MASALAH 2:** Berapa ampacity konduktor aluminium berlapis tembaga 1/0 AWG dengan insulasi tipe RHH ketika konduktor dipasang pada isolator di udara bebas, di area dengan suhu udara sekitar 100°F?

- **Solusi:** Pada Tabel 6-3, temukan kolom yang berisi aluminium berlapis tembaga tipe RHH. Insulasi RHH terletak di kolom 90°C. Tabel menunjukkan ampacity yang diijinkan sebesar 205 ampere. Tentukan faktor koreksi dari kolom 90°C pada Tabel 6-4. Derajat Fahrenheit terletak di kolom paling kanan dari Tabel 310.15(B)(2)(a). Suhu 100 ° F

adalah antara 97 ° F dan 104 ° F. Faktor koreksi untuk suhu ini adalah 0,91. Kalikan ampacity konduktor dengan faktor ini.

$$205 \times 0,91 = 187 \text{ ampere}$$

#### 6.4 Tiga Konduktor Di Jalur Balap (Raceway)

Tabel 6-2 (Tabel NEC 310.15(B)(16)) dan NEC Tabel 310.15(B)(18) mencantumkan ampacity yang diizinkan untuk tiga konduktor di jalur balap. Jika raceway berisi lebih dari tiga konduktor, ampacity yang diizinkan dari konduktor harus diturunkan. Ini karena panas dari masing-masing konduktor bergabung dengan panas yang dihamburkan oleh konduktor lain untuk menghasilkan suhu yang lebih tinggi di dalam raceway. Tabel 6-5 [NEC Tabel 310.15(B)(3)(a)] mencantumkan faktor penyesuaian. Jika raceway digunakan dalam ruang dengan suhu lingkungan yang lebih besar dari yang tercantum dalam tabel kawat yang sesuai, rumus koreksi suhu juga harus diterapkan.

- Ketika konduktor dari sistem yang berbeda, atau di mana memasang konduktor di nampan kabel, 310.15(B)(3) harus ditinjau.
- Penyetelan tidak diperlukan untuk raceways dengan ukuran panjang 24 (600 mm) atau kurang.

**MASALAH:** Dua belas 14 konduktor tembaga AWG dengan insulasi tipe RHW harus dipasang di konduktor di area dengan suhu sekitar 110°F. Apa yang akan menjadi ampacity konduktor ini?

- **Solusi:** Pertama, tentukan ampacity yang diizinkan dari konduktor tembaga 14 AWG dengan insulasi tipe RHW. Insulasi RHW tipe terletak di kolom 75°C pada Tabel 6-2. Sebuah konduktor tembaga 14 AWG memiliki ampacity yang diizinkan 20 ampere. Langkah selanjutnya adalah menggunakan faktor koreksi untuk suhu lingkungan. Faktor koreksi 0,82 sesuai.

$$20 \times 0,82 = 16,4 \text{ ampere}$$

Selanjutnya, faktor penyesuaian yang terdapat pada Tabel 6-5 harus diterapkan. Tabel menunjukkan faktor 50% di mana 10 hingga 20 konduktor dipasang di jalur balap.

$$16,4 \times 0,50 = 8,2 \text{ ampere}$$

Konduktor 14 AWG, Tipe RHW yang dipasang di jalur balap, dengan sekelompok dua belas konduktor, dalam ambien 110°F memiliki ampacity 8,2 ampere.

#### 6.5 Konduktor Bawah Tanah

Tabel NEC 310.60(C)(81) hingga 310.60(C)(84) daftar ampacity dan faktor koreksi suhu untuk konduktor dengan peringkat tegangan dari 2001 hingga 35.000 volt dan dimaksudkan untuk penguburan langsung. Tabel NEC 310.60(C)(77), 310.60(C)(78), dan 310.60(C)(79) daftar konduktor yang akan dikubur di bank saluran listrik. Saluran listrik dapat berupa saluran logam atau nonlogam tunggal. Sebuah bank saluran listrik adalah sekelompok saluran listrik terkubur bersama-sama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar NEC 310.60. Ketika bank saluran digunakan, titik tengah saluran individu harus dipisahkan dengan jarak tidak kurang dari 7,5 inci (190 mm).

## 6.6 Menghitung Ukuran Dan Resistensi Konduktor

Meskipun tabel kawat di NEC digunakan untuk menentukan ukuran kabel yang tepat untuk sebagian besar instalasi, ada beberapa contoh di mana tabel ini tidak digunakan. Salah satu contohnya adalah rumus yang ditunjukkan pada 310,60(C). Formula ini dapat digunakan di bawah pengawasan teknik.

$$I = \sqrt{\frac{T_c - (T_a + \Delta T_d)}{R_{dc}(1 + Y_c)R_{ca}}} \times 10^3 \text{ amperes}$$

Dimana:

$T_c$  = suhu konduktor (°C)

$T_a$  = suhu lingkungan (°C)

$T_d$  = kenaikan suhu kehilangan dielektrik

$R_{dc}$  = Resistansi DC konduktor pada suhu  $T_c$

$Y_c$  = resistansi AC komponen yang dihasilkan dari efek kulit dan efek kedekatan

$R_{ca}$  = tahanan termal efektif antara konduktor dan lingkungan sekitar

## 6.7 Panjang Kabel Panjang

Juga menjadi penting untuk menghitung ukuran kawat daripada menggunakan tabel dalam Kode ketika panjang konduktor terlalu panjang. Ampasitas yang tercantum dalam tabel Kode mengasumsikan bahwa panjang konduktor tidak akan secara signifikan meningkatkan resistansi rangkaian. Namun, ketika panjang kawat menjadi sangat panjang, perlu untuk menghitung ukuran kawat yang dibutuhkan.

Semua kawat mengandung resistansi. Dengan bertambahnya panjang kawat, itu memiliki efek menambah resistansi secara seri dengan beban. Ada empat faktor yang menentukan hambatan dari panjang kawat:

1. Bahan dari mana kawat dibuat. Berbagai jenis bahan memiliki hambatan kawat yang berbeda. Konduktor tembaga akan memiliki hambatan yang lebih kecil daripada konduktor aluminium dengan ukuran dan panjang yang sama. Sebuah konduktor aluminium akan memiliki hambatan yang lebih kecil daripada seutas kawat besi dengan ukuran dan panjang yang sama.
2. Diameter konduktor. Semakin besar diameternya, semakin kecil resistensi yang dimilikinya. Diameter kawat diukur dalam mil. Satu mil sama dengan 0,001 inci. Luas mil lingkaran dari sebuah kawat adalah diameter kawat dalam mil kuadrat.

### CONTOH

Asumsikan sebuah kawat memiliki diameter 0,064 inci. Konversi ke mil:

0,064 inci  $\times$  1000 mil per inci = 64 mil

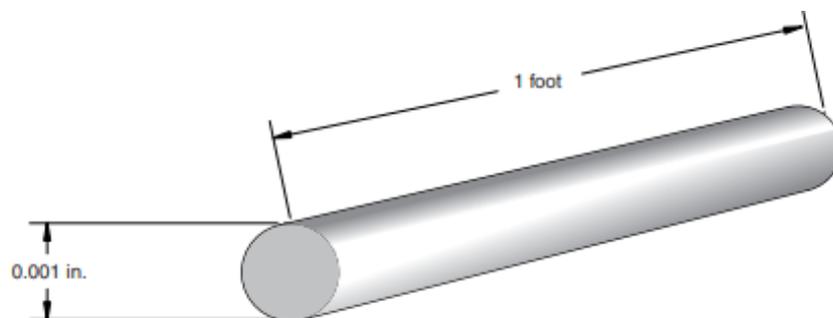
Luas dalam mil lingkaran adalah

642 = (64  $\times$  64) = 4096 cm

3. Panjang konduktor. Semakin panjang konduktor, semakin besar hambatannya. Menambahkan panjang ke konduktor memiliki efek yang sama seperti menghubungkan resistor secara seri.

4. Suhu konduktor. Sebagai aturan umum, sebagian besar bahan konduktif akan meningkatkan ketahanannya dengan peningkatan suhu. Beberapa pengecualian untuk aturan ini adalah karbon, silikon, dan germanium. Jika koefisien suhu untuk bahan tertentu diketahui, resistansinya pada suhu yang berbeda dapat dihitung. Bahan yang meningkatkan resistensi mereka dengan peningkatan suhu memiliki koefisien suhu positif. Bahan yang resistansinya berkurang dengan kenaikan suhu memiliki koefisien suhu negatif.

Dalam sistem pengukuran biasa, nilai standar resistansi adalah mil foot. Ini digunakan untuk menentukan resistansi panjang dan ukuran kawat yang berbeda. Satu mil kaki adalah sepotong kawat dengan panjang 1 kaki dan diameter 1 mil, Gambar 6-2. Hambatan satu mil kaki kawat pada 20 °C untuk bahan yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 6-6. Perhatikan berbagai resistensi untuk bahan yang berbeda. Koefisien suhu dari berbagai jenis konduktor juga terdaftar. Temperatur suatu konduktor dapat sangat mempengaruhi resistansinya. Tabel 6-6 mencantumkan ohm per mil foot pada 20°C. Resistansi material umumnya diberikan pada suhu 20 °C karena merupakan standar yang digunakan dalam American Engineers Handbook. Koefisien suhu bahan dapat digunakan untuk menentukan ketahanan suatu bahan pada suhu yang berbeda.



**GAMBAR 6-2** Mil kaki.

**TABEL 6-6** Resistivitas bahan.

MATERIAL	K (OHMS PER CMIL FOOT @ 20°C)	TEMPERATURE COEFFICIENT (OHMS PER °C)
Aluminum	17	0.0040
Carbon	22,000	-0.0004
Constantan	295	0.000,002
Copper	10.4	0.0039
Gold	14	0.0040
Iron	60	0.0055
Lead	126	0.0043
Mercury	590	0.000,88
Nichrome	675	0.0002
Nickel	52	0.0050
Platinum	66	0.0036
Silver	9.6	0.0038
Tungsten	33.8	0.0050

**MASALAH:** Berapa ohm per mil kaki pada 75°C?

- **Solusi:** Gunakan rumus:

$$R = R_{\text{ref}} [1 + \alpha(T - T_{\text{ref}})]$$

dimana

R = Resistansi konduktor pada suhu "T"

R<sub>ref</sub> = Resistansi konduktor pada suhu referensi (20 ° C dalam contoh ini)

α = Koefisien tahanan bahan konduktor

T = Suhu konduktor dalam °C

T<sub>ref</sub> = Suhu referensi di mana ditentukan untuk bahan konduktor

$$R = 10.4[1 + 0.0039(75 - 20)]$$

$$R = 10.4[1 + 0.0039(55)]$$

$$R = 10.4[1 + 0.2145]$$

$$R = 10.4[1.2145]$$

$$R = 12.63$$

Pada suhu 75°C, tembaga akan memiliki hambatan 12,63 ohm per mil kaki.

## 6.8 Menghitung Resistensi

Sekarang setelah ukuran standar hambatan untuk berbagai jenis bahan diketahui, hambatan dengan panjang dan ukuran yang berbeda dari bahan-bahan ini dapat dihitung. Rumus untuk menghitung hambatan dengan panjang, ukuran, dan jenis kawat tertentu adalah

$$R = \frac{K \times L}{\text{cmil}}$$

dimana

R = hambatan kawat K = ohm per mil kaki

L = panjang kawat dalam kaki

cmil = luas mil lingkaran kawat

Rumus ini dapat dikonversi untuk menghitung nilai lain dalam rumus seperti ukuran, panjang, dan luas kawat yang digunakan. Untuk menemukan ukuran kawat, gunakan

$$\text{cmil} = \frac{K \times L}{R}$$

Untuk mencari panjang kawat, gunakan

$$L = \frac{K \times \text{cmil}}{K}$$

Untuk menemukan jenis kawat, gunakan

$$K = \frac{R \times \text{cmil}}{L}$$

**MASALAH 1:** Temukan hambatan dari 6 kawat tembaga AWG sepanjang 550 kaki. Asumsikan suhu 20°C. Rumus yang digunakan adalah

$$R(\text{ohms}) = \frac{K(\text{ohms per mil ft}) \times L(\text{ft})}{\text{cmil}}$$

- **Solusi:** Nilai K dapat ditemukan pada Tabel 6-6, di mana resistansi dan koefisien temperatur dari beberapa jenis bahan dicantumkan. Tabel menunjukkan nilai 10,4 ohm per cmil kaki untuk konduktor tembaga. Panjang (L) diberikan pada 550 kaki, dan luas kawat 6 AWG terdaftar pada 26.240 cmil, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6-7.

$$R = \frac{10.4 \times 550}{26,240} = 0.218 \text{ ohm}$$

**MASALAH 2:** Sebuah kawat aluminium 2250 kaki panjang tidak dapat memiliki hambatan lebih besar dari 0,2 ohm. pada 100 ampere. Berapa ukuran minimum kawat yang dapat digunakan?

- **Solusi:** Untuk mencari ukuran kawat, gunakan

$$\begin{aligned} \text{cmil} &= \frac{K(\text{ohms per mil ft}) \times L(\text{ft})}{R(\text{ohms})} \\ &= \frac{17 \times 2250}{0.2} \\ &= 191,250 \end{aligned}$$

Konduktor ukuran standar untuk instalasi ini dapat ditemukan pada Tabel 6-7. Karena hambatan tidak boleh lebih besar dari 0,2 ohm, konduktor tidak boleh lebih kecil dari 191.250 mil lingkaran. Ukuran konduktor standar terkecil yang dapat diterima adalah 4/0 AWG. Contoh yang baik ketika menjadi perlu untuk menghitung ukuran kawat untuk instalasi tertentu dapat dilihat pada masalah berikut.

**MASALAH 3:** Sebuah bengkel harus dipasang di fasilitas yang terpisah dari bangunan utama. Bengkel ini berisi teknisi las busur kecil, kompresor udara, berbagai perkakas listrik, lampu, dan stop kontak. Ditentukan bahwa kotak panel fase tunggal 100 ampere, 120/240 volt akan diperlukan untuk instalasi ini. Jarak antara bangunan adalah 206 kaki (62,79 m). Kabel tambahan 10 kaki (3,05 m) harus ditambahkan untuk sambungan, sehingga total panjangnya 216 kaki (65,84 m). Arus maksimum akan menjadi 100 ampere. Penurunan tegangan, pada beban penuh, harus dijaga hingga maksimum 3%, seperti yang direkomendasikan oleh 210,19(A), Catatan Informasi No. 4. Suhu sekitar 68°F (20°C) diasumsikan. Berapa ukuran konduktor tembaga yang harus digunakan untuk instalasi ini?

- **Solusi:** Langkah pertama adalah menentukan jumlah resistansi maksimum yang dapat dimiliki konduktor tanpa menghasilkan penurunan tegangan lebih besar dari 3% dari tegangan yang diberikan.

Penurunan tegangan maksimum dapat ditentukan dengan mengalikan tegangan yang diberikan dengan ekuivalen desimal 3%.

$$240 \times 0,03 = 7,2 \text{ volt}$$

Hukum Ohm sekarang dapat digunakan untuk menentukan resistansi yang akan memungkinkan penurunan tegangan 7,2 volt pada 100 ampere.

$$\begin{aligned} \text{cmil} &= \frac{K \text{ (ohms per mil ft)} \times L \text{ (ft)}}{R \text{ (ohms)}} \\ &= \frac{10.4 \times 432}{0.072} = 62,400 \end{aligned}$$

Panjang kabel antara gedung utama dan bengkel adalah 216 kaki (66 m). Karena arus ada di dua konduktor pada saat yang sama, itu sama dengan memiliki konduktor yang dihubungkan secara seri, yang secara efektif menggandakan panjang konduktor. Oleh karena itu, panjang konduktor akan menjadi 432 kaki (132 m).

$$\begin{aligned} \text{cmil} &= \frac{K \text{ (ohms per mil ft)} \times L \text{ (ft)}}{R \text{ (ohms)}} \\ &= \frac{10.4 \times 432}{0.072} = 62,400 \end{aligned}$$

Konduktor tembaga 2 AWG dapat digunakan.

**MASALAH 4:** Masalah ini menyangkut konduktor yang digunakan dalam sistem 3-fase. Diasumsikan bahwa sebuah motor terletak 2500 kaki (762 m) dari sumber listriknya dan beroperasi pada 560 volt. Ketika motor mulai, arus akan menjadi 168 ampere. Jatuh tegangan pada terminal motor tidak boleh lebih besar dari 5% dari tegangan sumber selama pengasutan. Berapa ukuran konduktor aluminium yang harus digunakan untuk instalasi ini?

- **Solusi:** Pertama, cari jatuh tegangan maksimum yang diizinkan pada beban dengan mengalikan tegangan sumber dengan 5%.

$$E = 560 \times 0,05 = 28 \text{ volt}$$

Langkah kedua adalah menentukan jumlah maksimum resistansi konduktor. Untuk menghitung nilai ini, drop tegangan maksimum akan dibagi dengan arus start motor.

$$R = \frac{E}{I} = \frac{28}{168} = 0.166 \text{ ohm}$$

TABEL 6-7 Sifat Konduktor

Size (AWG or kcmil)	Conductors										Direct-Current Resistance at 75°C (167°F)						
	Area	Stranding					Overall					Copper					
		Circular mils	Quantity	Diameter		Diameter		Area	Uncoated			Coated			Aluminum		
				mm	in.	mm	in.		mm <sup>2</sup>	in. <sup>2</sup>	ohm/km	ohm/kFT	ohm/km	ohm/kFT	ohm/km	ohm/kFT	
18	0.823	1620	1	—	—	1.02	0.040	0.823	0.001	25.5	7.77	26.5	8.08	42.0	12.8		
18	0.823	1620	7	0.39	0.015	1.16	0.046	1.06	0.002	26.1	7.95	27.7	8.45	42.8	13.1		
16	1.31	2580	1	—	—	1.29	0.051	1.31	0.002	16.0	4.89	16.7	5.08	26.4	8.05		
16	1.31	2580	7	0.49	0.019	1.46	0.058	1.68	0.003	16.4	4.99	17.3	5.29	26.9	8.21		
14	2.08	4110	1	—	—	1.63	0.064	2.08	0.003	10.1	3.07	10.4	3.19	16.6	5.06		
14	2.08	4110	7	0.62	0.024	1.85	0.073	2.68	0.004	10.3	3.14	10.7	3.26	16.9	5.17		
12	3.31	6530	1	—	—	2.05	0.081	3.31	0.005	6.34	1.93	6.57	2.01	10.45	3.18		
12	3.31	6530	7	0.78	0.030	2.32	0.092	4.25	0.006	6.50	1.98	6.73	2.05	10.89	3.25		
10	5.261	10380	1	—	—	2.588	0.102	5.26	0.008	3.984	1.21	4.148	1.26	6.561	2.00		
10	5.261	10380	7	0.98	0.038	2.95	0.116	6.76	0.011	4.070	1.24	4.226	1.29	6.679	2.04		
8	8.367	16510	1	—	—	3.264	0.128	8.37	0.013	2.506	0.764	2.579	0.786	4.125	1.26		
8	8.367	16510	7	1.23	0.049	3.71	0.146	10.76	0.017	2.551	0.778	2.653	0.809	4.204	1.28		
6	13.30	26240	7	1.56	0.061	4.67	0.184	17.09	0.027	1.608	0.491	1.671	0.510	2.852	0.808		
4	21.15	41740	7	1.96	0.077	5.89	0.232	27.19	0.042	1.010	0.308	1.053	0.321	1.866	0.508		
3	26.67	52620	7	2.20	0.087	6.60	0.260	34.28	0.053	0.802	0.245	0.833	0.254	1.320	0.403		
2	33.62	66360	7	2.47	0.097	7.42	0.292	43.23	0.067	0.634	0.194	0.661	0.201	1.045	0.319		
1	42.41	83690	19	1.89	0.066	8.43	0.332	55.80	0.087	0.505	0.154	0.524	0.160	0.829	0.253		
1/0	53.49	105600	19	1.89	0.074	9.45	0.372	70.41	0.109	0.399	0.122	0.415	0.127	0.660	0.201		
2/0	67.43	133100	19	2.13	0.084	10.62	0.418	88.74	0.137	0.3170	0.0967	0.329	0.101	0.523	0.159		
3/0	85.01	167800	19	2.39	0.094	11.94	0.470	111.9	0.173	0.2512	0.0766	0.2610	0.0797	0.413	0.126		
4/0	107.2	211600	19	2.68	0.106	13.41	0.528	141.1	0.219	0.1996	0.0608	0.2050	0.0626	0.328	0.100		
250	127	—	37	2.09	0.082	14.61	0.575	168	0.260	0.1687	0.0515	0.1753	0.0535	0.2778	0.0847		
300	152	—	37	2.29	0.090	16.00	0.630	201	0.312	0.1409	0.0429	0.1463	0.0446	0.2318	0.0707		
350	177	—	37	2.47	0.097	17.30	0.681	235	0.364	0.1205	0.0367	0.1252	0.0382	0.1984	0.0605		
400	203	—	37	2.64	0.104	18.49	0.728	268	0.416	0.1053	0.0321	0.1084	0.0331	0.1737	0.0529		
500	253	—	37	2.95	0.116	20.65	0.813	336	0.519	0.0845	0.0258	0.0869	0.0265	0.1391	0.0424		
600	304	—	61	2.52	0.099	22.68	0.893	404	0.626	0.0704	0.0214	0.0732	0.0223	0.1159	0.0353		
700	355	—	61	2.72	0.107	24.49	0.964	471	0.730	0.0603	0.0184	0.0622	0.0189	0.0994	0.0303		
750	380	—	61	2.82	0.111	25.35	0.998	505	0.782	0.0563	0.0171	0.0579	0.0176	0.0927	0.0282		
800	405	—	61	2.91	0.114	26.16	1.030	538	0.834	0.0528	0.0161	0.0544	0.0166	0.0868	0.0265		
900	456	—	61	3.09	0.122	27.79	1.094	606	0.940	0.0470	0.0143	0.0481	0.0147	0.0770	0.0235		
1000	507	—	61	3.25	0.128	29.26	1.152	673	1.042	0.0423	0.0129	0.0434	0.0132	0.0695	0.0212		
1250	633	—	91	2.98	0.117	32.74	1.289	842	1.305	0.0338	0.0103	0.0347	0.0106	0.0554	0.0169		
1500	780	—	91	3.26	0.128	35.86	1.412	1011	1.566	0.02814	0.00858	0.02814	0.00883	0.0464	0.0141		
1750	887	—	127	2.98	0.117	38.76	1.526	1180	1.829	0.02410	0.00735	0.02410	0.00756	0.0397	0.0121		
2000	1013	—	127	3.19	0.126	41.45	1.632	1349	2.092	0.02109	0.00643	0.02109	0.00662	0.0348	0.0106		

Langkah ketiga adalah menghitung panjang konduktor. Pada contoh sebelumnya, panjang kedua konduktor dijumlahkan untuk menemukan jumlah total hambatan kawat. Dalam sistem fase tunggal, setiap konduktor harus membawa jumlah arus yang sama. Selama periode waktu tertentu, satu konduktor mensuplai arus dari sumber ke beban, dan konduktor lainnya melengkapi rangkaian dengan membiarkan jumlah arus yang sama mengalir dari beban ke sumber.

Dalam rangkaian 3 fasa seimbang, terdapat tiga arus yang berbeda fasa 120° satu sama lain, Gambar 6-3. Ketiga konduktor ini berbagi aliran arus antara sumber dan beban. Pada Gambar 6-3, dua garis berlabel A dan B telah ditarik melalui tiga bentuk gelombang arus. Perhatikan bahwa pada posisi A, arus pada saluran 1 maksimum dan dalam arah positif. Arus pada saluran 2 dan 3 kurang dari maksimum dan dalam arah negatif. Kondisi ini sesuai dengan contoh yang ditunjukkan pada Gambar 6-4. Perhatikan bahwa arus maksimum hanya ada dalam satu konduktor.

Amati posisi penandaan garis B pada Gambar 6-3. Arus pada saluran 1 adalah nol, dan arus pada saluran 2 dan 3 berlawanan arah dan kurang dari maksimum. Kondisi ini diilustrasikan pada Gambar 6-5. Perhatikan bahwa hanya dua dari tiga saluran fasa yang menghantarkan arus, dan arus di setiap saluran kurang dari maksimum.

Karena arus fasa dalam sistem 3 fasa tidak pernah maksimum pada saat yang bersamaan, dan di lain waktu arus dibagi antara dua fasa, resistansi konduktor total tidak akan menjadi jumlah dari dua konduktor. Untuk menghitung resistansi konduktor dalam sistem 3-fase, faktor permintaan 0,866 digunakan.

Dalam masalah ini, motor terletak 2500 ft (762 m) dari sumbernya. Panjang konduktor efektif ( $L_e$ ) akan dihitung dengan menggandakan panjang satu konduktor kemudian dikalikan dengan 0,866.

$$L_e = 2500 \text{ kaki} \times 2 \times 0,866 = 4330 \text{ kaki}$$

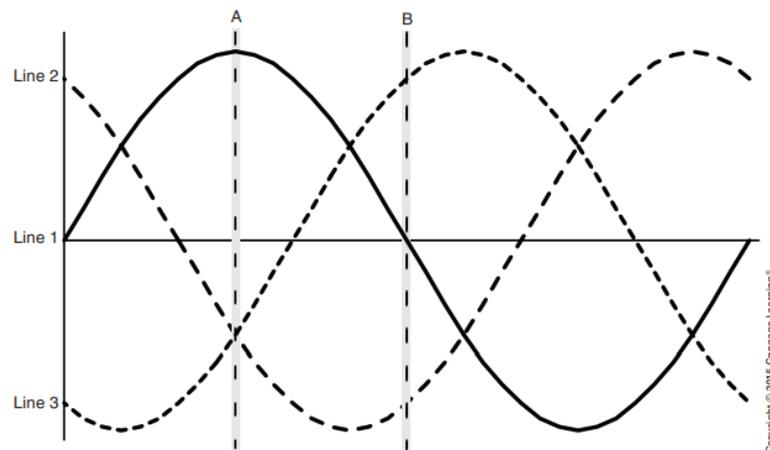
$$(\text{= } 762 \text{ m} \times 2 \times 0,866 = 1320 \text{ m})$$

Sekarang setelah semua faktor diketahui, ukuran konduktor dapat dihitung menggunakan rumus:

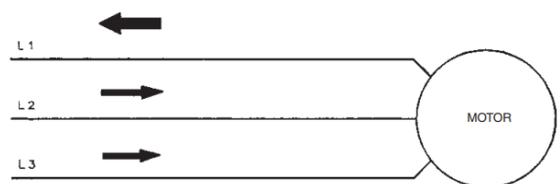
di mana  $K = 17$  (ohm per mil kaki untuk aluminium)

$$\text{cmil} = \frac{K \times L}{R} = \frac{17 \times 4330}{0.166} = 443,434$$

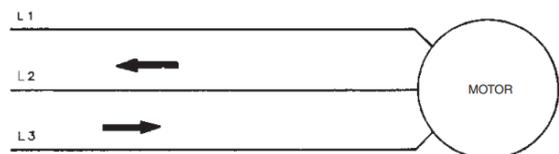
Tiga konduktor 500 kcmil akan digunakan.



**GAMBAR 6-3** Arus dari sistem 3 fase berbeda fase  $120^\circ$  satu sama lain.



**GAMBAR 6-4** Arus maksimum dalam satu konduktor dan kurang dari maksimum dalam dua konduktor.



**GAMBAR 6-5** Arus hanya dalam dua konduktor.

## 6.9 Konduktor Paralel

Dalam kondisi tertentu, mungkin perlu atau menguntungkan untuk menghubungkan konduktor secara paralel. Salah satu contoh kondisi ini adalah ketika ukuran konduktor sangat besar, seperti yang terjadi pada masalah 4 pada bagian sebelumnya. Dalam masalah itu, dihitung bahwa konduktor yang memasok motor 2500 ft dari sumbernya harus 500 kcmil.

Sebuah konduktor 500 kcmil sangat besar dan sulit untuk ditangani. Untuk alasan ini, mungkin lebih baik menggunakan konduktor paralel untuk instalasi ini. NEC mencantumkan lima kondisi yang harus dipenuhi ketika konduktor dihubungkan secara paralel (310.10(H)):

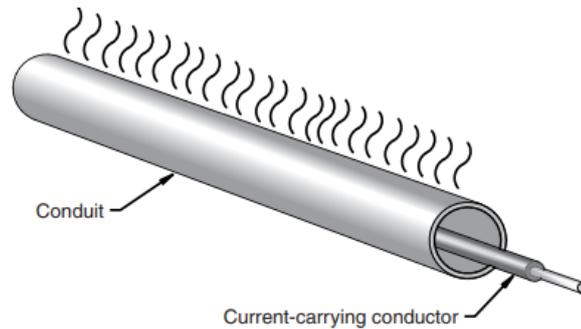
1. Konduktor harus memiliki panjang yang sama.
2. Konduktor harus terbuat dari bahan yang sama. Tidak diperbolehkan menggunakan tembaga untuk satu konduktor dan aluminium untuk yang lain.
3. Konduktor harus memiliki luas mil lingkaran yang sama.
4. Konduktor harus menggunakan jenis insulasi yang sama.
5. Konduktor harus diputus dan dihubungkan dengan cara yang sama.

Pada soal sebelumnya, ukuran konduktor aktual yang dibutuhkan dihitung menjadi 443.434 mil melingkar. Area mil melingkar ini dapat diperoleh dengan menghubungkan dua konduktor 250 kcmil secara paralel untuk setiap fase, atau tiga konduktor 3/0 AWG secara paralel untuk setiap fase.

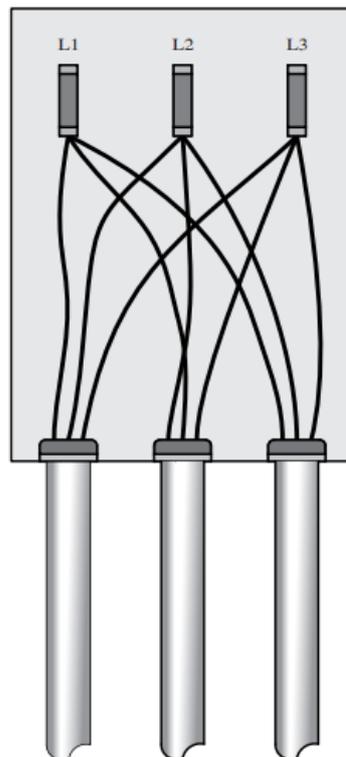
**CATATAN:** Setiap konduktor AWG 3/0 memiliki luas 167.800 mil melingkar. Ini adalah total 503.400 mil melingkar.

Contoh lain ketika mungkin perlu untuk menghubungkan kabel secara paralel adalah ketika konduktor berukuran besar harus dijalankan dalam saluran. Konduktor fase tunggal tidak diizinkan untuk dijalankan dalam saluran logam, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6-6 (300,5(I) dan 300,20). Alasan untuk ini adalah bahwa ketika ada arus dalam konduktor, medan magnet dihasilkan di sekitar konduktor. Dalam rangkaian arus bolak-balik, arus terus menerus berubah arah dan besarnya, yang menyebabkan medan magnet memotong dinding saluran logam. Tindakan pemotongan medan magnet ini menginduksi arus yang disebut arus eddy ke dalam logam saluran.

Arus eddy dapat menghasilkan panas yang cukup di sirkuit arus tinggi untuk melelehkan insulasi di sekitar konduktor. Semua saluran logam dapat memiliki induksi arus eddy, tetapi saluran yang terbuat dari bahan magnetik seperti baja memiliki masalah tambahan dengan kehilangan histeresis. Kehilangan histeresis disebabkan oleh gesekan molekuler. Saat arah medan magnet berbalik, molekul-molekul logam dimagnetisasi dengan polaritas yang berlawanan dan berayun untuk menyelaraskan diri. Penjajaran dan penyelarasan molekuler yang terus menerus ini menghasilkan panas karena gesekan. Kerugian histeresis menjadi lebih besar dengan peningkatan frekuensi. Untuk memperbaiki masalah ini, konduktor dari setiap fase harus dijalankan di setiap saluran, Gambar 6-7. Ketika ketiga fase terkandung dalam satu saluran, medan magnet dari konduktor yang terpisah membatalkan satu sama lain, sehingga tidak ada arus yang diinduksi di dinding saluran.



**GAMBAR 6-6** Arus dalam konduktor menginduksi arus eddy di dalam saluran yang menyebabkan saluran menjadi panas.



**GAMBAR 6-7** Setiap saluran berisi konduktor dari setiap fase.

### 6.10 Menguji Instalasi Kawat

Setelah konduktor dipasang di saluran atau jalur lintasan, praktik yang diterima adalah menguji instalasi untuk arde dan korslet. Pengujian ini memerlukan ohmmeter, yang tidak hanya dapat mengukur resistansi dalam jutaan ohm tetapi juga dapat memberikan tegangan yang cukup tinggi untuk memastikan bahwa insulasi tidak akan rusak ketika tegangan saluran pengenal diterapkan ke konduktor. Kebanyakan ohmmeter beroperasi dengan tegangan maksimum yang berkisar dari 1,5 sampai sekitar 9 volt, tergantung pada jenis ohmmeter dan pengaturan skala jangkauan. Untuk menguji insulasi kawat, digunakan megohmmeter dengan tegangan sekitar 250 hingga 5000 volt, tergantung pada model meteran dan pengaturan jangkauan. Salah satu model megohmmeter ditunjukkan pada Gambar 6-8. Instrumen ini berisi engkol tangan yang terhubung ke rotor generator DC tanpa sikat. Keuntungan dari instrumen khusus ini adalah tidak memerlukan penggunaan baterai. Sakelar pemilih rentang memungkinkan meter digunakan sebagai ohmmeter standar atau sebagai megohmmeter.

Ketika digunakan sebagai megohmmeter, sakelar pemilih memungkinkan tegangan uji untuk dipilih. Tegangan uji 100, 250, 500, dan 1000 volt dapat diperoleh.

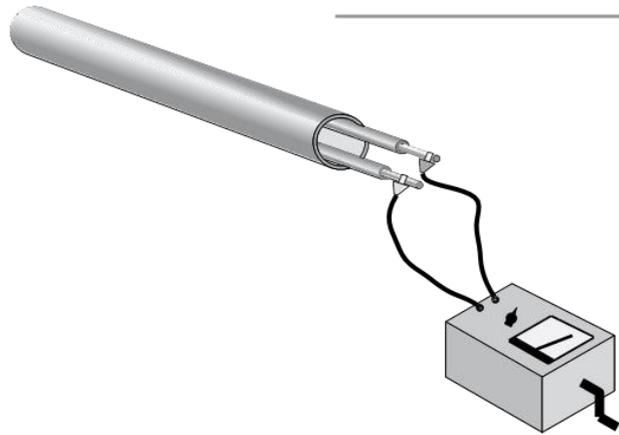
Sebuah megahmmeter juga dapat diperoleh dalam model yang dioperasikan dengan baterai, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6-9. Model ini kecil, ringan, dan sangat berguna ketika diperlukan untuk menguji dielektrik kapasitor. Pemasangan kawat umumnya diuji untuk dua kondisi: hubung singkat dan arde. Shorts adalah jalur arus yang ada di antara konduktor. Untuk menguji instalasi untuk korslet, megohmmeter dihubungkan melalui dua konduktor sekaligus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6-10. Sirkuit diuji pada tegangan pengenal atau sedikit lebih tinggi.



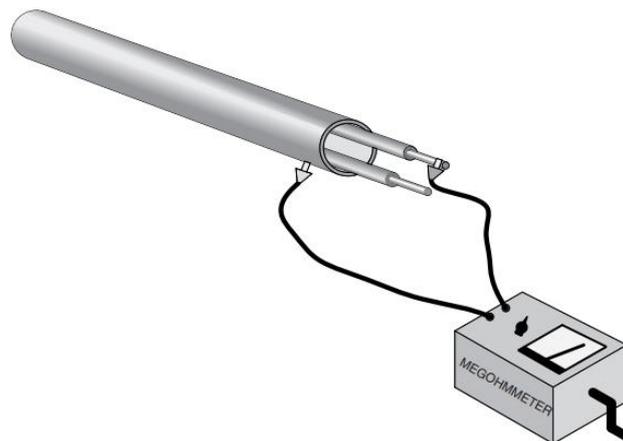
**GAMBAR 6-8** Megohmmeter engkol tangan.



**GAMBAR 6-9** Megohmmeter yang dioperasikan dengan baterai.



**GAMBAR 6-10** Pengujian celana pendek dengan megohmmeter.



**GAMBAR 6-11** Pengujian ground dengan megohmmeter.

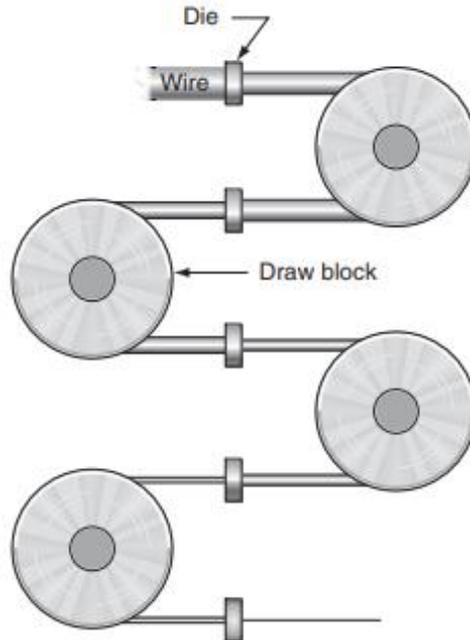
Megahmmeter menunjukkan resistansi antara dua konduktor. Karena kedua konduktor diisolasi, resistansi di antara keduanya harus sangat tinggi. Setiap konduktor harus diuji terhadap setiap konduktor lain dalam instalasi. Untuk menguji pemasangan arde, satu ujung megohmmeter dihubungkan ke jalur logam, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6-11. Kabel meteran lainnya terhubung ke salah satu konduktor. Konduktor harus diuji pada tegangan pengenal atau sedikit lebih tinggi. Setiap konduktor harus diuji.

### 6.11 Pengukur Kawat Amerika (AWG)

American Wire Gauge distandarisi pada tahun 1857 dan digunakan terutama di Amerika Serikat untuk diameter kawat listrik bulat, padat, dan nonferrous. Ukuran pengukur penting untuk menentukan kapasitas penghantar arus dari suatu konduktor. Ukuran pengukur ditentukan oleh jumlah penarikan yang diperlukan untuk menghasilkan diameter atau kawat tertentu. Kawat listrik dihasilkan dengan menariknya melalui rangkaian dadu, Gambar 6-12. Setiap kali seutas kawat melewati sebuah dadu, kawat itu melilit sebuah balok tarik beberapa kali. Draw block memberikan gaya tarik yang diperlukan untuk menarik kawat melalui die.

Sebuah kawat 24 AWG akan ditarik melalui 24 dadu, masing-masing memiliki diameter yang lebih kecil. Di lapangan, ukuran kawat dapat ditentukan dengan pengukur kawat, Gambar 6-13. Satu sisi pengukur kawat mencantumkan ukuran AWG kawat, Gambar 6-14. Sisi

berlawanan dari pengukur kawat menunjukkan diameter kawat dalam seperseribu inci, Gambar 6-15. Saat menentukan ukuran kawat, pertama-tama lepaskan insulasi dari sekitar konduktor. Slot pada pengukur kawat, bukan lubang di belakang slot, digunakan untuk menentukan ukuran, Gambar 6-16.



**GAMBAR 6-12** Kawat listrik dibuat dengan menariknya melalui rangkaian dadu.



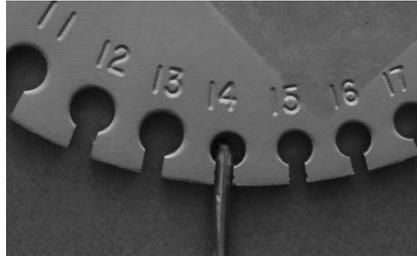
**GAMBAR 6-13** Pengukur kawat biasa digunakan untuk menentukan ukuran kawat.



**GAMBAR 6-14** Satu sisi pengukur kawat mencantumkan ukuran AWG kawat.



**GAMBAR 6-15** Sisi berlawanan dari pengukur kawat mencantumkan diameter kawat dalam seperseribu inci.



**GAMBAR 6-16** Slot, bukan lubang di belakang slot, yang menentukan ukuran kabel.

### 6.12 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditunjukkan secara rinci, dan referensi Kode harus dikutip bila perlu. Kecuali ditentukan lain, suhu sekitar adalah 86°F (30°C); lokasinya kering; terminasi memiliki peringkat suhu yang sama dengan atau lebih besar dari konduktor; dan kawatnya adalah tembaga. Dimana istilah ampacity yang diijinkan digunakan, mengacu pada nilai yang diambil dari salah satu tabel. Dimana istilah ampacity digunakan, mengacu pada ampacity yang diijinkan sebagaimana dikoreksi dan disesuaikan dan sesuai dengan 110.14(C).

1. Berapa peringkat suhu konduktor tipe XHHW yang digunakan di lokasi basah?
2. Jenis konduktor apa yang disetujui untuk penguburan langsung?
3. Jenis konduktor apa yang disetujui untuk penggunaan bawah tanah?
4. Tiga 10 AWG, jenis konduktor THW harus dipasang di antara kutub pada isolator individu. Apa yang akan menjadi ampacity konduktor?
5. Pengumpan motor yang terdiri dari enam konduktor aluminium THHN tipe 1/0 AWG harus dipasang di saluran logam kaku pada suhu sekitar 100 °F (38 °C). Apa yang akan menjadi ampacity konduktor? Apa yang akan menjadi ampacity sirkuit?
6. Jelaskan apa artinya memasang "konduktor secara paralel", dan berikan lima kondisi yang harus dipenuhi di mana hal ini dilakukan.
7. Berapa ukuran konduktor padat (tidak terdampar) terbesar yang disetujui untuk dipasang di jalur balap?
8. Bagaimana pengardean 4 AWG dalam kabel multikonduktor datar diidentifikasi?
9. Warna insulasi apa yang dicadangkan untuk penggunaan khusus?
10. Sebuah fase tunggal, beban 86 ampere terletak 2800 ft (853 m) dari sumber listrik 480 volt. Berapa ukuran konduktor aluminium yang harus dipasang jika penurunan tegangan tidak dapat melebihi 3%?
11. Motor 3-fase, 480 volt dengan arus awal 235 ampere terletak 1800 kaki (550 m) dari sumber listrik. Berapa ukuran konduktor tembaga yang harus digunakan untuk memastikan bahwa penurunan tegangan tidak akan melebihi 6% selama pengasutan?
12. Berapa beban tidak kontinu maksimum yang dapat dihubungkan ke konduktor tipe THHN 2 AWG?
13. Berapa beban kontinu maksimum yang dapat dihubungkan ke konduktor tipe THHN 2 AWG?

14. Perhitungan yang dibuat sesuai dengan NEC Pasal 220 menunjukkan 110 ampere beban kontinu dan 40 ampere beban tidak kontinu pada penyulang 240/120 volt satu fasa. Berapa ukuran konduktor minimum?

## BAB 7 SISTEM SINYAL

### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- menjelaskan dan menginstal jam master.
- menjelaskan dan menginstal sistem program.
- menjelaskan dan menginstal sistem paging.
- menjelaskan dan memasang sistem alarm kebakaran.

Sirkuit pensinyalan adalah sirkuit listrik apa pun yang memberi energi pada peralatan pensinyalan. Sistem pensinyalan dapat mencakup satu atau lebih sirkuit pensinyalan. Misalnya, di gedung industri, ada beberapa sistem kelistrikan yang memberikan sinyal visual dan suara yang dapat dikenali dan diklasifikasikan sebagai sistem persinyalan:

- jam utama;
- sistem program;
- sistem paging atau lokasi; dan
- sistem alarm kebakaran.

### 7.1 Jam Utama (Master)

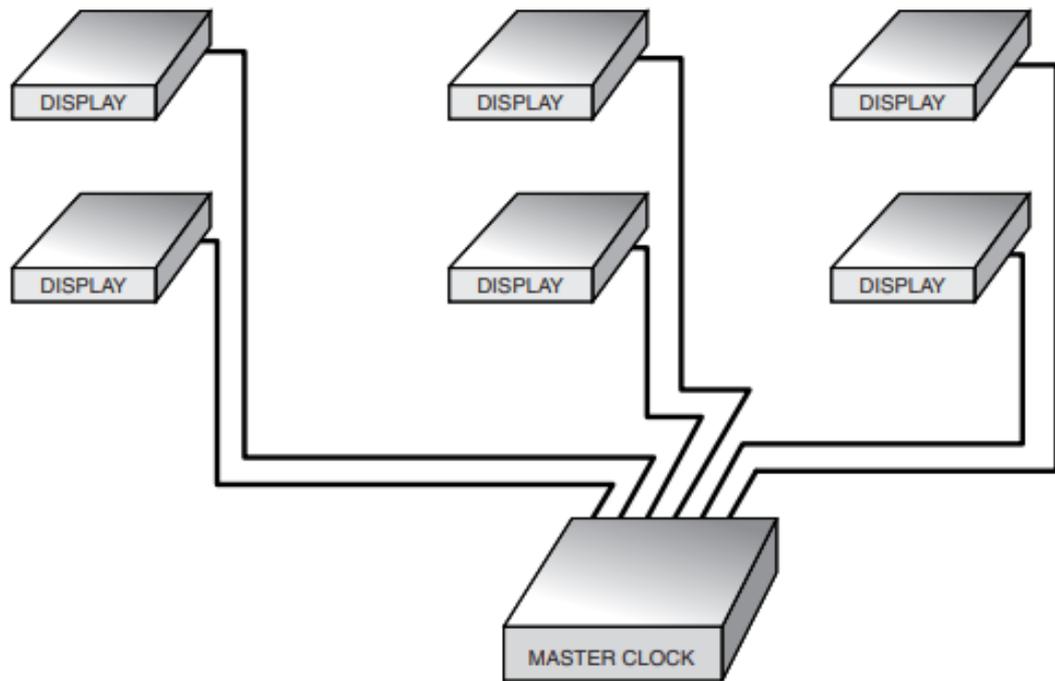
Jam utama (master) adalah jam yang dirancang untuk menggerakkan sejumlah unit yang menampilkan waktu. Unit tampilan sebenarnya bukan jam itu sendiri, tetapi bergantung pada operasinya pada sinyal yang diterima dari jam master. Unit tampilan ditunjukkan pada Gambar 7-1. Jenis unit tampilan ini menggunakan dioda pemancar cahaya (LED) untuk menunjukkan waktu, daripada tampilan analog yang menggunakan angka dan jarum. Jenis tampilan ini umumnya dirancang untuk mengakomodasi LED ukuran besar yang dapat dilihat dari jarak jauh. Jika diinginkan tampilan dengan angka lebih besar dari sekitar 0,55 inci (14 mm), biasanya akan menggunakan tampilan pelepasan gas planar daripada tampilan LED. Diagram yang menunjukkan jam master dengan beberapa unit tampilan yang terpasang ditunjukkan pada Gambar 7-2.



**GAMBAR 7-1** Unit tampilan sistem jam.

Beberapa metode dapat digunakan untuk merasakan waktu dalam unit jam master. Salah satu metode yang paling umum selama bertahun-tahun adalah dengan menggunakan motor sinkron satu fasa. Kecepatan motor sinkron sebanding dengan jumlah kutub dan frekuensi salurannya. Metode ini menggunakan frekuensi garis 60-hertz untuk mengukur waktu. Ini adalah metode yang sama yang sering digunakan untuk mengoperasikan jam listrik

di rumah. Penginderaan frekuensi garis relatif akurat. Jam yang menggunakan metode ini untuk merasakan waktu umumnya akurat dalam beberapa menit per bulan.



**GAMBAR 7-2** Sistem jam master

Metode lain yang telah menjadi populer adalah penginderaan getaran yang dihasilkan oleh sepotong kristal kuarsa. Ketika tegangan AC terkesan di dua wajah kristal, itu akan beresonansi pada beberapa frekuensi tertentu. Frekuensi resonansi ini sangat konstan dan oleh karena itu dapat digunakan untuk mengukur waktu secara akurat. Frekuensi di mana kuarsa akan beresonansi berbanding terbalik dengan ukuran kristal. Semakin kecil kristal, semakin tinggi frekuensi resonansinya. Bentuk kristal juga berperan dalam menentukan frekuensi resonansi. Jam kuarsa umumnya akurat dalam 1 detik per bulan.

Jam dalam instalasi ini ditunjukkan pada Gambar 7-3. Jam master ini mendeteksi waktu dengan menerima sinyal radio dari WWV, stasiun radio yang menyiarkan pulsa waktu. WWV dioperasikan oleh National Bureau of Standards dan digunakan sebagai standar waktu di seluruh Amerika Serikat. Jam atom sinar cesium digunakan untuk menghasilkan pulsa yang ditransmisikan. WWV dapat diterima pada frekuensi 18, 20, dan 60 kHz, dan pada frekuensi 2,5, 5, 10, 15, 20, dan 25 MHz. Pada awal setiap menit, sinyal 1000 Hz ditransmisikan, kecuali pada awal setiap jam, ketika sinyal 1500 Hz ditransmisikan. Jam dalam instalasi ini berisi penerima radio yang mampu menerima pulsa WWV. Waktu jam tergantung pada pulsa yang diterima, dan dengan cara ini, jam waktu terus diperbarui setiap menit.

Jam juga berisi baterai dan pengisi daya baterai. Baterai digunakan untuk memberikan daya ke jam jika terjadi kegagalan daya. Baterai dapat mengoperasikan jam untuk jangka waktu minimal 12 jam. Selama waktu ini, tampilan akan dimatikan untuk menghemat daya baterai, tetapi jam terus beroperasi. Jam master juga dapat diatur untuk beroperasi dalam mode 12 atau 24 jam.

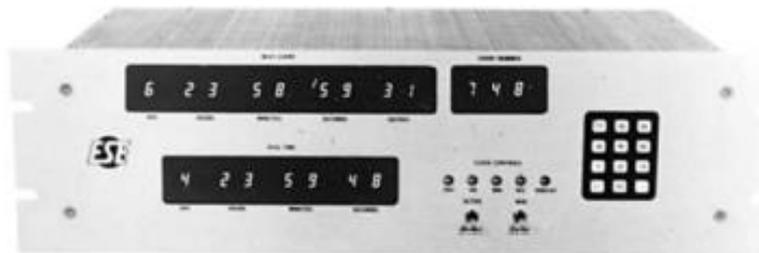
## 7.2 Sistem Program

Sistem program digunakan untuk menyediakan sinyal otomatis untuk pengoperasian klakson, bel, dan bel. Perangkat ini digunakan di industri untuk menandai awal dan akhir shift, waktu makan siang, dan istirahat. Bagian yang berbeda dari pabrik beroperasi pada jadwal waktu yang berbeda. Pekerja kantor, misalnya, memulai dan mengakhiri pekerjaan pada waktu yang berbeda dari karyawan yang bekerja di area manufaktur pabrik. Jam makan siang dan coffee break juga bervariasi. Untuk alasan ini, sistem kontrol program harus mampu memberikan sinyal yang berbeda ke bagian yang berbeda dari pabrik pada waktu yang tepat.



**GAMBAR 7-3** Jam master.

Kontroler program yang digunakan dalam instalasi ini ditunjukkan pada Gambar 7-4. Pengontrol ini adalah pengatur waktu yang dapat diprogram berbasis mikroprosesor. Unit ini memiliki tiga puluh dua saluran keluaran terpisah dan dapat diprogram hingga 1000 acara. Setiap saluran berisi relai buluh yang biasanya terbuka. Setiap relai dapat dioperasikan dengan kontak atau penguncian sesaat, atau unit dapat diatur sehingga masing-masing dapat enam belas. Modifikasi sederhana akan memungkinkan enam belas relai kutub ganda digunakan sebagai pengganti tiga puluh dua relai kutub tunggal. 1000 peristiwa dapat dimasukkan ke dalam unit secara acak sebagai lawan memasukkan mereka dalam urutan kronologis. Peristiwa siklik dapat diprogram untuk terjadi setiap menit, jam, hari, atau minggu, atau dalam kombinasi apa pun yang diinginkan. Salah satu dari tiga puluh dua saluran keluaran dapat dihidupkan pada saat yang sama.



**GAMBAR 7-4** Pengatur waktu yang dapat diprogram.

Pemrograman dilakukan dengan keyboard dua belas tombol yang terletak di bagian depan unit. Keyboard berisi angka 0 sampai 9, dan tombol CLEAR dan ENTER. Dua sakelar sakelar, juga terletak di bagian depan kotak panel, digunakan untuk menyediakan fungsi aktif/nonaktif dan jalankan/masuk. Sakelar ini mengizinkan acara yang diprogram untuk dilihat tanpa mengganggu program. Setelah pengatur waktu diprogram, program dapat disimpan pada kaset. Hal ini dilakukan dengan menghubungkan kaset tape recorder ke jack yang disediakan di bagian belakang timer.

Jika karena alasan tertentu timer harus diganti, program yang sama dapat dimuat ke unit baru dari kaset. Ini menghemat waktu karena harus memprogram ulang unit. Timer program juga berisi jam digital. Jam dioperasikan oleh osilator kristal internal. Baterai dan pengisi daya baterai disediakan dengan unit jika terjadi kegagalan daya. Dengan tambahan generator kode waktu serial, timer program juga dapat digunakan sebagai master clock. Generator kode waktu memberi unit kemampuan mengemudi hingga 100 unit tampilan.

### 7.3 Sistem Halaman

Di banyak instalasi industri, penting untuk menyampaikan pesan ke semua area pabrik. Saat memilih sistem paging, beberapa faktor harus dipertimbangkan, seperti ini:

1. Berapa luas area yang akan dicakup dan jumlah unit halaman (paging) yang dibutuhkan?
2. Desain sistem harus memungkinkan perluasan seiring bertambahnya ukuran pabrik.
3. Apakah sistem halaman (paging) harus berupa suara, nada, atau kombinasi keduanya?
4. Apakah area pabrik memerlukan peralatan tahan ledakan atau tahan cuaca?
5. Berapa tingkat kebisingan sekitar pabrik?

Pertimbangan yang sangat penting ketika memilih jenis peralatan yang akan digunakan adalah tingkat kebisingan di sekitar atau di sekitarnya. Bagan yang ditunjukkan pada Gambar 7-5 mengilustrasikan berbagai tingkat kebisingan yang diukur dalam desibel (dB). Agar sinyal atau suara dapat didengar, harus setidaknya 5 desibel lebih keras dari tingkat kebisingan di sekitar stasiun kerja. Pertimbangan penting lainnya adalah jarak speaker dari workstation. Sebagai aturan umum, suara berkurang 6 desibel setiap kali jarak dari speaker digandakan.

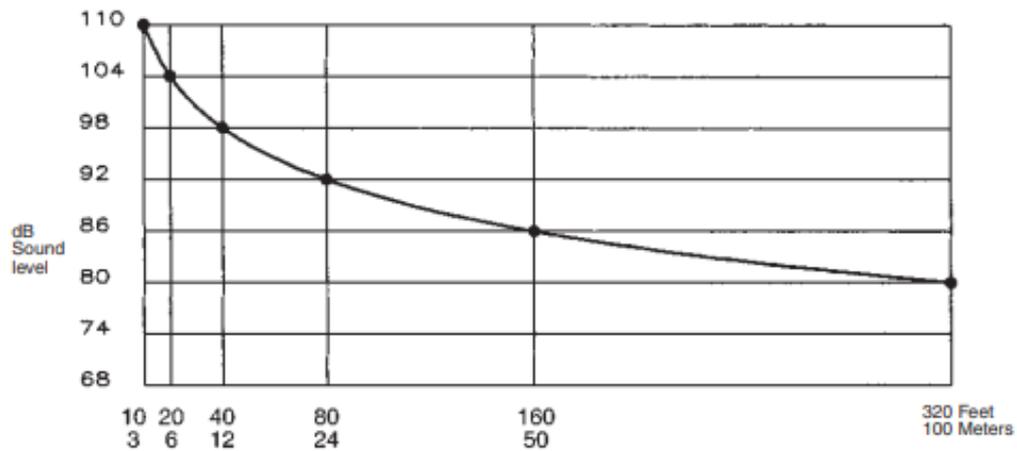
Reaction	dB	Source Comparison
Uncomfortably loud (possible ear pain)	195	Circular saw at 2 ft (0.61 m)
	140	Jackhammer at 2 ft (0.61 m)
	120	Thunder (near)
Very loud	90 to 100	Industrial plant Wire mill boiler factory
Loud	80 to 90	Foundry factory Press room
Moderate	70 to 75	Normal conversation in office at 3 ft (0.91 m)
Quiet	40 to 55	Hospital room
Very quiet	30 to 35	Whisper at 2 ft (0.61 m)

**GAMBAR 7-5** Suara yang sebanding.

**MASALAH:** Sebuah speaker dinilai untuk menghasilkan 110 desibel pada jarak 10 kaki (3 m). Tingkat kebisingan sekitar di stasiun kerja diukur pada 80 desibel. Jika pengeras suara dipasang 160 kaki (49 m) dari stasiun kerja, apakah pekerja dapat mendengar pesan dengan jelas?

- Solusi: Gambar 7-6 mengilustrasikan jumlah penurunan suara dengan jarak. Perhatikan bahwa grafik dimulai dengan nilai 110 desibel pada jarak 10 kaki (3 m), dan berkurang 6 desibel setiap kali jarak digandakan. Pada jarak 160 kaki (49 m), tingkat

suara harus 86 desibel. Ini cukup keras untuk memungkinkan pekerja mendengar suara atau nada.



**GAMBAR 7-6** Efek suara yang berhubungan dengan jarak.



**GAMBAR 7-7** Unit yang digunakan untuk mengirim pesan suara dan nada.

Sistem paging yang dipilih untuk pabrik ini diproduksi oleh Audiosone Inc. Sistem ini memiliki kemampuan menghasilkan sinyal suara dan nada. Dua jenis unit paging akan digunakan. Jenis pertama hanya dapat digunakan untuk mengirim pesan suara. Tipe kedua, ditunjukkan pada Gambar 7-7, dapat mengirim pesan suara dan nada. Setiap unit paging berisi penguatnya sendiri, Gambar 7-8. Ini memungkinkan jumlah yang hampir tidak terbatas untuk digunakan di mana mereka terhubung secara paralel ke sirkuit 4-konduktor. Sistem ini juga dapat diperluas dengan menggunakan alarm evakuasi suara, yang ditunjukkan pada Gambar 7-9. Unit ini mengizinkan pesan yang direkam untuk digunakan, yang dapat menginstruksikan karyawan tentang sifat keadaan darurat.

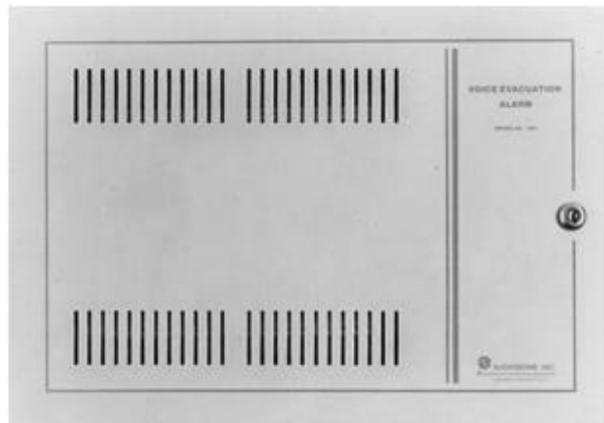
Empat nada terpisah dapat dihasilkan:

1. WAIL: sirene konvensional
2. HI-LO: bergantian tinggi dan rendah (sirene Eropa)

3. WHOOP: naik dari rendah ke tinggi, berulang
4. HORN: nada mantap



**GAMBAR 7-8** Setiap unit berisi amplifier.



**GAMBAR 7-9** Alarm evakuasi suara.



**GAMBAR 7-10** Speaker yang digunakan dengan sistem paging.

Nada akan digunakan untuk mengumumkan kondisi yang berbeda. Salah satunya adalah untuk digunakan sebagai sinyal kebakaran dan akan terhubung ke sistem alarm kebakaran. Tiga nada lainnya dapat digunakan untuk mengumumkan kondisi seperti evakuasi pabrik, pergantian shift, dan sebagainya. Dua jenis speaker akan digunakan, Gambar 7-10. Pembicara ini akan ditempatkan di titik-titik strategis di seluruh pabrik.

#### 7.4 Sistem Alarm Kebakaran

Alarm kebakaran adalah bagian dari otomatisasi digital dan sistem kontrol yang diproduksi oleh Jensen Electric Co. Sistem ini dipilih karena fleksibilitas dan kemampuan ekspansinya. Unit kontrol pusat (CCU) adalah komputer desktop modern. Prosesor, Gambar 7-11, menyediakan antarmuka komunikasi antara CCU dan pengontrol sistem. Sistem ini memungkinkan sejumlah prosesor (hingga 100) untuk dihubungkan ke CCU. Peralatan daya prosesor adalah 24 volt DC, yang disediakan oleh catu daya yang tidak pernah terputus.



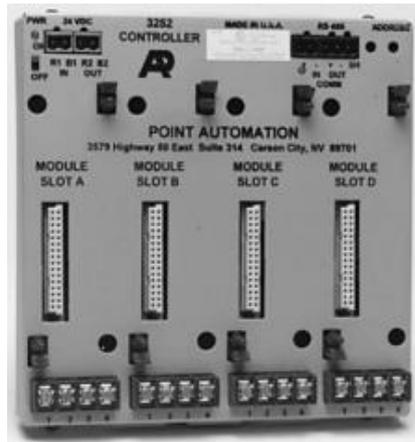
**GAMBAR 7-11** Unit prosesor.

Gambar 7-12. Catu daya tak terputus menghasilkan 24 volt DC yang diatur dari jalur suplai 120 volt AC, 60 hertz. Dua baterai penyimpanan asam timbal 12 volt terdapat di dalam catu daya. Jika daya AC yang masuk gagal, baterai asam timbal terus memberikan daya ke sistem. Ini memastikan bahwa daya kontrol ke sistem kritis dipertahankan selama kegagalan daya.



**GAMBAR 7-12** Catu daya.

Pengontrol, Gambar 7-13, adalah perangkat cerdas yang menyediakan antarmuka antara modul kontrol dan prosesor. Setiap prosesor dapat menangani hingga 100 pengontrol. Setiap pengontrol dapat berisi hingga empat modul antarmuka, Gambar 7-14. Sistem ini dapat beroperasi hanya dengan satu titik input/output (I/O) atau sebanyak 640.000.



**GAMBAR 7-13** Pengontrol yang dapat diprogram.

Jenis modul antarmuka yang digunakan menentukan fungsi kontrol sistem. Modul dapat diperoleh yang memungkinkan sistem digunakan untuk kontrol motor, alarm pencuri, deteksi ground-fault, atau untuk antarmuka dengan kamera televisi. Beberapa modul mengizinkan sinyal input dan output analog yang beroperasi dari 0 hingga +5 volt DC, atau 4 hingga 20 miliampere DC. Modul input dan output alarm kebakaran ditunjukkan pada Gambar 7-15.



**GAMBAR 7-14** Kontroler dengan modul antarmuka.

Setiap modul alarm kebakaran berisi sakelar kontak sesaat yang terletak di sampul depan. Sakelar ini memungkinkan alarm dioperasikan secara otomatis atau manual, atau untuk diuji. Setiap modul berisi tiga LED. LED hijau menunjukkan operasi sirkuit normal. LED merah menunjukkan bahwa api telah terdeteksi, dan LED kuning menunjukkan masalah dengan sistem. Ukuran dan jenis konduktor untuk sistem alarm berukuran untuk memenuhi persyaratan 725.1 (Catatan informasi), dan ukuran saluran ditentukan sesuai dengan 725.31(B).



**GAMBAR 7-15** Modul alarm kebakaran.

Sistem alarm kebakaran menggunakan kombinasi detektor asap, Gambar 7-16, dan pegangan tarik manual, Gambar 7-17. Setelah pegangan tarik manual digunakan, pegangan tersebut harus disetel ulang dengan kunci. Detektor asap, diproduksi oleh Whelen Engineering Co., ditenagai oleh sumber AC 120 volt terpisah dan berisi klakson internal yang menghasilkan 86 desibel pada 10 kaki (3 m). Hal ini memungkinkan detektor asap untuk digunakan di area kantor tanpa tambahan alarm suara terpisah. LED yang terletak di sampul depan berkedip setiap 4 detik untuk menunjukkan bahwa detektor berfungsi dengan baik. Jika asap terdeteksi, LED akan memancarkan cahaya yang stabil.



**GAMBAR 7-16** Detektor asap.



**GAMBAR 7-17** Gagang tarik alarm kebakaran.

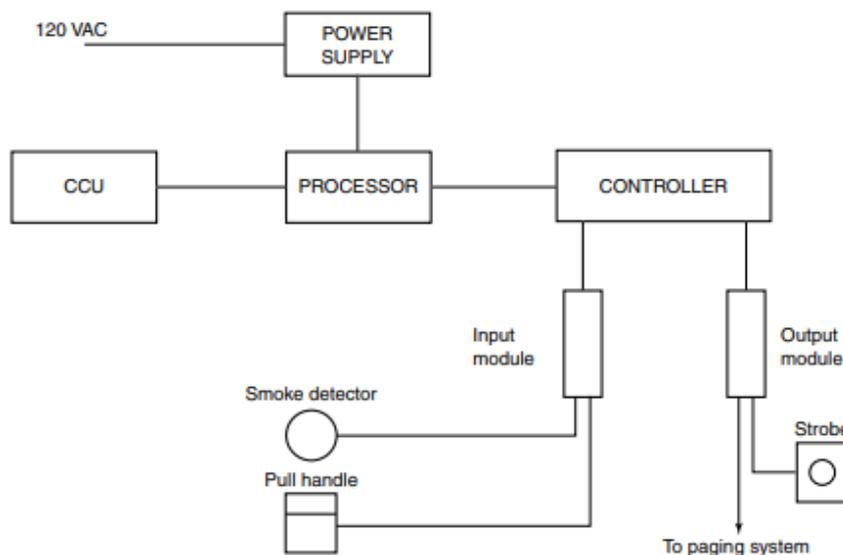
Saat kondisi kebakaran terdeteksi, dua perangkat alarm diaktifkan. Yang pertama adalah salah satu nada yang dihasilkan oleh sistem paging. Yang kedua adalah lampu sorot berintensitas tinggi yang menghasilkan 75 kedipan per menit, Gambar 7-18. Lampu strobo

*Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)*

ditenagai langsung oleh detektor asap di area kantor. Sistem alarm kebakaran diprogram sehingga ketika kebakaran terdeteksi, semua alarm suara yang dihasilkan oleh sistem paging diaktifkan. Namun, tidak semua lampu strobo diaktifkan. Hanya lampu strobo yang terletak di area api yang terdeteksi yang boleh menyala. Gambar garis dasar sistem alarm kebakaran ditunjukkan pada Gambar 7-19.



**GAMBAR 7-18** Lampu sorot intensitas tinggi.



**GAMBAR 7-19** Sistem alarm kebakaran dasar.

## 7.5 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditunjukkan secara rinci, dan referensi Kode harus dikutip bila perlu.

1. Apa yang dimaksud dengan rangkaian sinyal?
2. Di mana definisi rangkaian sinyal yang ditemukan di NEC?
3. Apakah unit tampilan yang digunakan dalam instalasi ini benar-benar jam?
4. Apa itu WWV?
5. Jenis jam apa yang digunakan untuk menyediakan pulsa yang disiarkan oleh WWV?
6. Jenis jam apa yang digunakan untuk mengoperasikan pengatur waktu program?
7. Berapa banyak acara terpisah yang dapat diprogram dalam pengatur waktu program?
8. Berapa banyak saluran keluaran yang disediakan dengan pengatur waktu program?

9. Apa tujuan utama dari sistem paging?
10. Sebutkan lima faktor yang harus dipertimbangkan ketika memilih sistem paging.
11. Asumsikan tingkat kebisingan sekitar di area tertentu dari pabrik adalah 80 desibel. Jika sebuah pesan ingin didengar dengan jelas, berapakah tingkat suara minimum dari pesan tersebut?
12. Berapa banyak nada yang dapat dihasilkan oleh sistem paging?
13. Apa yang digunakan sebagai unit kontrol pusat untuk sistem alarm kebakaran?
14. Apa fungsi dari prosesor?
15. Berapa jumlah maksimum prosesor yang dapat dihubungkan ke CCU?
16. Berapa tegangan yang disuplai ke prosesor?
17. Apa yang memasok daya ke sistem jika daya AC yang masuk gagal?
18. Apa fungsi pengontrol?
19. Berapa banyak modul kontrol yang dapat dihubungkan ke setiap pengontrol?
20. Apa kegunaan sakelar yang terletak di bagian depan modul alarm kebakaran?
21. Kondisi apa yang ditunjukkan oleh masing-masing dari tiga LED yang terletak di bagian depan modul alarm kebakaran?
  - Hijau
  - Merah
  - Kuning
22. Dua perangkat apa yang digunakan untuk menunjukkan adanya api?
23. Setiap detektor asap berisi klakson internal yang terpisah. Berapa tingkat suara klakson internal ini?
24. Dua perangkat alarm apa yang diaktifkan saat kebakaran terdeteksi?
25. Ketika api terdeteksi, apakah semua lampu strobo di seluruh pabrik berkedip?

## **BAB 8**

### **KONTROL MOTOR DASAR**

#### **TUJUAN**

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- jelaskan perbedaan antara kontaktor dan starter motor.
- menjelaskan fungsi yang berbeda dari sekering dan kelebihan beban.
- daftar berbagai jenis relai beban lebih dan jelaskan cara pengoperasiannya.
- menghubungkan sirkuit kontrol dasar menggunakan diagram skematik.
- jelaskan perbedaan antara diagram skematik dan diagram pengkabelan.
- mendiskusikan perbedaan antara diagram skema atau diagram tangga dan diagram pengkabelan.

Siapa pun yang bekerja sebagai ahli listrik di industri harus dapat menghubungkan dan memecahkan masalah sirkuit kontrol motor dasar. Sirkuit kontrol digunakan untuk memulai, menghentikan, mempercepat, memperlambat, dan melindungi motor. Mereka juga dapat terdiri dari sejumlah perangkat penginderaan seperti sakelar batas, sakelar apung, tombol tekan, sakelar aliran, sakelar tekanan, sakelar suhu, dan sebagainya, yang memberi tahu rangkaian tindakan apa yang harus dilakukan. Sirkuit kontrol motor dapat dibagi menjadi dua kategori utama: 2 kabel dan 3 kabel.

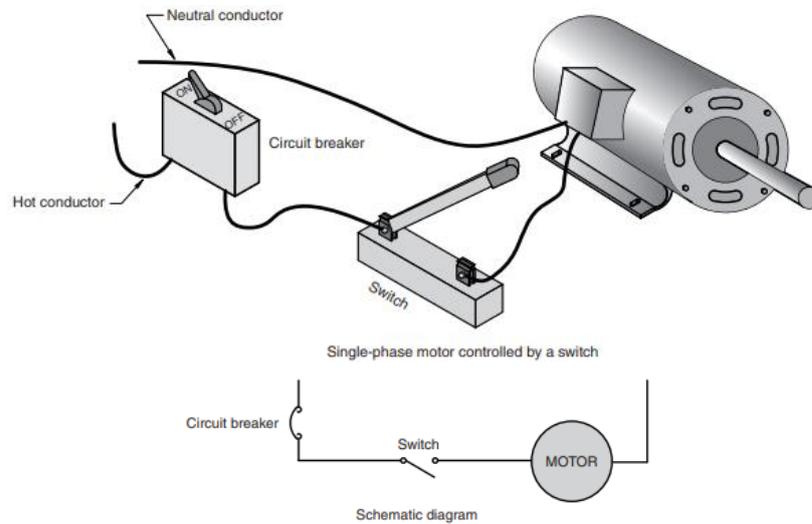
#### **8.1 Kontrol Dua Kawat**

Sirkuit kontrol dua kawat adalah yang paling sederhana. Kontrol dua kawat pada dasarnya terdiri dari sakelar yang digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan daya ke motor, Gambar 8-1. Banyak starter tipe manual dirancang sebagai pengontrol 2-kawat. Starter motor berisi sarana untuk menghubungkan dan memutuskan motor ke dan dari sumber listrik dan juga memberikan perlindungan beban lebih untuk motor. Perlindungan kelebihan beban tidak boleh disamakan dengan perlindungan sekering atau sirkuit. Sekering dan pemutus sirkuit melindungi sirkuit dari beberapa jenis kondisi arus tinggi seperti korsleting dan arde. Proteksi beban lebih dirancang untuk melindungi motor dari kondisi beban lebih.

Asumsikan, misalnya, bahwa motor memiliki peringkat arus beban penuh 10 ampere. Juga asumsikan bahwa motor terhubung ke rangkaian 20 ampere. Jika motor menjadi kelebihan beban dan arus meningkat menjadi 15 ampere, pemutus sirkuit tidak akan pernah trip atau sekering tidak pernah putus karena penarikan arus di bawah nilai 20 ampere. Motor, bagaimanapun, mungkin akan rusak atau hancur karena arus yang berlebihan. Kelebihan beban dimaksudkan untuk membuka rangkaian ketika arus melebihi nilai arus beban penuh motor sebesar 115% sampai 125%.

Starter manual satu fase dengan proteksi kelebihan beban ditunjukkan pada Gambar 8-2. Starter menyerupai sakelar kutub tunggal dengan tambahan perlindungan kelebihan beban. Diagram skematik starter manual satu fasa ditunjukkan pada Gambar 8-3.

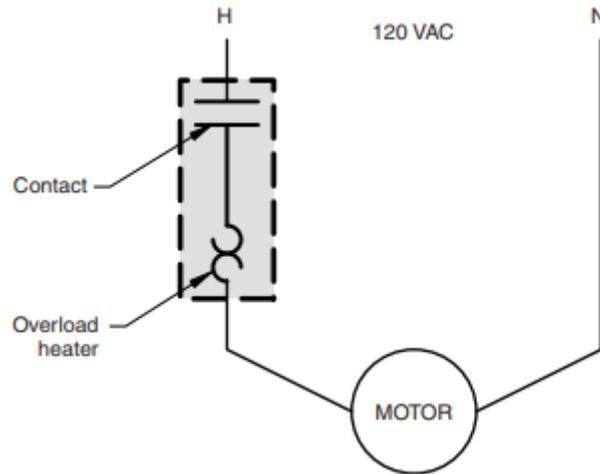
Sebuah starter manual 3-fase, Gambar 8-4, beroperasi dengan cara yang mirip dengan starter manual satu-fasa kecuali bahwa ia menyediakan tiga set kontak dan tiga kelebihan beban. Starter dirancang sedemikian rupa sehingga kelebihan beban pada fase mana pun dari sistem 3 fase akan menyebabkan ketiga kontak terbuka. Diagram skema starter manual 3-fase ditunjukkan pada Gambar 8-5



**GAMBAR 8-1** Diagram gambar dan skema dari motor fase tunggal yang dikendalikan oleh sakelar.



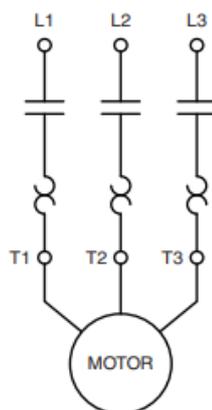
**GAMBAR 8-2** Starter motor manual satu fasa dengan proteksi kelebihan beban.



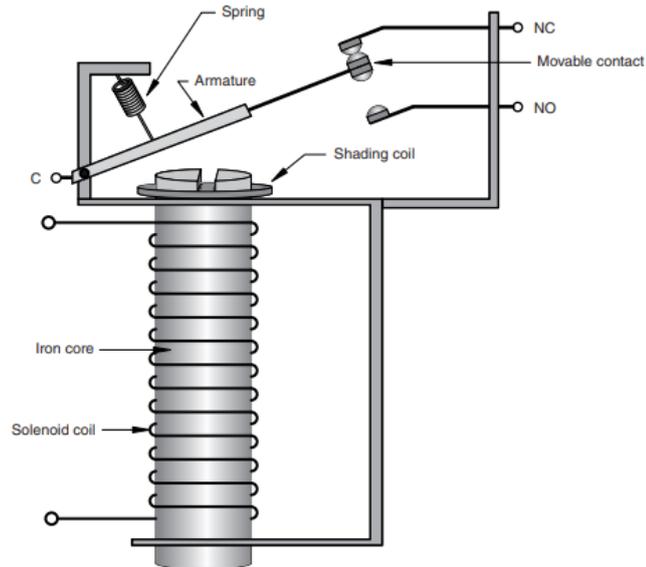
**GAMBAR 8-3** Diagram skema starter manual satu fasa.



**GAMBAR 8-4** Starter manual tiga fasa.



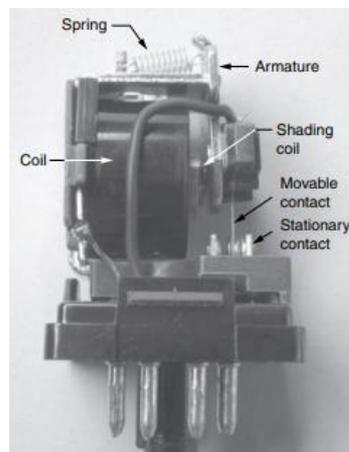
**GAMBAR 8-5** Diagram skema starter manual 3 fasa.



**GAMBAR 8-6** Relai magnetik pada dasarnya adalah solenoida dengan kontak bergerak yang terpasang.

## 8.2 Kontrol Tiga Kawat

Penunjukan kontrol 3-kawat berasal dari fakta bahwa tiga kabel dijalankan dari satu set tombol tekan start-stop ke starter motor. Kontrol tiga-kawat dicirikan oleh fakta bahwa mereka menggunakan kontaktor dan starter magnetik. Kontaktor atau relai magnetik pada dasarnya adalah solenoida listrik yang menutup serangkaian kontak ketika kumparan diberi energi, Gambar 8-6. Relai yang mirip dengan yang diilustrasikan pada Gambar 8-6 ditunjukkan pada Gambar 8-7. Istilah yang digunakan untuk menjelaskan komponen kontrol motor seringkali membingungkan.



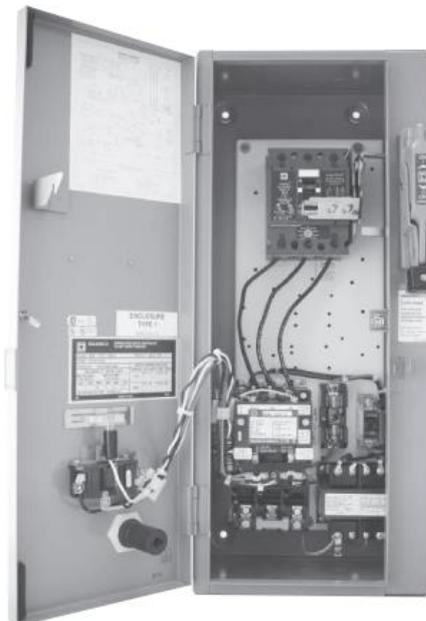
**GAMBAR 8-7** Relai kontrol delapan pin.

Istilah relai mengacu pada sakelar yang dioperasikan secara magnetis yang berisi kontak kecil atau tambahan. Kontak bantu digunakan sebagai bagian dari rangkaian kontrol dan tidak dimaksudkan untuk menghubungkan beban ke saluran. Kontaktor berisi kontak beban besar yang dimaksudkan untuk menangani arus dalam jumlah besar. Kontak beban digunakan untuk menghubungkan beban seperti motor atau perangkat arus tinggi lainnya ke saluran listrik. Kontaktor mungkin atau mungkin juga tidak mengandung kontak bantu. Starter

motor adalah kontaktor yang dilengkapi dengan proteksi beban lebih untuk motor, Gambar 8-8. Starter kombinasi berisi pemutus sekering atau pemutus sirkuit, transformator kontrol, dan starter motor dalam satu penutup, Gambar 8-9.



**GAMBAR 8-8** Starter motor berisi kontak beban dan perlindungan beban lebih untuk motor.



**GAMBAR 8-9** Starter kombinasi berisi pemutus sekering atau pemutus sirkuit, trafo kontrol, dan starter motor dalam satu penutup.

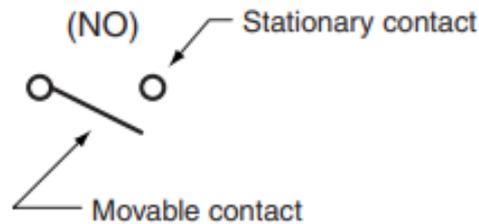
### 8.3 Simbol Skema

Skema dan diagram pengkabelan adalah bahasa tertulis dari kontrol motor. Untuk memahami gambar-gambar ini, akan sangat membantu untuk memahami beberapa simbol yang digunakan ketika diagram kontrol digambar. Meskipun tidak ada standar yang ditetapkan untuk menggambar simbol kontrol motor, yang paling umum diterima adalah yang digunakan oleh National Electrical Manufacturers Association (NEMA). Saat membaca skema kontrol, semua simbol sakelar dan kontak digambar untuk menunjukkan posisinya saat sirkuit dimatikan atau tidak beroperasi. Ini disebut posisi normal untuk kontak atau sakelar itu.

Kontak sakelar dapat digambarkan sebagai biasanya terbuka (NO), biasanya tertutup (NC), biasanya terbuka tertutup (NOHC), atau biasanya tertutup terbuka (NCHO). Ketika

sebuah sakelar akan ditampilkan sebagai terbuka normal, sakelar itu ditarik sehingga kontak bergerak ditunjukkan di bawah ini dan tidak menyentuh kontak stasioner, Gambar 8-10A. Jika kontak akan ditarik secara normal tertutup, itu ditarik sehingga kontak bergerak berada di atas dan menyentuh kontak stasioner, Gambar 8-10B.

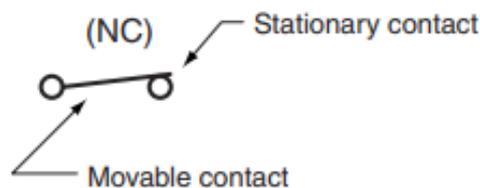
#### Saklar Terbuka Biasanya



Kontak bergerak digambar di bawah dan tidak menyentuh kontak stasioner.

(A)

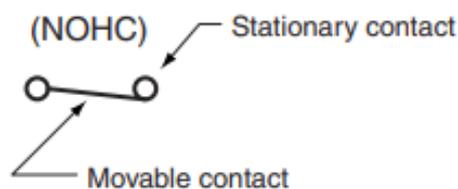
#### Saklar Tertutup Biasanya



Kontak bergerak ditarik di atas dan menyentuh kontak stasioner.

(B)

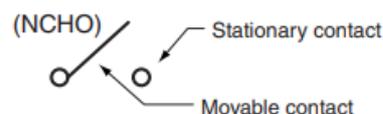
#### Saklar Terbuka Normal Tegak Tertutup



Karena kontak bergerak ditarik di bawah kontak stasioner, sakelar biasanya terbuka. Simbol menunjukkan kontak bergerak menyentuh kontak stasioner. Ini menunjukkan bahwa sakelar sedang ditutup.

(C)

#### Saklar Tertutup Biasanya Tertutup



Karena kontak bergerak ditarik di atas kontak stasioner, sakelar biasanya tertutup. Simbol menunjukkan kontak bergerak tidak menyentuh kontak stasioner. Ini menunjukkan bahwa sakelar ditahan terbuka.

(D)

**GAMBAR 8-10** Sakelar dapat digambarkan sebagai biasanya terbuka, biasanya tertutup, biasanya terbuka tertutup, atau biasanya tertutup terbuka.

Ada beberapa contoh di mana kontak harus terhubung secara normal terbuka, tetapi ketika sirkuit tidak beroperasi, kontak ditutup. Contoh yang baik dari hal ini adalah sakelar tekanan rendah di banyak sirkuit AC. Tekanan dalam sistem menahan kontak tertutup. Jika refrigeran bocor, penurunan tekanan akan menyebabkan sakelar terbuka kembali dan menghentikan pengoperasian kompresor. Sakelar tertutup yang ditahan biasanya terbuka ditarik dengan kontak bergerak di bawah tetapi menyentuh kontak stasioner, Gambar 8-10C. Sakelar biasanya terbuka karena kontak bergerak ditarik di bawah kontak stasioner. Itu diadakan tertutup karena kontak bergerak menyentuh kontak stasioner.

Sakelar terbuka yang ditahan biasanya tertutup dapat digambar dengan cara yang sama, Gambar 8-10D. Sakelar biasanya tertutup karena kontak bergerak ditunjukkan di atas kontak stasioner. Itu ditahan terbuka karena kontak bergerak tidak menyentuh kontak stasioner.

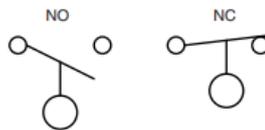
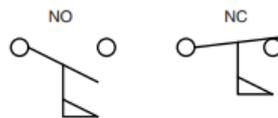
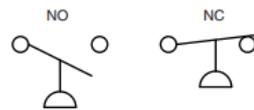
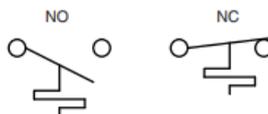
Simbol lain ditambahkan ke simbol sakelar untuk menunjukkan jenis sakelar tertentu. Sakelar batas, misalnya, ditunjukkan dengan irisan yang ditarik di bawah kontak yang dapat digerakkan. Irisan mewakili lengan bumper dari sakelar batas. Simbol limit switch ditunjukkan pada Gambar 8-11. Simbol lain digunakan untuk menunjukkan berbagai jenis sakelar (Gambar 8-12). Saklar float, misalnya, menggunakan lingkaran yang digambar di bagian bawah garis. Lingkaran melambangkan pelampung bola. Sebuah saklar aliran menggunakan bendera yang ditarik pada garis untuk mewakili dayung yang mendeteksi aliran udara atau cairan. Sakelar tekanan ditarik dengan menghubungkan setengah lingkaran ke sebuah garis. Bagian datar dari simbol mewakili diafragma yang digunakan untuk merasakan tekanan. Sebuah saklar suhu atau termostat ditunjukkan dengan menggambar garis zig-zag yang mewakili heliks bimetal yang mengembang dan berkontraksi dengan perubahan suhu.

Simbol kontak yang biasanya terbuka diperlihatkan sebagai garis paralel dengan kabel penghubung, Gambar 8-13. Simbol kontak yang biasanya tertutup adalah sama, dengan pengecualian bahwa garis diagonal ditarik melalui dua garis paralel. Kontak selalu ditampilkan dalam posisi tidak aktif atau tidak aktif.

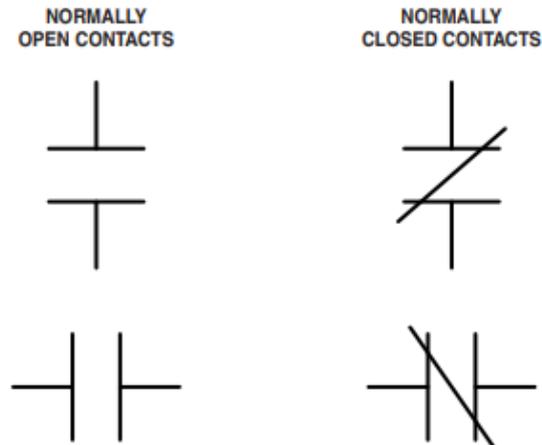
Simbol skematis lain yang sangat umum adalah tombol tekan. Tombol tekan yang biasanya terbuka ditunjukkan dengan kontak bergerak di atas dan tidak menyentuh dua kontak stasioner, Gambar 8-14. Simbol menunjukkan bahwa ketika tekanan jari diterapkan pada kontak bergerak, ia bergerak ke bawah dan menjembatani celah antara dua kontak stasioner. Simbol tombol tekan yang biasanya tertutup digambar dengan kontak bergerak di bawah dan menyentuh kontak stasioner. Ketika tekanan diterapkan pada kontak bergerak, ia bergerak ke bawah dan memutuskan hubungan antara dua kontak stasioner. Simbol tombol tekan lain yang sangat umum adalah tombol tekan kerja ganda. Tombol tekan kerja ganda berisi kontak normal terbuka dan kontak normal tertutup dengan satu kontak bergerak, Gambar 8-15.

**SAKLAR BATAS NORMAL TERTUTUP****SAKLAR BATAS TERBUKA NORMAL TERTUTUP****SAKLAR BATAS BIASA TERBUKA****SAKLAR BATAS TERTUTUP NORMAL TERBUKA**

**GAMBAR 8-11** Sakelar batas ditunjukkan dengan menggambar bentuk baji di bawah kontak bergerak dari simbol sakelar.

**SAKLAR MENGAPUNG****SAKLAR ALIRAN****SAKLAR TEKANAN****SAKLAR SUHU**

**GAMBAR 8-12** Simbol yang digunakan untuk mewakili berbagai jenis sakelar.

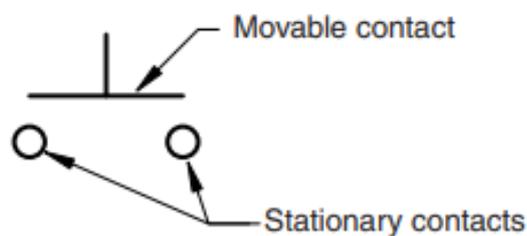


**GAMBAR 8-13** Simbol kontak yang biasanya terbuka dan biasanya tertutup.

Sirkuit kontrol sering memerlukan tombol tekan yang berisi banyak kontak. Jika ini masalahnya, tombol tekan bertumpuk dapat digunakan. Tombol tekan bertumpuk dirancang sedemikian rupa sehingga set kontak yang berbeda dapat dihubungkan yang dikendalikan oleh satu tombol tekan. Kumpulan kontak ini mungkin berisi kontak yang biasanya terbuka atau biasanya tertutup. Tombol tekan bertumpuk ditunjukkan pada Gambar 8-16. Bagan yang menunjukkan simbol listrik dan kontrol umum ditunjukkan pada Gambar 8-17.

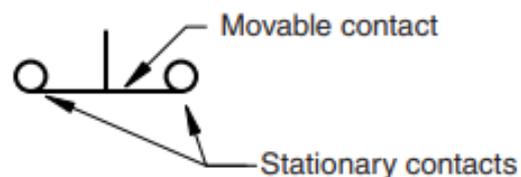
Relay, kontaktor, dan kumparan starter umumnya dilambangkan dengan lingkaran. Angka dan/atau huruf ditempatkan di dalam lingkaran untuk menunjukkan kumparan tertentu. Kumparan dengan huruf M umumnya berarti starter motor. Huruf TR menunjukkan relai pengatur waktu dan huruf CR umumnya menunjukkan relai kontrol.

#### **TOMBOL TEKAN BIASANYA TERBUKA**



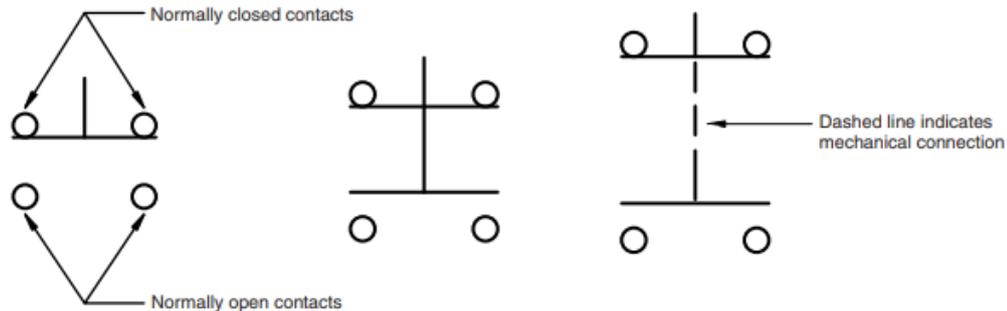
Tombol push yang biasanya terbuka digambar dengan kontak bergerak di atas dan tidak menyentuh kontak stasioner.

#### **TOMBOL TEKAN BIASANYA TERTUTUP**



Tombol tekan yang biasanya tertutup digambar dengan kontak bergerak di bawah dan menyentuh kontak stasioner.

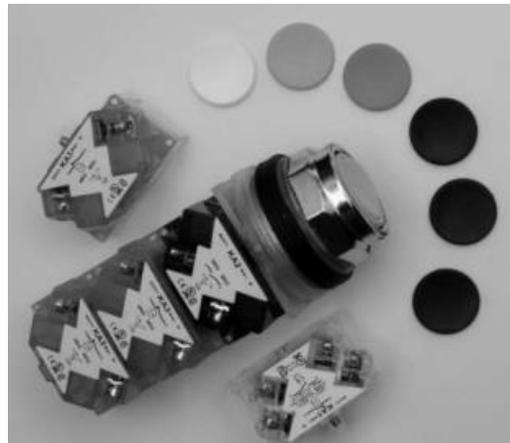
**GAMBAR 8-14** Simbol tombol tekan standar NEMA.



**GAMBAR 8-15** Simbol yang berbeda digunakan untuk mewakili tombol tekan kerja ganda.

#### 8.4 Relai Beban Lebih (*Overload Relay*)

Relai beban lebih dirancang untuk melindungi motor dari kondisi beban lebih. Semua relai beban lebih berisi dua bagian terpisah: bagian penginderaan arus dan bagian kontak kontrol. Relai beban lebih tidak memutuskan motor dari saluran listrik saat terjadi kondisi beban lebih. Relai beban lebih berisi satu set kontak bantu yang biasanya tertutup yang dihubungkan secara seri dengan kumparan starter motor. Jika terjadi kondisi kelebihan beban, kontak membuka dan memutuskan daya ke kumparan starter motor. Hal ini menyebabkan kontak beban pada starter membuka dan memutuskan sambungan motor dari saluran listrik.

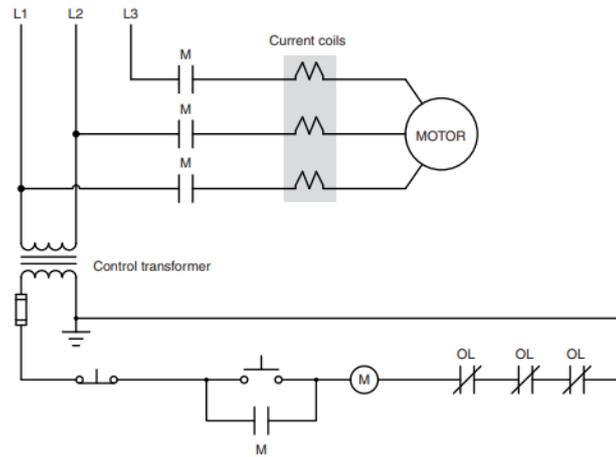


**GAMBAR 8-16** Tombol tekan bertumpuk dapat berisi banyak set kontak.

Disconnect Switch		Fused Disconnect Switch		Circuit Breaker		Thermal Circuit Breaker		Magnetic Circuit Breaker		Thermal Magnetic Circuit Breaker		Fuses		Fixed Resistors		Variable Resistors											
Float Switch		Flow Switch		Temperature Switch		Pressure Switch		On Delay Timer		Off Delay Timer		Limit Switch		Momentary Contact Devices													
														Push Buttons		Mushroom Head		Illuminated (Pilot Light)		Wobble Stick							
										Two-Position Selector Switch		Three-Position Selector Switch		Instant Contacts (No Out / No Blow Out)		Relay Coils		Pilot Lights		Overload Relays (Thermal / Magnetic)		Maintained Contact		Foot Switch		Inductors	
																		Transformers									
										Battery		Bell		Buzzer		Horn/ Siren		Three-Phase Motors		Single-Phase Motor							
Direct Current Motors and Generators				Wiring (Not Connected / Connected)		Capacitors		Wiring Terminal		Ground		Mechanical Connection		Mechanical Interlock		Basic Switch Types											
Plugging Switches		Anti-Plugging		Electronic Devices																							
				Bridge Rectifier		Diac		Diode		LED		Transistor (NPN)		Transistor (PNP)		Triac		SCR		GTO		SBS					
Electronic Devices				Computer Logic Symbols				NEMA Logic Symbols																			

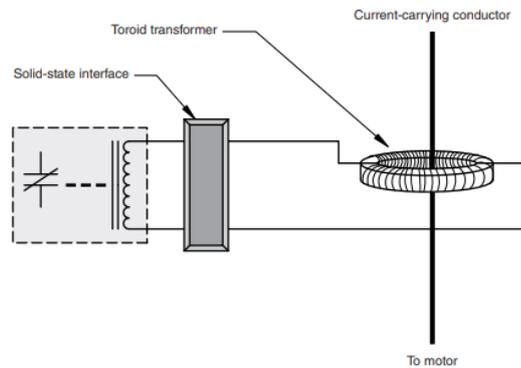
**GAMBAR 8-17** Kontrol umum dan simbol listrik.

Bagian penginderaan arus dari relai beban lebih dapat berupa magnet, elektronik, atau termal. Relai beban lebih magnetis beroperasi dengan menghubungkan kumparan arus secara seri dengan motor, Gambar 8-18. Jika arus motor menjadi berlebihan, medan magnet akan menjadi cukup kuat untuk menyebabkan kontak bantu yang biasanya tertutup membuka dan menghilangkan energi pada kumparan starter motor.

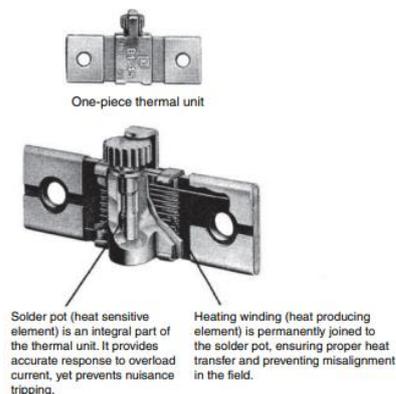


**GAMBAR 8-18** Relai beban lebih magnetik mendeteksi arus motor dengan menghubungkan kumparan arus secara seri dengan motor.

Relai beban lebih elektronik mendeteksi arus motor dengan menempatkan kabel pembawa arus melalui transformator toroida, Gambar 8-19. Trafo mengukur kekuatan medan magnet konduktor dengan cara yang sama seperti ammeter tipe penjepit mengukur arus dalam konduktor. Jika arus menjadi berlebihan, kontak bantu yang biasanya tertutup akan membuka dan memutuskan daya ke koil starter motor.



**GAMBAR 8-19** Relai beban lebih elektronik mendeteksi arus motor dengan mengukur kekuatan medan magnet di sekitar konduktor yang memasok daya ke motor.

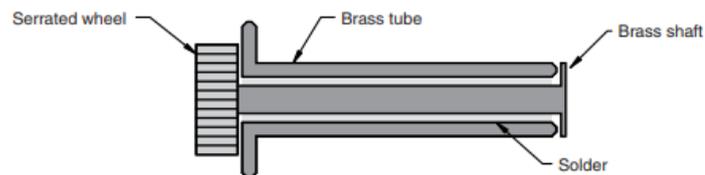


**GAMBAR 8-20** Relai beban lebih termal beroperasi dengan menghubungkan elemen pemanas secara seri dengan motor.

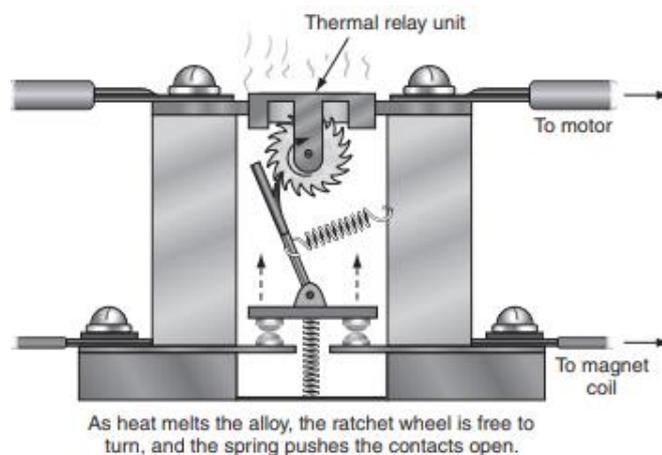
Relai beban lebih termal sejauh ini adalah yang paling umum. Relai beban lebih termal beroperasi dengan menghubungkan elemen pemanas secara seri dengan motor, Gambar 8-20. Suhu pemanas tergantung pada arus motor dan suhu lingkungan. Ada dua jenis relai kelebihan beban termal, jenis pot solder dan jenis strip bimetal.

Relai kelebihan beban tipe pot solder bekerja dengan menempatkan poros kuningan di dalam tabung kuningan. Sebuah roda bergerigi dipasang pada poros kuningan, Gambar 8-21. Solder digunakan untuk mengikat poros kuningan ke tabung kuningan. Lengan tuas antara kontak dan roda bergerigi menahan kontak pada tempatnya, Gambar 8-22. Jika arus motor menjadi berlebihan, pemanas akan melelehkan solder dan memungkinkan roda bergerigi berputar, menyebabkan kontak bantu yang biasanya tertutup terbuka.

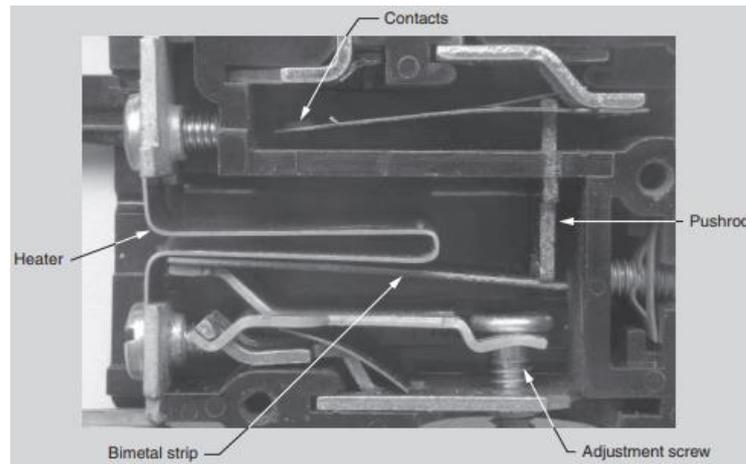
Kelebihan jenis strip bimetal menggunakan strip bimetal untuk membuka kontak bantu yang biasanya tertutup jika arus motor menjadi berlebihan, Gambar 8-23. Ada perbedaan lain antara relai kelebihan beban tipe pot solder dan strip bimetal. Relai beban lebih tipe strip bimetal umumnya mengizinkan arus trip untuk disesuaikan antara 85 dan 115% dari rating pemanas, Gambar 8-24. Perbedaan lainnya adalah bahwa kelebihan beban tipe strip bimetal umumnya dapat diatur untuk mengizinkan kontak untuk mengatur ulang secara otomatis atau manual setelah strip bimetal cukup dingin, Gambar 8-25. Umumnya, relai disesuaikan untuk reset manual. Reset otomatis harus digunakan hanya jika penyalaan motor secara tiba-tiba tidak akan membahayakan personel atau merusak peralatan.



**GAMBAR 8-21** Konstruksi kelebihan beban pot solder.



**GAMBAR 8-22** Relai kelebihan beban pot solder dasar.



**GAMBAR 8-23** Relai beban berlebih tipe bimetal.

Terlepas dari jenis relai kelebihan beban termal yang digunakan, arus trip relai diatur oleh ukuran pemanas yang digunakan dengan relai. Pabrikan membuat pemanas dengan ukuran berbeda yang dirancang untuk membuka kontak pada tingkat arus yang berbeda. Bagan yang disediakan oleh produsen relai dapat digunakan untuk memilih pemanas yang tepat untuk aplikasi tertentu.

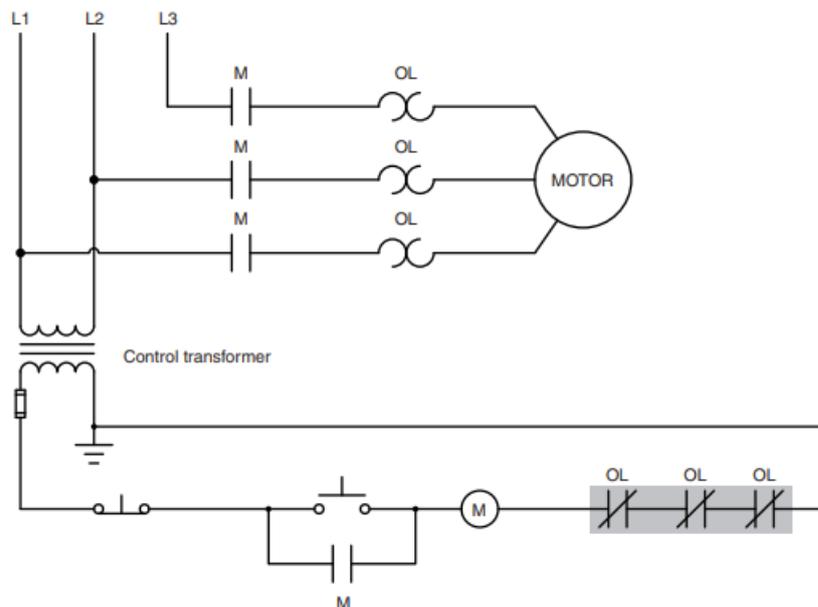
Ketika tiga rele beban lebih satu fasa digunakan untuk melindungi motor 3 fasa, tiga kontak beban lebih tambahan dihubungkan secara seri, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8-26. Dengan jenis sambungan ini, jika salah satu relai mengalami trip, kumparan starter motor diputus dari saluran listrik. Relai beban lebih tiga fasa, Gambar 8-27, berisi tiga pemanas terpisah tetapi hanya satu set kontak beban lebih. Jika terjadi kelebihan beban pada fase apa pun, itu akan membuka kontak yang biasanya tertutup. Ketika relay beban lebih 3 fasa digunakan, hanya satu set kontak yang biasanya tertutup yang dihubungkan secara seri dengan koil starter, Gambar 8-28.



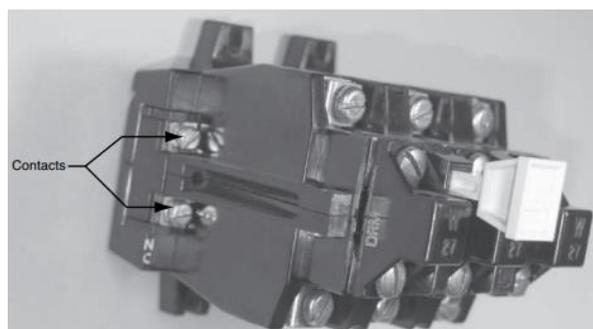
**GAMBAR 8-24** Kelebihan beban tipe strip bimetal umumnya memungkinkan penyesuaian arus trip.



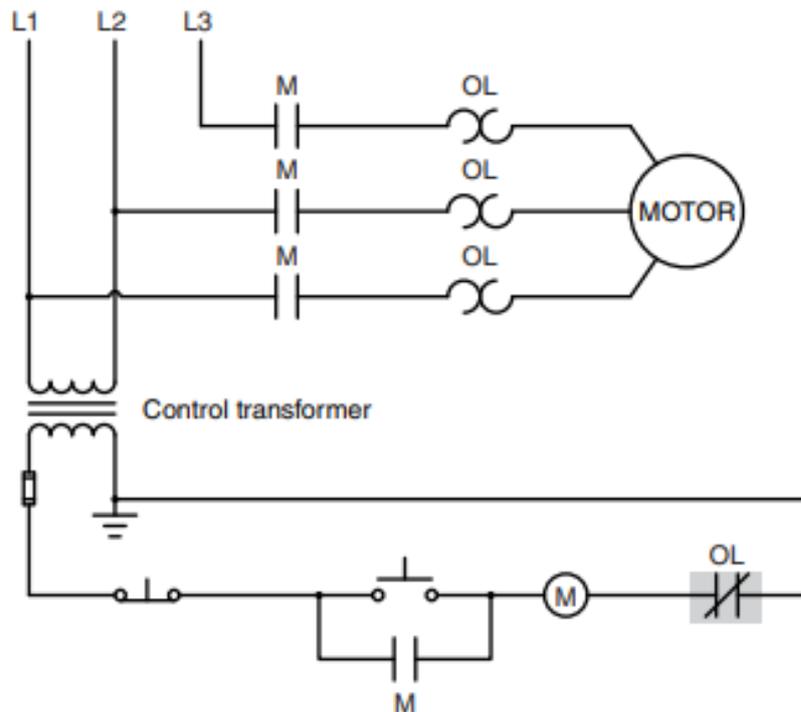
**GAMBAR 8-25** Relai beban berlebih strip bimetal umumnya dapat diatur untuk memungkinkan reset otomatis atau manual dari kontak bantu.



**GAMBAR 8-26** Ketika tiga relai beban lebih tunggal digunakan untuk melindungi motor 3 fasa, semua kontak beban lebih yang biasanya tertutup dihubungkan secara seri.

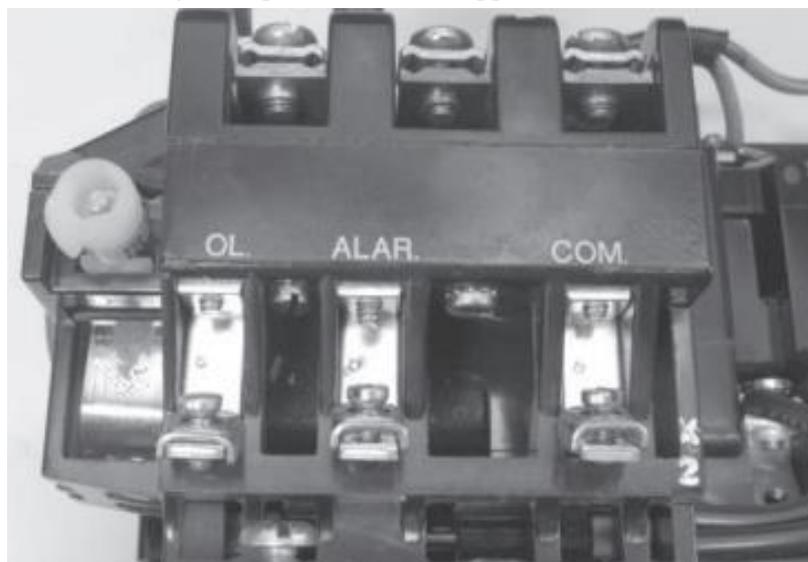


**GAMBAR 8-27** Relai beban lebih 3 fasa berisi tiga pemanas terpisah tetapi hanya satu set kontak yang biasanya tertutup.

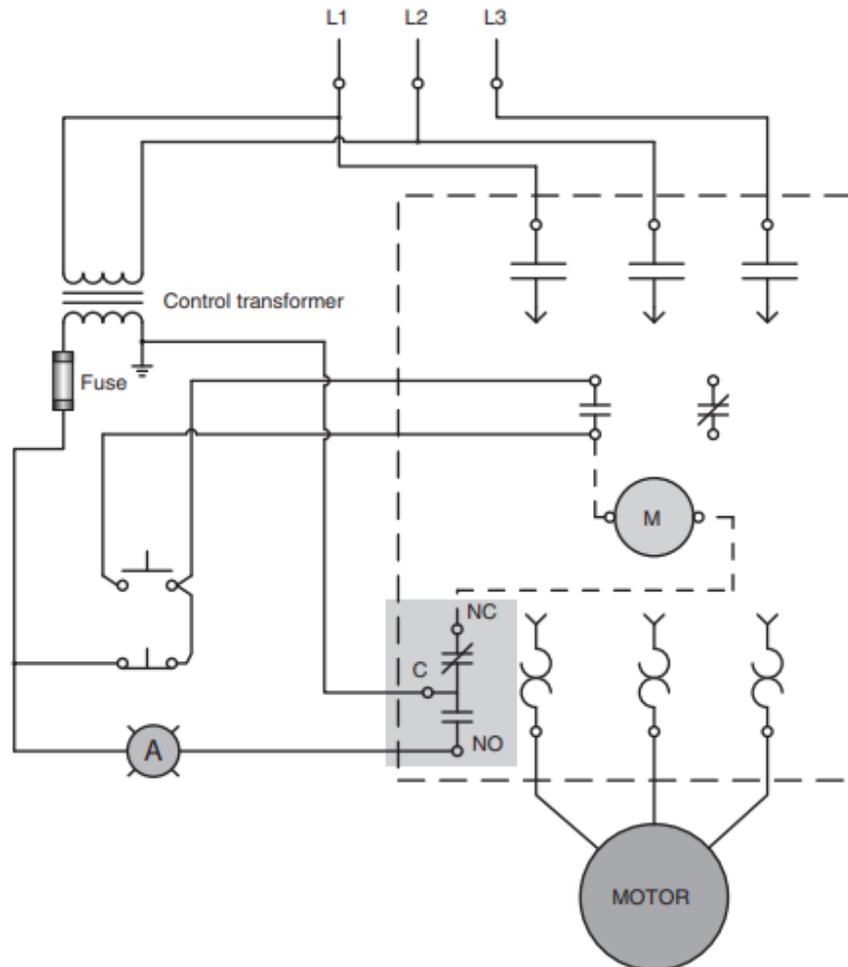


**GAMBAR 8-28** Relai beban lebih 3 fasa berisi tiga pemanas tetapi hanya satu set kontak yang biasanya tertutup.

Meskipun semua relai beban lebih berisi satu set kontak yang biasanya tertutup, beberapa pabrikan juga menyertakan satu set kontak yang biasanya terbuka. Ada dua pengaturan untuk kontak relai beban lebih yang biasanya terbuka. Satu pengaturan berisi dua kontak terpisah, satu biasanya terbuka dan yang lainnya biasanya tertutup. Yang kedua pada dasarnya adalah sakelar lemparan ganda kutub tunggal.



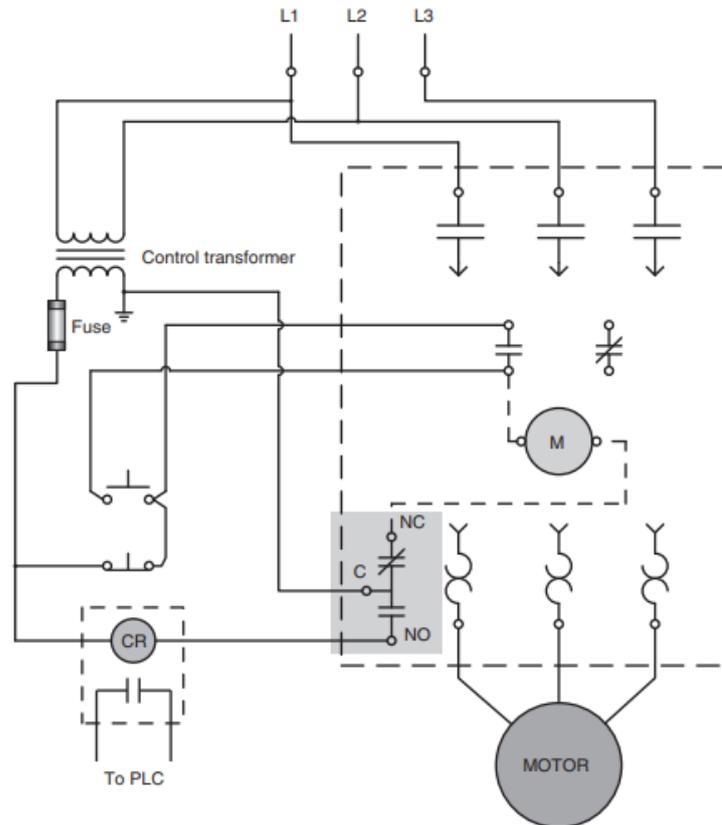
**GAMBAR 8-29** Relai beban lebih dengan terminal bersama, terminal normal tertutup, dan terminal normal terbuka.



**GAMBAR 8-30** Kontak yang biasanya terbuka memasok daya ke lampu peringatan pilot.

Kontak berisi terminal umum, terminal biasanya tertutup, dan terminal biasanya terbuka. Terminal yang biasanya terbuka terkadang diberi label dengan cara lain selain biasanya terbuka. Relai beban lebih yang ditunjukkan pada Gambar 8-29 berisi tiga terminal berlabel COM. (umum), OL. (kelebihan beban), dan ALAR. (alarm). Terminal umum terhubung ke satu sisi catu daya untuk rangkaian kontrol. Terminal beban lebih dihubungkan secara seri dengan kumparan starter motor, dan terminal alarm dihubungkan ke lampu pilot, Gambar 8-30. Lampu pilot menunjukkan bahwa relai beban lebih telah tersandung.

Metode lain yang umum digunakan untuk kontak yang biasanya terbuka adalah dengan mensuplai daya ke koil relai kontrol kecil, Gambar 8-31. Kontak relai kontrol dapat memberikan daya ke input pengontrol logika yang dapat diprogram. Jika relai beban lebih harus trip, sinyal diberikan ke PLC untuk menginformasikan rangkaian bahwa motor mengalami trip karena beban lebih.



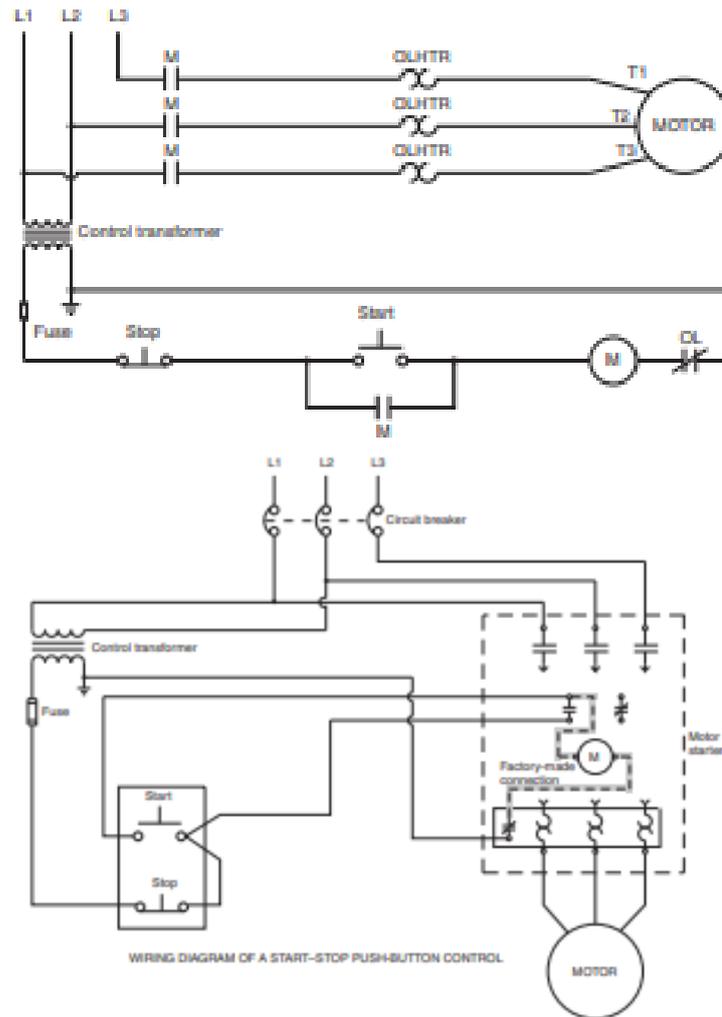
**GAMBAR 8-31** Kontak yang biasanya terbuka memasok daya ke kumparan relai kontrol.

Relay interposing digunakan untuk mencegah lebih dari satu sumber daya masuk ke sistem kontrol baik pada starter motor maupun pada PLC.

### 8.5 Skema Dan Diagram Pengkabelan

Diagram skema atau diagram tangga dan diagram pengkabelan keduanya menunjukkan sambungan listrik, tetapi tampilannya sangat berbeda. Gambar pada Gambar 8-32 menunjukkan skema atau diagram tangga dan diagram pengkabelan dari kontrol tombol tekan start-stop. Meskipun kedua sirkuit ini identik secara elektrik, mereka berbeda dalam penampilan. Diagram skematik menunjukkan komponen dalam urutan listriknya tanpa memperhatikan lokasi fisik. Diagram pengkabelan menunjukkan representasi bergambar dari komponen dengan kabel penghubung. Diagram skematik sejauh ini lebih banyak digunakan dalam industri. Ada beberapa aturan yang harus diikuti saat membaca diagram skematik:

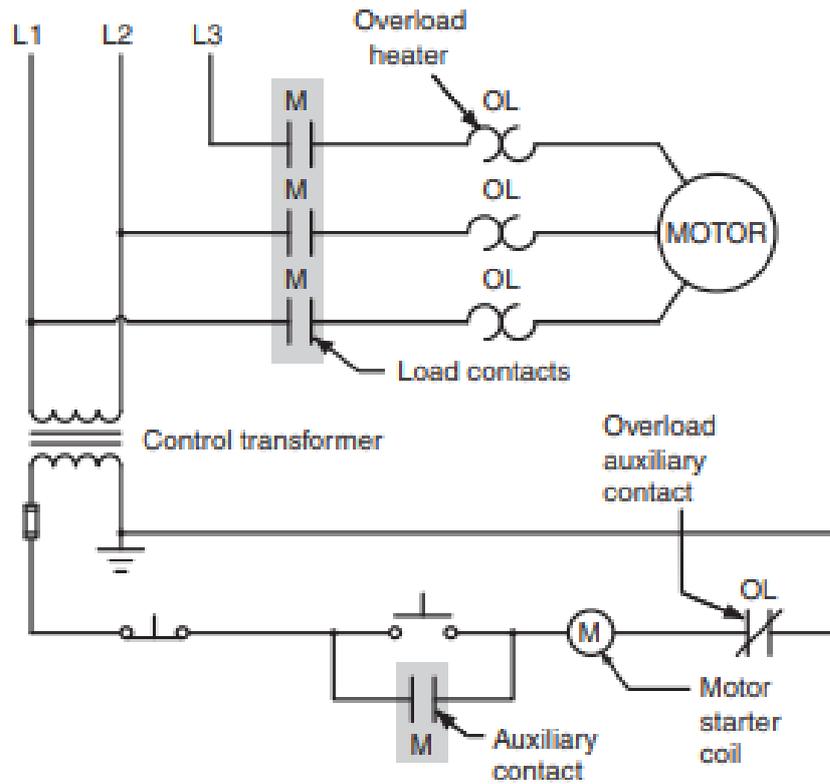
- Semua komponen listrik ditampilkan dalam posisi mati atau tidak aktif.
- Skema harus dibaca seperti buku, dari atas ke bawah dan dari kiri ke kanan.
- Kontak yang berisi huruf atau angka yang sama dengan koil dikendalikan oleh koil itu terlepas dari lokasinya dalam gambar.
- Ketika rangkaian selesai pada sebuah kumparan, kumparan itu akan memberi energi, dan semua kontak yang dikendalikan oleh kumparan itu akan berubah posisi. Semua kontak yang biasanya terbuka akan ditutup dan semua kontak yang biasanya tertutup akan terbuka.



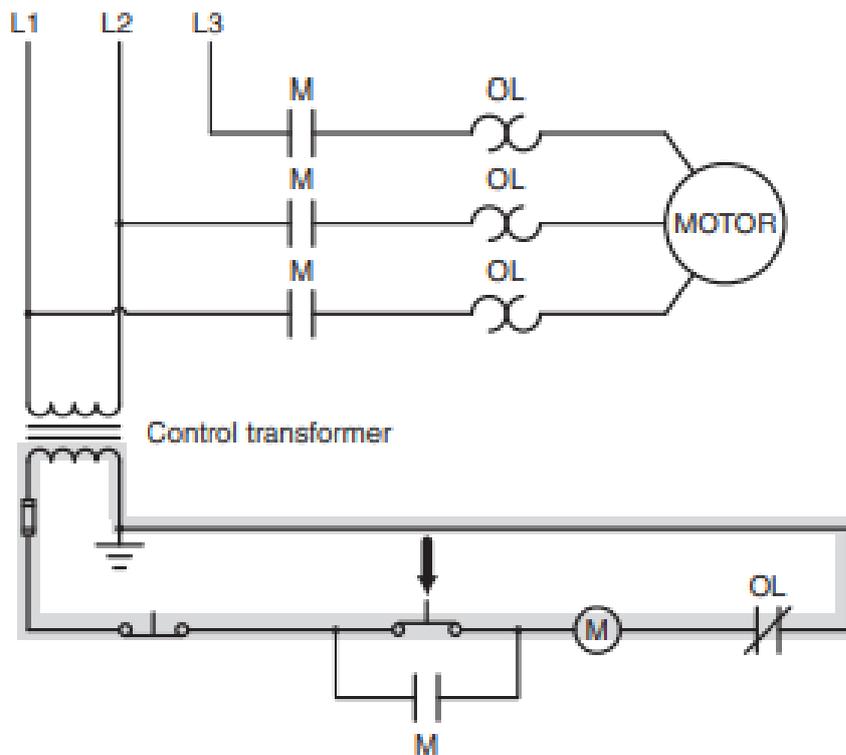
**GAMBAR 8-32** Skema dan diagram pengkabelan dari kontrol tombol tekan *start-stop*.

### 8.6 Sirkuit Kontrol Tombol Tekan *Start-Stop*

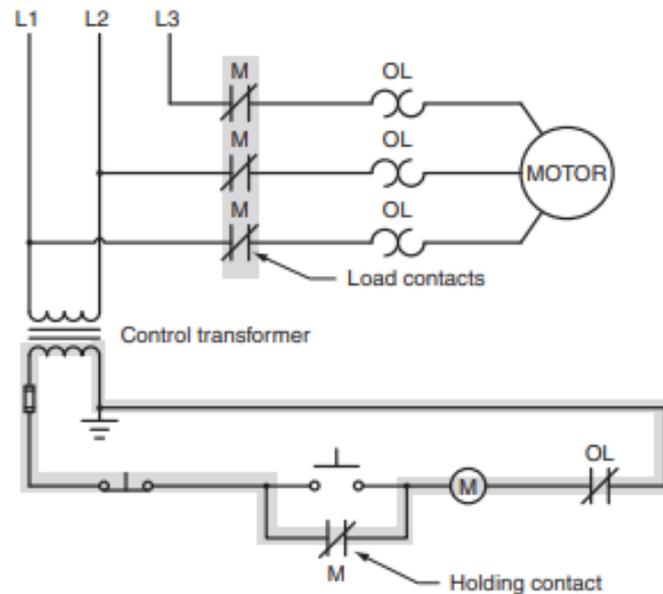
Sirkuit kontrol tombol tekan *start-stop* sering kali merupakan awal dari sirkuit yang lebih kompleks. Rangkaian ini sering disebut sebagai rangkaian dasar. Untuk memahami operasi rangkaian, lihat skema yang ditunjukkan pada Gambar 8-33. Perhatikan bahwa ada empat kontak yang biasanya terbuka berlabel huruf M. Perhatikan juga bahwa koil starter motor diberi label dengan huruf M. Hal ini menunjukkan bahwa semua kontak yang berlabel M dikendalikan oleh koil berlabel M. Ketika tombol *start* ditekan, Gambar 8-34, sebuah rangkaian diselesaikan ke kumparan M. Ketika kumparan M diberi energi, semua kontak M berubah dari terbuka menjadi tertutup, Gambar 8-35.



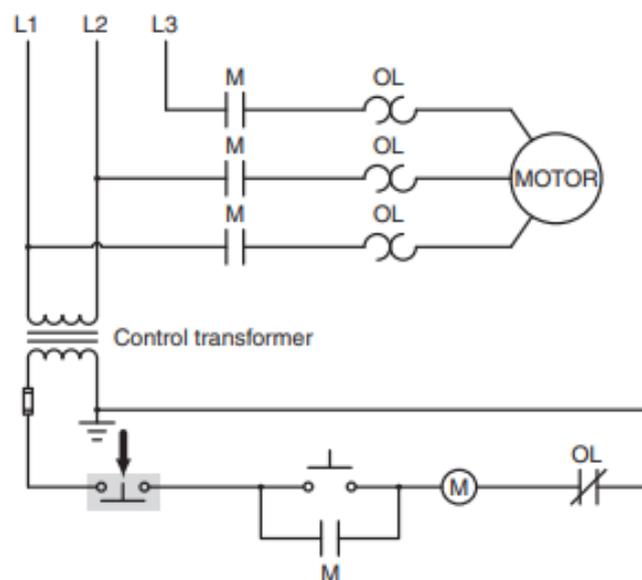
**GAMBAR 8-33** Sirkit kontrol tombol tekan start-stop dasar.



**GAMBAR 8-34** Ketika tombol start ditekan, rangkaian selesai untuk menggulung M dari starter motor.



**GAMBAR 8-35** Semua kontak berlabel M berubah posisi saat kumparan diberi energi.

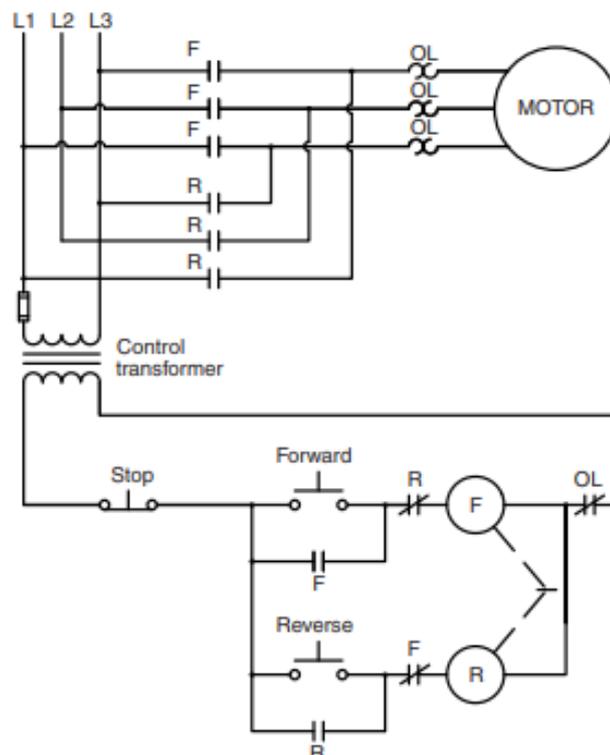


**GAMBAR 8-36** Menekan tombol stop memutuskan sambungan ke koil starter M.

Kontak M bantu kecil yang terhubung secara paralel dengan tombol tekan start menutup untuk mempertahankan sirkuit ke koil saat tombol tekan dilepas. Kontak ini umumnya disebut sebagai kontak penahan, penyegelan, atau pemeliharaan, karena kontak ini menahan sirkuit agar tetap tertutup setelah tombol start dilepas. Tiga kontak beban berlabel M menutup dan menghubungkan motor ke saluran listrik. Sirkuit akan tetap beroperasi sampai tombol stop ditekan atau terjadi kelebihan beban, menyebabkan kontak beban lebih yang biasanya tertutup terbuka, memutus rangkaian ke kumparan M, Gambar 8-36. Ketika koil M tidak diberi energi, semua kontak M kembali ke posisi terbukanya, dan rangkaian kembali ke keadaan tidak berenergi semula.

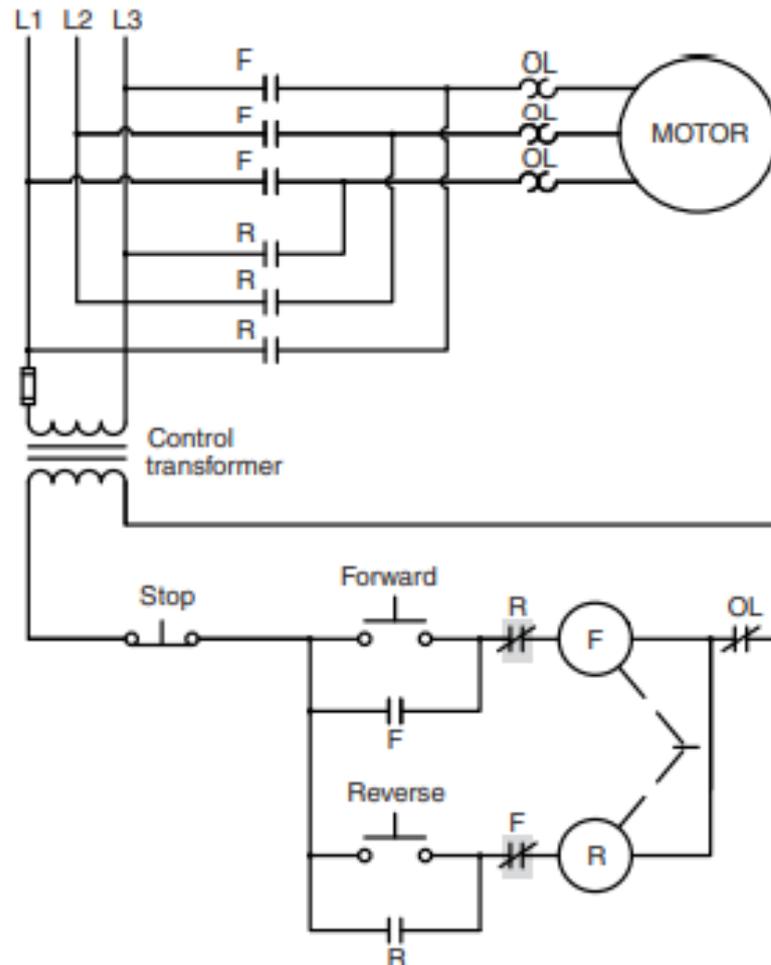
## 8.7 Kontrol Maju–Mundur

Sirkuit kontrol lain yang sangat umum ditemukan di seluruh industri adalah kontrol maju-mundur. Motor tiga fase dapat dibalik dengan mengubah dua kabel stator. Kontrol maju-mundur juga menggunakan interlocking untuk mencegah kumparan maju dan mundur dari diberi energi pada saat yang sama. Kontrol maju-mundur yang khas ditunjukkan pada Gambar 8-37. Garis putus-putus yang ditarik dari kumparan F dan R ke satu garis menunjukkan interlocking mekanis. Interlock mekanis digunakan untuk mencegah kontaktor maju dan mundur agar tidak diberi energi pada saat yang bersamaan. Ketika satu kontaktor diberi energi, mekanisme mencegah yang lain untuk dapat menutup kontakannya bahkan jika koil harus diberi energi. Penguncian listrik dilakukan dengan menggunakan dua kontak bantu yang biasanya tertutup yang dihubungkan secara seri dengan kumparan F dan R, Gambar 8-38. Perhatikan bahwa kontak F yang biasanya tertutup dihubungkan secara seri dengan koil kontaktor R, dan kontak R yang biasanya tertutup dihubungkan secara seri dengan koil kontaktor F.



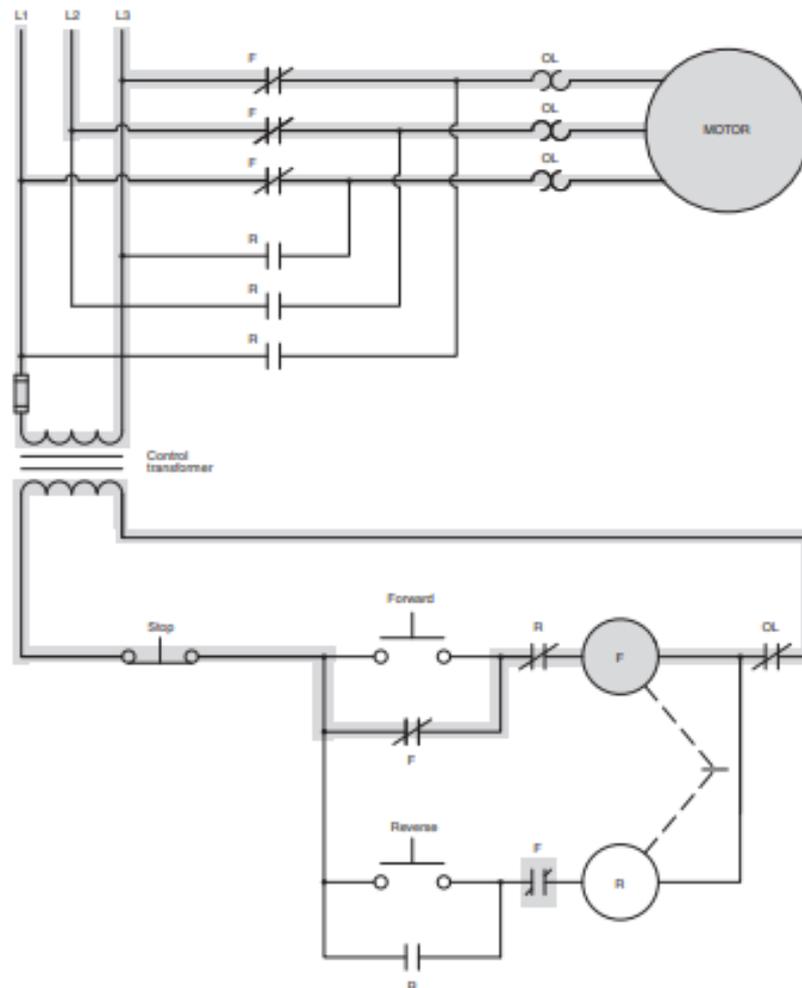
**GAMBAR 8-37** Dasar rangkaian kontrol maju-mundur.

Ketika tombol tekan maju ditekan, rangkaian diselesaikan melalui kontak R yang biasanya tertutup ke koil F. Ketika kumparan F diberi energi, semua kontak F berubah posisi, Gambar 8-39. Tiga kontak beban F menutup dan menghubungkan motor ke saluran listrik, menyebabkan motor berjalan dalam arah yang dianggap maju. Kontak bantu F yang biasanya terbuka terhubung secara paralel dengan tombol tekan maju menutup untuk mempertahankan sirkuit saat tombol tekan F dilepaskan. Kontak F yang biasanya tertutup dihubungkan secara seri dengan kumparan R terbuka. Ini akan mencegah kumparan R dari energi jika tombol tekan mundur harus ditekan.



**GAMBAR 8-38** Kontak bantu yang biasanya tertutup digunakan untuk menyediakan interlock listrik untuk sirkuit.

Sebelum motor dapat dioperasikan secara mundur, tombol tekan stop harus ditekan untuk memutus rangkaian ke kumparan F. Ketika koil F mati, semua kontak F kembali ke posisi normalnya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8-37. Ketika tombol tekan mundur ditekan, rangkaian diselesaikan melalui kontak bantu F yang sekarang tertutup ke kumparan R. Ketika kumparan R diberi energi, semua kontak R berubah posisi, Gambar 8-40. Tiga kontak beban R menutup dan menghubungkan motor ke saluran listrik. Perhatikan bahwa koneksi untuk L1 dan L3 yang masuk ke motor telah dibalik. Hal ini menyebabkan motor beroperasi dalam arah sebaliknya. Perhatikan juga bahwa kontak bantu R yang biasanya tertutup yang dihubungkan secara seri dengan koil F sekarang terbuka, mencegah rangkaian terbentuk ke koil F jika tombol tekan maju harus ditekan. Diagram pengkabelan dari rangkaian kontrol maju-mundur dengan interlock listrik ditunjukkan pada Gambar 8-41.



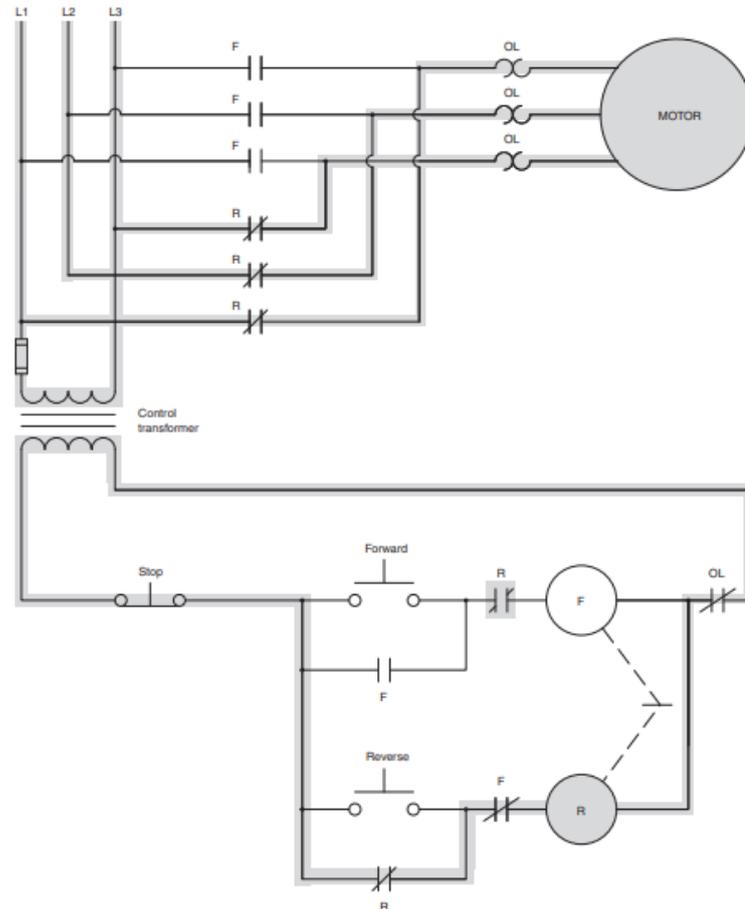
**GAMBAR 8-39** Motor beroperasi dalam arah maju.

### 8.8 Rangkaian Dasar Pendingin Udara

Rangkaian dasar untuk sistem AC sentral ditunjukkan pada Gambar 8-42. Sirkuit memastikan bahwa kipas kondensor beroperasi sebelum kompresor diizinkan untuk hidup. Saklar aliran digunakan untuk merasakan aliran udara yang disebabkan oleh kipas kondensor. Kompresor juga dilindungi dari tekanan rendah dan tekanan tinggi dengan sakelar tekanan. Baik kipas kondensor maupun kompresor juga dilindungi dari beban lebih oleh relai beban lebih. Termostat digunakan untuk mengontrol operasi sirkuit. Sebuah transformator digunakan untuk menurunkan tegangan 240 volt menjadi 24 volt untuk pengoperasian rangkaian kontrol.

### 8.9 Relay Waktu

Salah satu komponen kontrol dasar yang ditemukan di banyak rangkaian kontrol adalah relai waktu. Relai waktu dapat dibagi menjadi dua jenis umum, tunda on dan tunda mati. Relay on-delay kadang-kadang dicatat sebagai DOE (delay on energize), dan waktu off-delay kadang-kadang dicatat sebagai DODE (delay on de-energize). Simbol kontak untuk pengatur waktu tunda hidup dan mati ditunjukkan pada Gambar 8-43. Panah pada simbol menunjuk ke arah bahwa kontak akan bergerak setelah periode tunda.



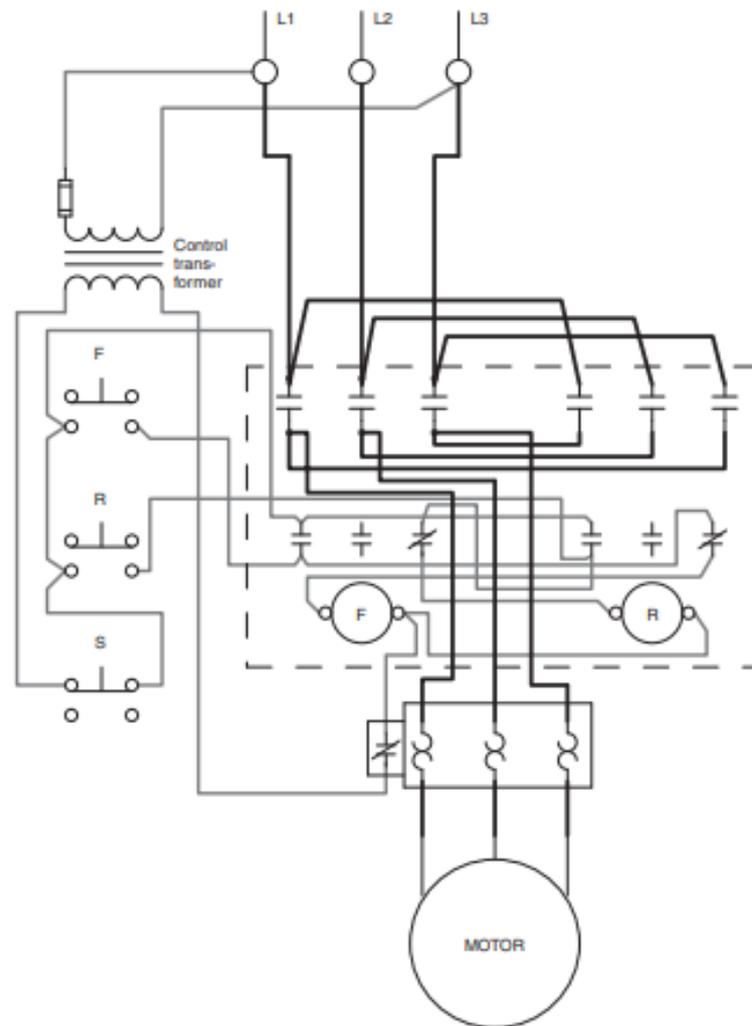
**GAMBAR 8-40** Motor beroperasi dalam arah sebaliknya.

### Pengatur Waktu Tertunda

Kontak dari penundaan timer on-delay mengubah posisinya setelah timer diberi energi. Kontak segera kembali ke posisi normalnya saat timer dimatikan. Lihat sirkuit yang ditunjukkan pada Gambar 8-44. Asumsikan bahwa timer tunda TR diatur untuk penundaan 10 detik. Ketika sakelar S1 ditutup, kumparan pengatur waktu TR diberi energi. Kontak TR, dikendalikan oleh koil TR, tetap terbuka selama 10 detik sebelum menutup. Setelah kontak menutup dan menyalakan lampu pilot hijau, kontak tetap tertutup sampai kumparan timer TR dimatikan. Ketika kumparan TR tidak diberi energi, kontak TR segera kembali ke kondisi normalnya.

### Pengatur Waktu Tidak Tertunda

Kontak dari timer off-delay berubah segera saat timer diberi energi. Mereka tetap dalam keadaan energi mereka untuk beberapa waktu setelah timer tidak diberi energi. Lihat sirkuit yang ditunjukkan pada Gambar 8-45. Asumsikan bahwa waktu tunda TR diatur untuk penundaan 10 detik. Ketika sakelar S1 ditutup, kumparan pengatur waktu TR diberi energi. Kontak TR, dikendalikan oleh koil TR, segera tutup dan nyalakan lampu kuning. Ketika sakelar S1 dibuka, dan koil TR dimatikan, kontak TR tetap tertutup selama 10 detik sebelum kembali ke keadaan biasanya terbuka.

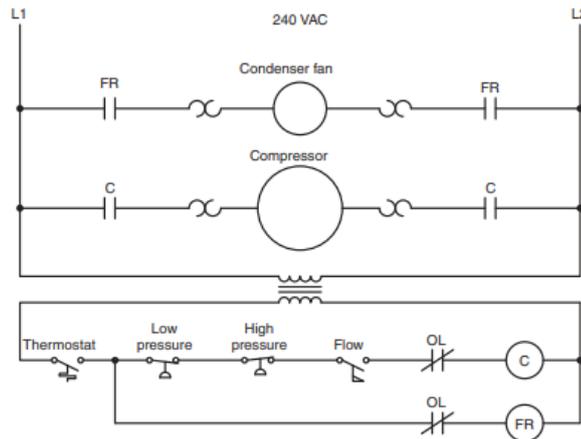


**GAMBAR 8-41** Diagram pengkabelan untuk rangkaian kontrol maju-mundur dengan interlock listrik.

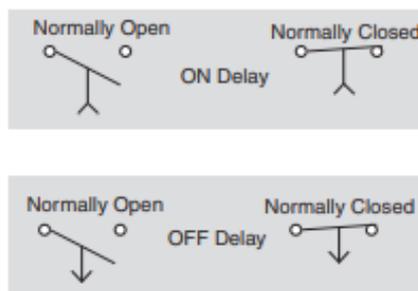
### Sirkuit Timer untuk Dua Motor

Sirkuit yang ditunjukkan pada Gambar 8-46 melibatkan dua motor. Rangkaian tersebut berfungsi sebagai berikut:

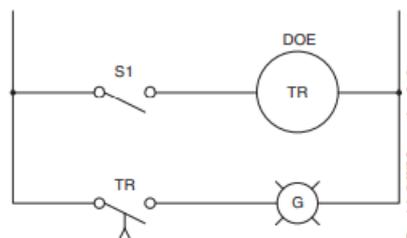
- Saat tombol start ditekan, motor 1 langsung berjalan.
- Ada penundaan 10 detik sebelum motor 2 mulai berjalan.
- Saat tombol stop ditekan, motor 1 langsung berhenti, tetapi motor 2 terus berjalan selama 5 detik sebelum berhenti.
- Tombol berhenti darurat akan segera menghentikan kedua motor tanpa penundaan waktu.
- Jika tombol stop darurat ditekan, tombol reset harus ditekan sebelum sirkuit beroperasi kembali.
- Kelebihan beban pada salah satu motor akan menghentikan kedua motor.



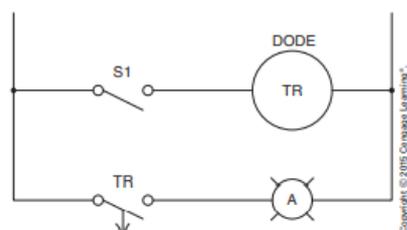
**GAMBAR 8-42** Rangkaian kontrol dasar untuk AC sentral.



**GAMBAR 8-43** Simbol kontak untuk relai waktu.



**GAMBAR 8-44** Rangkaian pengatur waktu tunda dasar.

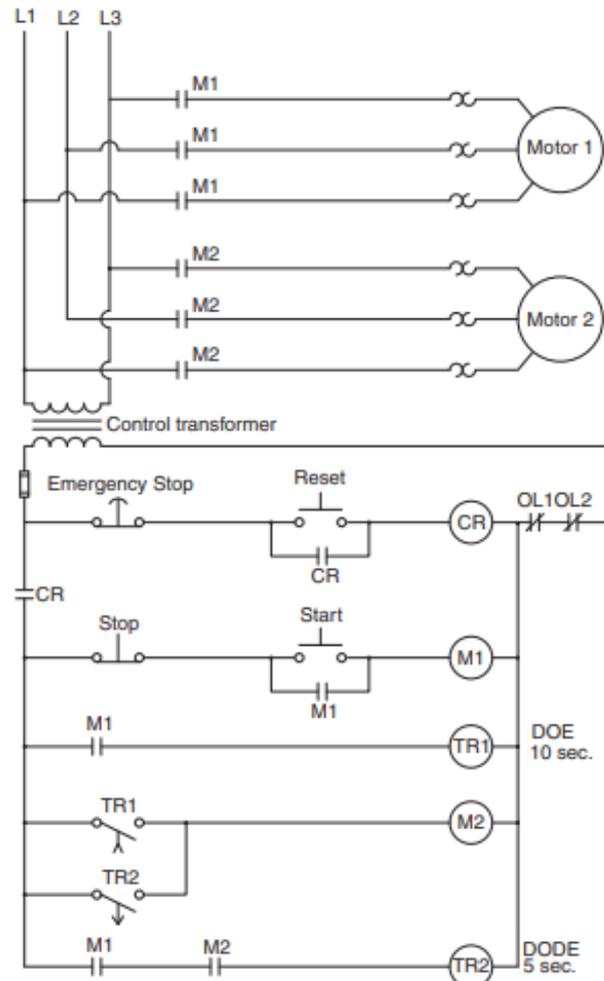


**GAMBAR 8-45** Rangkaian timer mati tunda dasar.

Untuk memahami operasi rangkaian, asumsikan bahwa tombol reset telah ditekan dan relai kontrol CR diberi energi, menyebabkan kedua kontak CR menutup. Saat tombol start ditekan, daya terhubung ke koil starter motor M1. Semua kontak M1 berubah posisi. Tiga kontak beban yang terhubung ke motor 1 menutup dan memasok daya ke motor 1. Kontak bantu M1 secara paralel dengan tombol start mempertahankan sirkuit saat tombol stop

*Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)*

dilepaskan. Kontak bantu M1 yang dihubungkan secara seri dengan koil timer TR1 menutup untuk mensuplai daya ke timer. Timer TR1 memulai pengaturan waktu. Kontak bantu M1 yang dihubungkan secara seri dengan timer TR2 tertutup, tetapi rangkaian tidak lengkap ke koil TR2 karena kontak bantu M2 terbuka, Gambar 8-47.

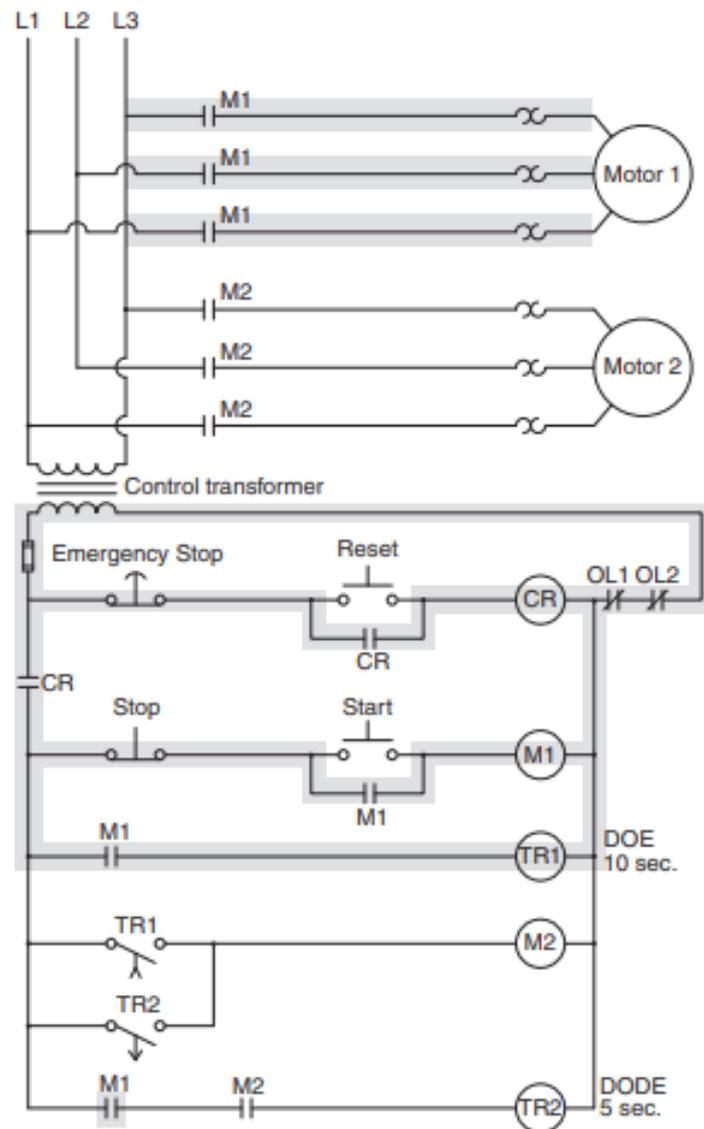


**GAMBAR 8-46** Rangkaian pengatur waktu untuk dua motor.

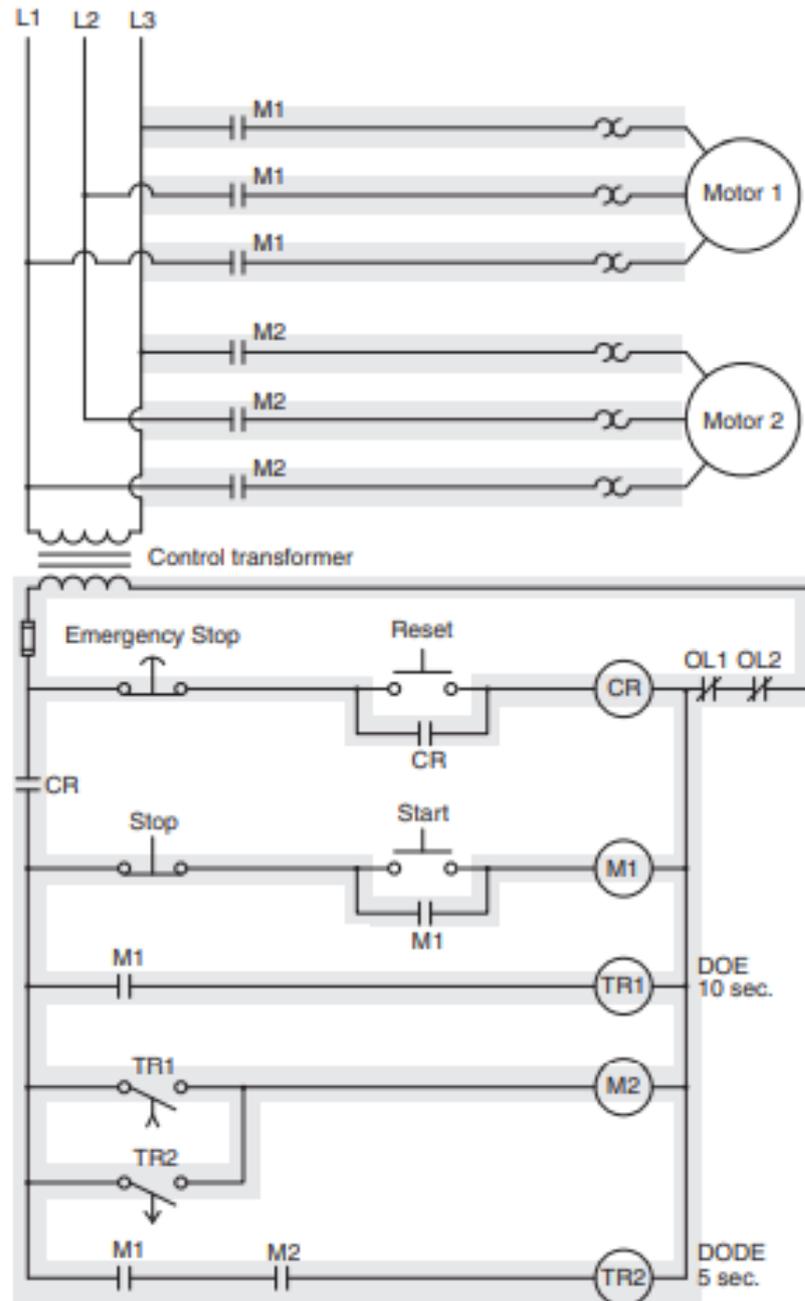
Setelah penundaan 10 detik, kontak TR1 menutup dan memberi energi pada kumparan starter M2, menyebabkan semua kontak M2 berubah posisi. Tiga kontak beban menutup dan mensuplai daya ke motor 2. Kontak bantu M2 yang dihubungkan seri dengan koil timer TR2 menutup dan mensuplai daya ke timer TR2. Karena TR2 adalah timer off-delay, kontak TR2 langsung menutup, Gambar 8-48. Kedua motor itu sekarang sedang berjalan.

Ketika tombol stop ditekan, rangkaian ke koil M1 terbuka dan semua kontak M1 kembali ke posisi normalnya. Tiga kontak beban M1 membuka dan memutuskan daya ke motor 1. Kontak bantu M1 yang dihubungkan secara seri dengan koil pengatur waktu TR1 membuka dan menonaktifkan pengatur waktu. Karena TR1 adalah timer on-delay, kontak TR1 langsung terbuka. Sirkuit dipertahankan ke koil starter motor M2 dengan kontak TR2 yang sekarang tertutup. Kontak bantu M1 yang terhubung secara seri dengan timer TR2 membuka dan menonaktifkan timer. Karena TR2 adalah timer mati tunda, waktu tunda dimulai saat timer dimatikan, Gambar 8-49.

Setelah penundaan selama 5 detik, kontak TR2 kembali ke keadaan normalnya terbuka menyebabkan koil starter M2 kehilangan energi dan menghentikan motor 2. Kontak bantu M2 yang terhubung secara seri dengan timer TR2 terbuka dan rangkaian kembali ke de semula. - kondisi energi.



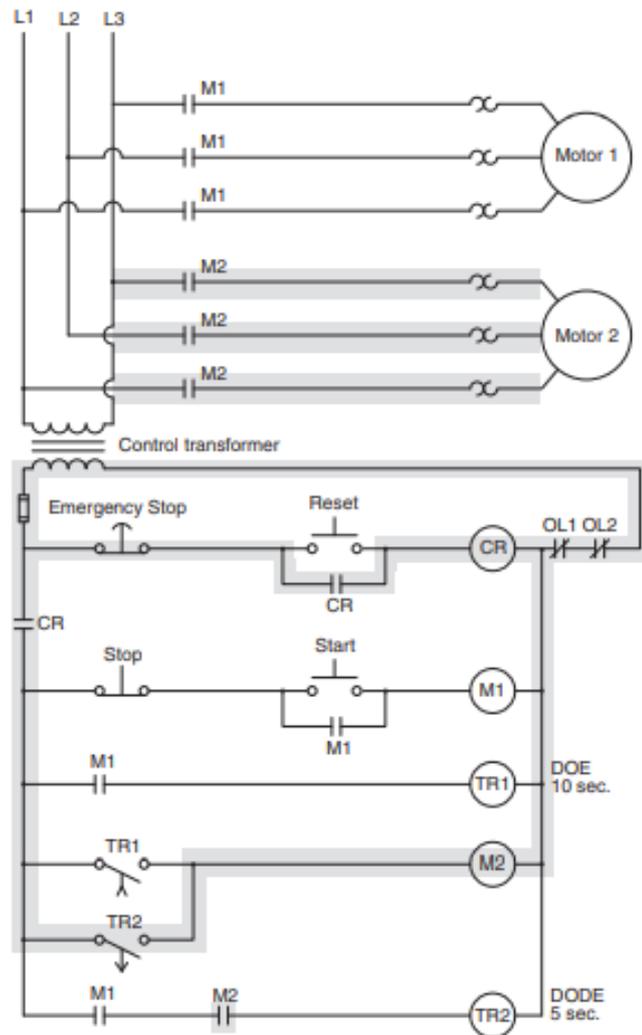
**GAMBAR 8-47** Motor 1 segera dimulai, dan timer TR1 memulai pengaturan waktu.



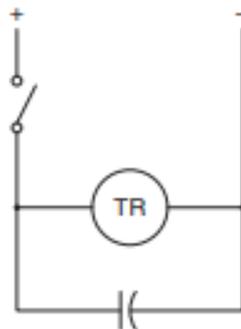
**GAMBAR 8-48** Kedua motor berjalan.

### Pengatur Waktu Pengosongan Kapasitor

Relai waktu tunda mencapai waktu tunda dengan cara yang berbeda. Beberapa menggunakan pelepasan kapasitif, sedangkan yang lain menggunakan udara. Pengatur waktu jam adalah umum serta pengatur waktu elektronik. Pengatur waktu pelepasan kapasitif umumnya digunakan dengan sistem kontrol arus searah yang beroperasi pada tegangan on-line. Jika sebuah kapasitor dihubungkan secara paralel dengan kumparan relai, Gambar 8-50, ketika sakelar ditutup, kapasitor akan mengisi tegangan yang diberikan pada kumparan.



**GAMBAR 8-49** Motor 1 berhenti, tetapi motor 2 terus berjalan selama 5 detik.



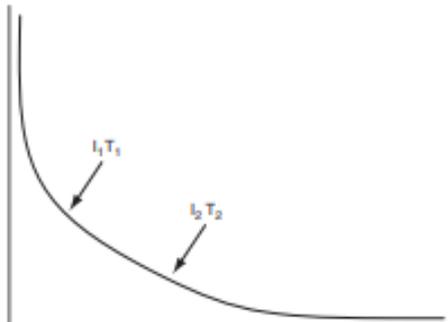
**GAMBAR 8-50** Sebuah kapasitor dihubungkan secara paralel dengan sebuah kumparan relai.

Ketika sakelar dibuka, kapasitor dilepaskan melalui koil relai. Kontak relai tetap dalam posisi berenergi sampai tegangan kapasitor turun di bawah titik di mana medan magnet koil dapat menahan tegangan pegas yang mencoba menghilangkan energi relai. Tegangan pegas rele dapat diatur sehingga lebih banyak atau lebih sedikit arus yang dibutuhkan untuk menghilangkan energi rele. Kapasitor debit pada tingkat eksponensial. Jika tegangan pegas diatur ke jumlah arus yang diperlukan untuk menahan gaya pegas ke posisi I1 pada Gambar 8-51, maka waktu tunda akan menjadi T1. Jika tegangan pegas diatur kembali sehingga arus

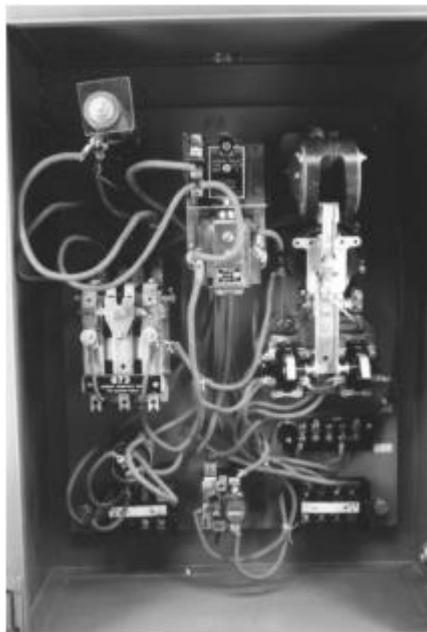
dapat menahan gaya pegas ke posisi I2, waktu tundanya adalah T2. Timer pengosongan kapasitor ditunjukkan pada Gambar 8-52.

### Timer Pneumatik

Pengatur waktu pneumatik, atau udara, bergantung pada aliran udara melalui lubang ke bellow atau diafragma, untuk mencapai waktu tunda. Gambar 8-53 mengilustrasikan pengoperasian pengatur waktu bellow sederhana.

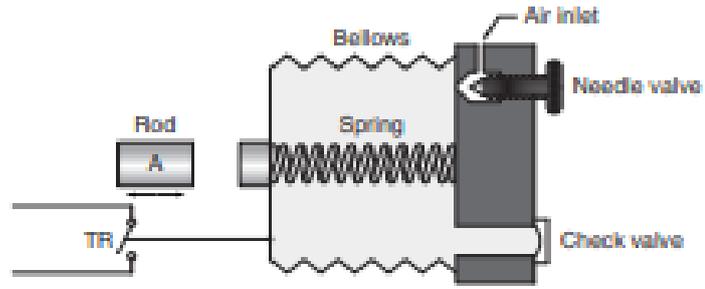


**GAMBAR 8-51** Pengosongan kapasitor dengan laju eksponensial.



**GAMBAR 8-52** Timer pengosongan kapasitor.

Ketika relai diberi energi, batang A mendorong bellow dan menyebabkan udara dipaksa keluar dari katup periksa. Kontak TR ditutup ketika bellow berkontraksi. Batang A tetap melawan bellow selama relai diberi energi. Ketika relai tidak diberi energi, batang A bergerak menjauh. Pegas memaksa bellow untuk mengembang, tetapi udara harus mengalir ke bellow melalui saluran masuk udara agar ekspansi menjadi mungkin. Sebuah katup jarum mengatur waktu yang diperlukan agar bellow mengembang. Saat bellow mengembang, kontak TR kembali terbuka. Timer pneumatik memiliki akurasi pengulangan yang baik, dan banyak yang dapat disesuaikan untuk detik atau menit. Beberapa pengatur waktu dapat diatur untuk beroperasi baik sebagai penundaan atau penundaan mati. Timer pneumatik ditunjukkan pada Gambar 8-54.



**GAMBAR 8-53** Timer bellow sederhana.



**GAMBAR 8-54** Timer pneumatik.

### **Pengatur waktu jam**

Pengatur waktu jam menggunakan motor sinkron kecil yang serupa dengan yang digunakan pada jam dinding listrik. Waktu dapat sangat bervariasi dari satu timer ke timer lainnya. Beberapa mungkin memiliki rentang 1 detik atau kurang, dan yang lain mungkin memiliki rentang jam. Beberapa memiliki kemampuan untuk menyediakan berbagai pengatur waktu tunda dengan mengubah rasio roda gigi di dalam pengatur waktu. Pengatur waktu jam umumnya sangat mudah untuk mengatur waktu tunda dan memiliki akurasi pengulangan yang sangat baik. Pengatur waktu jam ditunjukkan pada Gambar 8-55.

### **Timer Elektronik**

Timer elektronik menjadi sangat populer karena memiliki akurasi pengulangan yang sangat baik; sebagian besar dapat diatur untuk berbagai waktu tunda; dan mereka jauh lebih murah daripada jenis timer lainnya. Banyak yang dirancang agar sesuai dengan beberapa jenis soket steker, yang membuat penggantian timer yang rusak menjadi cepat dan sederhana. Timer on-delay 8-pin ditunjukkan pada Gambar 8-56. Karena timer on-delay memulai pengaturan waktunya saat daya diterapkan, hanya 8 pin yang dibutuhkan. Ketika daya diterapkan ke pin 2 dan 7, urutan waktu dimulai. Ketika timer dimatikan, waktu diatur ulang ke nol.

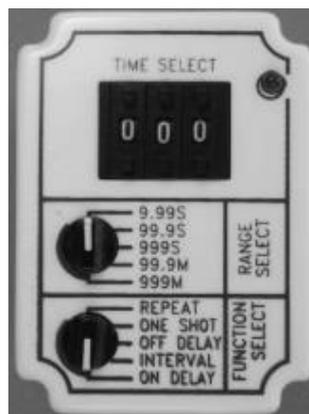


**GAMBAR 8-55** Pengatur waktu jam.



**GAMBAR 8-56** Pengatur waktu tunda elektronik.

Timer multifungsi umumnya dapat digunakan seperti pada penundaan, penundaan mati, interval, satu tembakan, atau pengulangan, Gambar 8-57. Timer ini umumnya memerlukan dasar soket 11-pin. Fungsi-fungsi tertentu, seperti penundaan mati dan satu bidikan, memerlukan daya yang konstan untuk dihubungkan ke pengatur waktu setiap saat agar rangkaian pengatur waktu dapat beroperasi. Metode terpisah untuk memicu timer harus digunakan. Sambungan pin untuk pengatur waktu yang ditunjukkan pada Gambar 8-57 ditunjukkan pada Gambar 8-58.



**GAMBAR 8-57** Timer multifungsi elektronik.

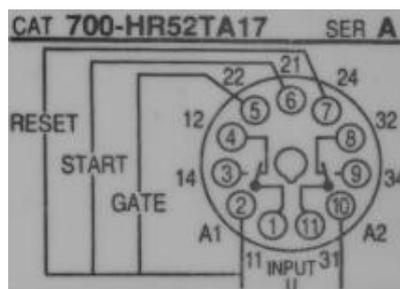
Perhatikan bahwa daya terhubung ke pin 2 dan 10. Jika timer akan digunakan sebagai timer on-delay atau ulangi, semua yang diperlukan adalah menerapkan daya ke pin 2 dan 10. Jika timer akan digunakan sebagai off-delay atau one-shot timer, itu harus dipicu. Untuk menggunakan timer ini sebagai timer off-delay, daya harus terus diberikan ke pin 2 dan 10. Aktivasi timer tidak akan dimulai sampai pin 5 dan 6 dihubungkan singkat. Ini memiliki efek yang sama seperti memberi energi pada koil pengatur waktu tunda umum. Ketika pin 5 dan 6 dihubungkan singkat, kontak pengatur waktu segera berubah posisi. Selama pin 5 dan 6 dihubungkan singkat, kontak akan tetap dalam posisi berenergi. Ketika short dihilangkan, urutan waktu akan dimulai, dan kontak tidak akan kembali ke posisi normalnya sampai waktu yang disetel habis.

Pabrikan lain mungkin menggunakan metode yang berbeda untuk mengontrol timer multifungsi elektronik. Diagram pada Gambar 8-59 menunjukkan bahwa timer dimulai dengan menghubungkan pin 6 ke pin 2. Diagram timer lain yang ditunjukkan pada Gambar 8-60 menunjukkan bahwa timer dipicu ketika 120 VAC diterapkan ke pin 5 dan 7.

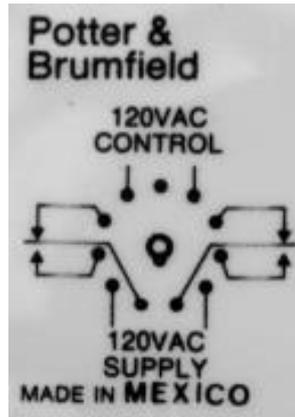
Karena produsen yang berbeda menggunakan metode yang berbeda untuk mengontrol timer multifungsi, perhatian harus diberikan saat mengganti timer yang rusak dengan yang baru. Jika pabrikan berbeda, mungkin diperlukan modifikasi sirkuit untuk mengakomodasi pengaturan pin pengatur waktu baru atau menemukan pengatur waktu dengan pengaturan pin yang sama dengan yang diganti.



**GAMBAR 8-58** Diagram pin untuk pengatur waktu multifungsi.



**GAMBAR 8-59** Operasi dimulai ketika pin 6 terhubung ke pin 2.



**GAMBAR 8-60** Timer dipicu dengan menerapkan 120 VAC ke pin 5 dan 7.

### Pengatur Waktu Interval

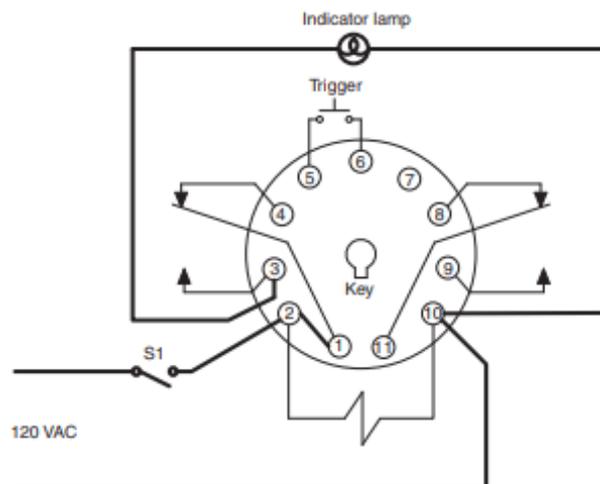
Uraian operasi berikut adalah untuk pengatur waktu yang ditunjukkan pada Gambar 8-57 dan konfigurasi pin yang ditunjukkan pada Gambar 8-58. Diasumsikan bahwa waktu tunda 2 detik diatur untuk setiap ilustrasi. Pengatur waktu interval tidak bergantung pada pemicuan pengatur waktu dengan menyingkat pin 5 dan 6. Urutan waktu dimulai ketika daya diterapkan ke pin 2 dan 10. Diagram skema rangkaian ditunjukkan pada Gambar 8-61. Ketika sakelar S1 ditutup, lampu indikator segera menyala selama 2 detik dan kemudian mati. Itu tetap mati sampai sakelar S1 dibuka.

### Pengatur Waktu Satu Pemotretan

Timer sekali tembak sangat mirip dengan timer interval. Ini beroperasi pada dasarnya dengan cara yang sama kecuali bahwa pemicu digunakan untuk mengaktifkan timer. Saat sakelar S1 ditutup, lampu indikator tidak akan menyala. Ketika pengatur waktu dipicu oleh korsleting pin 5 dan 6 bersama-sama, lampu indikator menyala selama 2 detik dan kemudian mati. Jika rangkaian pemicu dibuka, timer tetap mati sampai timer dipicu lagi.

### Ulangi Timer

Penghitung waktu ulang tidak memerlukan penggunaan pemicu. Saat sakelar S1 ditutup, lampu indikator tetap mati selama 2 detik. Kemudian menyala selama 2 detik. Ini akan terus menyala selama 2 detik dan mati selama 2 detik hingga sakelar S1 dibuka.



**GAMBAR 8-61** Skema rangkaian pengatur waktu.

### 8.10 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditampilkan secara rinci, dan Kode referensi harus dikutip bila perlu.

1. Apa dua tipe dasar rangkaian kontrol?
2. Jelaskan perbedaan antara relay, kontaktor, dan motor starter.
3. Kumpulan simbol skematik yang paling umum diterima digunakan oleh organisasi apa?
4. Ketika simbol kontak dan sakelar digambar pada skema, apakah mereka digambar sedemikian rupa untuk mewakili keadaannya saat rangkaian beroperasi atau dimatikan?
5. Benar atau salah: Simbol tombol tekan yang biasanya terbuka digambar sehingga kontak bergerak berada di atas dan menyentuh kontak stasioner.
6. Benar atau salah: Simbol tombol tekan yang biasanya tertutup digambar sehingga kontak bergerak berada di bawah dan menyentuh kontak stasioner.
7. Saklar batas diilustrasikan dengan menggambar bentuk baji pada kontak bergerak dari simbol sakelar. Apa yang diwakili oleh baji?
8. Apa saja dua jenis relai kelebihan beban termal?
9. Sebutkan dua karakteristik yang umumnya dimiliki oleh relai kelebihan beban tipe strip bimetal yang tidak dimiliki oleh tipe solder pot.
10. Jika tiga rele beban lebih satu fasa akan digunakan untuk melindungi motor 3 fasa, bagaimana pengaturan kontak beban lebih yang biasanya tertutup?
11. Ketika kontak beban lebih disambungkan ke rangkaian kontrol, apakah kontak tersebut dihubungkan secara seri dengan koil starter atau paralel dengan koil starter?
12. Jelaskan bagaimana skema atau diagram tangga berbeda dari diagram pengkabelan dalam hal menunjukkan sirkuit listrik.
13. Dalam rangkaian kontrol tombol tekan start-stop, apa fungsi dari kontak bantu yang biasanya terbuka yang dihubungkan secara paralel dengan tombol tekan start?
14. Dalam rangkaian kontrol maju-mundur, apa fungsi kontak bantu F dan R yang biasanya tertutup?
15. Lihat sirkuit yang ditunjukkan pada Gambar 8-42. Jelaskan jenis sakelar yang digunakan untuk hal berikut (biasanya terbuka, biasanya tertutup, biasanya terbuka tertutup, atau biasanya tertutup terbuka).

Termostat

Saklar tekanan rendah

Saklar tekanan tinggi

Saklar aliran

## BAB 9

### MOTOR DAN PENGENDALI

#### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- menggambarkan tata letak mesin di gedung industri.
- menjelaskan berbagai jenis motor yang digunakan dalam bangunan industri.
- menjelaskan pengoperasian jenis pengontrol motor yang digunakan.
- menjelaskan bagaimana sirkuit cabang motor dipasang.

Bab 3 dan 5 dari teks ini merinci metode pendistribusian daya ke berbagai mesin di area manufaktur bangunan industri. Ingat bahwa busway plug-in dipasang di seluruh pabrik, dan bus plugs dipasang di titik-titik tertentu. Dengan menggunakan kabel karet tetes ke setiap mesin, daya disuplai ke sirkuit cabang motor yang mengoperasikan setiap mesin.

#### 9.1 Mesin Dan Motornya

Lembar E-2 dari rencana bangunan industri menunjukkan tata letak 111 mesin di area manufaktur. Berbagai jenis mesin diidentifikasi dengan nomor kode, seperti yang ditunjukkan pada daftar berikut.

- MA Mesin Bubut
- MB Turret Bubut
- MC Latihan Vertikal
- MD Latihan Multispindle
- ME Mesin Penggilingan
- MF Pembentuk
- MG Vertical Boring Mills
- MH Planer
- MI Power Hacksaws
- MJ Band Saws
- MK Penggiling Permukaan
- ML Penggiling Silinder
- MN Punch Press
- MO Mesin Khusus

Masing-masing mesin ini memiliki motor 3-fase dengan nilai 460 volt. Arus yang dibutuhkan oleh masing-masing motor didasarkan pada peringkat tenaga kuda motor. Arus dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\text{Amperes} = \frac{\text{Hp} \times 746}{\text{Volts} \times 1.73 \times \text{Eff.} \times \text{PF}}$$

di mana

Hp = tenaga kuda

1,73 = akar kuadrat dari 3

Eff. = efisiensi yang diasumsikan

PF = faktor daya (perkiraan)

746 = watt per tenaga kuda

Dengan menerapkan persamaan ini pada mesin bubut (MA), arus yang dibutuhkan dapat ditentukan.

$$\text{Amperes} = \frac{5 \times 746}{460 \times 1.73 \times 0.82 \times 0.86} = 6.64$$

Efisiensi 82% dan faktor daya 86% diambil dari Tabel 9-1. Perhatikan bahwa motor yang lebih besar mungkin memiliki efisiensi yang sedikit lebih tinggi, sedangkan motor yang lebih kecil biasanya memiliki faktor daya yang lebih rendah dan efisiensi yang lebih rendah. Nilai yang digunakan dalam persamaan adalah nilai asumsi pada beban penuh. Ketika motor kurang dari beban penuh, nilainya jauh lebih rendah.

Ketika konduktor ke motor dipilih, 430.6(A) mensyaratkan bahwa nilai yang diberikan dalam Tabel NEC 430.247, 430.248, 430.249, dan 430.250 (direproduksi dalam buku ini sebagai Tabel 9-1 sampai 9-4) digunakan sebagai pengganti arus beban penuh aktual motor, sebagaimana ditentukan oleh persamaan yang diberikan sebelumnya. Jadi, untuk motor 5 tenaga kuda, 460 volt, 3 fasa (lihat Tabel 10-4), arus beban penuh 7,6 ampere digunakan untuk menentukan ukuran konduktor daripada nilai 6,64 ampere sebagai dihitung.

## 9.2 Jenis Motor

Beberapa jenis motor yang berbeda memiliki karakteristik atau pola kinerja yang sama sekali berbeda diperlukan untuk berbagai peralatan mesin. Salah satu motor yang paling umum digunakan adalah tipe sangkar tupai. Lihat Gambar 9-1 untuk daftar simbol kontrol motor.

## 9.3 Motor Induksi Sangkar Tupai Kecepatan Tunggal

Motor induksi tipe sangkar tupai tidak memiliki belitan rotor konvensional. Sebaliknya, rotor baja laminasi memiliki batang tembaga atau aluminium yang berjalan secara aksial di sekitar pinggir rotor. Batang-batang ini dihubungkan pendek oleh cincin ujung tembaga atau aluminium. Ketika aluminium digunakan untuk perakitan, batang dan cincin ujung biasanya dicor dalam satu bagian.

Motor sangkar tupai tiga fase memiliki torsi awal yang baik, dan karakteristik kinerjanya menjadikannya motor yang ideal untuk penggunaan umum. Gambar 9-2 adalah tampilan potongan motor sangkar tupai 3-fase.

TABEL 9-1 Efisiensi motor dan faktor daya.

Average Efficiencies and Power Factors for Polyphase Squirrel-Cage Induction Motors						
Hp	Efficiencies			Power Factor		
	One-half Load	Three-fourths Load	Full Load	One-half Load	Three-fourths Load	Full Load
¼	60.0	67.0	69.0	45	56	65
½	64.0	68.0	69.0	48	58	65
1	75.0	77.0	76.0	57	69	76
1 ½	75.0	77.0	78.0	64	76	81
2	77.0	80.0	81.0	68	79	84
3	80.0	82.0	81.0	70	80	84
5	80.0	82.0	82.0	76	83	86
7 ½	83.0	85.0	85.0	77	84	87
10	83.0	85.0	85.0	77	86	88
15	84.0	86.0	88.0	81	85	87
20	87.0	88.0	87.0	82	86	87
25	87.0	88.0	87.5	82	86	87
30	87.5	88.5	88.0	83	86.5	87
40	87.5	89.0	89.5	84	87	88
50	87.5	89.0	89.5	84	87	88
60	88.0	89.5	89.0	84	87	88
75	88.5	89.5	89.5	84	87	88
100	89.0	90.0	90.5	84	88	88
125	90.0	90.5	91.0	84	88	89
150	90.0	91.5	92.0	84	88	89
200	90.0	91.5	92.0	85	89	90
250	91.0	92.5	93.0	84	89	90
300	92.0	93.5	94.0	84	89	90

Motor induksi sangat mirip dengan transformator, kecuali bahwa belitan sekunder dan inti dipasang pada poros yang dipasang pada bantalan. Susunan ini memungkinkan belitan sekunder berputar (karenanya dinamakan rotor). Motor induksi terdiri dari dua sirkuit listrik (stator dan rotor) yang dihubungkan oleh sirkuit magnetik umum. Arus listrik yang diberikan pada belitan stator menginduksi arus sekunder pada belitan rotor. Gulungan ini adalah sirkuit tertutup, baik hubung singkat atau hampir demikian. Arus induksi di sekunder selalu mengalir dalam arah yang berlawanan dengan arus yang diterapkan. Selain itu, arus induksi tertinggal 90° atau seperempat siklus di belakang arus yang diterapkan. Medan magnet diatur di stator dan rotor dengan cara yang menimbulkan gaya tarik menarik dan tolak menolak. Karena gaya-gaya ini berada dalam arah yang sama (searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam), torsi dihasilkan dan hasil rotasi.

Sebagai contoh, Gambar 9-3 menunjukkan bahwa kutub utara dan selatan stator motor induksi berputar pada kecepatan sinkron. Artinya, kutub stator dan rotor selalu dalam posisi yang ditunjukkan, terhadap satu sama lain. Karena kutub yang berbeda tarik-menarik dan kutub yang sama tolak menolak, maka timbul gaya-gaya yang menghasilkan rotasi. Gaya yang bekerja pada tepi rotor dikalikan dengan jari-jari dari pusat rotor disebut torsi. Torsi dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$T = \frac{Hp \times 5252}{RPM}$$

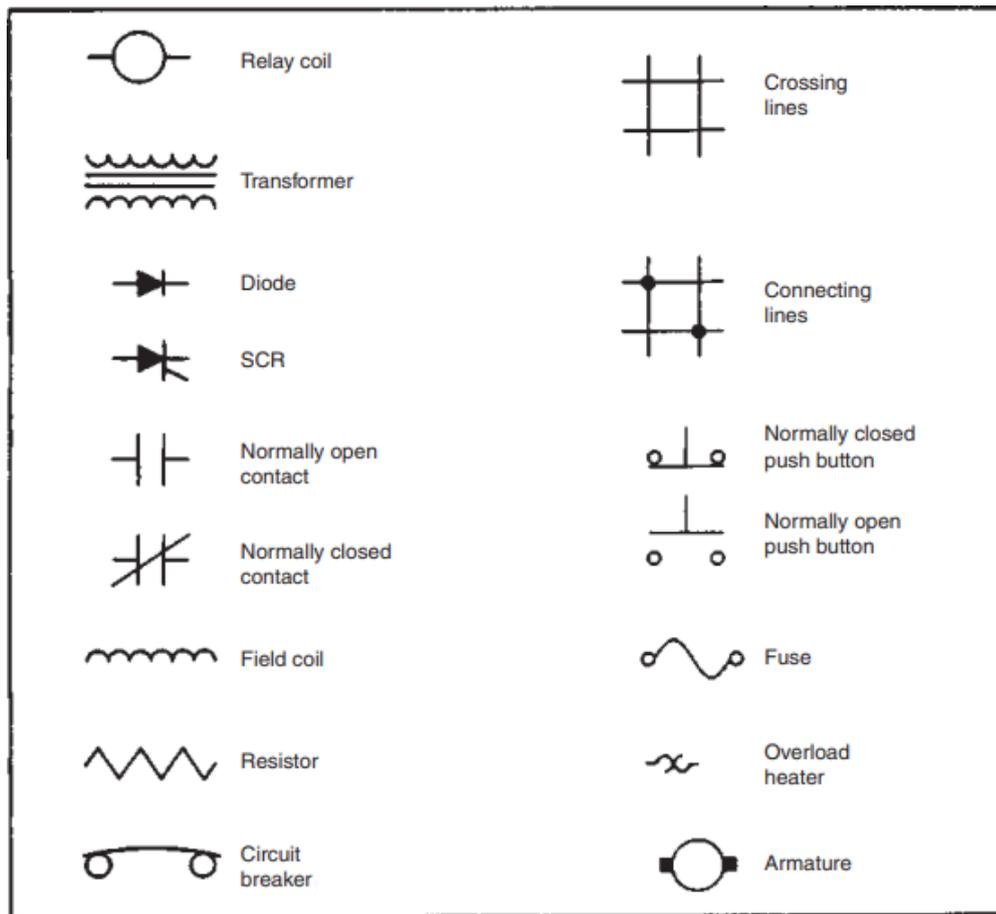
di mana

T = torsi (dalam lb.-ft)

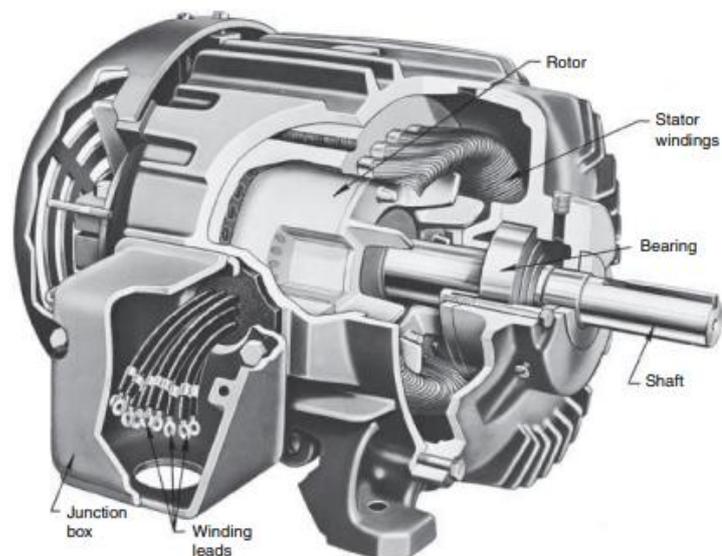
Hp = tenaga kuda motor

5252 = konstan (33.000/2π)

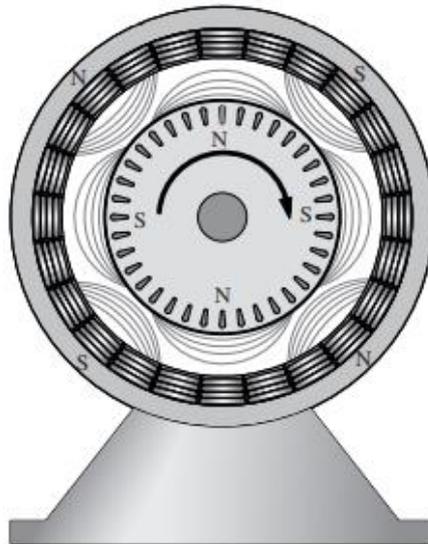
RPM = kecepatan rotor (dalam putaran per menit)



**GAMBAR 9-1** Simbol listrik.



**GAMBAR 9-2** Tampilan cutaway dari motor sangkar-tupai standar 5 tenaga kuda, tertutup sepenuhnya, berpendingin kipas.



**GAMBAR 9-3** Diagram motor induksi 4 kutub.

Gambar 9-3 juga menunjukkan bahwa kutub magnet rotor selalu berada di tengah-tengah antara kutub magnet stator sehingga gaya tarik menarik dan gaya tolak menolak bekerja sama. Frekuensi arus dalam hal ini adalah 60 hertz (disediakan oleh perusahaan listrik). Arus enam puluh hertz diterapkan pada belitan stator, tetapi frekuensi di rotor sangat rendah pada kecepatan operasi dan bervariasi dengan slip. Slip adalah perbedaan antara kecepatan sinkron motor dan kecepatan sebenarnya di bawah beban penuh. Kecepatan sinkron motor AC diperoleh dari rumus yang diberikan sebagai berikut:

$$\text{Synchronous speed} = \frac{120 \times \text{frequency}}{\text{number of poles per phase}} = \text{RPM}$$

di mana 120 digunakan untuk mengkonversi dari detik ke menit dan untuk menyesuaikan pasangan kutub dan frekuensinya dalam siklus per detik. Jadi, untuk motor 4-kutub, 60-hertz, kecepatan sinkronnya adalah

$$\text{Synchronous speed} = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{RPM}$$

Jika beban menyebabkan rotor tergelincir 75 RPM di bawah nilai kecepatan sinkron, maka kecepatan aktual pada beban penuh adalah 1800 dikurangi 75, atau 1725 putaran per menit.

Demikian pula, kecepatan sinkron motor 6-kutub, 60-hertz adalah

$$\text{Synchronous speed} = \frac{120 \times 60}{6} = 1200 \text{RPM}$$

Jadi, dengan slip beban penuh 60 RPM, kecepatan beban penuh aktual motor adalah 1200 dikurangi 60, atau 1140 RPM.

### **Motor Induksi di Pabrik Industri**

Banyak mesin di gedung industri digerakkan oleh motor induksi kecepatan tunggal 3-fase, sangkar-tupai, Tabel 9-2. Selain motor yang tercantum dalam Tabel 9-2, motor sangkar-tupai kecepatan tunggal lainnya digunakan seperti yang tercantum dalam Tabel 9-3. Ukuran motor sangkar-tupai yang lebih kecil menggunakan pengontrol yang dikenal sebagai starter

lintas garis, Gambar 9-4. Kontroler adalah sakelar atau kontak magnetis termasuk relai beban lebih yang memberikan perlindungan berjalan untuk motor. Stasiun tombol-tekan dapat menyediakan sarana untuk memulai, menghentikan, membalikkan, atau menjalankan motor, Gambar 9-5 dan Gambar 9-6.

**TABEL 9-2** Motor induksi sangkar-tupai kecepatan tunggal.

CODE NUMBER	NUMBER OF MACHINES	KIND OF MACHINES	NUMBER OF MOTORS	HP OF MOTORS
MA	20	Engine Lathes	20	5
MB	10	Turret Lathes	10	7.5
MC	12	Vertical Drills	12	1
ME	6	Milling Machines	18	10, 1, 1
MF	6	Shapers	6	7.5
MG	5	Boring Mills	15	3, 3, 3
MI	6	Power Hacksaws	6	3
MJ	4	Band Saws	4	5
MK	6	Surface Grinders	6	10
ML	10	Cylindrical Grinders	10	7.5
	5	Special Machines	5	5

**TABEL 9-3** Daftar motor sangkar-tupai kecepatan tunggal.

NUMBER OF MOTORS	DESCRIPTIONS OF MOTORS
6	3 Hp motors driving the six ventilating blowers on the roof
6	12.5 Hp motors (two to a unit) installed in the three liquid chillers used in conjunction with the air-conditioning equipment
10	2 Hp motors for the fan coil units
23	¼ Hp motors used at the twenty-three machines equipped with oil fog precipitation units

### Motor Sangkar Tupai Empat Kecepatan

Area manufaktur bangunan industri berisi delapan bor multispindle (MD) yang dilengkapi dengan motor induksi sangkar-tupai 4-kecepatan. Motor jenis ini disebut motor kutub konsekuen. Kecepatan sinkron (kecepatan medan magnet berputar) motor induksi ditentukan oleh dua faktor:

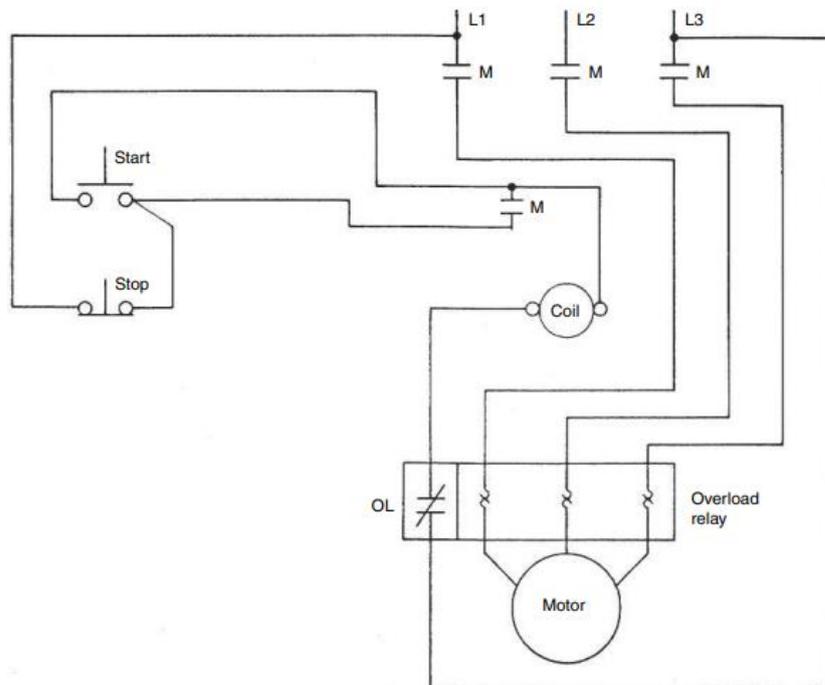
1. Jumlah kutub stator per fasa.
2. Frekuensi tegangan yang diberikan.

Frekuensi standar yang dipasang oleh perusahaan utilitas di seluruh Amerika Serikat dan Kanada adalah 60 Hz. Bagan yang menunjukkan kecepatan sinkron motor 60 Hz dengan jumlah kutub yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 9-4. Sebuah motor 3-fase, 2-kutub berisi enam kutub yang sebenarnya. Medan magnet akan membuat satu putaran motor 2 kutub setiap siklus lengkap. Jika stator motor dipotong dan ditata rata, medan magnet akan

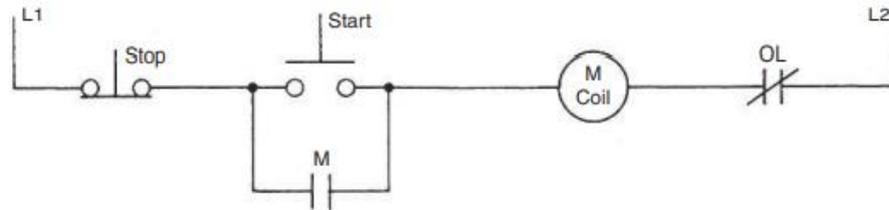
melintasi seluruh panjangnya dalam satu siklus, Gambar 9-7A. Jika jumlah kutub stator digandakan menjadi empat per fase, Gambar 9-7B, magnet akan melintasi jumlah kutub stator yang sama selama satu siklus. Karena jumlah kutub menjadi dua kali lipat, medan magnet akan menempuh jarak hanya setengahnya selama satu siklus lengkap. Motor kutub konsekuen memiliki keunggulan dibandingkan beberapa jenis motor arus bolak-balik berkecepatan variabel karena mereka mempertahankan torsi tinggi ketika kecepatan dikurangi. Motor kutub konsekuen memperoleh kecepatan yang berbeda dengan mengubah jumlah kutub stator per fase.



**GAMBAR 9-4** Starter motor magnetik cross-the-line.



**GAMBAR 9-5** Diagram pengkabelan starter lintas saluran.



**GAMBAR 9-6** Diagram skema dari starter lintas jalur.

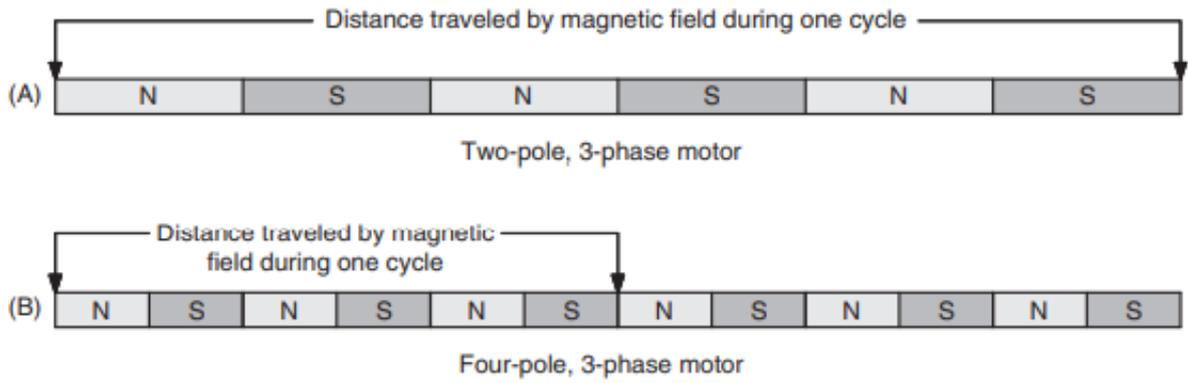
**TABEL 9-4** Kecepatan sinkron pada 60 Hz.

NUMBER OF POLES PER PHASE	SYNCHRONOUS SPEED IN RPM AT 60 HZ
2	3600
4	1800
6	1200
8	900
10	720
12	600

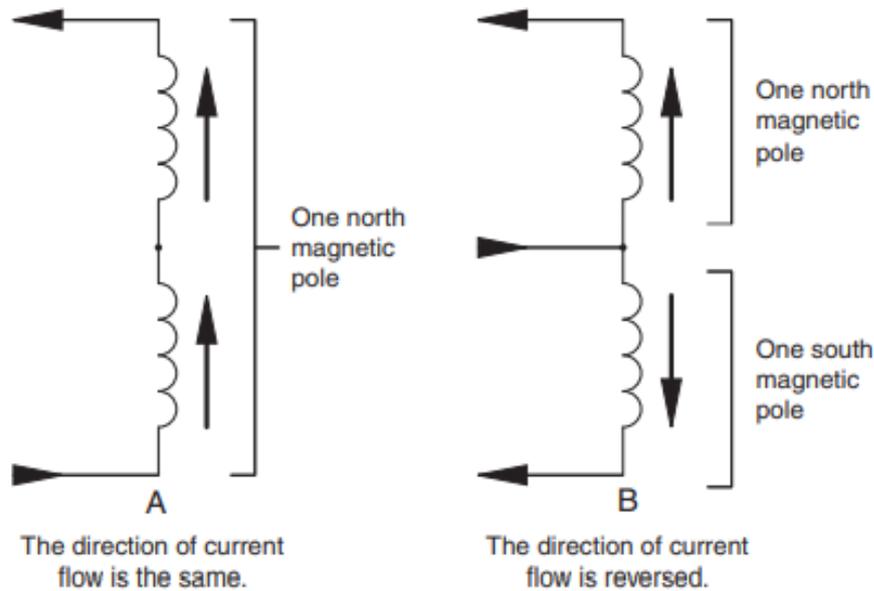
Gambar 9-8 mengilustrasikan metode yang digunakan untuk mengubah jumlah kutub stator. Pada Gambar 9-8A, kedua belitan dihubungkan secara seri, menghasilkan jalur tunggal untuk aliran arus. Karena arus mengalir dalam arah yang sama melalui kedua belitan, polaritas medan magnet adalah sama untuk kedua belitan, dan keduanya pada dasarnya adalah satu kutub. Jika belitan dihubungkan kembali sedemikian rupa sehingga arah aliran arus melalui dua belitan berlawanan arah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-8B, polaritas magnet dari dua belitan berbeda dan pada dasarnya adalah dua kutub yang terpisah. Dengan cara ini belitan stator 4 kutub dapat diubah menjadi belitan 8 kutub.

Motor kutub konsekuen yang menghasilkan dua kecepatan mengandung satu belitan stator yang dapat dihubungkan kembali. Motor kutub konsekuen tiga kecepatan mengandung dua belitan stator. Satu dapat dihubungkan kembali, dan yang lainnya tidak. Motor empat kecepatan mengandung dua belitan stator yang terpisah. Masing-masing belitan ini dapat disambungkan kembali untuk menghasilkan dua kecepatan terpisah.

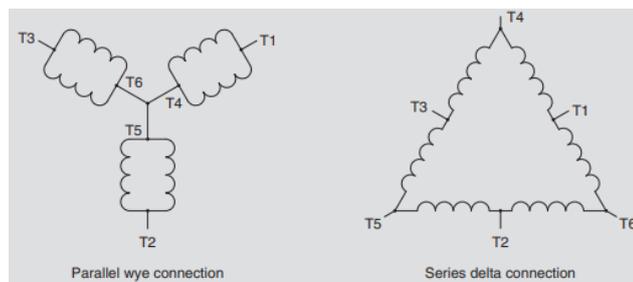
Gulungan stator dua kecepatan dapat dihubungkan membentuk delta seri atau wye paralel, Gambar 9-9. Jika motor dililit sedemikian rupa sehingga sambungan delta seri memberikan kecepatan tinggi dan sambungan paralel memberikan kecepatan rendah, tenaga kuda akan sama untuk kedua sambungan. Jika belitan sedemikian rupa sehingga delta seri memberikan kecepatan rendah dan wye paralel memberikan kecepatan tinggi, torsi akan sama untuk kedua kecepatan.



**GAMBAR 9-7** Medan magnet akan bergerak melalui jumlah kutub yang sama selama setiap siklus.



**GAMBAR 9-8** Jumlah kutub stator dapat diubah dengan membalikkan aliran arus melalui belitan alternatif.



**GAMBAR 9-9** Belitan dua kecepatan dapat dihubungkan sebagai delta seri atau wye paralel.

Motor induksi tidak dapat beroperasi pada kecepatan medan magnet yang berputar. Tanpa beban, motor akan beroperasi dalam 95% dari kecepatan sinkron. Kecepatan berkurang saat beban ditambahkan ke motor. Kecepatan yang tertera pada papan nama motor adalah kecepatan beban penuh. Motor bor dalam contoh ini memiliki kecepatan papan nama 560

RPM, 870 RPM, 1175 RPM, dan 1740 RPM. Kecepatan beban penuh ini menunjukkan bahwa kecepatan sinkron akan menjadi 600 RPM, 900 RPM, 1200 RPM, dan 1800 RPM.

Setiap kecepatan adalah satu-setengah dari yang lain. Satu belitan stator berisi empat kutub, untuk menghasilkan kecepatan sinkron 1800 RPM. Jika belitan tersebut diubah menjadi belitan 8 kutub, kecepatan sinkronnya akan menjadi 900 RPM. Gulungan stator kedua berisi enam kutub, untuk menghasilkan kecepatan sinkron 1200 RPM. Belitan stator ini dapat disambungkan kembali untuk menyediakan 12 kutub yang akan menghasilkan kecepatan sinkron 600 RPM.

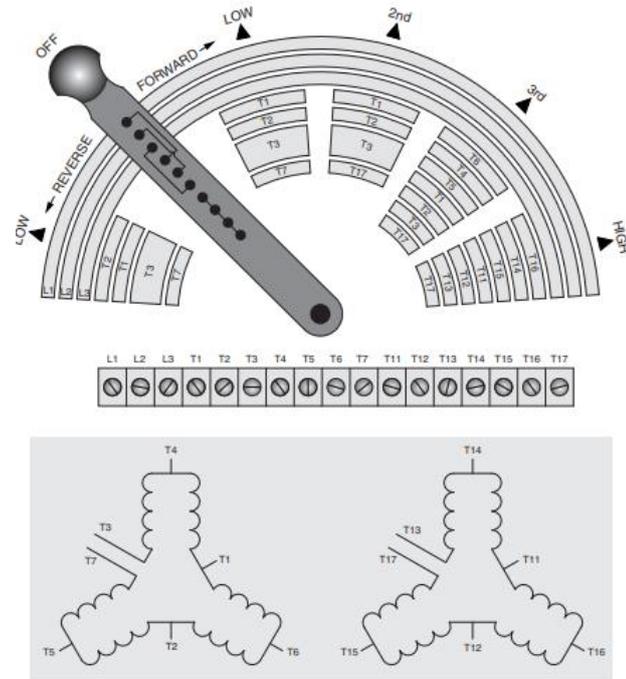
Motor dalam contoh ini berisi empat belas terminal lead. Empat kecepatan diperoleh dengan menghubungkan kabel-kabel tertentu ke catu daya dan dalam beberapa kasus kabel-kabel tertentu bersama-sama. Tabel 9-5 mencantumkan koneksi terminal untuk setiap kecepatan. Pengontrol umumnya diatur untuk memberikan urutan kecepatan seperti REVERSE, OFF, LOW, 2nd, 3rd, dan HIGH. Dalam contoh ini, pengontrol manual digunakan untuk memilih arah dan kecepatan motor, Gambar 9-10.

Pengkabelan telah dihilangkan. Ujung terminal motor dihubungkan ke strip terminal. Strip terminal membuat koneksi ke berbagai bagian pengontrol. Setiap bagian dari pengontrol diberi label untuk menunjukkan bagaimana itu terhubung ke strip terminal. Kontroler dapat berupa tipe drum, tipe cam, atau tombol tekan. Diagram skematik dari kontrol tombol tekan untuk motor kutub konsekuensi 3 fase 4 kecepatan ditunjukkan pada Gambar 9-11.

Kontrol memungkinkan kecepatan apa pun untuk dipilih dengan menekan tombol yang memulai kecepatan tertentu itu. Di sirkuit ini, tombol tekan bertumpuk digunakan untuk memutus sirkuit ke kecepatan lain sebelum starter yang mengontrol kecepatan yang dipilih diberi energi. Interlock listrik juga digunakan untuk memastikan bahwa dua kecepatan tidak dapat diberi energi pada saat yang sama. Relai kontrol sebelas pin digunakan untuk menyediakan koneksi interlock karena masing-masing berisi tiga set kontak kerja ganda. Kontak kerja ganda dapat dihubungkan sebagai biasanya terbuka atau biasanya tertutup. Sambungan kontak beban juga ditampilkan. Rangkaian mengasumsikan bahwa starter dan kontaktor masing-masing berisi tiga kontak beban. Perhatikan bahwa kecepatan ke-3 dan kecepatan tinggi memerlukan penggunaan dua kontaktor untuk memasok jumlah kontak beban yang diperlukan. Susunan lilitan dan diagram sambungan untuk motor ini ditunjukkan pada Gambar 9-12.

**TABEL 9-5** Diagram koneksi untuk motor kutub konsekuensi 4 kecepatan.

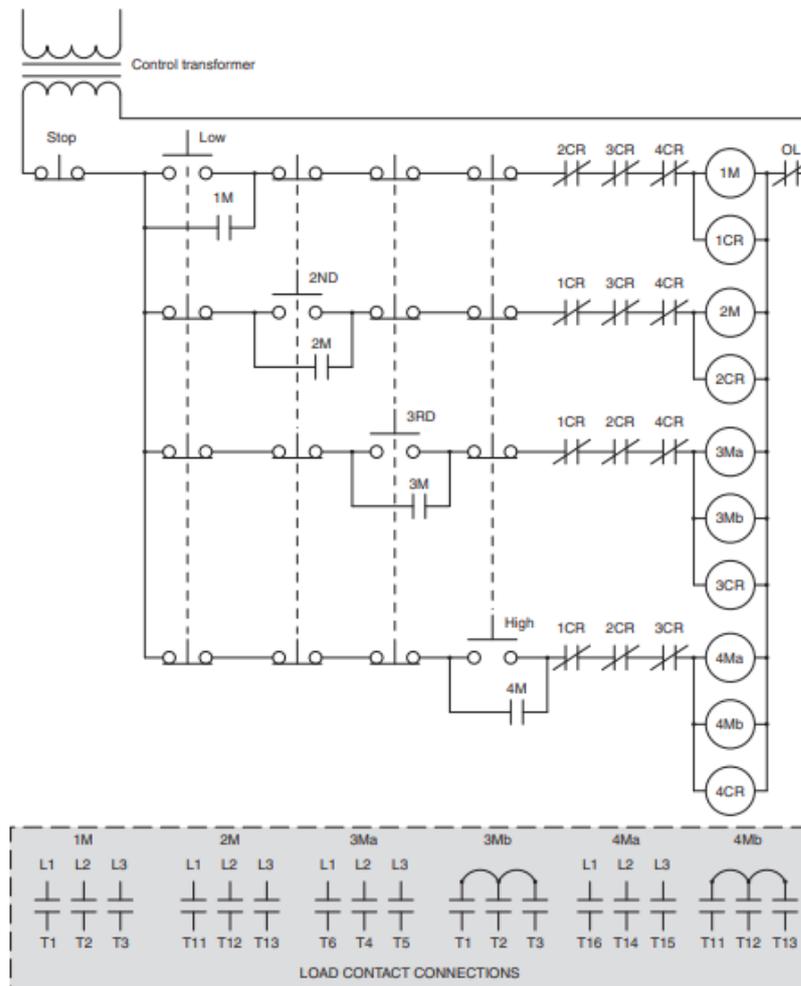
CONNECTION OF LEADS FOR VARIOUS DESIRED SPEEDS				
Speed	L1	L2	L3	Together
R LOW	T2	T1	T3,T7	—
F LOW	T1	T2	T3,T7	—
F 2	T11	T12	T13,T17	—
F 3	T6	T4	T5	T1,T2,T3,T7
F HIGH	T16	T14	T15	T11,T12,T13,T17



**GAMBAR 9-10** Pengontrol kecepatan manual untuk motor kutub konsekuen 4 kecepatan.

### Starter Perlawanan Utama

Mesin penggilingan dilengkapi dengan starter resistensi primer. Untuk jenis starter atau pengontrol ini, arus awal yang besar menghasilkan penurunan tegangan saat melewati resistor primer; dengan demikian, ada nilai tegangan yang lebih rendah di terminal motor. Motor berakselerasi dengan lembut dengan torsi yang lebih kecil daripada yang terjadi saat starter saluran digunakan. Ketika motor hampir mencapai kecepatan normalnya, relai tunda waktu (diatur sekitar 5 detik) menutup kontaktor kedua untuk menghubungkan singkat resistor utama. Pada titik ini, motor menerima tegangan saluran penuh dan berakselerasi ke kecepatan normalnya, Gambar 9-13.

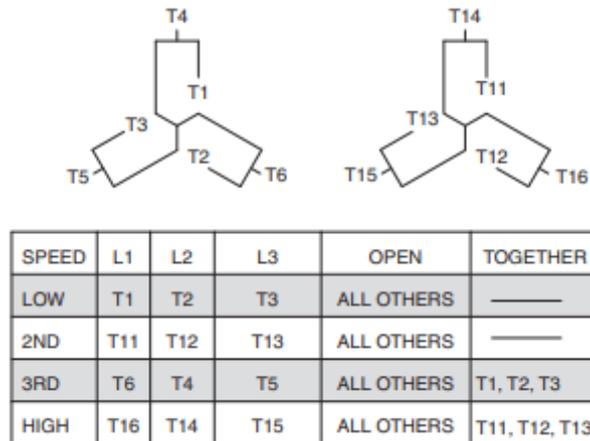


**GAMBAR 9-11** Kontrol tombol tekan untuk motor kutub konsekuen 3 fase 4 kecepatan.

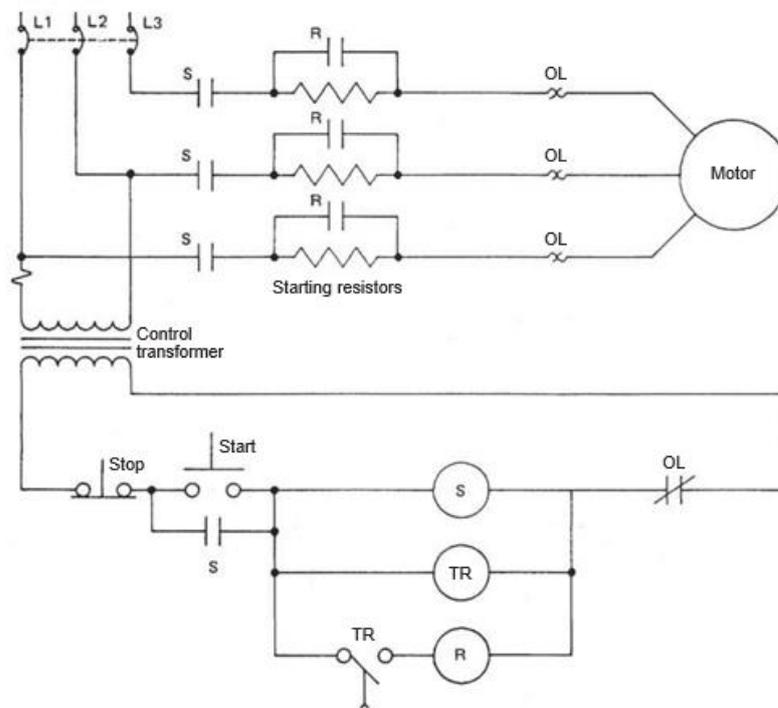
### Pengurangan Tegangan Starter

Motor yang digunakan pada gerinda permukaan memiliki jenis pengontrol lain yang disebut starter tegangan rendah, Gambar 9-14. Kontroler jenis ini menggunakan autotransformator untuk mendapatkan tegangan yang diturunkan. Ketika tombol tekan start ditekan, kontaktor magnet 5 kutub (S) menghubungkan autotransformer ke saluran. Keran dibuat dari autotransformator pada nilai sekitar 70% dari tegangan saluran pada bagian awal siklus. Beberapa detik setelah motor mulai berputar, relai pengatur waktu membuka kontaktor pertama (S) dan menutup kontaktor 3-kutub kedua (R). Tindakan ini memutuskan autotransformer dari saluran dan menghubungkan motor secara langsung melintasi saluran. Akibatnya, motor dipercepat ke kecepatan normalnya, Gambar 9-15.

Kontroler yang dibahas dalam bab sampai saat ini digunakan dengan motor sangkar-tupai. Ada beberapa jenis pengontrol lain yang digunakan pada motor lain dari berbagai jenis di gedung industri.



**GAMBAR 9-12** Susunan belitan dan diagram sambungan untuk motor kutub konsekuen 3 fase 4 kecepatan.



**GAMBAR 9-13** Starter resistansi primer tipikal.

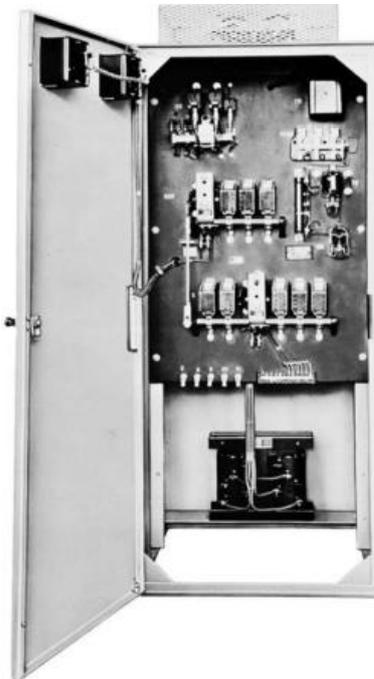
**9.4 Motor Induksi Rotor Leads (Belitan)**

Punch press (MN) dilengkapi dengan motor induksi rotor leads (belitan). Motor ini beroperasi pada prinsip medan magnet berputar yang sama dengan motor induksi sangkar-tupai. Perbedaan antara kedua motor adalah konstruksi rotor. Rotor motor induksi sangkar-tupai berisi batang-batang yang dihubungkan bersama di setiap ujungnya dengan cincin-cincin korslet. Rotor motor induksi rotor belitan berisi belitan 3 fasa yang sangat mirip dengan belitan stator. Kawat belitan stator diberi tanda L1, L2, dan L3. Ujung belitan rotor diberi tanda M1, M2, dan M3. Salah satu ujung dari setiap belitan rotor dihubungkan satu sama lain untuk membentuk sambungan wye. Ujung belitan yang lain dihubungkan dengan cincin slip (cincin kolektor) yang terletak pada poros rotor, Gambar 9-16. Sikat karbon resistansi rendah yang bersentuhan dengan cincin slip menyediakan koneksi ke resistor eksternal, Gambar 9-17.

Kemampuan untuk mengontrol jumlah resistansi yang terhubung ke rangkaian rotor menyebabkan motor induksi rotor belitan menunjukkan beberapa karakteristik yang diinginkan dibandingkan jenis motor 3 fase lainnya:

1. Besarnya arus start dapat dikontrol dengan mengontrol besarnya hambatan yang terhubung ke rotor. Motor induksi sangat mirip dengan transformator. Belitan stator adalah yang primer dan rotor adalah yang sekunder. Membatasi jumlah arus rotor (sekunder) juga membatasi arus stator (primer).
2. Motor induksi rotor belitan menunjukkan jumlah torsi awal tertinggi per ampere arus awal dari setiap motor 3-fase. Ada tiga faktor yang menentukan jumlah torsi yang dikembangkan oleh motor induksi:
  - A. Kuat medan magnet stator.
  - B. Kekuatan medan magnet rotor.
  - C. Perbedaan sudut fasa antara arus rotor dan stator.

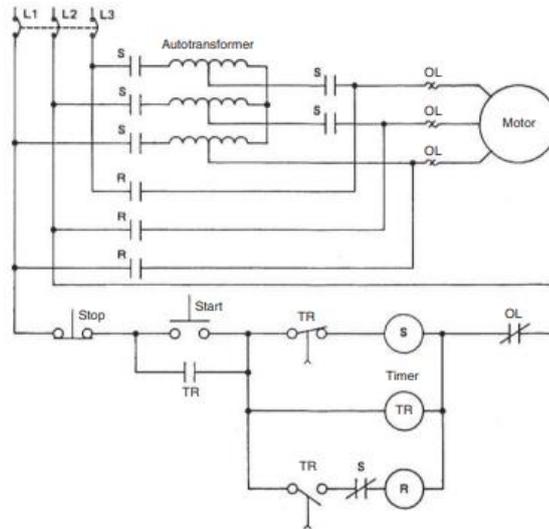
Torsi mencapai maksimum ketika arus rotor dan stator berada dalam fase satu sama lain. Penambahan tahanan pada rangkaian rotor menyebabkan arus rotor lebih sefasa dengan arus stator, sehingga menghasilkan torsi awal yang lebih besar.



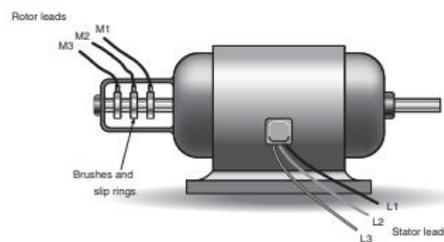
**GAMBAR 9-14** Pengatur tegangan starter.

3. Kecepatan motor induksi lilitan-rotor dapat dikontrol dengan besarnya hambatan yang dihubungkan pada rangkaian rotor. Karena besarnya tahanan pada rangkaian rotor mengontrol arus baik pada belitan rotor maupun stator, ia mengontrol kekuatan medan magnet pada belitan rotor dan stator. Mengontrol kekuatan medan magnet mengontrol jumlah torsi yang dihasilkan oleh motor. Memasukkan resistansi pada rangkaian rotor menghasilkan pengurangan torsi, yang menyebabkan jumlah slip yang lebih besar antara kecepatan rotor dan kecepatan medan magnet yang berputar. Ketika resistansi berkurang, kekuatan medan magnet meningkat, menyebabkan peningkatan torsi dan peningkatan kecepatan yang sesuai. Kecepatan motor penuh

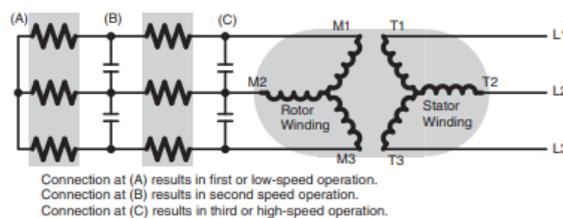
diperoleh ketika semua resistansi telah dihubungkan dari rangkaian rotor. Rotor motor induksi rotor belitan ditunjukkan pada Gambar 9-18.



**GAMBAR 9-15** Skema starter tegangan rendah tipe autotransformator.



**GAMBAR 9-16** Motor induksi rotor leads (belitan).



**GAMBAR 9-17** Sambungan motor lilitan-rotor.



**GAMBAR 9-18** Rotor motor induksi rotor belitan.

**Pengontrol Perlawanan Sekunder**

Motor punch press dapat dioperasikan dalam salah satu dari tiga kecepatan. Rangkaian kontrol ditunjukkan pada Gambar 9-19. Kecepatan motor dikendalikan oleh dua Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)

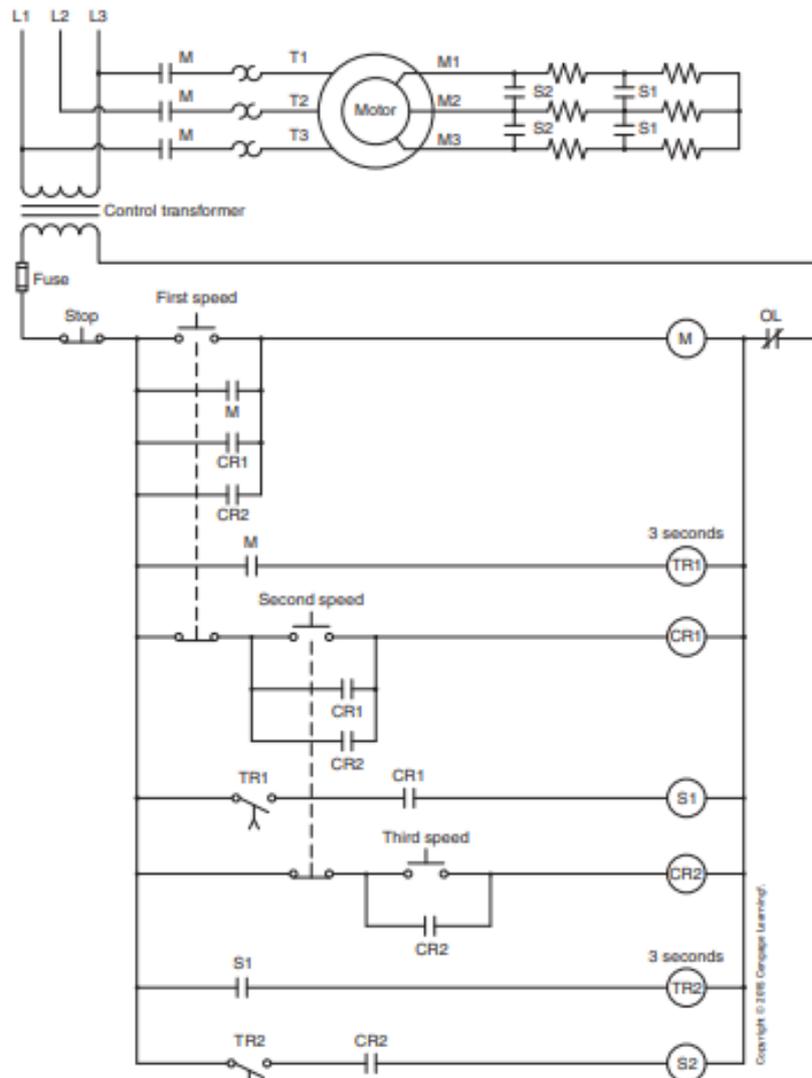
set tiga resistor yang masing-masing terhubung dalam rangkaian rotor. Tiga tombol tekan memungkinkan motor dioperasikan di salah satu dari tiga kecepatan. Kecepatan dapat diubah kapan saja dengan menekan tombol yang sesuai. Namun, ada jeda waktu 3 detik antara setiap peningkatan kecepatan. Jika tombol kecepatan ketiga ditekan, misalnya, motor akan mulai pada kecepatan pertama atau terendah. Setelah penundaan 3 detik, motor akan meningkat ke kecepatan kedua. Setelah penundaan 3 detik lagi, motor akan meningkat ke kecepatan ketiga atau penuh. Kecepatan motor dapat dikurangi dengan menekan salah satu dari dua tombol tekan lainnya. Tidak ada waktu tunda jika kecepatan motor diturunkan.

Induksi rotor belitan memiliki diameter poros yang lebih besar dari normal karena kemampuannya untuk mengembangkan torsi yang tinggi. Hal ini dimungkinkan untuk motor untuk mengembangkan torsi yang 300% di atas torsi berjalan normal. Ini dapat menciptakan sejumlah besar tekanan pada poros. Motor rotor belitan digunakan untuk start tugas berat ekstra. Aplikasi yang umum termasuk penggunaan motor jenis ini dengan pompa yang memiliki tekanan balik yang sangat tinggi, atau dengan mesin yang memiliki inersia statis yang sangat tinggi. Kontroler resistansi sekunder digunakan untuk membawa motor ke kecepatan dengan lancar. Selain itu, pengontrol ini digunakan dalam operasi berjalan normal untuk menyesuaikan torsi dan kecepatan ke nilai yang diinginkan.

### **9.5 Menentukan Arah Putaran Motor Tiga - Fase**

Pada banyak jenis mesin, arah putaran motor sangat penting. Arah putaran motor 3 fasa dapat diubah dengan membalik dua ujung statornya. Hal ini menyebabkan arah medan magnet yang berputar menjadi terbalik. Ketika motor dihubungkan ke mesin yang tidak akan rusak ketika arah putarannya dibalik, daya dapat diberikan sesaat ke motor untuk mengamati arah putarannya. Jika putarannya salah, dua kabel saluran apa pun dapat dipertukarkan untuk membalikkan putaran motor.

Namun, ketika motor akan disambungkan ke mesin yang dapat rusak karena putaran yang salah, arah putaran harus ditentukan sebelum motor dihubungkan ke bebannya. Ini dapat dicapai dengan dua cara dasar. Salah satu caranya adalah dengan membuat sambungan listrik ke motor sebelum dihubungkan secara mekanis ke beban. Arah putaran kemudian dapat diuji dengan memberikan daya sesaat ke motor sebelum digabungkan ke beban.



**GAMBAR 9-19** Starter otomatis dengan tiga langkah kontrol kecepatan.

Mungkin ada saat-saat ketika ini tidak praktis atau nyaman. Arah putaran motor dapat ditentukan sebelum daya disambungkan dengan menggunakan meteran putaran fase, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-20. Meteran putaran fase digunakan untuk membandingkan putaran fase dari dua koneksi 3 fase yang berbeda. Meter berisi enam terminal lead. Tiga dari kabel terhubung ke satu sisi meteran dan diberi label "Motor." Masing-masing dari ketiga sadapan motor ini diberi label A, B, atau C. Sadapan saluran terletak di sisi lain meteran, dan masing-masing sadapan ini diberi label A, B, atau C.

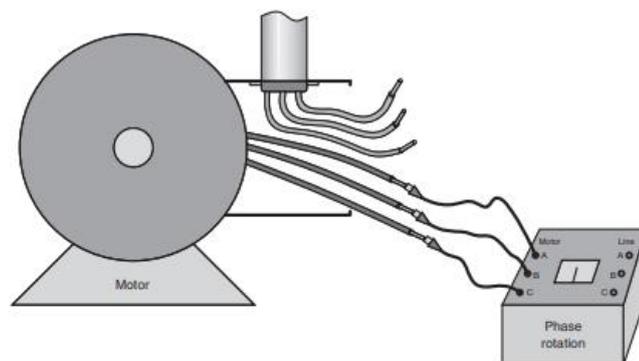
Untuk menentukan arah putaran motor, pertama-tama nolkan meteran dengan mengikuti petunjuk yang diberikan oleh pabrikan. Kemudian atur sakelar pemilih meteran ke motor, dan sambungkan ketiga kabel motor meteran ke kabel "T" motor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-21. Pengukur putaran fase berisi voltmeter pusat nol. Satu sisi voltmeter diberi label "SALAH", dan sisi lainnya diberi label "BENAR". Sambil mengamati voltmeter pusat nol, putar poros motor ke arah putaran yang diinginkan. Voltmeter pusat-nol akan segera berayun ke arah yang BENAR atau SALAH. Ketika poros motor berhenti berputar, jarum mungkin berayun ke arah yang berlawanan. Ini adalah indikasi pertama voltmeter yang akan digunakan.



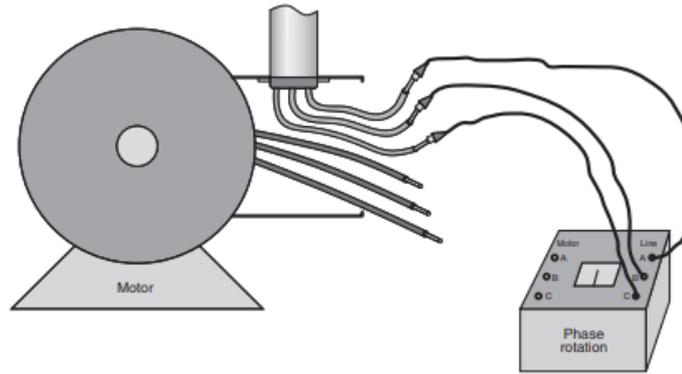
**GAMBAR 9-20** Pengukur putaran fasa.

Jika jarum voltmeter menunjukkan BENAR, beri label motor "T" sadapan A, B, atau C agar sesuai dengan sadapan motor dari meteran putaran fasa. Jika jarum voltmeter menunjukkan SALAH, ganti dua kabel motor dari meteran putaran fasa dan putar lagi poros motor. Jarum voltmeter sekarang harus menunjukkan BENAR. Lead motor "T" sekarang dapat diberi label agar sesuai dengan lead motor dari meteran putaran fasa.

Setelah sadapan "T" motor diberi label A, B, atau C agar sesuai dengan sadapan meteran putaran fasa, rotasi saluran yang memasok daya ke motor harus ditentukan. Atur sakelar pemilih pada meteran putaran fase ke posisi garis. Setelah memastikan daya telah dimatikan, hubungkan ketiga ujung saluran meteran putaran fasa ke saluran suplai motor, Gambar 9-22. Nyalakan daya dan amati voltmeter titik nol. Jika meteran menunjuk ke arah yang BENAR, matikan daya dan beri label kabel saluran A, B, atau C agar sesuai dengan kabel saluran meteran putaran fase.



**GAMBAR 9-21** Menghubungkan meteran putaran fasa ke motor.



**GAMBAR 9-22** Menghubungkan meteran putaran fasa ke saluran.

Jika voltmeter menunjuk ke arah yang SALAH, matikan daya dan ubah dua kabel dari meteran putaran fase. Ketika daya dihidupkan, voltmeter harus menunjuk ke arah yang BENAR. Matikan daya dan beri label kabel saluran A, B, atau C agar sesuai dengan kabel dari meteran putaran fase.

Setelah sadapan "T" motor dan kabel daya yang masuk telah diberi label, sambungkan kabel saluran berlabel A ke kabel "T" berlabel A; kabel garis berlabel B ke kabel "T" berlabel B; dan kabel saluran berlabel C ke kabel "T" berlabel C. Ketika daya terhubung ke motor, motor akan beroperasi ke arah yang benar.

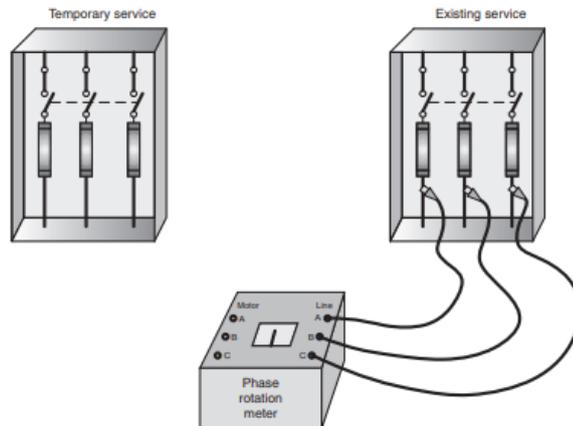
Perhatikan bahwa meteran rotasi fasa dapat digunakan untuk menentukan rotasi fasa dari dua sambungan yang berbeda. Itu tidak dapat menentukan yang mana dari tiga garis fase adalah A, B, atau C, atau garis mana yang L1, L2, atau L3. Pengukur putaran fase dapat digunakan untuk menentukan putaran dua sistem 3 fase yang terpisah. Sebagai contoh, asumsikan semua gawai proteksi hubung singkat dan gir sakelar untuk sistem 3 fase yang ada harus diganti. Untuk meminimalkan waktu henti, layanan 3 fase sementara akan disambungkan ke suplai daya saat gigi sakelar yang ada sedang diganti. Sangat penting bahwa rotasi fase dari layanan sementara harus sama dengan layanan yang ada saat daya diterapkan. Pengukur rotasi fase dapat digunakan untuk memastikan koneksi sudah benar.

Langkah pertama adalah menghubungkan kabel-kabel dari meteran putaran fasa ke daya yang ada, Gambar 9-23. Jika voltmeter pusat-nol menunjukkan BENAR, beri label sisi beban layanan A, B, dan C agar sesuai dengan kabel meteran putaran fase. Jika voltmeter menunjukkan SALAH, ganti dua kabel meteran. Ini akan menyebabkan meteran putaran fase menunjukkan BENAR. Beri label sisi beban layanan agar sesuai dengan A, B, atau C dari kabel meteran rotasi fase.

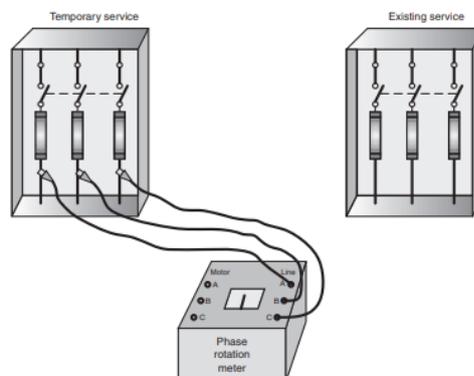
Sebelum menghubungkan layanan sementara ke sisi beban sirkuit, hubungkan meteran putaran fase ke sisi saluran layanan sementara, Gambar 9-24. Dapatkan pembacaan yang BENAR pada meteran putaran fasa dengan mengubah dua kabel meteran jika perlu. Setelah pembacaan yang benar diperoleh, beri label kabel servis A, B, dan C agar sesuai dengan kabel meteran rotasi fase. Jika sadapan layanan sementara bertanda disambungkan ke sadapan beban bertanda serupa, putaran fase layanan sementara akan sama dengan layanan yang ada.

## 9.6 Menghubungkan Motor Tiga Fasa Tegangan Ganda

Banyak motor 3-fase yang digunakan dalam industri dirancang untuk dioperasikan pada dua tegangan, seperti 240 hingga 480 volt. Motor jenis ini mengandung dua set belitan per fase. Sebagian besar motor tegangan ganda mengeluarkan sembilan kabel "T" di kotak terminal. Ada metode standar yang digunakan untuk memberi nomor pada lead ini, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-25.

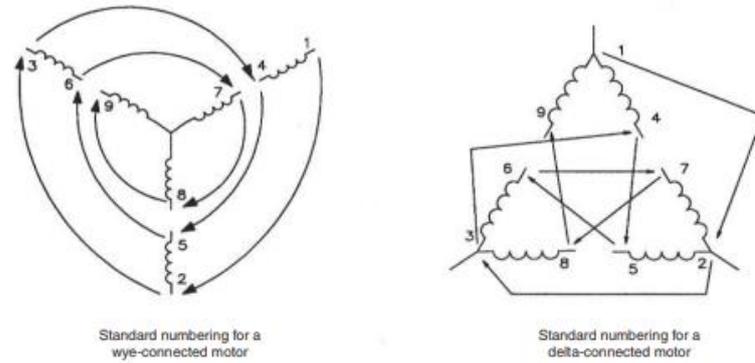


**GAMBAR 9-23** Pengujian putaran fasa dari layanan eksisting.

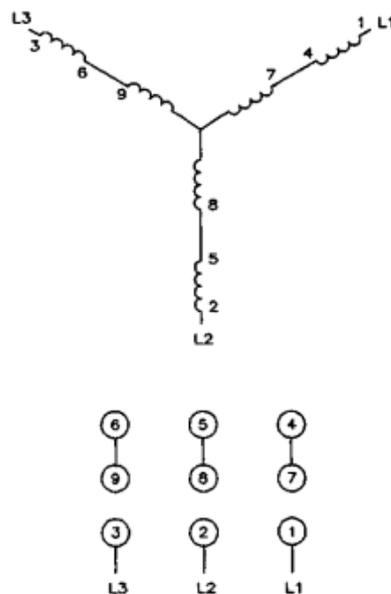


**GAMBAR 9-24** Pengujian rotasi fase dari layanan sementara.

Dimulai dengan terminal #1, sadapan diberi nomor dalam spiral menurun seperti yang ditunjukkan. Metode lain untuk menentukan nomor lead yang tepat adalah dengan menambahkan tiga ke setiap terminal. Misalnya, mulai dengan prospek #1, tambahkan tiga banding satu. Tiga tambah satu sama dengan empat. Gulungan fase yang dimulai dengan #1 berakhir dengan #4. Sekarang tambahkan tiga hingga empat. Tiga tambah empat sama dengan tujuh. Awal belitan kedua untuk fase satu adalah tujuh. Metode ini akan bekerja untuk belitan semua fase. Jika ragu, gambarkan diagram belitan fasa dan beri nomor dalam bentuk spiral.



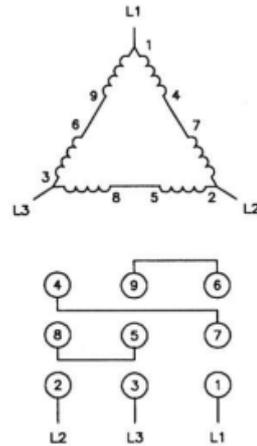
**GAMBAR 9-25** Penomoran standar untuk motor terhubung-wye dan motor terhubung-delta.



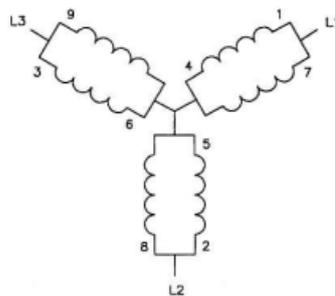
**GAMBAR 9-26** Sambungan wye tegangan tinggi.

Motor tiga fase dapat dibangun untuk beroperasi baik dalam wye atau delta. Jika motor akan dihubungkan ke tegangan tinggi, belitan fasa akan dihubungkan secara seri. Pada Gambar 9-26, diagram skematik dan diagram koneksi terminal untuk tegangan tinggi diperlihatkan untuk motor terhubung-wye. Pada Gambar 9-27, diagram skematik dan diagram koneksi terminal untuk tegangan tinggi diperlihatkan untuk motor terhubung delta.

Ketika motor akan dihubungkan untuk operasi tegangan rendah, belitan fasa harus dihubungkan secara paralel. Gambar 9-28 menunjukkan diagram skema dasar untuk motor terhubung-wye dengan belitan fase paralel. Namun, dalam praktik sebenarnya, tidak mungkin membuat hubungan yang tepat ini dengan motor sembilan sadapan. Skema menunjukkan bahwa terminal #4 terhubung ke ujung lain dari belitan fase yang dimulai dengan terminal #7. Terminal #5 terhubung ke ujung lain dari belitan #8, dan terminal #6 terhubung ke ujung lain dari belitan #9. Dalam konstruksi motor yang sebenarnya, ujung berlawanan dari belitan 7, 8, dan 9 dihubungkan bersama di dalam motor dan tidak dibawa ke luar casing motor. Masalah ini dipecahkan, bagaimanapun, dengan membentuk koneksi wye kedua dengan menghubungkan terminal 4, 5, dan 6, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-29.

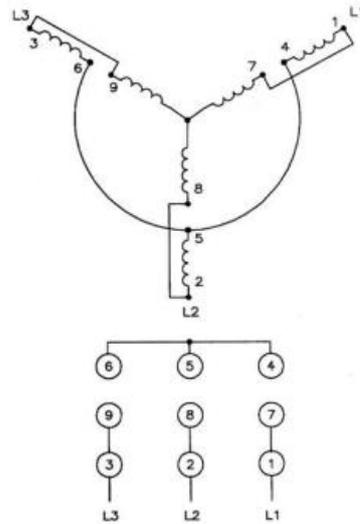


**GAMBAR 9-27** Sambungan delta tegangan tinggi.

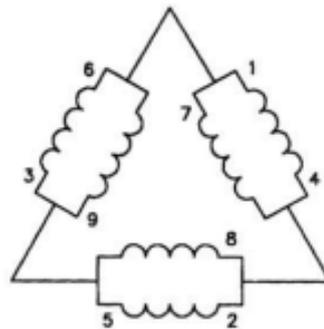


**GAMBAR 9-28** Gulungan stator dihubungkan secara paralel.

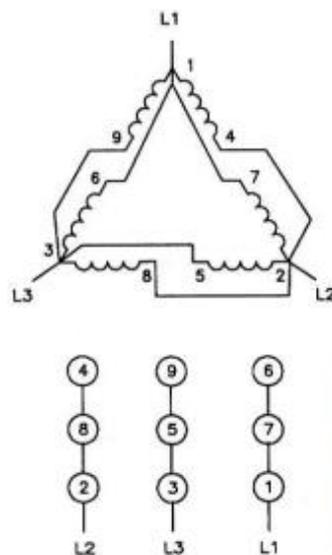
Belitan fasa dari motor terhubung delta juga harus dihubungkan secara paralel untuk digunakan pada tegangan rendah. Skema untuk koneksi ini ditunjukkan pada Gambar 9-30. Diagram koneksi dan diagram koneksi terminal untuk sambungan ini ditunjukkan pada Gambar 9-31. Beberapa motor tegangan ganda mengandung dua belas sadapan “T”, bukan sembilan. Dalam hal ini, ujung terminal 7, 8, dan 9 yang berlawanan dibawa keluar untuk dihubungkan. Gambar 9-32 menunjukkan penomoran standar untuk motor terhubung delta dan wye. Dua belas sadapan dibawa keluar jika motor dimaksudkan untuk digunakan untuk pengasutan wye-delta. Jika ini masalahnya, motor harus dirancang untuk operasi normal dengan belitannya terhubung secara delta. Jika belitan dihubungkan secara wye selama pengasutan, arus pengasutan motor sangat berkurang.



**GAMBAR 9-29** Sambungan wye tegangan rendah.



**GAMBAR 9-30** Sambungan delta paralel.

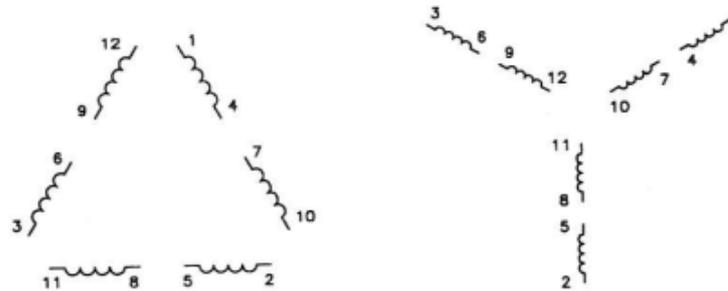


**GAMBAR 9-31** Sambungan delta tegangan rendah.

**9.7 Motor Fasa Tunggal Tegangan Ganda**

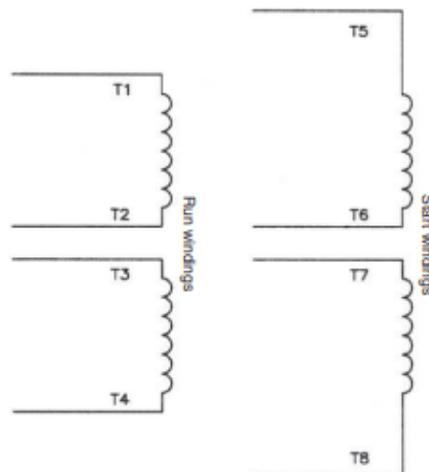
Banyak motor satu fasa dirancang untuk dihubungkan ke tegangan 120 atau 240 volt. Sebagian besar motor fasa tunggal tegangan ganda akan menjadi tipe fasa terbagi, yang berisi belitan jalan dan belitan awal. Gambar 9-33 menunjukkan diagram skematik motor fase-

terpisah yang dirancang untuk operasi tegangan ganda. Motor khusus ini berisi dua belitan run dan dua belitan start. Nomor lead untuk motor fase tunggal juga diberi nomor dengan cara standar. Salah satu gulungan run memiliki nomor lead T1 dan T2. Belitan run lainnya memiliki sadapan bernomor T3 dan T4. Motor khusus ini menggunakan dua set lead belitan awal yang berbeda. Satu set diberi label T5 dan T6, dan set lainnya diberi label T7 dan T8.



**GAMBAR 9-32** Motor dua belas sadapan.

Jika motor dihubungkan untuk operasi tegangan tinggi, belitan run dan belitan start akan dihubungkan secara seri, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-34. Gulungan start kemudian dihubungkan secara paralel dengan belitan run. Perlu dicatat bahwa jika arah putaran yang diinginkan diinginkan, T5 dan T8 akan berubah.

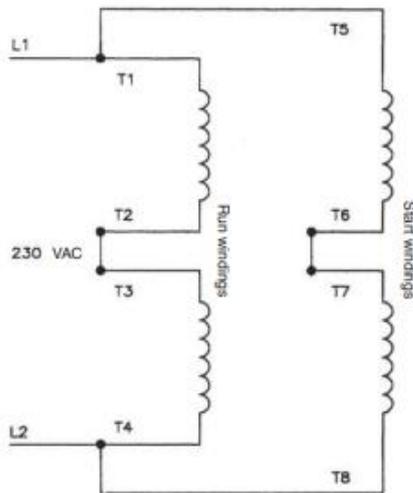


**GAMBAR 9-33** Motor tegangan ganda fase tunggal.

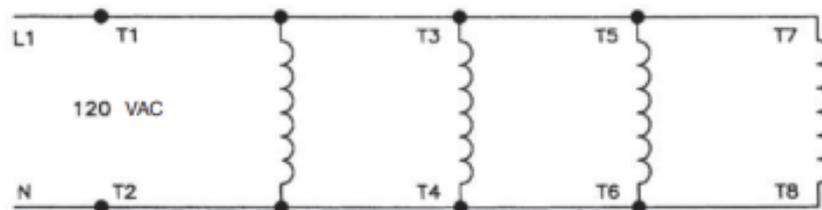
Untuk operasi tegangan rendah, belitan harus dihubungkan secara paralel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-35. Sambungan ini dibuat dengan terlebih dahulu menghubungkan gulungan run secara paralel dengan mengaitkan T1 dan T3 bersama-sama, serta T2 dan T4 bersama-sama. Gulungan awal diparalelkan dengan menghubungkan T5 dan T7 bersama-sama, dan T6 dan T8 bersama-sama. Gulungan start kemudian dihubungkan secara paralel dengan belitan run. Jika diinginkan arah putaran yang berlawanan, T5 dan T6, serta T7 dan T8 harus dibalik.

Tidak semua motor fase tunggal tegangan ganda memiliki dua set belitan start. Gambar 9-36 menunjukkan diagram skema motor yang berisi dua set belitan run dan hanya satu belitan start. Dalam ilustrasi ini, belitan awal diberi label T5 dan T6. Akan tetapi, perlu dicatat bahwa beberapa motor mengidentifikasi belitan awal dengan memberi label T5 dan T8, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-37.

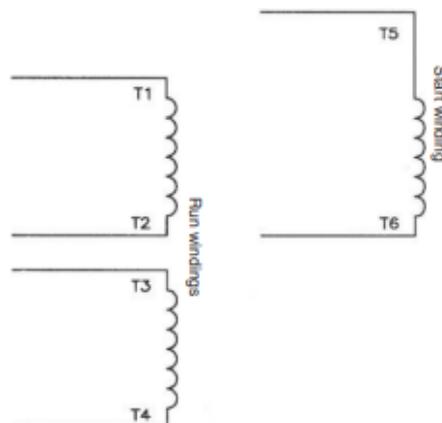
Terlepas dari metode mana yang digunakan untuk memberi label pada ujung terminal belitan awal, sambungannya akan sama. Jika motor akan dihubungkan untuk operasi tegangan tinggi, belitan run akan dihubungkan secara seri, dan belitan start akan dihubungkan secara paralel dengan salah satu belitan run, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-38. Pada motor jenis ini, setiap belitan diberi nilai 120 volt. Jika belitan run dihubungkan secara seri dengan tegangan 240 volt, setiap belitan akan memiliki drop tegangan 120 volt. Dengan menghubungkan belitan start secara paralel hanya pada satu belitan run, ia hanya akan menerima 120 volt ketika daya diberikan ke motor. Jika diinginkan arah putaran yang berlawanan, T5 dan T8 harus diubah.



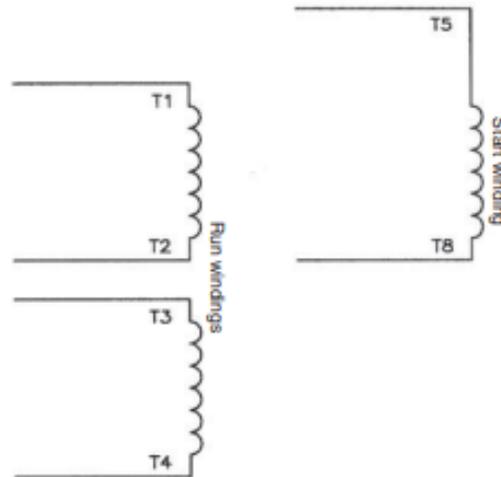
**GAMBAR 9-34** Sambungan tegangan tinggi untuk motor satu fasa dengan dua lilitan run dan dua lilitan start.



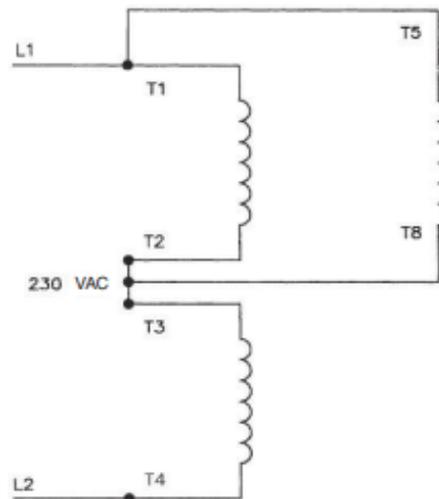
**GAMBAR 9-35** Sambungan tegangan rendah untuk motor satu fasa dengan dua belitan start.



**GAMBAR 9-36** Motor tegangan ganda dengan satu belitan start berlabel T5 dan T6.



**GAMBAR 9-37** Motor tegangan ganda dengan satu belitan start berlabel T5 dan T8.



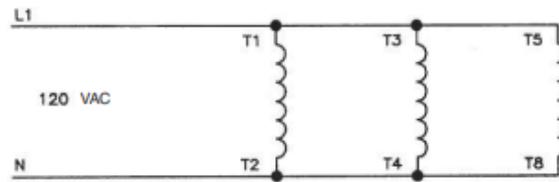
**GAMBAR 9-38** Sambungan tegangan tinggi dengan satu belitan awal.

Jika motor akan dioperasikan pada tegangan rendah, belitan dihubungkan secara paralel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-39. Karena semua belitan dihubungkan secara paralel, masing-masing akan menerima 120 volt ketika daya diberikan ke motor.

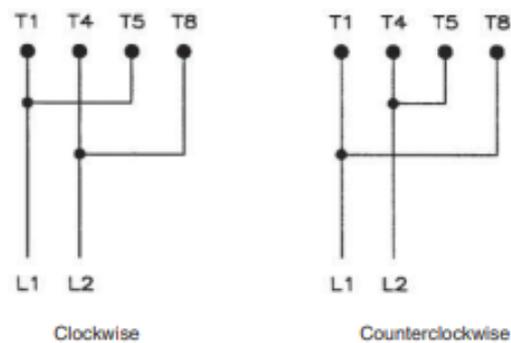
### 9.8 Menentukan Arah Putaran Motor Satu Fasa

Arah putaran motor satu fasa umumnya dapat ditentukan ketika motor disambungkan. Arah putaran ditentukan dengan menghadap ke belakang atau belakang motor. Gambar 9-40 menunjukkan diagram sambungan untuk rotasi. Jika rotasi searah jarum jam diinginkan, T5 harus dihubungkan ke T1. Jika rotasi berlawanan arah jarum jam diinginkan, T8 (atau T6) harus dihubungkan ke T1. Perlu dicatat bahwa diagram koneksi ini mengasumsikan motor berisi dua set run dan dua set belitan start. Jenis motor yang digunakan akan menentukan sambungan yang sebenarnya. Sebagai contoh, Gambar 9-38 menunjukkan hubungan motor dengan dua belitan jalan dan hanya satu belitan start. Jika motor ini disambungkan untuk putaran searah jarum jam, terminal T5 harus disambungkan ke T1 dan terminal T8 harus disambungkan ke T2 dan T3. Jika rotasi berlawanan arah jarum jam

diinginkan, terminal T8 akan dihubungkan ke T1, dan terminal T5 akan dihubungkan ke T2 dan T3.



**GAMBAR 9-39** Sambungan tegangan rendah untuk motor satu fasa dengan satu belitan start.



**GAMBAR 9-40** Menentukan arah putaran motor satu fasa.

### Motor DC (Arus Searah)

Dua jenis peralatan mesin di gedung industri membutuhkan motor DC. Lima pabrik pemboran vertikal (MG) masing-masing memerlukan satu motor DC, dan tiga planer (MH) memerlukan jenis motor dan pengontrol yang sama.

Motor yang digunakan adalah motor DC kompon standar dan semuanya memiliki daya 25 tenaga kuda. Motor tidak dioperasikan dari sumber DC biasa, melainkan dioperasikan dari saluran AC 480 volt melalui pengontrol elektronik yang menyearahkan arus (mengubahnya dari AC ke DC). Motor kompon arus searah mengandung armature yang berputar dan medan stasioner. Medan juga berfungsi sebagai rangka atau rumah motor. Lonceng ujung atau braket ujung menopang bantalan poros. Dinamo memiliki belitan yang terhubung ke komutator. Pemegang sikat dan sikat karbon yang dipasang pada bel ujung depan menyentuh komutator, yang berputar saat motor berjalan.

Sebuah motor DC khas ditunjukkan pada Gambar 9-41. Bidang luka majemuk terdiri dari dua gulungan medan arate. Medan shunt dililit dengan kawat yang relatif kecil dan memiliki ribuan lilitan. Bidang seri dililit dengan kawat besar dan hanya memiliki beberapa putaran. Gulungan medan atau kumparan ditempatkan pada potongan tiang yang menempel pada rangka atau kuk. Motor lilitan majemuk memiliki jumlah kutub yang genap, dengan ukuran motor yang lebih kecil biasanya memiliki dua atau empat kutub, dan ukuran motor yang lebih besar memiliki jumlah kutub yang lebih banyak. Bingkai medan motor DC ditunjukkan pada Gambar 9-42.

Sebagian medan shunt dan sebagian medan seri dililitkan pada setiap potongan kutub. Gulungan pada setiap potongan kutub alternatif dibuat dalam arah yang berlawanan, searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam. Dengan cara ini, setiap potongan kutub

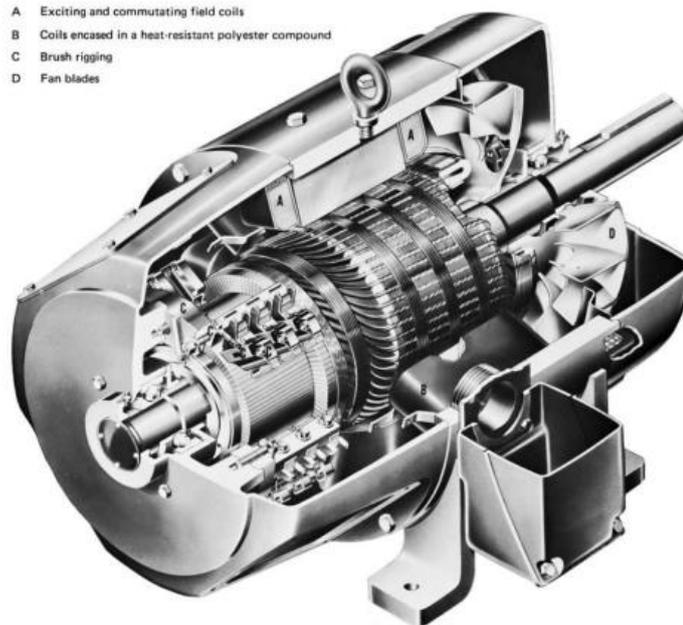
dimagnetisasi secara bergantian ke utara dan selatan. Ujung belitan shunt (dua ujung) dan belitan medan seri (dua ujung) dibawa keluar ke kotak terminal motor.

Kutub komutasi atau interpol juga disediakan. Potongan tiang yang sangat kecil ini ditempatkan di tengah-tengah antara potongan tiang utama. Interpol dililit dengan beberapa lilitan kawat berat. Seperti potongan tiang utama, interpol juga dililit secara bergantian searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam. Potongan kutub dihubungkan secara permanen secara seri dengan pemegang sikat jangkar dan dianggap sebagai bagian dari rangkaian jangkar. Interpol menetralkan distorsi medan magnet yang disebabkan oleh rotasi armature yang dimagnetisasi berat dalam fluks medan. Akibatnya, percikan atau busur pada sikat berkurang.

Motor kompon DC dapat dihubungkan dengan beberapa cara. Ketika medan shunt hanya merentang dinamo, ini dikenal sebagai sambungan shunt pendek, Gambar 9-43. Sebaliknya, jika medan shunt merentang baik angker maupun medan seri, hal itu disebut sambungan shunt panjang. Ketika motor dihubungkan shunt pendek, arus medan shunt ditambahkan ke arus medan seri. Hal ini umumnya menyebabkan sedikit overcompound pada motor, yang memungkinkannya menunjukkan karakteristik torsi yang lebih kuat. Ketika motor terhubung shunt panjang, itu menunjukkan pengaturan kecepatan yang lebih baik.

Jika sambungan terminal motor dibuat sedemikian rupa sehingga magnetisme medan seri membantu atau memperkuat magnet yang dihasilkan oleh medan shunt, maka motor tersebut dikatakan sebagai motor kompon kumulatif, Gambar 9-44. Jika hubungan terminal motor dibalik sehingga kemagnetan medan seri melawan atau melemahkan kemagnetan medan shunt, motor tersebut disebut motor kompon diferensial, Gambar 9-44.

Meskipun motor kompon diferensial memberikan kecepatan yang lebih konstan pada semua beban, motor agak tidak stabil. Untuk alasan ini, motor jenis ini tidak digunakan dalam banyak aplikasi seperti motor kompon kumulatif. Kekuatan medan shunt adalah konstan. Namun, karena medan seri dihubungkan secara seri dengan jangkar, kekuatan medan seri bervariasi dengan beban pada motor. Ketika motor berjalan pada kecepatan idle (tidak ada output), medan seri hampir tidak memberikan kontribusi magnet terhadap medan shunt. Ketika motor dibebani, medan seri meningkatkan magnetisme medan shunt untuk menghasilkan lebih banyak torsi dan menyebabkan sedikit penurunan kecepatan motor.



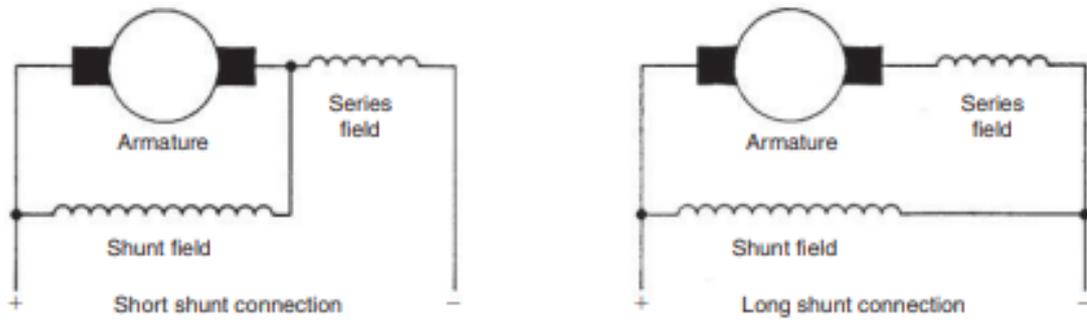
**GAMBAR 9-41** Tampilan potongan motor DC.

Armature/commutator juga memiliki kutub. Komponen motor ini adalah silinder tembaga tempa dengan segmen atau batang. Segmen-segmen ini diisolasi satu sama lain dan berfungsi sebagaiudukan yang dihubungkan dengan belitan jangkar. Armature 2 kutub memiliki rentang koil yang sama dengan diameter armature, dikurangi beberapa slot. Armature 4 kutub memiliki rentang koil yang sama dengan seperempat keliling armature, dikurangi beberapa slot. Dinamo 6 kutub memiliki rentang koil yang sama dengan seperenam keliling jangkar, kurang satu atau dua slot, Gambar 9-45. Susunan rentang kumparan tergantung sepenuhnya pada jumlah kutub yang ada. Armature 4 kutub tidak dapat digunakan dengan medan 2 kutub. Dua unit, angker dan medan, harus dililit dengan jumlah kutub yang sama.

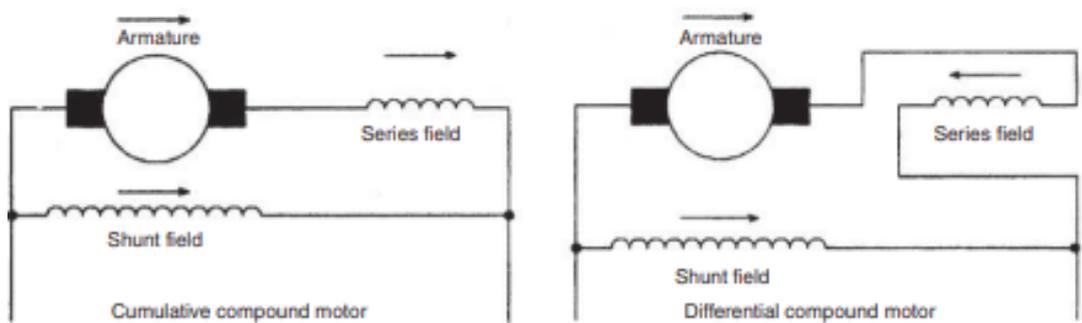
Ditunjukkan bahwa untuk motor AC, torsi dan tenaga kuda sebanding dengan kuadrat tegangan yang diberikan, dan kecepatan putaran tergantung pada frekuensi dan jumlah kutub di motor. Namun, kinerja motor DC tergantung pada faktor yang sama sekali berbeda. Kecepatan motor DC meningkat ketika tegangan meningkat dan menurun jika kekuatan medan meningkat atau jika ada peningkatan jumlah kutub atau belitan kawat yang dililitkan pada armature.



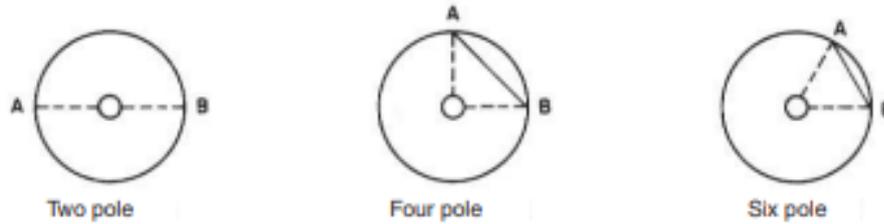
**GAMBAR 9-42** Bingkai medan motor DC.



**GAMBAR 9-43** Sambungan motor arus search.



**GAMBAR 9-44** Sambungan untuk motor sambungan kompon kumulatif dan diferensial.



The coil span is the line A-B. With a 2-pole motor, coil span is 180. A 4-pole motor has a coil span of 90, and a 6-pole motor has a coil span of 60. In actual practice, coil span is chorded and is slightly less than the full span.

**GAMBAR 9-45** Hubungan bintang kumparan jangkar dengan jumlah kutub.

Untuk semua motor, output tenaga kuda adalah

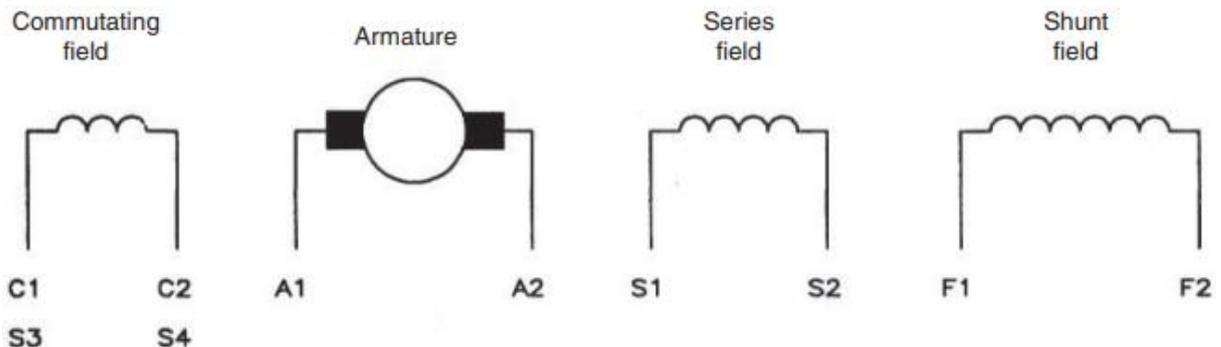
$$Hp = \frac{2\pi F \times R \times S}{33,000} \text{ or } \frac{T \times S}{5250}$$

di mana

- F = gaya, dalam pound
- R = jari-jari, dalam kaki
- S = kecepatan, dalam RPM
- T = torsi, dalam kaki-pon

**9.9 Identifikasi Terminal Untuk Motor Dc (Arus Searah)**

Ujung terminal mesin DC diberi label sehingga dapat diidentifikasi ketika dibawa keluar rumah motor ke kotak terminal. Gambar 9-46 mengilustrasikan identifikasi standar ini. Terminal A1 dan A2 terhubung ke angker melalui sikat. Ujung bidang seri diidentifikasi dengan S1 dan S2, dan ujung bidang shunt ditandai F1 dan F2. Beberapa mesin DC akan menyediakan akses ke rangkaian belitan lain yang disebut medan komutasi atau interpol. Ujung belitan ini akan diberi label C1 dan C2, atau S3 dan S4. Merupakan praktik umum untuk menyediakan akses ke belitan interpol pada mesin yang dirancang untuk digunakan sebagai motor atau generator.

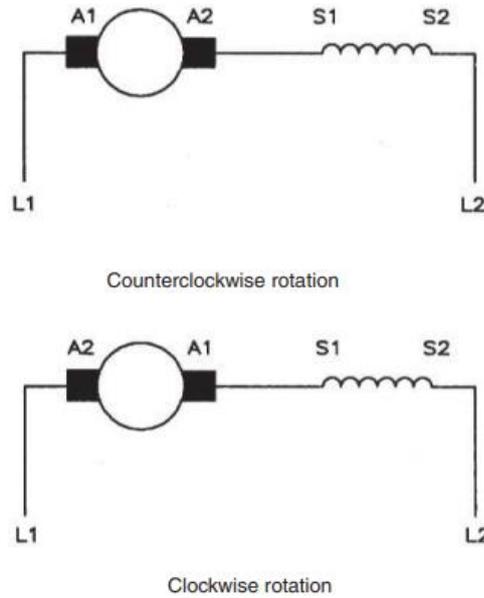


**GAMBAR 9-46** Identifikasi terminal untuk mesin DC.

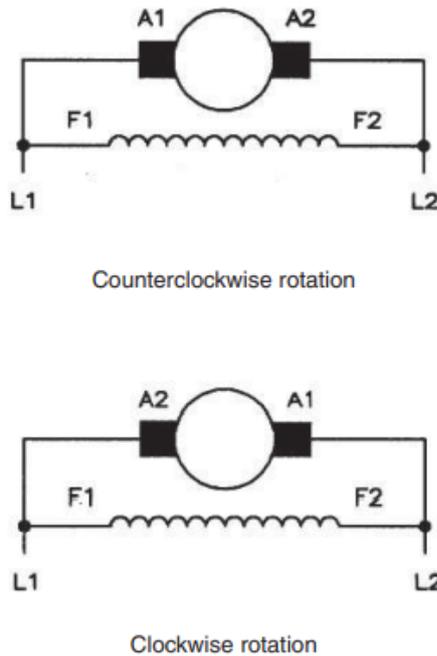
**9.10 Menentukan Arah Putaran Motor Dc (Arus Searah)**

Arah putaran motor DC ditentukan dengan menghadap ujung komutator motor. Ini umumnya bagian belakang atau belakang motor. Jika belitan telah diberi label dengan cara standar, adalah mungkin untuk menentukan arah putaran saat motor terhubung. Gambar 9-

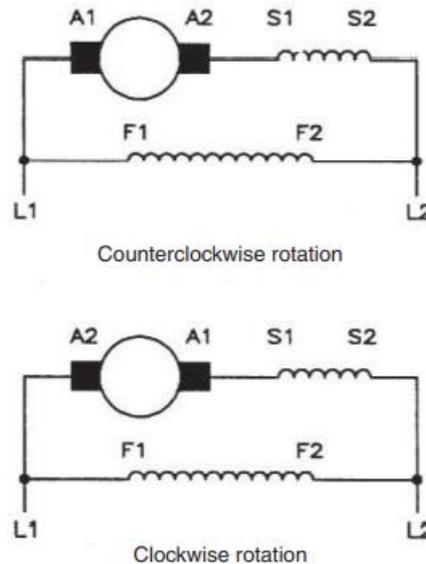
47 mengilustrasikan sambungan standar untuk motor seri. Sambungan standar untuk motor shunt diilustrasikan pada Gambar 9-48, dan sambungan standar untuk motor kompon ditunjukkan pada Gambar 9-49.



**GAMBAR 9-47** Motor seri.



**GAMBAR 9-48** Motor shunt.



**GAMBAR 9-49** Motor kompon.

Arah putaran motor DC dapat dibalik dengan mengubah sambungan dari armature lead atau field lead. Ini adalah praktek umum untuk mengubah koneksi lead angker. Hal ini dilakukan untuk mencegah perubahan motor kompon kumulatif menjadi motor kompon diferensial.

### 9.11 Catu Daya Listrik DC (Arus Searah)

Penggunaan motor arus searah dalam industri menimbulkan kebutuhan akan suplai daya DC. Karena sebagian besar industri beroperasi dengan daya AC, daya DC yang dibutuhkan umumnya diproduksi di dalam pabrik industri. Metode yang paling umum untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC adalah dengan menggunakan komponen solid-state.

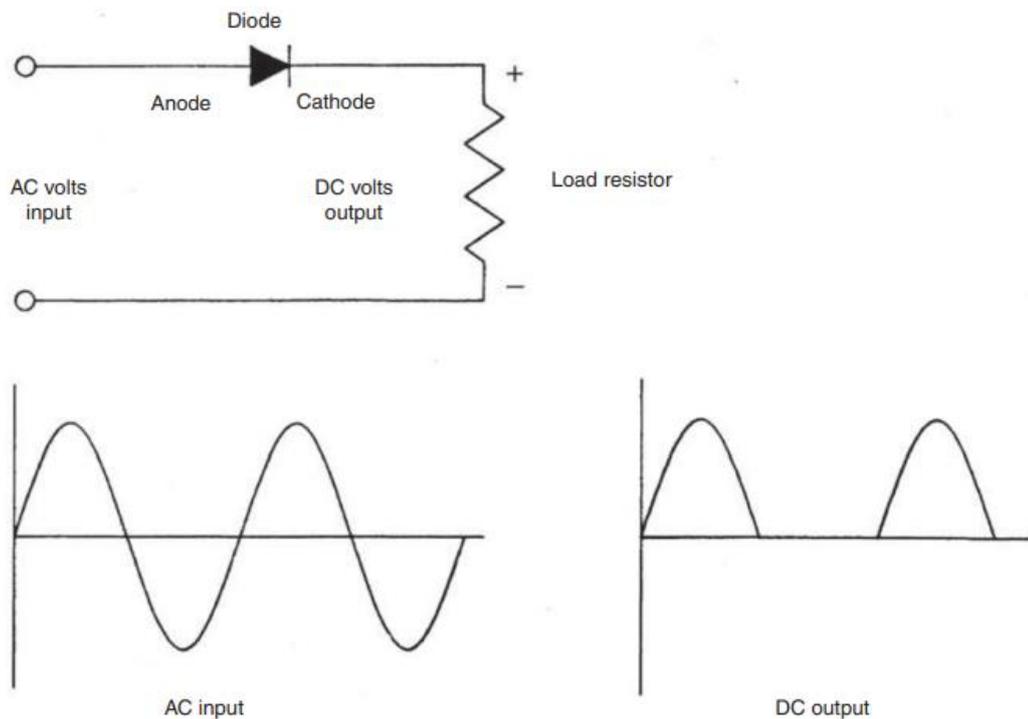
Penyearah setengah gelombang sederhana ditunjukkan pada Gambar 9-50. Dioda digunakan untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Dioda beroperasi seperti katup periksa listrik; itu memungkinkan arus mengalir melaluinya hanya dalam satu arah. Ketika tegangan yang diberikan pada ujung katoda dioda lebih negatif daripada tegangan yang diberikan pada ujung anoda, dioda menjadi bias maju. Ini memungkinkan arus mengalir melalui resistor beban dan kemudian melalui dioda untuk menyelesaikan rangkaian. Ketika tegangan yang diberikan pada ujung katoda dioda menjadi lebih positif daripada tegangan yang diberikan pada ujung anoda, dioda menjadi bias mundur dan mati. Ketika dioda dibias mundur, tidak ada arus yang mengalir dalam rangkaian. Bentuk gelombang pada Gambar 9-50 menggambarkan kondisi ini. Setengah negatif dari gelombang masukan AC telah dipotong untuk menghasilkan gelombang keluaran DC. Jenis penyearah ini disebut setengah gelombang karena hanya setengah dari bentuk gelombang AC yang digunakan. Tegangan keluaran berdenyut. Itu menyala dan mati, tetapi arah aliran arus tidak pernah berbalik. Karena tegangan output tidak pernah berbalik arah, itu adalah arus searah.

#### Penyearah Gelombang Penuh Fase Tunggal

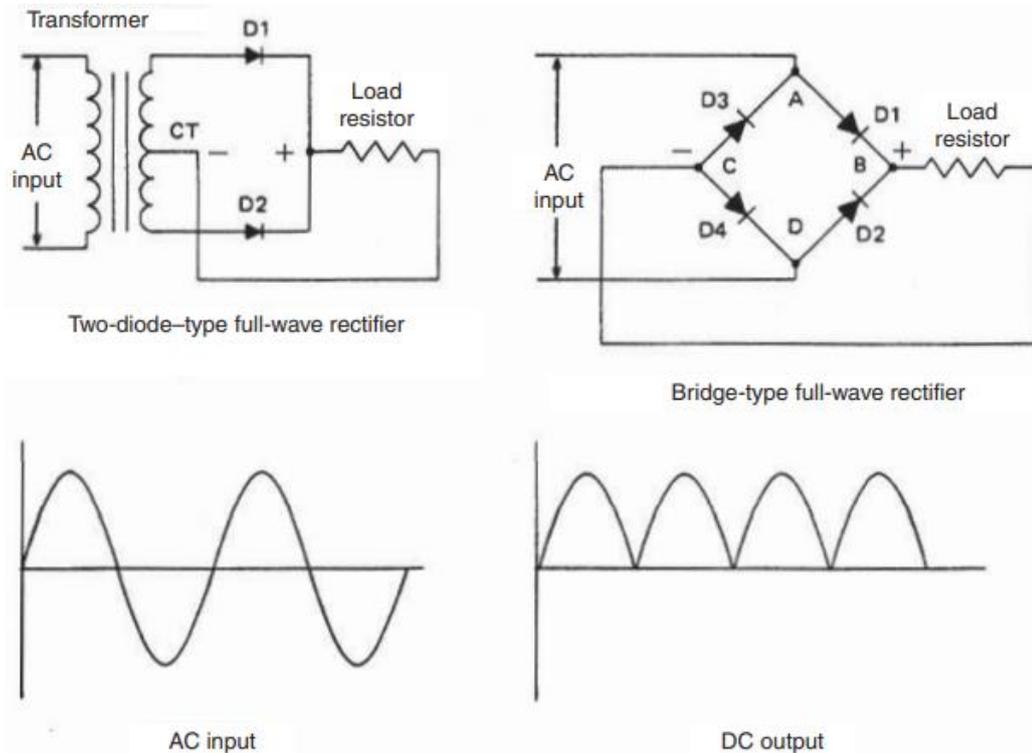
Penyearahan gelombang penuh AC fase tunggal dapat diperoleh dengan menggunakan salah satu dari dua sirkuit. Gambar 9-51 menunjukkan dua jenis penyearah

gelombang penuh ini: tipe dua dioda dan tipe jembatan. Penyearah dua dioda membutuhkan penggunaan transformator yang disadap tengah. Ini adalah yang lebih efisien dari keduanya karena ada penurunan tegangan hanya pada dua dioda, bukan empat. Untuk memahami pengoperasian penyearah ini, asumsikan tegangan yang diberikan pada katoda dioda D1 menjadi negatif, dan tegangan yang diberikan pada katoda dioda D2 menjadi positif. Karena dioda D1 memiliki tegangan negatif yang diterapkan pada katodanya, ia dibias maju dan arus dapat mengalir melaluinya. Dioda D2, bagaimanapun, adalah bias terbalik dan tidak ada arus yang dapat mengalir melaluinya. Arus harus mengalir dari keran tengah transformator, melalui resistor beban, dan menyelesaikan rangkaian melalui dioda D1 kembali ke transformator.

Selama setengah siklus berikutnya dari tegangan AC, tegangan negatif diterapkan ke katoda dioda D2 dan tegangan positif diterapkan ke katoda dioda D1. Dioda D2 sekarang diberi bias maju dan dioda D1 diberi bias mundur. Arus dapat mengalir dari keran tengah transformator, melalui resistor beban, dan kemudian menyelesaikan rangkaian melalui dioda D2 kembali ke transformator. Perhatikan dalam penyearah ini bahwa arus mengalir melalui resistor beban selama kedua setengah siklus tegangan AC. Karena kedua siklus tegangan AC diubah menjadi DC, itu adalah penyearah gelombang penuh.



**GAMBAR 9-50** Penyearah setengah gelombang.



**GAMBAR 9-51** Penyearah gelombang penuh fase tunggal.

Penyearah tipe jembatan memerlukan penggunaan empat dioda, tetapi tidak memerlukan penggunaan transformator sadap tengah. Untuk memahami operasi penyearah jenis ini, asumsikan tegangan yang diterapkan pada titik A penyearah adalah positif, dan tegangan yang diterapkan pada titik D menjadi negatif. Arus dapat mengalir melalui dioda D4 ke titik C penyearah. Karena dioda D3 dibias mundur, arus harus mengalir melalui resistor beban ke titik B penyearah. Arus kemudian mengalir melalui dioda D1 ke titik A dan kembali untuk menyelesaikan rangkaian. Selama setengah siklus berikutnya, tegangan yang diterapkan ke titik A adalah negatif, dan tegangan yang diterapkan ke titik D adalah positif. Arus sekarang dapat mengalir melalui dioda D3 ke titik C penyearah. Karena dioda D4 dibias mundur, arus harus mengalir melalui resistor beban ke titik B penyearah. Pada titik ini, arus mengalir melalui dioda D2 untuk menyelesaikan rangkaian. Perhatikan arus yang mengalir melalui resistor beban selama kedua setengah siklus tegangan AC.

#### Nilai Rata-rata Tegangan

Ketika tegangan AC diubah menjadi tegangan DC, nilai tegangan keluaran DC tidak akan sama dengan tegangan masukan AC. Untuk menentukan tegangan DC keluaran, nilai rata-rata harus ditemukan. Nilai rata-rata tegangan DC untuk penyearah gelombang penuh satu fasa dapat ditentukan dengan mengalikan nilai RMS tegangan AC dengan 0,9 atau nilai puncak dengan 0,637. Asumsikan bahwa 120 volt AC disearahkan dengan penyearah jembatan.

$$E_{(\text{average})} = E_{(\text{RMS})} \times 0.9$$

$$E_{(\text{average})} = 120 \times 0.9$$

$$E_{(\text{average})} = 108 \text{ volts}$$

Nilai tegangan rata-rata juga dapat ditentukan ditambang dengan mengubah nilai RMS menjadi nilai puncak kemudian dikalikan dengan 0,637. Untuk mengubah nilai RMS menjadi nilai puncak, kalikan nilai RMS dengan akar kuadrat dari 2, atau 1,414.

$$E_{(\text{peak})} = E_{(\text{RMS})} \times 1.414$$

$$E_{(\text{peak})} = 120 \times 1.414$$

$$E_{(\text{peak})} = 169.68$$

Sekarang setelah nilai puncak ditentukan, kalikan dengan 0,637.

$$E_{(\text{average})} = 169.68 \times 0.637$$

$$E_{(\text{average})} = 108 \text{ volts}$$

Untuk penyearah setengah gelombang satu fasa membagi jawaban dengan 2.

### Penyearah Tiga Fasa

Sebagian besar industri beroperasi pada daya 3-fase, bukan satu fasa. Bila perlu mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC, umumnya dilakukan dengan penyearah 3 fasa. Ada dua tipe dasar penyearah 3 fasa: penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh. Penyearah setengah gelombang 3-fase ditunjukkan pada Gambar 9-52. Penyearah setengah gelombang 3-fase membutuhkan penggunaan transformator terhubung-wye dengan keran tengah untuk melengkapi rangkaian. Perhatikan bahwa hanya tiga dioda yang digunakan untuk membuat sambungan ini.

Tegangan keluaran DC rata-rata untuk penyearah 3 fasa setengah gelombang adalah 0,827 dari nilai puncak atau 1,169 dari nilai RMS. Saat menentukan nilai rata-rata untuk penyearah 3 fasa setengah gelombang, nilai tegangan fasa harus digunakan. Karena keran tengah dari koneksi wye digunakan sebagai jalur balik, dioda memperbaiki nilai fase alih-alih nilai saluran. Pada rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 9-52, diasumsikan bahwa tegangan saluran keluaran adalah 480 volt. Nilai fase dapat ditentukan dengan membagi nilai garis dengan akar kuadrat dari 3, atau 1,732.

$$E_{(\text{phase})} = \frac{E_{(\text{line})}}{\sqrt{3}}$$

$$E_{(\text{phase})} = \frac{480}{1.732}$$

$$E_{(\text{phase})} = 277.1 \text{ volts}$$

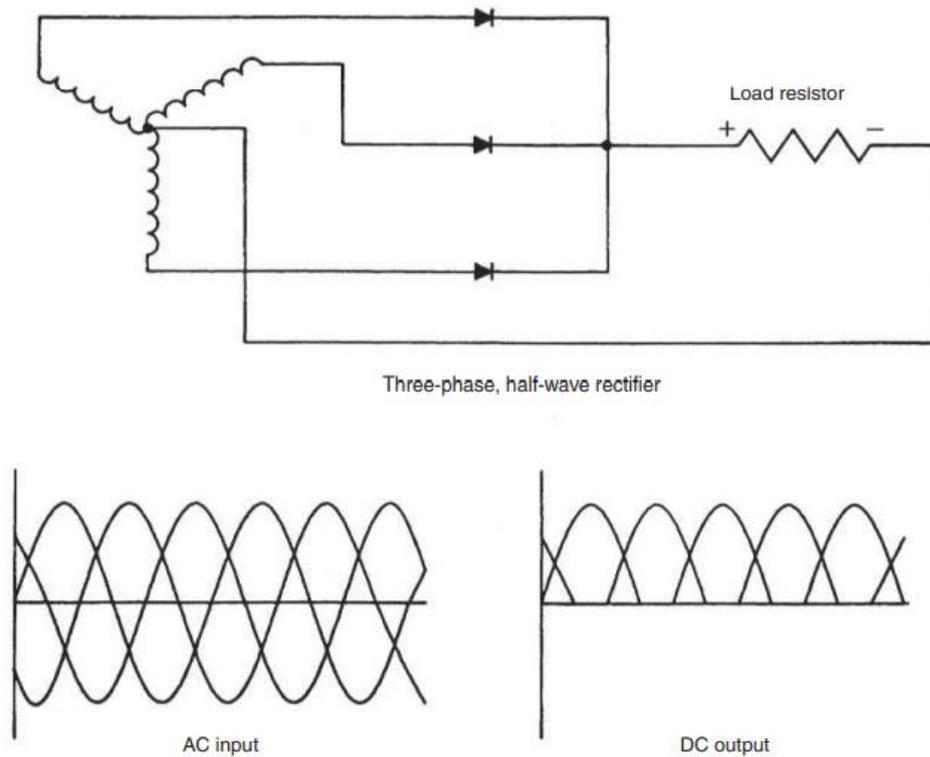
Tegangan DC rata-rata dapat ditentukan dengan mengalikan nilai RMS dengan 1,169.

$$E_{(\text{average})} = E_{(\text{RMS})} \times 1.169$$

$$E_{(\text{average})} = 277.1 \times 1.169$$

$$E_{(\text{average})} = 323.9 \text{ volts}$$

Nilai tegangan rata-rata juga dapat ditentukan dengan mengubah nilai RMS menjadi nilai puncak kemudian dikalikan dengan 0,827.



**GAMBAR 9-52** Penyearah setengah gelombang tiga fasa.

$$E_{(\text{Peak})} = E_{(\text{RMS})} \times 1.414$$

$$E_{(\text{Peak})} = 277.1 \times 1.414$$

$$E_{(\text{Peak})} = 391.8$$

Sekarang setelah nilai puncak ditentukan, kalikan dengan 0,827.

$$E_{(\text{Average})} = 391.8 \times 0.827$$

$$E_{(\text{Average})} = 324 \text{ volts}$$

Sedikit perbedaan dalam jawaban disebabkan oleh pembulatan nilai.

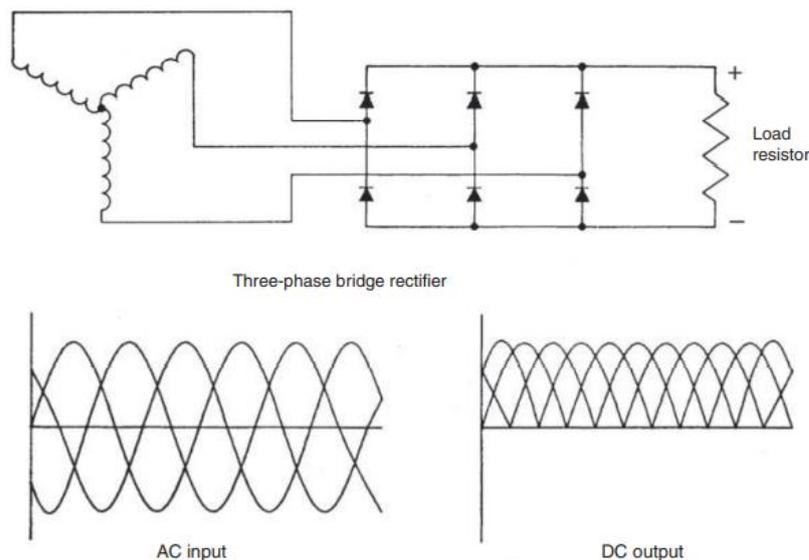
Penyearah 3 fase gelombang penuh ditunjukkan pada Gambar 9-53. Penyearah ini tidak memerlukan penggunaan trafo terhubung wye dengan center tap, sehingga dapat digunakan dengan sistem terhubung wye atau delta. Penyearah ini, bagaimanapun, membutuhkan penggunaan enam dioda. Tegangan keluaran DC rata-rata untuk penyearah ini adalah 0,955 dari nilai puncak atau 1,35 dari nilai RMS. Jika tegangan AC yang diterapkan pada penyearah ini memiliki nilai saluran 208 volt, tegangan DC keluaran akan menjadi 280,8 volt ( $208 \times 1,35$ ). Faktor perkalian untuk menentukan nilai rata-rata untuk penyearah satu fasa dan tiga fasa ditunjukkan pada Tabel 9-6.

**TABEL 9-6** Faktor perkalian tegangan rata-rata.

SINGLE PHASE	THREE PHASE
Full Wave RMS—multiply by 0.9 Peak—multiply by 0.637	Full Wave RMS—multiply by 1.35 Peak—multiply by 0.955
Half Wave RMS—multiply by 0.45 Peak—multiply by 0.3185	Half Wave RMS—multiply by 1.169 Peak—multiply by 0.827

### Penyearah Terkendali Silikon

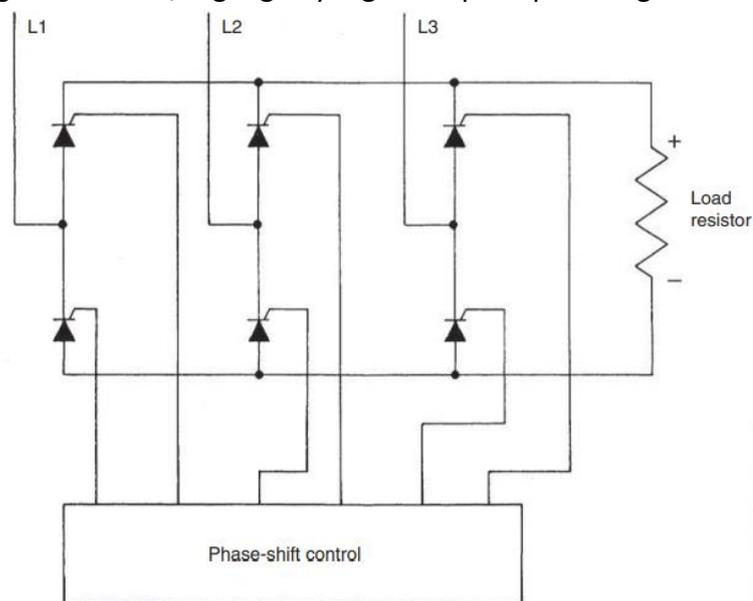
Ketika jumlah tegangan keluaran DC harus bervariasi, penyearah yang dikontrol silikon (SCR) umumnya digunakan sebagai pengganti dioda. Alasan untuk ini adalah bahwa SCR dapat dihidupkan pada titik yang berbeda selama bentuk gelombang AC diterapkan padanya. Hal ini memungkinkan tegangan keluaran divariasikan dari 0 volt hingga tegangan keluaran penuh dari catu daya. Inti dari pengontrol SCR adalah kontrol pergeseran fasa. Kontrol pergeseran fasa menentukan kapan SCR menyala selama siklus tegangan AC yang diterapkan padanya. Penyearah jembatan 3-fase menggunakan SCR dan kontrol pergeseran fasa ditunjukkan pada Gambar 9-54. Diagram dasar sistem kontrol SCR untuk motor DC ditunjukkan pada Gambar 9-55. Perhatikan bahwa semua kontrol sensor terhubung ke kontrol pergeseran fasa. Kontrol operator memungkinkan operator untuk menentukan jumlah tegangan output yang akan diterapkan pada angker motor. Ini pada gilirannya menentukan kecepatan motor.

**GAMBAR 9-53** Penyearah gelombang penuh tiga fasa.

Kontrol kegagalan medan merasakan aliran arus melalui medan shunt motor. Jika arus medan shunt harus turun di bawah tingkat yang telah ditentukan, sinyal dikirim ke kontrol pergeseran fasa, yang mematikan SCR. Kontrol batas arus merasakan arus input ke pengontrol. Jika jumlah arus yang telah ditentukan harus dirasakan, kontrol pergeseran fasa tidak akan mengizinkan SCR untuk menyala lebih banyak dan menghasilkan lebih banyak aliran

arus. Ini dirancang untuk mencegah kerusakan pada motor dan pengontrol jika motor mengalami korsleting atau mati.

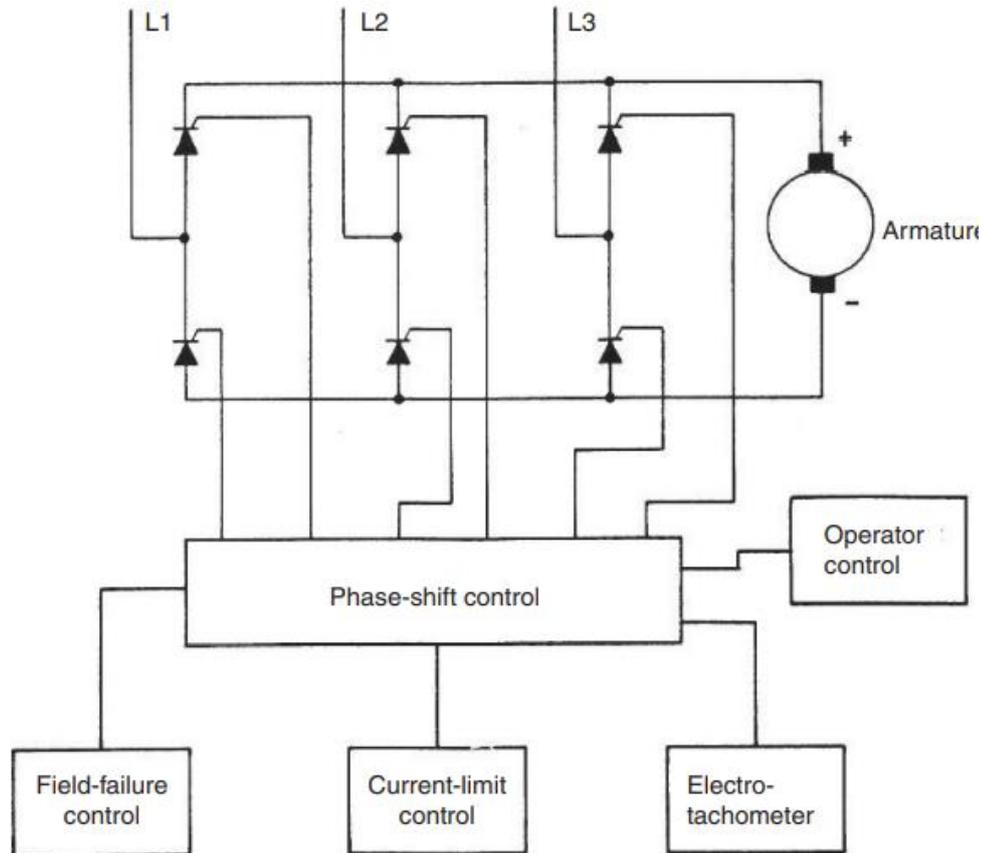
Elektrotachometer terhubung ke poros motor. Fungsinya untuk merasakan kecepatan motor. Jika kecepatan motor harus menurun, sinyal dikirim ke kontrol pergeseran fasa, dan SCR menyala lebih banyak untuk memberikan lebih banyak tegangan ke angker motor. Jika kecepatan motor harus meningkat, kontrol pergeseran fasa akan menyebabkan SCR menyala lebih sedikit; dengan demikian, tegangan yang diterapkan pada angker akan berkurang.



**GAMBAR 9-54** Penyearah tiga fasa menggunakan SCR.

### 9.12 Penggerak Frekuensi-Variabel

Meskipun motor DC masih digunakan di banyak industri, mereka digantikan oleh penggerak frekuensi variabel yang mengendalikan motor induksi sangkar-tupai. Kelebihan motor DC dibandingkan motor AC adalah kecepatan motor DC dapat diatur. Meskipun motor induksi rotor belitan memungkinkan beberapa derajat kontrol kecepatan, motor ini tidak memiliki karakteristik torsi motor DC. Motor arus searah dapat mengembangkan torsi maksimum pada 0 RPM. Penggerak frekuensi variabel dapat memberikan kontrol kecepatan dan karakteristik torsi yang sama ini ke motor induksi sangkar-tupai. Penggerak frekuensi-variabel dan motor sangkar-tupai AC lebih murah untuk dibeli daripada penggerak DC dan motor DC yang sebanding. Drive frekuensi-variabel dan motor sangkar-tupai memiliki masalah waktu henti dan perawatan yang lebih sedikit daripada drive DC dan motor DC.



**GAMBAR 9-55** Unit kontrol pergeseran fasa menentukan tegangan keluaran.

### Prinsip Pengoperasian Drive Frekuensi-Variabel

Prinsip operasi semua motor AC polifase adalah medan magnet yang berputar. Kecepatan medan putar disebut kecepatan sinkron dan dikendalikan oleh dua faktor: frekuensi tegangan yang diberikan dan jumlah kutub stator. Tabel 9-7 mencantumkan kecepatan sinkron untuk jumlah kutub yang berbeda pada frekuensi yang berbeda. Drive frekuensi variabel mengontrol kecepatan motor dengan mengontrol frekuensi daya yang disuplai ke motor.

### Pertimbangan Tegangan dan Arus

Faktor kritis yang harus dipertimbangkan ketika frekuensi memasok beban motor berkurang adalah arus lebih. Arus motor dibatasi oleh reaktansi induktif dari belitan stator, dan reaktansi induktif sebanding dengan frekuensi yang diterapkan pada induktor.

$$X_L = 2\pi fL$$

Jika frekuensi dikurangi, reaktansi induktif akan berkurang juga. Untuk mengatasi masalah ini, tegangan harus dikurangi secara proporsional dengan frekuensi.

**TABEL 9-7** Kecepatan medan magnet berputar untuk kutub dan frekuensi yang berbeda.

POLES	FREQUENCY IN HERTZ					
	60	50	40	30	20	10
2	3600	3000	2400	1800	1200	600
4	1800	1500	1200	900	600	300
6	1200	1000	800	600	400	200
8	900	750	600	450	300	150

Jika sebuah motor beroperasi pada 480 volt pada 60 hertz, tegangan harus dikurangi menjadi 400 volt ketika frekuensi diturunkan menjadi 50 hertz, 320 volt pada frekuensi 40 hertz, 240 volt pada frekuensi 30 hertz, dan seterusnya.

### **Konstruksi Dasar Penggerak Frekuensi-Variabel**

Kebanyakan penggerak frekuensi variabel beroperasi dengan terlebih dahulu mengubah tegangan AC menjadi DC dan kemudian mengubahnya kembali ke AC pada frekuensi yang diinginkan. Ada beberapa metode yang digunakan untuk mengubah kembali tegangan DC menjadi AC. Metode yang digunakan umumnya ditentukan oleh pabrikan, usia peralatan, dan ukuran motor yang harus dikendalikan oleh penggerak. Penggerak frekuensi variabel yang dimaksudkan untuk mengontrol kecepatan motor hingga 500 tenaga kuda umumnya menggunakan transistor. Dalam rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 9-56, jembatan satu fasa mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah.

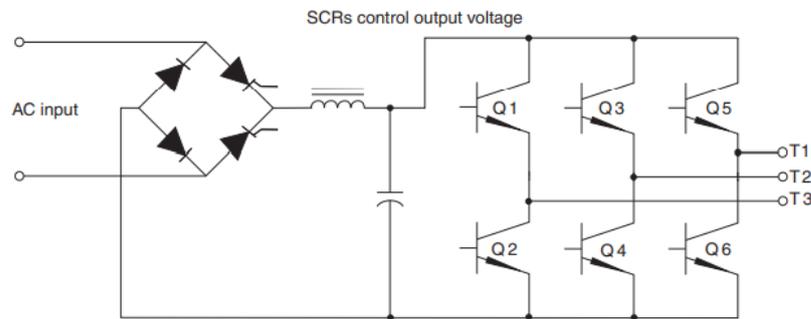
Penyearah jembatan menggunakan dua SCR dan dua dioda. SCR mengizinkan tegangan keluaran penyearah untuk dikontrol. Saat frekuensi menurun, SCR menyala kemudian dalam siklus dan menurunkan tegangan output ke transistor. Koil choke dan bank kapasitor digunakan untuk menyaring tegangan keluaran sebelum transistor Q1 sampai Q6 mengubah tegangan DC kembali menjadi AC. Unit kontrol elektronik terhubung ke basis transistor Q1 hingga Q6. Unit kontrol mengubah tegangan DC kembali menjadi arus bolak-balik 3 fase dengan menyalakan atau mematikan transistor pada waktu yang tepat dan dalam urutan yang tepat. Asumsikan, misalnya, transistor Q1 dan Q4 dinyalakan pada saat yang bersamaan. Hal ini memungkinkan belitan stator T3 dihubungkan ke tegangan positif dan T2 dihubungkan ke tegangan negatif. Arus dapat mengalir melalui Q4 ke T2, melalui belitan stator motor dan melalui T3 ke Q1.

Sekarang asumsikan bahwa transistor Q1 dan Q4 dimatikan dan transistor Q3 dan Q6 dihidupkan. Arus sekarang akan mengalir melalui Q6 ke belitan stator T1, melalui motor ke T2, dan melalui Q3 ke positif catu daya. Karena transistor dihidupkan atau dimatikan sepenuhnya, bentuk gelombang yang dihasilkan adalah gelombang persegi, bukan gelombang sinus, Gambar 9-57. Motor induksi akan beroperasi pada gelombang persegi tanpa masalah besar. Beberapa pabrikan merancang unit yang akan menghasilkan gelombang bertahap, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-58. Bentuk gelombang bertahap digunakan karena lebih mendekati gelombang sinus.

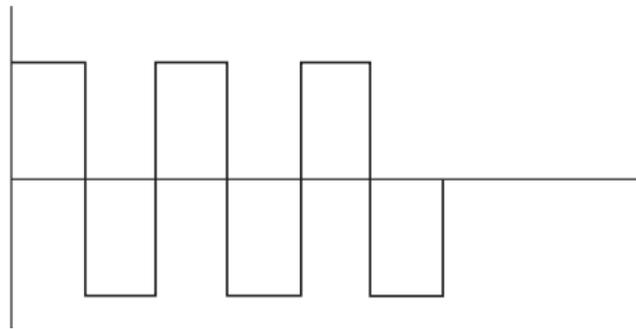
### **Beberapa Masalah Terkait**

Sirkuit yang diilustrasikan pada Gambar 9-56 menggunakan penggunaan SCR dalam catu daya dan transistor sambungan pada tahap keluaran. Catu daya SCR mengontrol

tegangan output dengan memotong bentuk gelombang yang masuk. Hal ini dapat menyebabkan harmonik pada saluran yang menyebabkan panas berlebih pada transformator dan motor, dan dapat menyebabkan sekering putus dan pemutus arus putus. Ketika transistor sambungan bipolar digunakan sebagai sakelar, transistor tersebut umumnya didorong ke saturasi dengan mensuplainya dengan jumlah arus basis-emitor yang berlebihan. Menjenuhkan transistor menyebabkan tegangan kolektor-emitor turun menjadi antara 0,04 dan 0,03 volt.



**GAMBAR 9-56** Skema dasar penggerak kecepatan variabel.



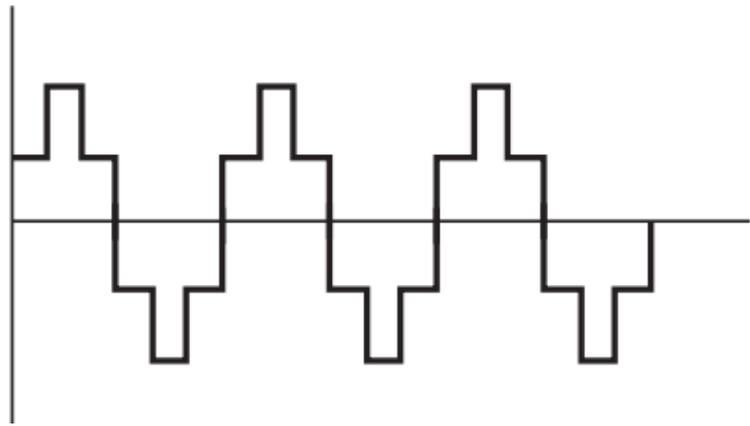
**GAMBAR 9-57** Bentuk gelombang tegangan gelombang persegi.

Penurunan tegangan yang kecil ini memungkinkan transistor untuk mengontrol arus dalam jumlah besar tanpa rusak. Namun, ketika transistor didorong ke saturasi, ia tidak dapat pulih atau mati secepat biasanya. Ini sangat membatasi respons frekuensi transistor.

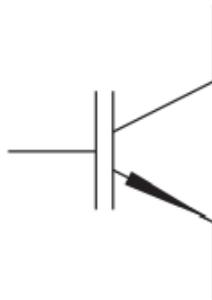
### 9.13 Transistor Bipolar Gerbang Terisolasi (Igbt)

Banyak penggerak variabel yang dikendalikan transistor sekarang menggunakan jenis transistor khusus yang disebut transistor bipolar gerbang terisolasi (IGBT). IGBT memiliki gerbang terisolasi yang sangat mirip dengan beberapa jenis transistor efek medan (FET). Karena gerbang terisolasi, ia memiliki impedansi yang sangat tinggi. IGBT adalah perangkat yang dikendalikan tegangan, bukan perangkat yang dikendalikan arus. Ini memberinya kemampuan untuk mematikan dengan sangat cepat. IGBT dapat didorong ke saturasi untuk memberikan penurunan tegangan yang sangat rendah antara emitor dan kolektor, tetapi mereka tidak mengalami waktu pemulihan yang lambat dari transistor sambungan umum. Simbol skema untuk IGBT ditunjukkan pada Gambar 9-59. Drive yang menggunakan IGBT umumnya menggunakan dioda untuk menyearahkan tegangan AC menjadi DC, bukan SCR, Gambar 9-60.

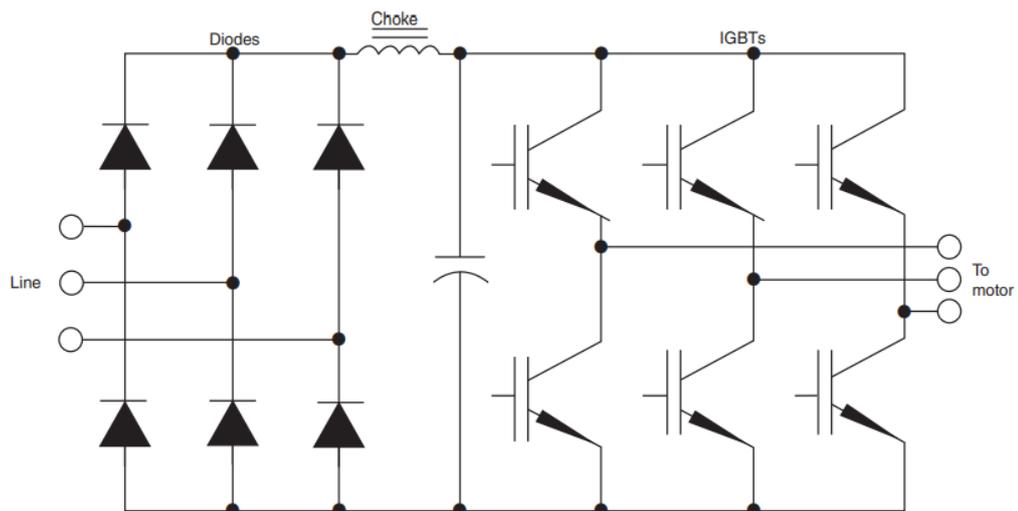
Penyearah 3-fase memasok tegangan DC konstan ke transistor. Tegangan keluaran ke motor dikendalikan oleh modulasi lebar pulsa (PWM). PWM dilakukan dengan menghidupkan dan mematikan transistor beberapa kali selama setiap setengah siklus, Gambar 9-61. Tegangan keluaran adalah rata-rata dari tegangan puncak atau maksimum dan jumlah waktu transistor dihidupkan atau dimatikan. Asumsikan bahwa 480 volt, AC 3-fase disearahkan ke DC dan disaring. Tegangan DC yang diterapkan pada IGBT adalah sekitar 630 volt. Tegangan output ke motor dikendalikan oleh switching transistor. Asumsikan transistor hidup selama 10 mikrodetik dan mati selama 20 mikrodetik. Dalam contoh ini, transistor menyala selama sepertiga waktu dan mati selama dua pertiga waktu. Tegangan yang diterapkan pada motor akan menjadi 210 volt ( $630/3$ ).



**GAMBAR 9-58** Bentuk gelombang bertahap mendekati gelombang sinus.



**GAMBAR 9-59** Simbol skema untuk IGBT.

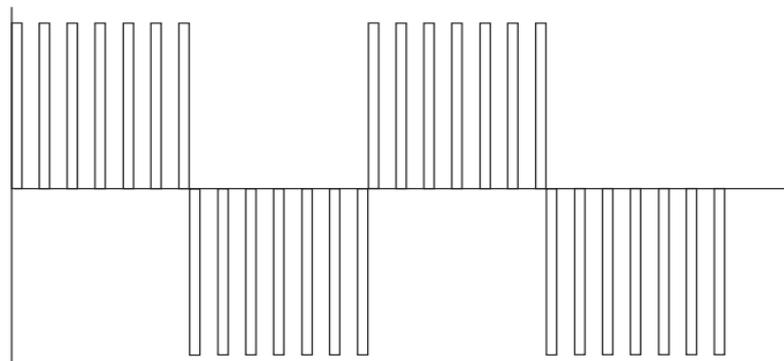


**GAMBAR 9-60** Penggerak frekuensi-variabel menggunakan IGBT dengan dioda dalam penyearah, bukan SCR.

**Keuntungan dan Kerugian Drive IGBT**

Keuntungan besar dari drive yang menggunakan IGBT adalah kenyataan bahwa SCR umumnya tidak digunakan dalam catu daya dan ini sangat mengurangi masalah dengan harmonisa saluran.

Kerugian terbesar adalah bahwa tingkat switching transistor yang cepat dapat menyebabkan lonjakan tegangan pada kisaran 1600 volt untuk diterapkan pada motor. Lonjakan tegangan ini dapat merusak beberapa motor. Panjang jalur dari drive ke motor sangat diperhatikan dengan drive yang menggunakan IGBT. Semakin pendek panjang garis, semakin baik.



**GAMBAR 9-61** PWM dilakukan dengan menghidupkan dan mematikan tegangan beberapa kali selama setiap setengah siklus.

**Motor dengan Nilai Inverter**

Karena masalah lonjakan tegangan yang berlebihan yang disebabkan oleh penggerak IGBT, beberapa pabrikan memproduksi motor yang “berperingkat inverter”. Motor ini dirancang khusus untuk dioperasikan oleh penggerak frekuensi variabel. Mereka berbeda dari motor standar dalam beberapa hal:

1. Banyak motor dengan rating inverter memiliki blower terpisah untuk menyediakan pendinginan terus menerus untuk motor terlepas dari kecepatannya. Banyak motor menggunakan kipas yang terhubung ke poros motor untuk membantu menarik udara melalui motor. Saat kecepatan motor dikurangi, kipas tidak dapat mempertahankan aliran udara yang cukup untuk mendinginkan motor.
2. Motor dengan nilai inverter umumnya memiliki kertas isolasi antara belitan dan inti stator, Gambar 9-62. Paku tegangan tinggi menghasilkan arus tinggi yang menghasilkan medan magnet tinggi. Peningkatan medan magnet ini menyebabkan belitan motor bergerak. Gerakan ini pada akhirnya dapat menyebabkan isolasi kabel menjadi aus dan menghasilkan belitan motor yang diarde.
3. Motor dengan nilai inverter umumnya memiliki kertas fasa yang ditambahkan ke ujung terminal. Kertas fasa adalah kertas isolasi yang ditambahkan ke ujung terminal yang keluar dari motor. Paku tegangan tinggi mempengaruhi ujung awal koil lebih banyak daripada kabel di dalam koil. Kumparan adalah induktor yang secara alami menentang

- perubahan arus. Sebagian besar tegangan isolasi yang disebabkan oleh lonjakan tegangan tinggi terjadi pada awal belitan.
4. Kawat magnet yang digunakan dalam konstruksi belitan motor memiliki nilai insulasi yang lebih tinggi daripada motor lain.
  5. Ukuran casing lebih besar dari kebanyakan motor 3-fase. Ukuran casing lebih besar karena penambahan kertas isolasi antara belitan dan inti stator. Selain itu, ukuran casing yang lebih besar membantu mendinginkan motor dengan menyediakan area permukaan yang lebih besar untuk pembuangan panas.

### **Drive Frekuensi Variabel Menggunakan SCR dan GTO**

Penggerak frekuensi variabel yang dimaksudkan untuk mengendalikan motor lebih dari 500 tenaga kuda umumnya menggunakan SCR atau perangkat turnoff gerbang (GTO). GTO mirip dengan SCR kecuali bahwa konduksi melalui GTO dapat dihentikan dengan menerapkan tegangan negatif, negatif terhadap katoda, ke gerbang. SCR dan GTO adalah thyristor dan memiliki kemampuan untuk menangani jumlah arus yang lebih besar daripada transistor. Contoh rangkaian satu fasa yang digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC dengan SCR ditunjukkan pada Gambar 9-63.

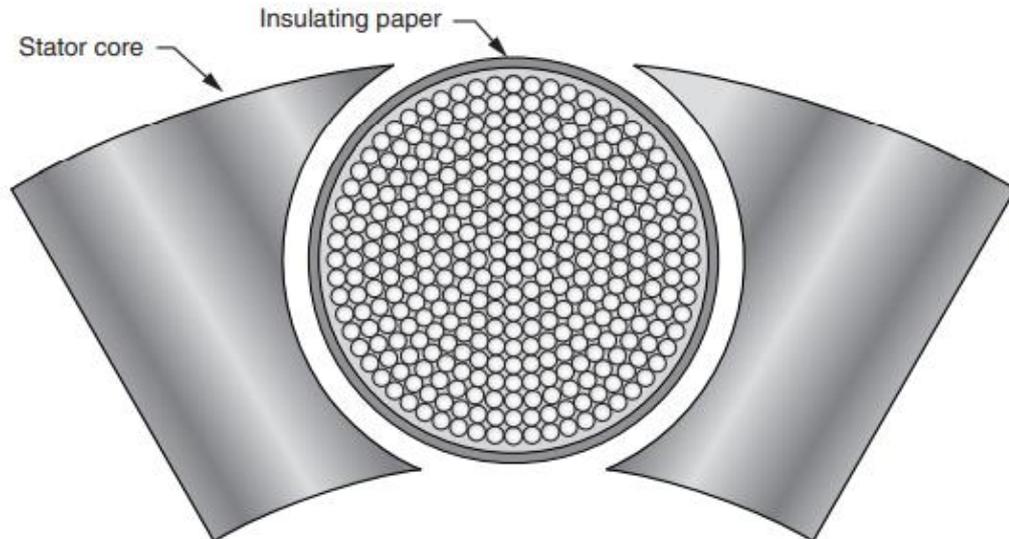
Di sirkuit ini, SCR terhubung ke unit kontrol yang mengontrol urutan dan kecepatan gerbang SCR. Rangkaian dibuat sedemikian rupa sehingga SCRs A dan A' di-gate pada waktu yang sama dan SCRs B dan B' di-gate pada waktu yang sama. Induktor L1 dan L2 digunakan untuk menyaring dan membentuk gelombang. Dioda D1 sampai D4 adalah dioda penjepit dan digunakan untuk mencegah tegangan keluaran menjadi berlebihan. Kapasitor C1 digunakan untuk mematikan satu set SCR ketika set lainnya di-gate on. Kapasitor ini harus menjadi kapasitor AC sejati karena akan dibebankan ke polaritas alternatif setiap setengah siklus. Dalam konverter yang dimaksudkan untuk menangani daya dalam jumlah besar, kapasitor C1 akan menjadi kumpulan kapasitor.

Untuk memahami operasi rangkaian, asumsikan bahwa SCR A dan A' memiliki gerbang pada saat yang bersamaan. Arus akan mengalir melalui rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-64. Perhatikan arah aliran arus melalui beban dan kapasitor C1 telah diisi dengan polaritas yang ditunjukkan. Ketika sebuah SCR di-on-kan, SCR hanya dapat dimatikan dengan membiarkan aliran arus melalui bagian anoda-katoda turun di bawah level tertentu yang disebut level arus holding. Selama arus terus mengalir melalui anoda-katoda, SCR tidak akan mati.

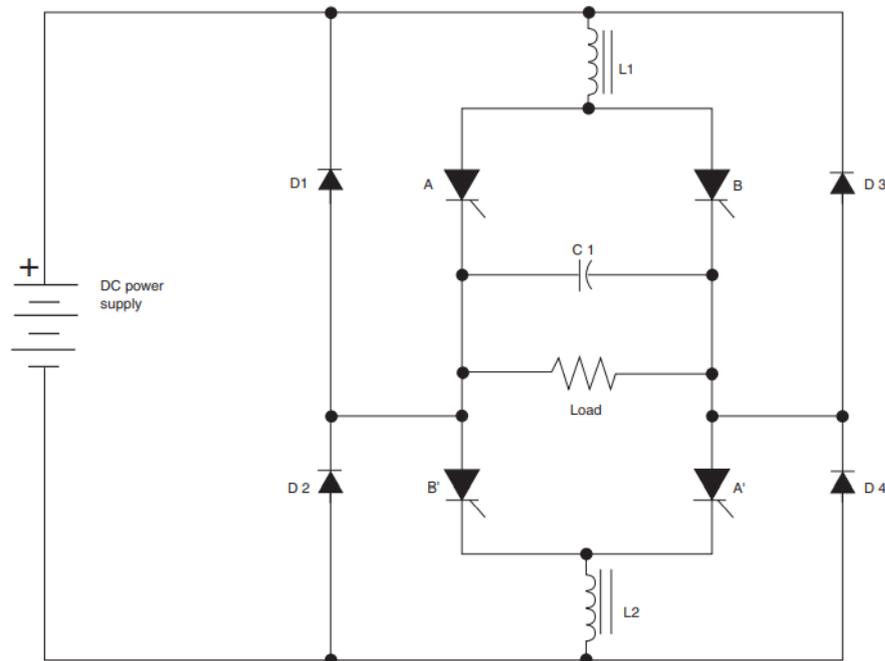
Sekarang asumsikan bahwa SCRs B dan B' dihidupkan. Karena SCR A dan A' masih dihidupkan, dua jalur arus sekarang ada melalui rangkaian. Muatan positif pada kapasitor C1, bagaimanapun, menyebabkan elektron negatif untuk melihat jalur yang lebih mudah. Arus akan mengalir deras untuk mengisi kapasitor ke polaritas yang berlawanan, menghentikan arus yang mengalir melalui SCR A dan A', memungkinkan mereka untuk mati. Arus sekarang mengalir melalui SCR B dan B' dan mengisi kapasitor dengan polaritas yang berlawanan, Gambar 9-65. Perhatikan bahwa arus sekarang mengalir melalui beban dalam arah yang berlawanan, yang menghasilkan arus bolak-balik melintasi beban.

Untuk menghasilkan setengah siklus berikutnya dari arus AC, SCR A dan A' diaktifkan kembali. Sisi kapasitor yang bermuatan positif sekarang akan menyebabkan arus berhenti

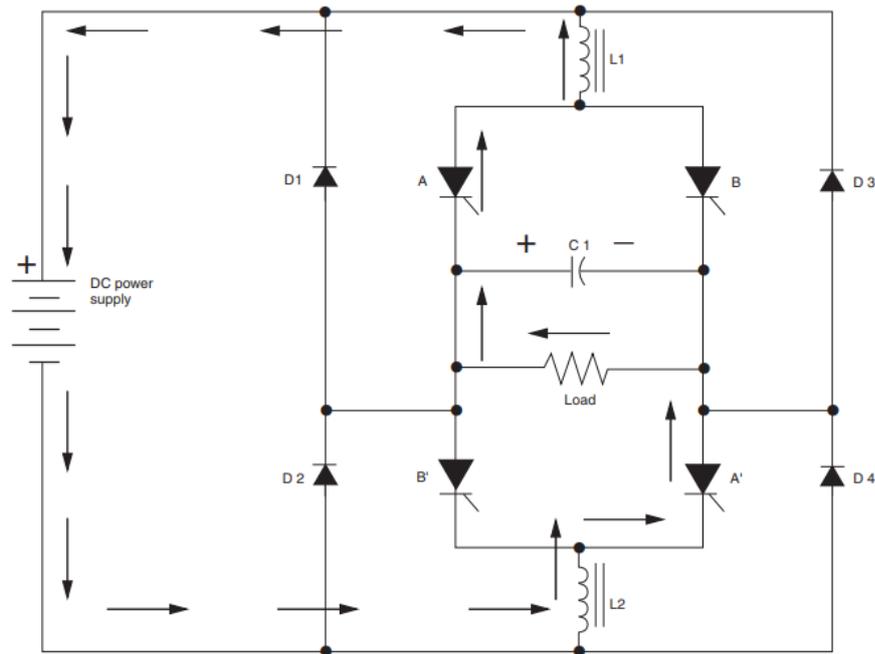
mengalir melalui SCRs B dan B' yang memungkinkan mereka untuk mati. Arus kembali mengalir melalui beban ke arah yang ditunjukkan pada Gambar 9-64. Frekuensi sirkuit ditentukan oleh tingkat di mana SCRs di-gate.



**GAMBAR 9-62** Kertas berinsulasi ditempatkan di antara belitan dan rangka stator.



**GAMBAR 9-63** Mengubah DC ke AC menggunakan SCR.

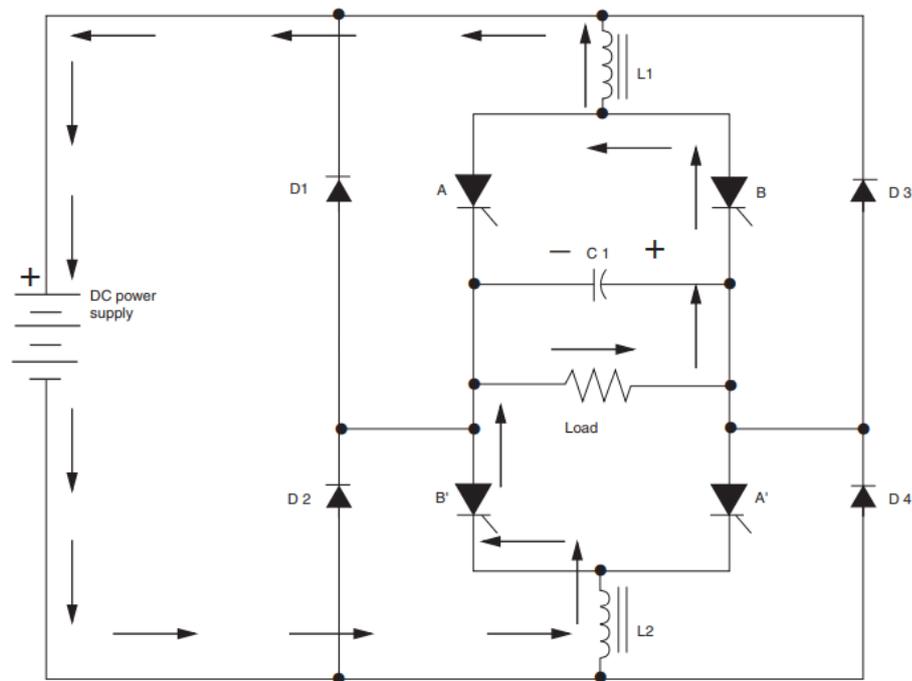


**GAMBAR 9-64** Arus mengalir melalui SCRs A dan A'.

### Fitur Kontrol Frekuensi Variabel

Meskipun tujuan utama dari penggerak frekuensi variabel adalah untuk menyediakan kontrol kecepatan untuk motor AC, sebagian besar penggerak menyediakan fungsi yang tidak dimiliki oleh jenis kontrol lainnya. Banyak penggerak frekuensi variabel dapat memberikan torsi kecepatan rendah yang sangat diinginkan pada motor DC. Fitur inilah yang memungkinkan motor sangkar-tupai AC menggantikan motor DC untuk banyak aplikasi. Banyak penggerak frekuensi variabel juga menyediakan batas arus dan pengaturan kecepatan otomatis untuk motor. Batas arus umumnya dicapai dengan menghubungkan trafo arus ke input penggerak dan merasakan peningkatan arus saat beban ditambahkan. Pengaturan kecepatan dicapai dengan merasakan kecepatan motor dan memasukkan informasi ini kembali ke drive.

Fitur lain dari penggerak frekuensi variabel adalah kontrol akselerasi dan deselerasi, kadang-kadang disebut ramping. Raming digunakan untuk mempercepat atau memperlambat motor selama beberapa periode waktu. Raming memungkinkan motor untuk membawa beban ke kecepatan secara perlahan sebagai lawan hanya menghubungkan motor langsung ke saluran. Bahkan jika kontrol kecepatan diatur pada posisi maksimum saat tombol start ditekan, kemiringan memungkinkan motor untuk mempercepat beban dari nol ke RPM maksimumnya selama beberapa detik. Fitur ini dapat menjadi keuntungan nyata untuk beberapa jenis beban, terutama beban penggerak roda gigi. Di beberapa unit jumlah waktu akselerasi dan deselerasi dapat disesuaikan dengan mengatur potensiometer pada papan kontrol utama. Unit lain sepenuhnya dikontrol secara digital dan waktu akselerasi dan deselerasi diprogram ke dalam memori komputer.



**GAMBAR 9-65** Arus mengalir melalui SCR's B dan B'.

Beberapa penyesuaian lain yang biasanya dapat diatur dengan mengubah potensiometer atau memprogram unit adalah sebagai berikut:

**Batas arus:** Kontrol ini menetapkan jumlah arus maksimum yang diizinkan untuk disalurkan oleh drive ke motor.

**Volts per hertz:** Ini menetapkan rasio perubahan tegangan saat frekuensi meningkat atau menurun.

**Hertz maksimum:** Kontrol ini mengatur kecepatan maksimum motor. Sebagian besar motor dimaksudkan untuk beroperasi antara 0 dan 60 hertz, tetapi beberapa penggerak mengizinkan frekuensi keluaran diatur di atas 60 hertz, yang akan memungkinkan motor beroperasi pada kecepatan yang lebih tinggi dari normal. Kontrol hertz maksimum juga dapat diatur untuk membatasi frekuensi keluaran ke nilai kurang dari 60 hertz, yang akan membatasi kecepatan motor ke nilai yang kurang dari normal.

**Hertz minimum:** Ini menetapkan kecepatan minimum yang diizinkan untuk dijalankan oleh motor.

Beberapa penggerak frekuensi variabel mengizinkan penyetelan batas arus, kecepatan maksimum dan minimum, waktu ramping, dan seterusnya, dengan penyetelan resistor trim yang terletak di papan kontrol utama. Drive lain menggunakan mikroprosesor sebagai pengontrol. Nilai batas arus, kecepatan, waktu ramping, dan sebagainya, untuk penggerak ini diprogram ke dalam unit dan jauh lebih mudah dibuat dan umumnya lebih akurat daripada menyetel resistor trim. Drive frekuensi variabel ditunjukkan pada Gambar 9-66.



**GAMBAR 9-66** Drive-frekuensi variabel.

#### 9.14 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditunjukkan secara rinci, dan referensi Kode harus dikutip bila perlu.

1. Apa sumber daya listrik untuk rangkaian cabang motor?
2. Apa yang memberikan perlindungan sirkuit cabang, dan di mana letaknya?
3. Informasi apa yang diperlukan untuk memilih perlindungan sirkuit cabang motor dengan ukuran yang benar?
4. Berapa arus beban penuh dari motor 15-tenaga kuda, 3-fase, 480 volt yang beroperasi dengan efisiensi 85% dan faktor daya 75%?
5. Berapa nilai arus yang akan digunakan untuk mengukur proteksi arus lebih rangkaian cabang motor yang dijelaskan pada pertanyaan sebelumnya?
6. Jelaskan konstruksi motor sangkar-tupai.
7. Jelaskan konstruksi motor rotor belitan.
8. Mendeskripsikan konstruksi motor DC.
9. Berapakah kecepatan sinkron dari motor 8 kutub 50 hertz?
10. Jelaskan pengoperasian starter saluran.
11. Jelaskan pengoperasian starter resistansi primer.
12. Jelaskan pengoperasian starter autotransformator.
13. Rangkaian kontrol untuk starter autotransformator ditunjukkan pada Gambar 9-15. Jelaskan apa yang terjadi ketika tombol start ditekan.
14. Diagram koneksi untuk penyearah gelombang penuh tipe jembatan ditunjukkan pada Gambar 9-51. Jelaskan jalur arus baik untuk input AC positif dan negatif.
15. Apa prinsip pengoperasian semua motor polifase?
16. Apa dua faktor yang menentukan kecepatan medan sinkron?
17. Ketika frekuensi yang diterapkan ke motor berkurang, apa yang harus dilakukan untuk mencegah arus berlebih ke motor?

## BAB 10

### INSTALASI MOTOR

#### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- menentukan nilai ampere berbagai motor menggunakan NEC.
- menentukan ukuran konduktor untuk memasang motor tunggal.
- menentukan ukuran konduktor untuk instalasi multimotor.
- menentukan ukuran beban lebih untuk berbagai motor.
- menentukan ukuran sekering atau pemutus arus untuk instalasi motor tunggal.
- menentukan ukuran sekering atau pemutus arus untuk instalasi multimotor.

#### 10.1 Data Pelat Nama Motor

Salah satu sumber informasi utama tentang motor adalah pelat nama. Asosiasi Produsen Listrik Nasional menetapkan bahwa setiap pelat nama motor harus mencantumkan item tertentu seperti ini:

- Nama pabrikan
- Tegangan terukur
- Arus beban penuh
- Frekuensi
- Jumlah fase
- Kecepatan beban penuh
- Kenaikan suhu atau kelas sistem insulasi
- Tugas atau peringkat waktu
- Tenaga kuda
- Rotor terkunci menunjukkan huruf kode
- Faktor layanan
- Ukuran bingkai
- Efisiensi
- Kode desain NEMA

Perlu dicatat bahwa tidak semua pabrikan motor memenuhi spesifikasi NEMA, dan pelat nama mereka mungkin atau mungkin tidak berisi semua informasi yang ditentukan oleh NEMA. Dalam beberapa kasus, informasi yang tidak ditentukan oleh NEMA juga dapat dicantumkan pada papan nama. Sebuah pelat nama motor khas ditunjukkan pada Gambar 10-1. Setiap item pada papan nama akan dibahas.

#### Nama Pabrikan

Ini daftar pabrikan motor.

#### Daya kuda

Motor memiliki tingkat tenaga kuda yang ditentukan oleh jumlah torsi yang dapat mereka hasilkan pada kecepatan tertentu di bawah beban penuh. Tenaga kuda yang

*Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)*

tercantum pada papan nama dalam contoh ini adalah 1 tenaga kuda. Ketika James Watt menemukan mesin uap, dia perlu menilai kekuatannya dengan cara yang dapat dipahami oleh kebanyakan orang. Melalui eksperimen, ia menentukan bahwa kuda rata-rata dapat mengangkat 550 pon 1 kaki dalam 1 detik, atau 1000 pon 33 kaki dalam 1 menit. Oleh karena itu, definisi tenaga kuda adalah

$$Hp = \text{Ft-lb per menit}/33.000$$

atau

$$Hp = \text{Ft-lb per detik}/550$$

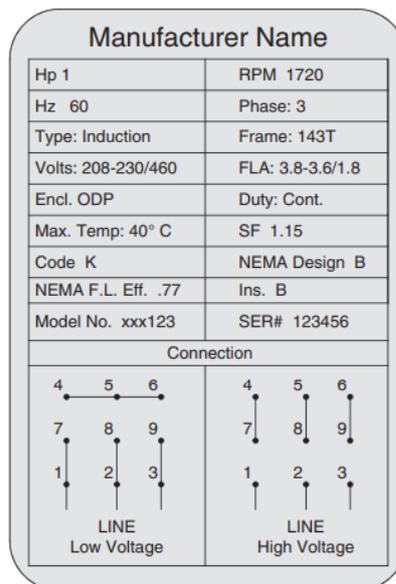
Torsi adalah gaya puntir atau putaran yang dihasilkan oleh motor. Itu dinilai dalam kaki-pon atau inci-pon, tergantung pada motor. Horsepower dan torsi terkait seperti yang ditunjukkan oleh rumus:

$$Hp = (\text{Torsi} \times \text{Kecepatan})/\text{Konstanta}$$

Jika torsi diberikan dalam kaki-pon, konstanta adalah 5252 ( $33.000/2\pi$ ). Jika torsi diberikan dalam inci-pon, konstanta adalah 63.025 ( $5252 \times 12$ ). Peringkat tenaga kuda NEMA standar ditunjukkan pada Gambar 10-2.

### Revolusi per Menit (RPM)

RPM menunjukkan kecepatan dalam putaran per menit bahwa motor akan berjalan pada peringkat beban penuh. Motor akan berjalan lebih cepat pada beban ringan atau tanpa beban. Papan nama menunjukkan bahwa motor akan memiliki kecepatan 1720 RPM saat motor berada di bawah beban penuh.



**GAMBAR 10-1** Papan nama motor tipikal.

1	30	300	1250
1½	40	350	1500
2	50	400	1750
3	60	450	2000
5	75	500	2250
7½	100	600	2500
10	125	700	3000
15	150	800	3500
20	200	900	4000
25	250	1000	

**GAMBAR 10-2** Peringkat tenaga kuda NEMA standar.

### Frekuensi

Frekuensi diukur dalam hertz. Frekuensi standar yang digunakan di seluruh Amerika Serikat dan Kanada adalah 60 Hz. Namun, beberapa pabrikan merancang motor untuk digunakan di Amerika Serikat dan Eropa. Frekuensi standar di Eropa adalah 50 Hz. Motor dengan peringkat frekuensi 50 atau 60 Hz tidak jarang. Papan nama pada Gambar 10-1 menunjukkan bahwa motor dirancang untuk beroperasi pada frekuensi 60 Hz.

### Fase

Fase menunjukkan jumlah fase di mana motor dirancang untuk beroperasi. Sebagian besar motor industri adalah 3-fase, yang berarti bahwa daya yang terhubung dengannya adalah tiga jalur terpisah dengan tegangan 120 ° di luar fase satu sama lain. Motor arus bolak-balik lainnya umumnya satu fasa. Meskipun ada beberapa motor fase tunggal yang digunakan dalam aplikasi industri, sebagian besar ditemukan dalam aplikasi perumahan. Meskipun motor dua fase memang ada, mereka sangat jarang di Amerika Serikat. Papan nama menunjukkan bahwa motor akan beroperasi pada daya 3-fase.

### Tipe Motor

Motor tiga fasa dapat dibagi menjadi tiga jenis umum: induksi sangkar tupai, induksi rotor belitan, dan sinkron. Motor yang terdaftar sebagai "induksi" umumnya akan menjadi tipe sangkar-tupai, yang menggambarkan jenis penggunaan rotor di motor. Motor induksi rotor belitan mudah dikenali karena memiliki tiga cincin selip pada poros rotor. Motor sinkron bukanlah motor tipe induksi. Papan nama yang ditunjukkan pada Gambar 10-1 mencantumkan motor ini sebagai motor tipe induksi.

### Bingkai

Nomor rangka menunjukkan jenis rangka motor. Bagan umumnya diperlukan untuk menentukan dimensi bingkai yang tepat. Ketika berhadapan dengan ukuran bingkai, aturan umum adalah bahwa tinggi poros tengah (dimensi D) di atas bagian bawah alas adalah dua digit pertama dari nomor bingkai dibagi 4. Papan nama pada Gambar 10-1 menunjukkan

bahwa motor memiliki bingkai 143T. Bingkai 143T, misalnya, akan memiliki tinggi poros 3,5 inci (14/4) di atas dasar motor.

Selain nomor bingkai, huruf juga muncul di akhir angka. Huruf-huruf ini mewakili gaya bingkai yang berbeda.

- C—Huruf C menunjukkan motor yang dipasang di flensa. Gaya C adalah motor pemasangan flensa yang paling populer dan memiliki pola baut khusus pada ujung poros motor yang memungkinkan pemasangan ke perangkat yang digerakkan. Motor flensa C selalu memiliki lubang baut berulir di muka motor.
- D—Jenis lain dari motor pemasangan flensa adalah D. Diameter flensa motor ini lebih besar dari badan motor, dan lubang baut tidak berulir. Mereka dirancang untuk baut untuk melewati lubang.
- H—Rangka ini digunakan pada sekitar 56 motor rangka. H menunjukkan bahwa alas dapat dipasang pada posisi pemasangan 56, 143T, atau 145T.
- J—J menunjukkan bahwa motor dirancang khusus untuk dipasang ke pompa jet. Ini memiliki poros baja tahan karat berulir dan permukaan standar 56 C.
- JM—Huruf JM menunjukkan bahwa poros pompa dirancang untuk segel mekanis. Motor ini juga memiliki wajah C.
- JP—Motor JP mirip dengan motor JM. Segel dirancang untuk segel jenis pengepakan.
- S-S menunjukkan bahwa motor memiliki poros pendek. Motor ini umumnya dimaksudkan untuk dikopel langsung ke beban. Mereka tidak dimaksudkan untuk digunakan dengan penggerak sabuk.
- T—T Motor rangka distandarisasi setelah tahun 1964. Setiap motor dengan huruf T pada akhir ukuran rangka dibuat setelah tahun 1964.
- U—NEMA rangka motor standar pertama pada tahun 1952. Motor dengan U pada nomor rangka diproduksi antara tahun 1952 dan 1964.
- Y—Y menunjukkan bahwa motor memiliki konfigurasi pemasangan khusus. Itu tidak menunjukkan apa konfigurasinya, hanya saja itu tidak standar.
- Z—Z menunjukkan bahwa motor memiliki poros khusus. Itu bisa lebih panjang, berdiameter lebih besar, berulir, atau mengandung lubang. Z menunjukkan bahwa poros itu khusus dalam beberapa cara yang tidak ditentukan.

### **Voltase**

Volt menunjukkan tegangan operasi motor. Papan nama pada Gambar 10-1 menunjukkan bahwa motor dalam contoh ini dirancang untuk beroperasi pada tegangan yang berbeda, tergantung pada hubungan belitan stator. Motor ini umumnya disebut sebagai "motor tegangan ganda." Jika motor dihubungkan untuk operasi tegangan rendah, motor akan beroperasi pada tegangan 208 atau 230 volt. Jika terhubung untuk operasi tegangan tinggi, itu akan beroperasi pada 460 volt. Peringkat 230 volt berlaku untuk rentang tegangan 220 hingga 240 volt. Peringkat 460 volt berlaku untuk rentang tegangan 440 hingga 480 volt.

### **Arus Beban Penuh**

Nilai ampere menunjukkan jumlah arus yang harus ditarik motor pada beban penuh. Ini akan menarik lebih sedikit arus pada beban ringan atau tanpa beban. Perhatikan bahwa ada tiga arus yang terdaftar. Dua arus pertama (3,8–3,6) ampere menunjukkan jumlah arus

yang harus ditarik motor ketika dihubungkan ke masing-masing 208 atau 230 volt. Nilai arus terakhir sebesar 1,8 ampere menunjukkan jumlah arus beban penuh yang harus ditarik motor ketika dihubungkan ke 460 volt. Papan nama yang ditunjukkan pada Gambar 10-1 mencantumkan arus sebagai FLA (amp beban penuh). Beberapa pelat nama hanya mencantumkan arus sebagai AMPS.

### Lampiran

Papan nama pada Gambar 10-1 menunjukkan bahwa motor memiliki penutup tipe ODP. Motor memiliki tipe penutup yang berbeda tergantung pada aplikasinya. Beberapa kandang umum adalah:

- ODP—Buka bukti tetesan. Ini sangat umum. Kasing memiliki bukaan untuk memungkinkan ventilasi melalui belitan motor.
- TEFC—Kipas yang benar-benar tertutup didinginkan. Casing motor disegel untuk mencegah masuknya uap air atau kotoran. Kipas angin digunakan untuk membantu mendinginkan motor.
- TENV—Benar-benar tertutup tanpa ventilasi. Motor ini umumnya digunakan di lingkungan yang keras seperti pabrik kimia. Mereka dirancang untuk disemprot.
- EXP—Tahan ledakan. Benar-benar tertutup dan nonvented. Dirancang untuk digunakan di area yang memiliki atmosfer berbahaya.

### Siklus

Papan nama pada Gambar 10-1 mencantumkan siklus kerja sebagai kontinu. Siklus kerja menunjukkan jumlah waktu yang diharapkan motor untuk beroperasi. Motor dengan siklus kerja kontinu dinilai untuk berjalan terus menerus pada beban penuh selama 3 jam atau lebih. Kebanyakan motor dinilai untuk tugas terus menerus. Motor tugas intermiten dimaksudkan untuk beroperasi untuk periode waktu yang singkat. Contoh motor tugas intermiten adalah motor starter pada mobil. Motor ini mengembangkan sejumlah besar tenaga kuda dalam ukuran kasus kecil. Jika motor ini dioperasikan terus menerus untuk jangka waktu yang lama, mereka akan rusak karena panas berlebih.

### Kenaikan Suhu

Suhu maksimum menunjukkan jumlah kenaikan suhu maksimum yang akan ditunjukkan motor saat beroperasi terus-menerus pada beban penuh. Papan nama menunjukkan kenaikan suhu maksimum 40°C untuk motor ini. Jika motor dioperasikan di area dengan suhu lingkungan yang tinggi, dapat menyebabkan motor menjadi terlalu panas. Jika motor dioperasikan di area dengan suhu sekitar yang rendah, motor dapat beroperasi pada suhu yang lebih rendah daripada yang ditandai pada pelat nama.

### Faktor Layanan

Faktor servis motor (SF) memberikan pembebanan tenaga kuda yang diizinkan yang dapat dilakukan di bawah kondisi yang ditentukan untuk faktor servis pada tegangan dan frekuensi pengenal. Itu ditentukan dengan mengalikan peringkat tenaga kuda pada papan nama dengan faktor layanan. Ini memberikan beberapa parameter dalam memperkirakan kebutuhan tenaga kuda dan kebutuhan tenaga kuda berjalan yang sebenarnya. Papan nama yang ditunjukkan pada Gambar 10-1 menunjukkan bahwa motor memiliki tenaga kuda papan nama sebesar 1 hp. Faktor servis, bagaimanapun, menunjukkan bahwa motor mampu

menghasilkan 1,15 hp ( $1 \times 1,15$ ). Memilih motor dengan faktor servis lebih besar dari 1 memungkinkan suhu belitan yang lebih dingin pada beban terukur, melindungi terhadap kenaikan panas yang terputus-putus, dan membantu mengimbangi tegangan saluran yang rendah atau tidak seimbang.

Namun, jika motor dioperasikan dalam rentang faktor servis, hal itu akan menyebabkan penurunan kecepatan dan efisiensi motor serta akan meningkatkan suhu motor. Hal ini pada gilirannya akan mengurangi umur keseluruhan motor. Untuk alasan ini, motor tidak boleh berjalan dalam kisaran SF terus menerus. Faktor layanan ditetapkan untuk operasi pada tegangan pengenal, frekuensi, dan suhu sekitar pada kondisi permukaan laut. Jika kebutuhan tenaga kuda berada di antara peringkat tenaga kuda ukuran standar, umumnya lebih baik untuk membeli motor dengan peringkat daya kuda yang lebih tinggi berikutnya daripada bergantung pada pengoperasian motor dalam rentang faktor servis.

### Surat Kode Rotor Terkunci

Huruf kode rotor terkunci ditentukan oleh konstruksi rotor sangkar-tupai. Ini dapat digunakan untuk menentukan perkiraan jumlah arus masuk saat motor dihidupkan. Huruf kode rotor terkunci tidak boleh disamakan dengan kode desain NEMA pada banyak motor. Untuk menentukan perkiraan arus start motor induksi sangkar-tupai menggunakan huruf kode rotor terkunci, kalikan tenaga kuda motor dengan kVA per faktor daya kuda, dan bagi dengan tegangan yang diberikan. Jika motor 3 fase, pastikan untuk memasukkan faktor akar kuadrat dari 3 dalam perhitungan. Bagan yang menunjukkan peringkat kVA per tenaga kuda untuk huruf kode yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 10-6.

**MASALAH:** Sebuah motor 15-tenaga kuda, 3-fase terhubung ke 480 volt. Motor memiliki kode rotor terkunci J. Berapa perkiraan arus start untuk motor ini?

- **Solusi:** Bagan pada Tabel 10-6 mencantumkan bahwa perkiraan nilai kisaran menengah untuk kode J adalah 7,5.

$$\text{Amps} = \frac{\text{Hp} \times \text{kVA Factor}}{\text{Volts} \times \sqrt{3}}$$

$$\text{Amps} = \frac{15 \times 7.5}{480 \times 1.732}$$

$$\text{Amps} = \frac{112.5 \text{ kVA}}{480 \times 1.732}$$

$$\text{Amps} = \frac{112,500 \text{ VA}}{831.36}$$

$$\text{Amps} = 135.5$$

### Kode Desain NEMA

Motor induksi memiliki karakteristik operasi yang berbeda yang ditentukan oleh desainnya. Faktor-faktor seperti jumlah besi yang digunakan dalam stator, ukuran kawat, jumlah lilitan kawat, dan desain rotor semuanya berperan dalam karakteristik pengoperasian motor. Untuk mendapatkan keseragaman dalam karakteristik operasi motor, NEMA memberikan huruf kode untuk motor tujuan umum berdasarkan faktor-faktor seperti torsi

rotor terkunci, torsi breakdown, slip, arus start, dan nilai lainnya. Huruf kode NEMA adalah: A, B, C, dan D.

- A—Motor dengan kode huruf A menunjukkan torsi awal yang normal dan arus awal yang tinggi hingga sedang. Motor ini dirancang untuk kelebihan beban berat yang singkat. Mereka menunjukkan slip maksimum 5% dan cocok untuk berbagai aplikasi seperti kipas dan pompa.
- B—Motor B Desain adalah yang paling umum. Mereka menunjukkan torsi awal yang normal dan arus awal yang rendah. Mereka memiliki torsi awal rotor kunci tinggi untuk memulai sebagian besar beban industri. Mereka memiliki slip maksimum 5% dan cocok untuk aplikasi HVAC dengan kipas, blower, dan pompa. Papan nama pada Gambar 10-1 menunjukkan bahwa motor ini memiliki kode desain NEMA B.
- C—Motor dengan kode huruf C memiliki torsi awal yang tinggi dan arus awal yang rendah. Mereka menunjukkan slip maksimum 5% dan cocok untuk peralatan dengan start inersia tinggi seperti pompa perpindahan positif.
- D—Desain Motor D memiliki torsi awal yang tinggi dan arus awal yang rendah. Motor ini menunjukkan sejumlah besar slip rotor, umumnya dalam kisaran 5% sampai 13% ketika beban ditambahkan. Mereka cocok untuk start inersia tinggi seperti derek dan kerekan.

### Efisiensi Motor

Efisiensi beban penuh menunjukkan efisiensi keseluruhan motor. Efisiensi pada dasarnya menggambarkan jumlah energi listrik yang disuplai ke motor yang diubah menjadi energi kinetik. Daya yang tersisa adalah kerugian dan sebagian besar diubah menjadi panas. Papan nama pada Gambar 10-1 menunjukkan bahwa motor dalam contoh ini memiliki efisiensi 77%.

### Klasifikasi Isolasi

Papan nama menunjukkan bahwa motor ini memiliki klasifikasi suhu B. Klasifikasi isolasi sangat mempengaruhi umur motor. Suhu motor didasarkan pada titik terpanas di motor di bawah operasi beban penuh dan ditentukan oleh kenaikan suhu motor dan suhu udara sekitar. Motor yang beroperasi di iklim yang lebih panas harus memiliki peringkat suhu insulasi yang lebih tinggi. Kapasitas termal dari insulasi yang berbeda dinilai sebagai A, B, F, dan H. Bagan yang ditunjukkan pada Gambar 10-3 mencantumkan jumlah suhu yang masing-masing dirancang untuk ditangani selama periode 20.000 jam.

Class	20,000-Hour Life Temperature
A	105 °C
B	130 °C
F	155 °C
H	180 °C

**GAMBAR 10-3** Peringkat isolasi motor.

### Model dan Nomor Seri

Pabrikan memberikan nomor model. Dapat digunakan untuk membeli motor dengan karakteristik yang sama. Banyak motor dengan nomor model yang sama umumnya dapat diperoleh. Pabrikan juga memberikan nomor seri. Nomor seri, bagaimanapun, digunakan untuk mengidentifikasi motor tertentu. Tidak ada motor lain yang memiliki nomor seri yang sama.

### Diagram Koneksi

Diagram sambungan untuk sambungan tegangan rendah dan tegangan tinggi diberikan pada pelat nama yang ditunjukkan pada Gambar 10-1. Kebanyakan motor tegangan ganda berisi sembilan sadapan di kotak sambungan terminal. Lead ini diberi nomor T1 sampai T9. Diagram koneksi digunakan untuk membuat koneksi tegangan tinggi atau rendah untuk motor. Pada diagram yang ditunjukkan, jika motor akan dioperasikan pada tegangan rendah, T4, T5, dan T6 harus dihubungkan bersama. T1 dan T7 harus dihubungkan bersama, T2 dan T8 harus dihubungkan bersama, dan T3 dan T9 harus dihubungkan bersama. Daya terhubung ke T1, T2, dan T3. Jika motor dihubungkan untuk operasi tegangan tinggi, T4 dan T7 dihubungkan bersama, T5 dan T8 dihubungkan bersama, dan T6 dan T9 dihubungkan bersama. Daya terhubung ke T1, T2, dan T3.

### 10.2 Tabel Motor

Ada berbagai jenis motor, seperti DC, AC satu fasa, AC 2 fasa, dan AC 3 fasa. Tabel yang berbeda digunakan untuk membuat daftar arus yang berjalan untuk berbagai jenis motor.

- Tabel 10-1 mencantumkan arus untuk motor DC;
- Tabel 10-2 mencantumkan arus untuk motor AC satu fasa;
- Tabel 10-3 mencantumkan arus beban penuh untuk motor AC 2 fasa;
- Tabel 10-4 mencantumkan arus beban penuh untuk motor 3-fase.

Tabel mencantumkan jumlah arus yang diharapkan motor diperlukan dalam kondisi beban penuh. Sebuah motor akan memiliki kebutuhan arus yang lebih rendah jika tidak di bawah beban penuh. Tabel ini mencantumkan peringkat ampere motor menurut tenaga kuda dan tegangan yang terhubung. Perlu dicatat bahwa menurut 430.6(A), arus yang tercantum dalam tabel ini harus digunakan dalam menentukan ukuran konduktor, ukuran sekering, dan proteksi ground-fault sebagai ganti rating pelat nama motor. Namun, ukuran beban lebih motor harus ditentukan dengan menggunakan arus yang tertera pada pelat nama motor.

### 10.3 Motor DC Arus Searah

Tabel 10-1 berisi daftar arus beban penuh untuk motor DC. Peringkat tenaga kuda motor diberikan di kolom paling kiri. Tegangan pengenal tercantum di bagian atas tabel. Tabel menunjukkan bahwa motor 1-tenaga kuda akan memiliki arus beban penuh sebesar 12,2 ampere ketika dihubungkan ke 90 volt DC. Jika motor 1 tenaga kuda dirancang untuk dihubungkan ke 240 volt DC, maka akan memiliki arus beban penuh sebesar 4,7 ampere.

#### 10.4 Motor AC (Arus Bolak Balik) Satu Fasa

Nilai arus untuk motor AC satu fasa diberikan pada Tabel 10-2. Peringkat ini untuk motor yang beroperasi pada kecepatan dan torsi normal. Motor yang dirancang khusus untuk kecepatan rendah dan torsi tinggi, atau motor multi kecepatan, harus memiliki arus berjalan yang ditentukan dari peringkat pelat nama motor.

**TABEL 10-1** Arus Beban Penuh dalam Ampere, Motor Arus Langsung  
Nilai arus beban penuh berikut adalah untuk motor yang berjalan pada kecepatan dasar.

Horsepower	Armature Voltage Rating*					
	90 Volts	120 Volts	180 Volts	240 Volts	500 Volts	550 Volts
1/4	4.0	3.1	2.0	1.6	—	—
1/3	5.2	4.1	2.6	2.0	—	—
1/2	6.8	5.4	3.4	2.7	—	—
3/4	9.6	7.6	4.8	3.8	—	—
1	12.2	9.5	6.1	4.7	—	—
1 1/2	—	13.2	8.3	6.6	—	—
2	—	17	10.8	8.5	—	—
3	—	25	16	12.2	—	—
5	—	40	27	20	—	—
7 1/2	—	58	—	29	13.6	12.2
10	—	76	—	38	18	16
15	—	—	—	55	27	24
20	—	—	—	72	34	31
25	—	—	—	89	43	38
30	—	—	—	106	51	46
40	—	—	—	140	67	61
50	—	—	—	173	83	75
60	—	—	—	206	99	90
75	—	—	—	255	123	111
100	—	—	—	341	164	148
125	—	—	—	425	205	185
150	—	—	—	506	246	222
200	—	—	—	675	330	294

Nilai arus beban penuh berikut adalah untuk motor yang berjalan pada kecepatan biasa dan motor dengan karakteristik torsi normal. Tegangan yang tercantum adalah tegangan motor pengenal. Arus yang terdaftar harus diizinkan untuk rentang tegangan sistem 110 hingga 120 dan 220 hingga 240 volt.

**TABEL 10-2** Arus Beban Penuh dalam Ampere, Motor Arus Bolak-balik Satu Fasa.

Horsepower	115 Volts	200 Volts	208 Volts	230 Volts
1/6	4.4	2.5	2.4	2.2
1/4	5.8	3.3	3.2	2.9
1/3	7.2	4.1	4.0	3.6
1/2	9.8	5.6	5.4	4.9
3/4	13.8	7.9	7.6	6.9
1	16	9.2	8.8	8.0
1 1/2	20	11.5	11.0	10
2	24	13.8	13.2	12
3	34	19.6	18.7	17
5	56	32.2	30.8	28
7 1/2	80	46.0	44.0	40
10	100	57.5	55.0	50

#### CONTOH

Motor fase tunggal 3-tenaga kuda terhubung ke catu daya 208 volt. Untuk mengukur konduktor dengan benar, perlu diketahui arus beban penuh. Arus beban penuh untuk motor satu fasa diberikan pada Tabel 10. Arus beban penuh untuk motor 3-tenaga kuda yang terhubung ke suplai AC fase tunggal 208 volt diberikan sebagai 18,7 ampere.

### 10.5 Motor Dua Fasa

Meskipun motor 2 fase jarang digunakan, Tabel 10-3 mencantumkan arus beban penuh pengenal untuk motor ini. Seperti motor fase tunggal, motor 2 fase yang dirancang khusus untuk aplikasi kecepatan rendah–torsi tinggi, dan motor multikecepatan menggunakan peringkat pelat nama alih-alih nilai yang ditunjukkan pada grafik. Ketika sistem 2-fase, 3-kawat digunakan, ukuran konduktor netral harus ditingkatkan dengan akar kuadrat dari 2, atau 1,41. Hal ini karena tegangan dari sistem 2 fase berbeda fase 90 ° satu sama lain, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10-4.

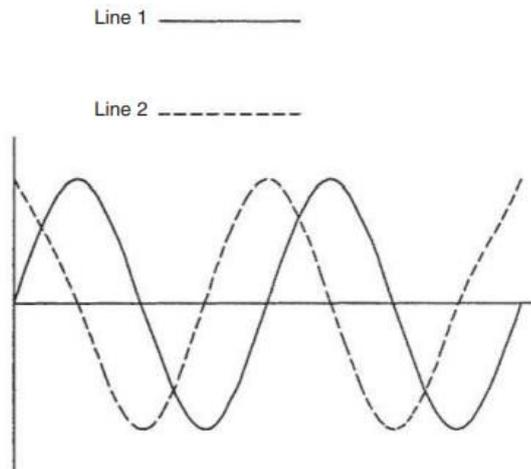
**TABEL 10-3** Arus Beban Penuh, Motor Arus Bolak-balik Dua Fasa (4-Kabel).

Horsepower	Induction-Type Squirrel Cage and Wound Rotor (Amperes)				
	115 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts
1/2	4.0	2.0	1.0	0.8	—
3/4	4.8	2.4	1.2	1.0	—
1	6.4	3.2	1.6	1.3	—
1 1/2	9.0	4.5	2.3	1.8	—
2	11.8	5.9	3.0	2.4	—
3	—	8.3	4.2	3.3	—
5	—	13.2	6.6	5.3	—
7 1/2	—	19	9.0	8.0	—
10	—	24	12	10	—
15	—	36	18	14	—
20	—	47	23	19	—
25	—	59	29	24	—
30	—	69	35	28	—
40	—	90	45	36	—
50	—	113	56	45	—
60	—	133	67	53	14
75	—	166	83	66	18
100	—	218	109	87	23
125	—	270	135	108	28
150	—	312	156	125	32
200	—	416	208	167	43

Nilai arus beban penuh berikut ini adalah untuk motor yang berjalan pada kecepatan biasa untuk motor berikat dan motor dengan karakteristik torsi normal. Arus dalam konduktor umum dari sistem 2-fase, 3-kawat akan menjadi 1,41 kali nilai yang diberikan. Tegangan yang tercantum adalah tegangan motor pengenal. Arus yang tercantum harus diizinkan untuk rentang tegangan sistem 110 hingga 120, 220 hingga 240, 440 hingga 480, dan 550 hingga 1000 volt.

#### CONTOH

Sebuah motor 60-tenaga kuda, 460-volt terhubung ke suplai 2-fase. Untuk menentukan fase dan arus netral, lihat Tabel 10-3. Arus fasa diberikan sebagai 67 ampere. Untuk menentukan arus netral, kalikan arus fasa dengan 1,41. Arus netral =  $67 \times 1,41 = 94,5$  ampere.



**GAMBAR 10-4** Tegangan sistem 2 fase.

### 10.6 Motor Tiga Fasa

Tabel 10-4 digunakan untuk menentukan arus beban penuh dari motor 3-fase. Arus beban penuh dari motor kecepatan rendah–torsi tinggi dan motor multikecepatan harus ditentukan dari peringkat pelat nama. Tabel memiliki catatan yang membahas motor sinkron. Perhatikan bahwa sisi kanan tabel dikhususkan untuk arus beban penuh motor tipe sinkron. Arus yang tercantum adalah untuk motor yang dioperasikan pada faktor daya kesatuan atau 100%. Karena motor sinkron sering dibuat untuk memiliki faktor daya terdepan dengan eksitasi berlebih dari arus rotor, nilai arus beban penuh harus ditingkatkan ketika hal ini dilakukan. Jika motor dioperasikan pada faktor daya 90%, arus beban penuh pengenal dalam tabel harus ditingkatkan sebesar 10%. Jika motor akan dioperasikan pada faktor daya 80%, arus beban penuh harus ditingkatkan sebesar 25%.

#### CONTOH

Sebuah motor sinkron 150-tenaga kuda, 460 volt harus dioperasikan pada faktor daya 80%. Berapa nilai arus beban penuh motor?

$151 \times 1,25 = 188,75$ , atau 189 ampere

### 10.7 Menentukan Ukuran Konduktor Untuk Motor Tunggal

Sebagaimana dinyatakan oleh 430.6(A), ukuran konduktor untuk sambungan motor harus didasarkan pada nilai dari tabel NEC yang termasuk dalam teks ini sebagai Tabel 10-1, Tabel 10-2, Tabel 10-3, dan Tabel 10-4, bukan arus pelat nama motor. NEC 430.22 menyatakan bahwa konduktor yang mensuplai motor tunggal harus memiliki ampacity tidak kurang dari 125% dari arus beban penuh motor. Pasal 310 NEC digunakan untuk memilih ukuran konduktor setelah ampacity ditentukan. Tabel yang tepat yang digunakan akan ditentukan oleh kondisi pengkabelan. Mungkin tabel yang paling sering digunakan adalah Tabel 6-2.

Faktor lain yang harus dipertimbangkan ketika menentukan ukuran konduktor adalah peringkat suhu perangkat dan terminal seperti yang ditentukan dalam 110,14(C). Bagian ini menyatakan bahwa konduktor akan dipilih dan dikoordinasikan agar tidak melebihi peringkat suhu terendah dari setiap terminasi yang terhubung, konduktor yang terhubung, atau perangkat apa pun yang terhubung. Ini berarti bahwa terlepas dari peringkat suhu konduktor, *Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)*

ampacity yang diizinkan harus dipilih dari kolom yang tidak melebihi peringkat suhu terminasi. Konduktor yang tercantum dalam kolom pertama Tabel 6-2 memiliki peringkat suhu 60°C (140°F), konduktor di kolom kedua memiliki peringkat 75°C (167°F), dan konduktor dalam kolom ketiga memiliki peringkat 90°C (194°F). Peringkat suhu perangkat seperti pemutus sirkuit, sekering, dan terminal dapat ditemukan di direktori produk UL. Peringkat suhu dapat ditemukan pada peralatan. Sebagai aturan umum, peringkat suhu perangkat tidak akan melebihi 75°C (167°F).

Ketika peringkat suhu terminasi tidak terdaftar atau diketahui, 110,14(C) selanjutnya menyatakan bahwa untuk sirkuit yang diberi nilai 100 ampere atau kurang, atau untuk 14 AWG melalui 1 konduktor AWG, ampacity kawat, terlepas dari peringkat suhunya, akan menjadi dipilih dari kolom 60°C (140°F). Ini tidak berarti bahwa hanya jenis insulasi yang tercantum dalam kolom 60°C (140°F) yang harus digunakan, tetapi ampacity harus dipilih dari kolom tersebut. Misalnya, asumsikan bahwa konduktor tembaga dengan insulasi tipe XHHW harus dihubungkan ke pemutus sirkuit 50 ampere yang tidak memiliki peringkat suhu yang terdaftar. Menurut Tabel 6-2, sebuah konduktor tembaga 8 AWG dengan insulasi XHHW dinilai untuk membawa 55 ampere seperti yang diberikan dalam kolom 90°C (194°F), tetapi peringkat suhu pemutus sirkuit tidak diketahui. Oleh karena itu, ukuran kawat harus dipilih dari peringkat ampacity di kolom 60°C (140°F). Konduktor 6 AWG dapat digunakan.

NEC 110.14(C)(1)(a)(4) memiliki ketentuan khusus untuk motor yang ditandai dengan kode desain NEMA B, C, atau D. Bagian ini menyatakan bahwa konduktor dengan nilai 75°C (167°F) atau lebih tinggi dapat dipilih dari kolom 75°C (167°F) dalam tabel meskipun ampasitasnya 100 ampere atau kurang. Kode ini tidak berlaku untuk motor yang tidak memiliki tanda kode desain NEMA pada pelat namanya. Kebanyakan motor yang diproduksi sebelum tahun 1996 tidak memiliki kode desain NEMA. Huruf kode desain NEMA tidak boleh dikacaukan dengan huruf kode yang menunjukkan jenis rotor sangkar-tupai yang digunakan pada motor.

Nilai arus beban penuh berikut ini tipikal untuk motor yang berjalan pada kecepatan biasa untuk motor berikat dan motor dengan karakteristik torsi normal. Tegangan yang tercantum adalah tegangan motor pengenalan. Arus yang tercantum harus diizinkan untuk rentang tegangan sistem 110 hingga 120, 220 hingga 240, 440 hingga 480, dan 550 hingga 1000 volt.

**TABEL 10-4** Arus Beban Penuh, Motor Arus Bolak-balik Tiga Fasa

Horsepower	Induction-Type Squirrel Cage and Wound Rotor (Amperes)							Synchronous-Type Unity Power Factor* (Amperes)			
	115 Volts	200 Volts	208 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts
1/2	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	—	—	—	—	—
3/4	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	—	—	—	—	—
1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	—	—	—	—	—
1 1/2	12.0	6.9	6.6	6.0	3.0	2.4	—	—	—	—	—
2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	—	—	—	—	—
3	—	11.0	10.6	9.6	4.8	3.9	—	—	—	—	—
5	—	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	—	—	—	—	—
7 1/2	—	25.3	24.2	22	11	9	—	—	—	—	—
10	—	32.2	30.8	28	14	11	—	—	—	—	—
15	—	48.3	46.2	42	21	17	—	—	—	—	—
20	—	62.1	59.4	54	27	22	—	—	—	—	—
25	—	78.2	74.8	68	34	27	—	53	26	21	—
30	—	92	88	80	40	32	—	63	32	26	—
40	—	120	114	104	52	41	—	83	41	33	—
50	—	150	143	130	65	52	—	104	52	42	—
60	—	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
75	—	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
100	—	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
125	—	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
150	—	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
200	—	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
250	—	—	—	—	302	242	60	—	—	—	—
300	—	—	—	—	361	289	72	—	—	—	—
350	—	—	—	—	414	336	83	—	—	—	—
400	—	—	—	—	477	382	95	—	—	—	—
450	—	—	—	—	515	412	103	—	—	—	—
500	—	—	—	—	590	472	118	—	—	—	—

**MASALAH:** Sebuah motor induksi sangkar-tupai 3-fase 30-tenaga kuda terhubung ke saluran 480 volt. Konduktor dijalankan dalam saluran ke motor. Peringkat suhu terminasi perangkat tidak diketahui. Konduktor tembaga dengan insulasi THWN harus digunakan untuk sambungan motor. Pelat nama motor tidak ditandai dengan kode desain NEMA. Berapa ukuran konduktor yang harus digunakan?

- **Solusi:** Langkah pertama adalah menentukan arus beban penuh motor. Ini ditentukan dari Tabel 10-4. Tabel menunjukkan arus 40 ampere untuk motor ini. Arus ini harus ditingkatkan sebesar 25% menurut 430,22.

$$40 \times 1,25 = 50 \text{ ampere}$$

Tabel 6-2 digunakan untuk menentukan ukuran konduktor. Cari kolom yang berisi insulasi THWN. THWN terletak di kolom 75°C (167°F). Karena sirkuit ini kurang dari 101 ampere dan suhu terminasi tidak diketahui, ukuran konduksi harus dipilih dari ampasitas yang diizinkan yang tercantum dalam kolom 60°C (140°F). Konduktor AWG ukuran 6 dengan insulasi tipe THWN dapat digunakan.

Untuk sirkuit dengan nilai lebih dari 100 ampere, atau untuk ukuran konduktor yang lebih besar dari 1 AWG, 110,14(C) menyatakan bahwa ampasitas yang tercantum dalam kolom 75°C (167°F) dapat digunakan untuk memilih ukuran kawat kecuali jika - saluran dengan peringkat suhu 60°C (140°F) telah dipilih untuk digunakan. Misalnya, jenis insulasi TW dan UF tercantum dalam kolom 60°C (140°F). Jika salah satu dari dua jenis insulasi ini telah ditentukan, ukuran kawat harus dipilih dari kolom 60°C (140°F) terlepas dari nilai ampere sirkuit.

### 10.8 Ukuran Beban Lebih

Dalam menentukan ukuran beban lebih untuk motor, nilai arus pelat nama motor yang akan digunakan sebagai ganti nilai arus yang tercantum dalam tabel. Faktor-faktor lain seperti faktor servis (SF) atau peringkat suhu (°C) motor juga digunakan untuk menentukan ukuran beban lebih motor. Nilai suhu motor merupakan indikasi dari jenis insulasi yang digunakan pada belitan motor dan tidak boleh disamakan dengan suhu terminasi yang mencakup perlindungan beban lebih pada motor tugas-terus-menerus, direproduksi di sini sebagai Tabel 10-5; digunakan untuk menentukan ukuran beban lebih untuk motor dengan 1 tenaga kuda atau lebih. Ukuran beban lebih didasarkan pada persentase arus beban penuh motor.

**MASALAH:** Motor induksi 3-fasa 25 tenaga kuda memiliki peringkat papan nama 32 ampere. Papan nama juga menunjukkan kenaikan suhu 30°C. Berapa ukuran kelebihan beban untuk motor ini?

- **Solusi:** Seperti ditunjukkan pada Tabel 10-5, ukuran beban lebih adalah 125% dari nilai arus beban penuh motor.

$$32 \times 1,25 = 40 \text{ ampere}$$

Jika karena alasan tertentu ukuran beban lebih ini tidak memungkinkan motor untuk hidup tanpa tersandung, memungkinkan ukuran beban lebih dinaikkan hingga maksimum 140% untuk motor ini. Jika peningkatan ukuran beban lebih ini tidak menyelesaikan masalah pengasutan, beban lebih dapat dishunt keluar dari sirkuit selama periode pengasutan.

(A) Lebih dari 1 Tenaga Kuda. Setiap motor yang digunakan dalam aplikasi tugas kontinu dan pengenal lebih dari 1 hp harus diproteksi terhadap beban lebih dengan salah satu cara dalam 430.32(A)(1) sampai (A)(4).

(1) Perangkat Kelebihan Beban Terpisah. Perangkat kelebihan beban terpisah yang responsif terhadap arus motor. Perangkat ini harus dipilih untuk trip atau harus dinilai tidak lebih dari persen berikut dari peringkat arus beban penuh pelat nama motor:

**TABEL 10-5** Motor Tugas Kontinu.

Motor dengan faktor servis bertanda 1,15 atau lebih besar	125%
Motor dengan kenaikan suhu yang ditandai 40 °C atau kurang	125%
Semua motor lainnya	115%

### 10.9 Menentukan Arus Rotor Terkunci

Ada dua metode dasar untuk menentukan arus rotor terkunci (arus start) motor sangkar-tupai, tergantung pada informasi yang tersedia. Jika papan nama mencantumkan huruf kode yang berkisar dari A hingga V, itu menunjukkan jenis batang rotor yang digunakan saat rotor dibuat. Berbagai jenis batang digunakan untuk membuat motor yang dirancang untuk aplikasi yang berbeda. Jenis batang sangat menentukan arus rotor terkunci motor. Arus motor terkunci-rotor digunakan untuk menentukan arus awal maksimum. Tabel 10-6, mencantumkan huruf kode yang berbeda dan memberikan kilovolt-ampere rotor terkunci per tenaga kuda. Arus awal dapat ditentukan dengan mengalikan peringkat kVA dengan peringkat tenaga kuda dan kemudian membaginya dengan tegangan yang diberikan.

**MASALAH:** Sebuah motor sangkar tupai 3 fasa 15 tenaga kuda dengan huruf kode K dihubungkan ke saluran 240 volt. Tentukan arus rotor terkunci.

- **Solusi:** Tabel mencantumkan 8,0 hingga 8,99 kVA per tenaga kuda untuk motor dengan huruf kode K. Nilai rata-rata 8,5 akan digunakan.

$$8,5 \times 15 = 127,5 \text{ kVA (atau 127.500 VA)}$$

$$\frac{127,500}{240 \times \sqrt{3}} = 306.7 \text{ amperes}$$

Arus rotor terkunci untuk motor dengan kode desain NEMA ditentukan menggunakan Tabel NEC 430.251(A) dan 430.251(B). NEC Tabel 430.251(A) mencantumkan arus rotor terkunci untuk motor fase tunggal, dan Tabel 430.251(B) mencantumkan arus rotor terkunci untuk motor polifase.

**TABEL 10-6**

**Tabel 430.7(B)** Huruf Kode Indikasi Rotor Terkunci

Code Letter	Kilovolt-Amperes per Horsepower with Locked Rotor
A	0–3.14
B	3.15–3.54
C	3.55–3.99
D	4.0–4.49
E	4.5–4.99
F	5.0–5.59
G	5.6–6.29
H	6.3–7.09
J	7.1–7.99
K	8.0–8.99
L	9.0–9.99
M	10.0–11.19
N	11.2–12.49
P	12.5–13.99
R	14.0–15.99
S	16.0–17.99
T	18.0–19.99
U	20.0–22.39
V	22.4 and up

### 10.10 Perlindungan Hubungan Pendek

Peringkat dari gawai proteksi hubung-pendek ditetapkan dalam Tabel NEC 430.52, direproduksi di sini sebagai Tabel 10-7. Kolom paling kiri mencantumkan jenis motor yang akan dilindungi. Di sebelah kanan ini ada empat kolom yang mencantumkan berbagai jenis

perangkat pelindung hubung singkat: sekering tunda waktu, sekering tunda waktu elemen ganda, pemutus arus trip seketika, dan pemutus arus waktu terbalik. Meskipun diperbolehkan untuk menggunakan sekering tunda waktu dan pemutus arus trip seketika, sebagian besar sirkuit motor dilindungi oleh sekering tunda waktu elemen ganda atau pemutus sirkuit waktu terbalik.

Masing-masing kolom ini mencantumkan persentase arus motor yang akan digunakan dalam menentukan ukuran sekering. Arus yang tercantum dalam tabel motor yang sesuai akan digunakan sebagai pengganti arus pelat nama. Menurut 430.52(C)(1), gawai proteksi harus mempunyai pengenalan atau penyetelan tidak melebihi nilai yang dihitung sesuai dengan Tabel 10-7. Pengecualian 1 dari bagian ini, bagaimanapun, menyatakan bahwa jika nilai yang dihitung tidak sesuai dengan ukuran standar atau peringkat sekering atau pemutus sirkuit, maka diperbolehkan untuk menggunakan ukuran standar yang lebih tinggi berikutnya. Ukuran standar sekering dan pemutus sirkuit tercantum dalam NEC 240.6, direproduksi di sini sebagai Tabel 10-8.

**TABEL 10-7**

Tabel 430.52 Peringkat atau Pengaturan Maksimum dari Motor Cabang-Hubungan-Hubungan Pendek dan Perangkat Pelindung Gangguan Tanah

Type of Motor	Percentage of Full-Load Current			
	Nontime Delay Fuse <sup>1</sup>	Dual Element (Time-Delay) Fuse <sup>1</sup>	Instantaneous Trip Breaker	Inverse Time Breaker <sup>2</sup>
Single-phase motors	300	175	800	250
AC polyphase motors other than wound-rotor	300	175	800	250
Squirrel cage — other than Design B energy-efficient	300	175	800	250
Design B energy-efficient	300	175	1100	250
Synchronous <sup>3</sup>	300	175	800	250
Wound-rotor	150	150	800	150
DC (constant voltage)	150	150	250	150

Tabel 10-7 mencantumkan jenis motor sangkar-tupai berdasarkan huruf desain, bukan huruf kode. Surat desain ditugaskan oleh NEMA. Sebagaimana disyaratkan oleh 430.7(A)(9), pelat nama motor ditandai dengan huruf desain B, C, atau D. Motor yang diproduksi sebelum persyaratan ini, bagaimanapun, tidak mencantumkan huruf desain pada pelat nama. Kebanyakan motor sangkar-tupai yang umum digunakan dalam industri sebenarnya termasuk dalam klasifikasi desain B dan, untuk tujuan pemilihan ukuran sekering, dianggap sebagai desain B kecuali dinyatakan lain.

**MASALAH 1:** Sebuah motor induksi sangkar-tupai 3-fase 100-tenaga kuda dihubungkan ke saluran 240 volt. Sekering tunda waktu elemen ganda harus digunakan sebagai gawai pelindung hubung singkat. Berapa nilai sekering yang benar?

- **Solusi:** Tabel 10-4 (Tabel NEC 430.250) mencantumkan arus beban penuh sebesar 248 ampere untuk motor ini. Tabel 10-7 (Tabel NEC 430.52) menunjukkan bahwa sekering tunda waktu elemen ganda harus disetel pada 175% dari arus beban penuh untuk motor sangkar-tupai polifase AC (lebih dari satu fase). Karena motor ini tidak mencantumkan huruf desain pada papan nama, maka akan diasumsikan bahwa motor tersebut adalah desain B.

$$248 \times 1,75 = 434 \text{ ampere}$$

**TABEL 10-8** 240.6 Standar Ampere Rating.

- (A) Sekering dan Pemutus Sirkuit Perjalanan Tetap. Nilai ampere standar untuk sekering dan pemutus arus waktu terbalik harus dipertimbangkan 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1600, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, dan 6000 ampere. Nilai ampere standar tambahan untuk sekering harus 1, 3, 6, 10, dan 601. Penggunaan sekering dan pemutus arus waktu terbalik dengan nilai ampere tidak standar harus diizinkan.
- (B) Pemutus Sirkuit Perjalanan yang Dapat Diatur. Nilai pemutus sirkuit trip-dapat disetel yang memiliki sarana eksternal untuk menyetel setelan arus (pengaturan pengambilan lama), tidak memenuhi persyaratan 240,6(C), harus merupakan setelan maksimum yang memungkinkan.
- (C) Pemutus Sirkuit Perjalanan yang Dapat Disesuaikan dengan Akses Terbatas. Pemutus sirkuit yang memiliki akses terbatas ke alat penyetel harus diizinkan memiliki nilai ampere yang sama dengan setelan arus yang disetel (pengaturan pengambilan lama). Akses terbatas harus didefinisikan sebagai terletak di belakang salah satu dari berikut ini:
- (1) Penutup yang dapat dilepas dan disegel di atas alat penyetel
  - (2) Pintu kandang peralatan yang dibaut
  - (3) Pintu terkunci hanya dapat diakses oleh personel yang memenuhi syarat

Nilai sekering standar berikutnya di atas nilai yang dihitung ini yang tercantum dalam Tabel 10-8 [240(A)] adalah 450 ampere. Sekering 450 ampere akan digunakan untuk melindungi sirkuit motor ini. Jika karena alasan tertentu sekering ini tidak mengizinkan motor untuk start, 430.52(C)(1), Pengecualian No. 2(b), menyatakan bahwa peringkat sekering tunda waktu elemen ganda dapat ditingkatkan hingga maksimum 225% dari arus motor beban penuh.

Perlu dicatat bahwa karena ini adalah nilai maksimum, ukuran sekering tidak dapat dinaikkan ke nilai berikutnya yang lebih tinggi, tetapi harus dikurangi ke nilai standar terdekat tanpa melebihi nilai maksimum. Misalnya,  $248 \text{ ampere} \times 2,25 (225\%) = 558 \text{ ampere}$ . Dalam hal ini, sekering 500 ampere akan digunakan. Tentukan ukuran konduktor, ukuran beban lebih, dan perlindungan hubung singkat untuk motor berikut.

**MASALAH 2:** Motor DC 40-tenaga kuda, 240-volt memiliki peringkat arus papan nama 132 ampere. Konduktor harus tembaga dengan isolasi TW. Perangkat pelindung hubung singkat harus menjadi pemutus arus trip seketika. Lihat Gambar 10-5. Peringkat suhu terminasi perangkat yang terhubung tidak diketahui.

- **Solusi:** Ukuran konduktor harus ditentukan dari arus yang tercantum pada Tabel 10-1. Arus ini harus ditingkatkan sebesar 25%.

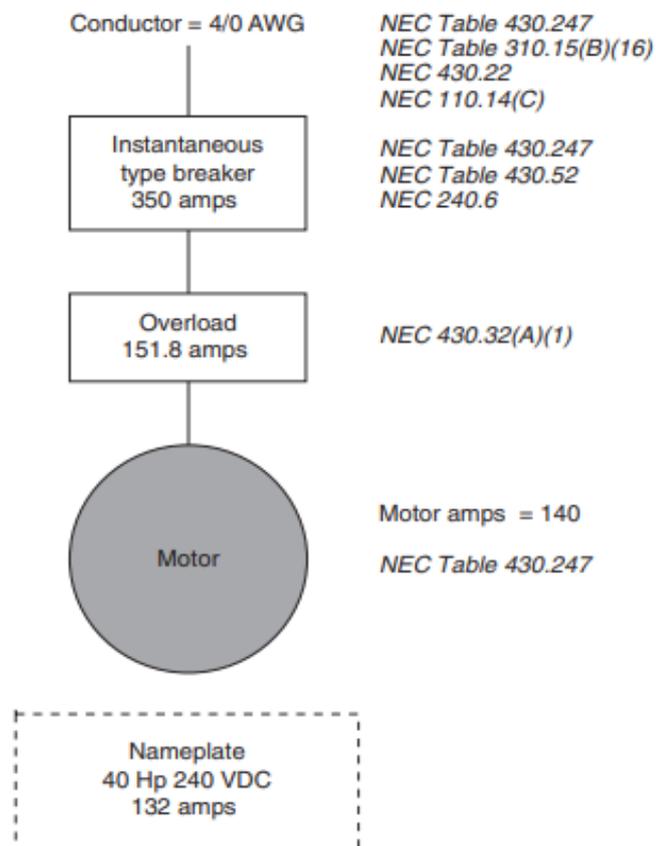
$$140 \times 1,25 = 175 \text{ ampere}$$

Tabel 6-2 (NEC Tabel 310.15(B)(16)) digunakan untuk mencari ukuran konduktor. Meskipun 110,14(C) menyatakan bahwa untuk arus sirkit 100 ampere atau lebih besar, ampacity yang diizinkan dari konduktor harus ditentukan dari kolom 75°C (167°F), dalam hal ini, jenis insulasi yang ditentukan terletak di kolom 60 °C (140 °F). Oleh karena itu, ukuran konduktor harus ditentukan dengan menggunakan kolom 60°C (140°F). Konduktor AWG 4/0 akan digunakan.

Peringkat pemutus sirkit dipilih dari Tabel 10-7. Nilai arus dari Tabel 10-1 digunakan sebagai pengganti peringkat pelat nama motor. Di bawah motor arus searah (tegangan konstan), peringkat pemutus arus trip sesaat diberikan pada 250%.

$$140 \times 2,50 = 350 \text{ ampere}$$

Karena 350 ampere merupakan salah satu pengenal standar pemutus arus yang tercantum pada Tabel 10-8, pemutus arus tersebut akan digunakan sebagai gawai pelindung hubung singkat.



**GAMBAR 10-5** Nilai untuk Soal 2.

Ukuran kelebihan beban ditentukan dari 430.32(A)(1). Karena tidak ada daftar faktor servis atau kenaikan suhu untuk motor, judul SEMUA MOTOR LAIN akan digunakan. Arus pelat nama motor akan meningkat sebesar 15%.

$$132 \times 1,15 = 151,8 \text{ ampere}$$

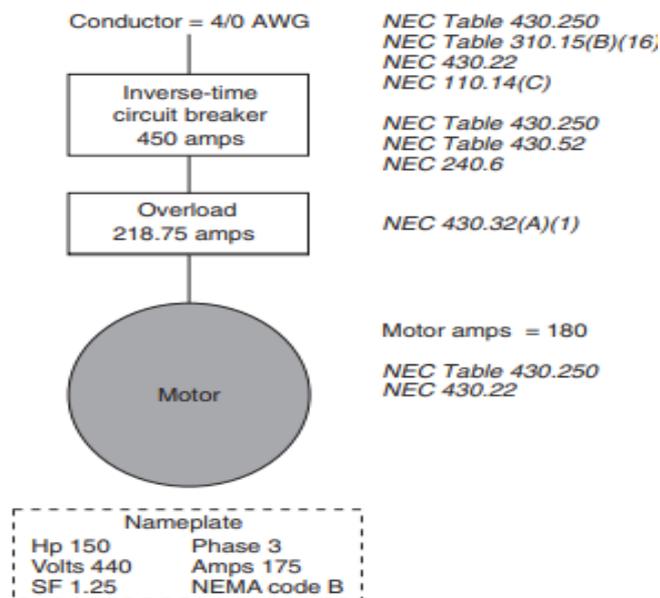
**MASALAH 3:** Sebuah motor induksi sangkar-tupai 3 fasa 150 tenaga kuda dihubungkan ke 440 volt. Pelat nama motor mencantumkan informasi berikut:

Amplifier motor 175 SF 1,25 kode NEMA B

Konduktor harus tembaga dengan isolasi tipe THHN. Perangkat pelindung hubung singkat harus menjadi pemutus arus waktu terbalik. Peringkat suhu terminasi tidak diketahui. Lihat Gambar 10-6.

- **Solusi:** Ukuran konduktor ditentukan dari arus yang tercantum pada Tabel 10-4 (Tabel NEC 430.250) dan kemudian dinaikkan sebesar 25%.

$$180 \times 1,25 = 225 \text{ ampere}$$



**GAMBAR 10-6** Nilai untuk Soal 3.

Tabel 6-2 (NEC Tabel 310.15(B)(16)) digunakan untuk menentukan ukuran konduktor. Insulasi tipe THHN terletak di kolom 90°C (194°F). Karena pelat nama motor menunjukkan kode NEMA B, ukuran konduktor akan dipilih dari kolom 75°C (167°F). Ukuran konduktor akan menjadi 4/0 AWG. Ukuran beban lebih ditentukan dari arus pelat nama dan 430,32(A)(1). Karena motor memiliki faktor servis yang ditandai sebesar 1,25, arus pelat nama motor akan meningkat sebesar 25%.

$$175 \times 1,25 = 218,75 \text{ ampere}$$

Persentase arus beban penuh yang tercantum dalam Tabel 10-7 digunakan untuk menentukan peringkat pemutus sirkuit. Tabel menunjukkan faktor 250% untuk motor sangkar tupai dengan kode desain NEMA B. Nilai arus dari Tabel 10-4 digunakan dalam perhitungan ini.

$$180 \times 2,50 = 450 \text{ ampere}$$

Salah satu peringkat pemutus sirkuit standar yang tercantum dalam 240.6(A) pada Tabel 10-8 adalah 450 ampere. Pemutus arus waktu terbalik 450 ampere akan digunakan sebagai perangkat pelindung hubung singkat.

### **10.11 Perhitungan Beberapa Motor Atau Beban**

Ketika beberapa motor atau beban dihubungkan ke sirkuit cabang tunggal, NEC 403.53(C) mengharuskan sirkuit cabang dilindungi oleh sekering atau pemutus sirkuit waktu terbalik.

Gawai proteksi hubung-pendek pengumpan utama dan ukuran konduktor untuk sambungan motor ganda ditetapkan dalam 430.62(A) dan 430.24. Dalam contoh ini, tiga motor terhubung ke pengumpan umum. Pengumpannya adalah 440 volt, 3 fase, dan konduktornya harus tembaga dengan insulasi tipe THHN. Setiap motor harus dilindungi dengan sekering waktu tunda elemen ganda dan perangkat kelebihan beban terpisah. Pengumpan utama juga dilindungi oleh sekering waktu tunda elemen ganda. Peringkat suhu penghentian perangkat yang terhubung tidak diketahui. Peringkat pelat nama motor adalah sebagai berikut:

#### **Motor #1**

Fase 3

SF 1.25

Volt 440

Jenis Induksi

Hp 20

Kode NEMA C Ampere 23

#### **Motor #2**

Fase 3 Suhu 40 °C Volt 440

Jenis Induksi

Hp 60

Kode J Ampere 72

#### **Motor #3**

Fase 3 Kode A Ampere 96

Ketik Sinkron

Hp 100

Volt 440

PF 90%

#### **Perhitungan Motor #1**

Langkah pertama adalah menghitung nilai ampere motor, ukuran konduktor, ukuran beban lebih, dan ukuran alat pelindung hubung singkat untuk setiap motor. Nilai-nilai ini untuk motor #1 ditunjukkan pada Gambar 10-7. Peringkat ampere motor dari Tabel 10-4 digunakan

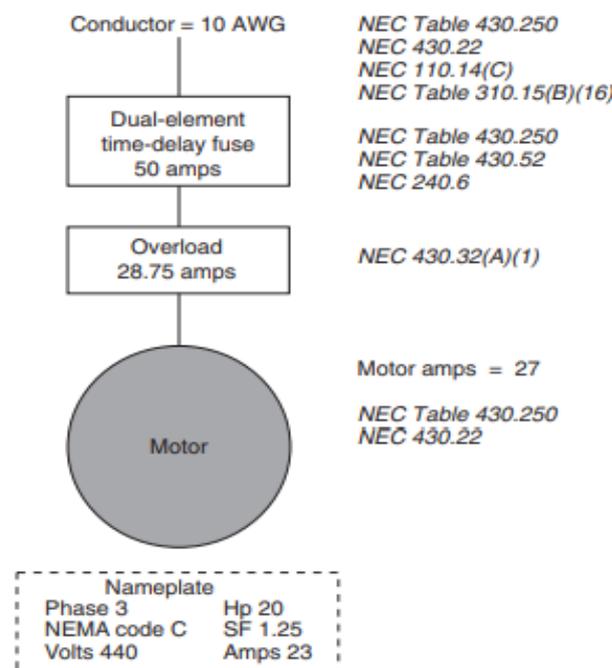
untuk menentukan konduktor dan ukuran sekering. Peringkat ampere harus ditingkatkan sebesar 25% untuk ukuran konduktor.

$$27 \times 1,25 = 33,75 \text{ ampere}$$

Ukuran konduktor sekarang dipilih dari Tabel 6-2. Meskipun insulasi tipe THHN terletak di kolom 90°C (194°F), ukuran konduktor akan dipilih dari kolom 75°C (167°F), per 110,14(C)(1)(d).

$$33,75 \text{ ampere} = 10 \text{ AWG}$$

Nilai sekering ditentukan dengan menggunakan peringkat arus motor dari Tabel 10-4 dan faktor permintaan dari Tabel 10-7. Persentase arus beban penuh untuk sekering tunda waktu elemen ganda yang melindungi motor sangkar-tupai yang terdaftar sebagai Desain C adalah 175%. Arus yang tercantum dalam Tabel 10-4 akan meningkat sebesar 175%.



**GAMBAR 10-7** Nilai untuk motor #1.

$$27 \times 175\% = 47,25 \text{ ampere}$$

Nilai sekering standar yang lebih tinggi berikutnya yang tercantum dalam Tabel 10-8 adalah 50 ampere. Sekering 50 ampere akan digunakan. Ukuran beban lebih dihitung dari arus pelat nama. Faktor permintaan dalam 430.32(A)(1) digunakan untuk perhitungan beban lebih. Karena motor ini memiliki faktor servis yang ditandai sebesar 1,25, arus pelat nama motor akan meningkat sebesar 25%.

$$23 \times 1,25 = 28,75 \text{ ampere}$$

### Perhitungan Motor #2

Gambar 10-8 menunjukkan contoh perhitungan motor #2. Tabel 10-4 mencantumkan arus beban penuh sebesar 77 ampere untuk motor ini. Nilai arus ini meningkat sebesar 25% untuk perhitungan arus konduktor.

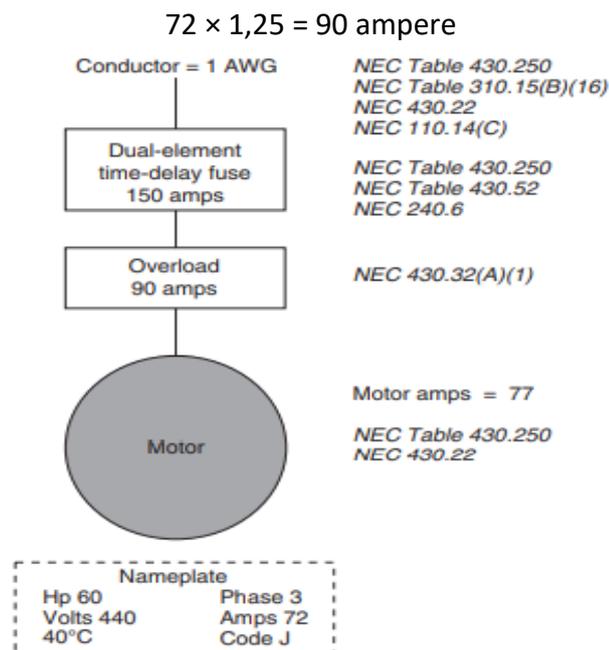
$$77 \times 1,25 = 96,25 \text{ ampere}$$

Tabel 6-2 menunjukkan bahwa konduktor 1 AWG harus digunakan untuk sambungan motor ini. Ukuran konduktor dipilih dari kolom 60°C (140°F) karena arus rangkaian kurang dari 100 ampere sesuai dengan 110,14(C), dan pelat nama motor tidak menunjukkan kode desain NEMA. Ukuran sekering akan ditentukan dari Tabel 10-7. Nilainya akan ditingkatkan sebesar 175% untuk motor sangkar tupai selain desain E.

$$77 \times 175\% = 134,75 \text{ ampere}$$

Ukuran sekering standar yang lebih tinggi berikutnya yang tercantum dalam Tabel 10-8 adalah 150 ampere. Dengan demikian, sekering 150 ampere akan digunakan untuk melindungi sirkuit ini.

Ukuran kelebihan beban ditentukan dari 430.32(A)(1). Papan nama motor mencantumkan kenaikan suhu 40°C untuk motor ini. Arus papan nama akan meningkat sebesar 25%.



**GAMBAR 10-8** Nilai untuk motor #2.

### Perhitungan Motor #3

Motor #3 adalah motor sinkron yang dimaksudkan untuk beroperasi dengan faktor daya 90%. Gambar 10-9 menunjukkan contoh perhitungan ini. Catatan di bagian bawah Tabel 10-4 menunjukkan bahwa arus yang terdaftar harus ditingkatkan sebesar 10% untuk motor sinkron dengan faktor daya terdaftar sebesar 90%.

$$101 \times 1,10 = 111 \text{ ampere}$$

Ukuran konduktor dihitung dengan menggunakan peringkat arus ini dan meningkatkannya sebesar 25%.

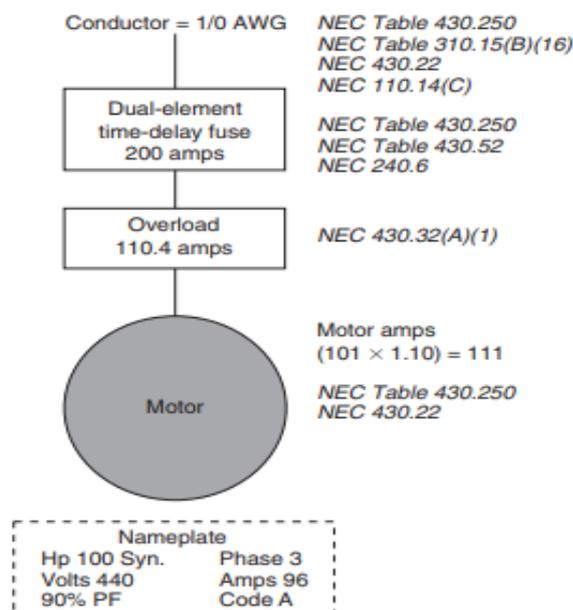
$$111 \times 1,25 = 138,75 \text{ ampere}$$

Tabel 6-2 menunjukkan bahwa konduktor 1/0 AWG dapat diterima untuk sirkuit ini. Karena arus rangkaian lebih dari 100 ampere, konduktor dipilih dari kolom 75°C (167°F). Nilai sekering ditentukan dari Tabel 10-7. Persentase arus beban penuh untuk motor sinkron adalah 175%.

$$111 \times 1,75 = 194,25 \text{ ampere}$$

Sekering peringkat standar tertinggi berikutnya yang tercantum dalam Tabel 10-8 adalah 200 ampere. Dengan demikian, sekering 200 ampere akan digunakan untuk melindungi sirkuit ini. Motor ini tidak memiliki faktor servis yang ditandai atau kenaikan suhu yang mencolok. Ukuran kelebihan beban dihitung dengan meningkatkan arus pelat nama sebesar 15%, seperti yang ditunjukkan pada 430.32(A)(1).

$$96 \times 1,15 = 110,4 \text{ ampere}$$



**GAMBAR 10-9** Nilai untuk motor #3.

### Perhitungan Pengumpan Utama

Contoh perhitungan penyulang utama ditunjukkan pada Gambar 10-10. Ukuran konduktor dihitung dengan meningkatkan peringkat ampere tertinggi dari motor yang terhubung ke penyulang sebesar 25% dan kemudian menambahkan peringkat ampere motor lain ke jumlah ini. Dalam contoh ini, motor sinkron 100 tenaga kuda memiliki arus berjalan tertinggi. Arus ini akan ditingkatkan sebesar 25%, dan kemudian arus berjalan dari motor lain seperti yang ditentukan dari Tabel 10-4 akan ditambahkan.

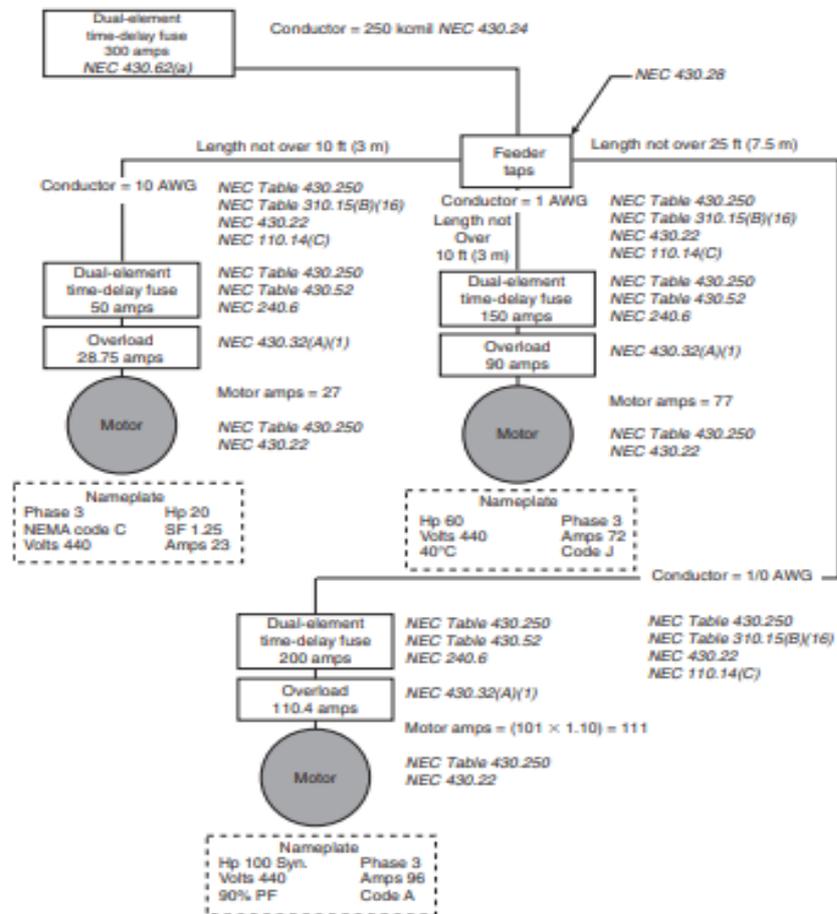
$$111 \times 1,25 = 138,75 \text{ ampere}$$

$$138,75 + 77 + 27 = 242,75 \text{ ampere}$$

Tabel 6-2 menunjukkan bahwa konduktor 250 kcmil harus digunakan sebagai konduktor pengumpan utama. Konduktor dipilih dari kolom 75°C (167°F). Ukuran gawai proteksi hubung singkat ditentukan oleh 430.62(A). Kode menyatakan bahwa pengenal atau penyetelan gawai proteksi hubung singkat tidak boleh lebih besar dari pengenal atau setelan tertinggi gawai proteksi hubung singkat dan hubung singkat cabang ditambah jumlah arus beban penuh dari motor lainnya. Ukuran sekering tertinggi adalah dari motor sinkron 100 tenaga kuda. Perhitungan sekering untuk motor ini adalah 200 ampere. Arus berjalan dari dua motor lainnya akan ditambahkan ke nilai ini untuk menentukan peringkat sekering untuk pengumpan utama.

$$200 + 77 + 27 = 304 \text{ ampere}$$

Sekering standar berperingkat tertinggi yang tercantum dalam Tabel 10-8, tanpa melebihi 304 ampere, adalah 300 ampere. Dengan demikian, sekering 300 ampere akan digunakan sebagai perangkat pelindung hubung singkat untuk sirkuit ini.



GAMBAR 10-10 Contoh perhitungan feeder.

### 10.12 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditunjukkan secara rinci, dan referensi Kode harus dikutip bila perlu.

Kecuali dinyatakan lain, semua konduktor adalah jenis tembaga THHN, dan suplainya adalah AC.

1. Berapa arus beban penuh dari motor 500 volt, DC, 20 tenaga kuda?
2. Tabel NEC mana yang digunakan untuk menentukan arus beban penuh dari motor torsi?
3. Berapa arus beban penuh pengenal dari motor -tenaga kuda, 208 volt fase tunggal?
4. Berapakah ampasitas minimum yang diijinkan dari konduktor fase dan konduktor netral yang mensuplai motor 2 fase, 3 kawat, 230 volt, 30 tenaga kuda?
5. Berapa arus beban penuh motor sinkron 230 volt, 3 fasa, 125 tenaga kuda bila dioperasikan pada faktor daya 80%?
6. Berapa arus beban penuh dari motor induksi 600 volt, 3-fase, 50 tenaga kuda?
7. Berapa ampacity konduktor minimum, proteksi beban lebih, dan peringkat sekering elemen ganda untuk sirkuit yang mensuplai motor 560 volt, 3-fasa, kode J, 40°C, 125 tenaga kuda dengan arus beban penuh pelat nama sebesar 115 ampere?

8. Berapa ukuran konduktor minimum, proteksi beban lebih, dan peringkat pemutus arus waktu terbalik untuk sirkit yang mensuplai motor sinkron 230 volt, 3-fasa, kode A, 40°C, 75-tenaga kuda yang beroperasi pada Faktor daya 80% dengan arus beban penuh papan nama sebesar 185 ampere?
9. Berapa ukuran konduktor yang diperlukan untuk mensuplai tiga motor yang dihubungkan ke rangkaian cabang 3 fasa 440 volt? Motor #1 adalah motor induksi 50-tenaga kuda, kode B; motor #2 adalah motor induksi 40-tenaga kuda, kode H; dan motor #3 adalah motor induksi berkekuatan 50-kuda, kode J.
10. Berapakah peringkat pemutus arus waktu terbalik yang diperlukan untuk rangkaian cabang yang melayani tiga motor pada pertanyaan sebelumnya? Apa yang akan menjadi peringkat sekering elemen ganda?

Pemutus sirkit waktu terbalik:

Sekering elemen ganda:

## BAB 11

### FAKTOR DAYA

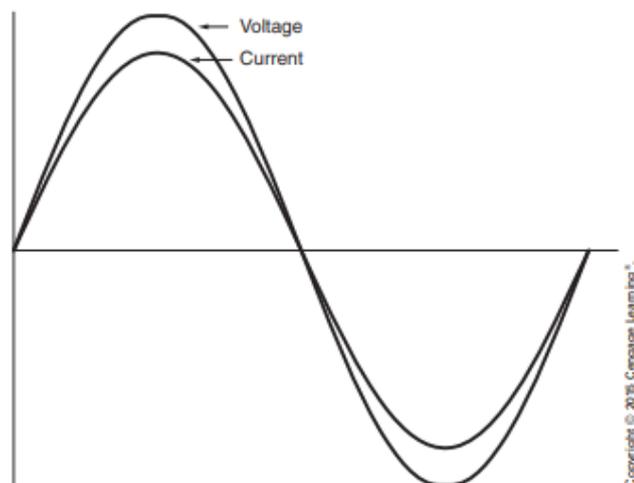
#### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- membahas perbedaan antara resistansi, reaktansi induktif, dan reaktansi kapasitif.
- menentukan sudut fasa tegangan dan arus pada rangkaian AC.
- mendefinisikan dan menggunakan konsep faktor daya.
- memperbaiki situasi faktor daya rendah dengan kondensor sinkron.
- memperbaiki situasi faktor daya rendah dengan kapasitor.

#### 11.1 Memuat Pada Sirkuit AC (Arus Bolak Balik)

Untuk memahami faktor daya dan terutama cara mengoreksi faktor daya, pertama-tama perlu dipahami berbagai jenis beban arus bolak-balik, karakteristiknya, dan bagaimana beban tersebut berinteraksi satu sama lain. Ada tiga jenis beban dasar yang dapat ada di rangkaian AC: resistif, induktif, dan kapasitif. Resistif—Beban resistif mengandung elemen resistif murni. Sebuah elemen resistif murni menyebabkan tegangan dan arus berada dalam fase satu sama lain, Gambar 11-1.



**GAMBAR 11-1** Resistansi menyebabkan tegangan dan arus sefasa.

Semua kawat mengandung sejumlah hambatan. Beban resistif lainnya adalah lampu pijar, elemen pemanas listrik, jumlah daya sebenarnya yang dihasilkan oleh motor, dan rugi-rugi daya yang terkait dengan transformator atau perangkat lain dalam bentuk panas. Resistansi adalah satu-satunya beban yang dapat menghasilkan daya atau watt sebenarnya. Listrik adalah salah satu bentuk energi murni. Hukum fisika menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, tetapi bentuknya dapat diubah. Watt adalah ukuran jumlah energi listrik yang diubah menjadi bentuk lain. Elemen pemanas listrik mengubah

energi listrik menjadi energi panas, dan motor listrik mengubah energi listrik menjadi energi kinetik. Daya atau watt sebenarnya hanya dapat dihasilkan jika tegangan dan arus memiliki polaritas yang sama. Jika bentuk gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 11-1 dibagi menjadi kuadran, dapat dilihat bahwa energi listrik diubah selama setiap kuadran, Gambar 11-2.

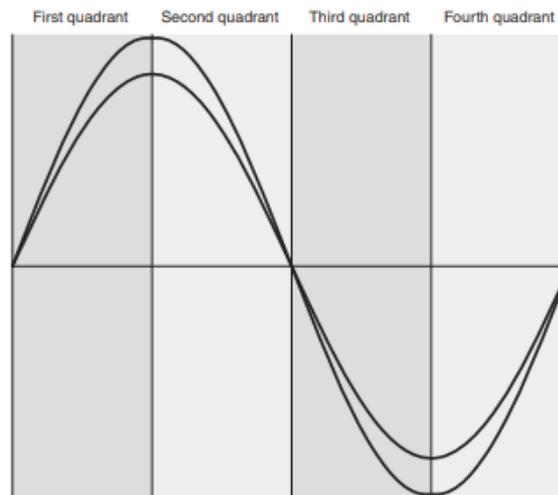
Kuadran 1 ( +volt × + amp = + watt)

Kuadran 2 ( +volt × - amp = - watt)

Kuadran 3 ( - volt × - amp = + watt)

Kuadran 4 ( - volt × + amp = - watt)

Inductive—Beban induktif mengandung elemen induktif seperti motor, transformer, dan filter choke. Meskipun induktor dibangun dengan menggulung lilitan kawat di sekitar beberapa jenis bahan inti, dan kawat memang mengandung hambatan, aliran arus tidak dibatasi semata-mata karena hambatan. Induktor membatasi aliran arus dengan reaktansi induktif. Ketika arus mulai mengalir melalui induktor, medan magnet meluas di sekitar induktor, Gambar 11-3. Medan magnet yang berkembang atau bergerak ini memotong kabel induktor dan menginduksi tegangan ke dalamnya. Tegangan induksi selalu berlawanan polaritas dengan tegangan yang menghasilkannya.



**GAMBAR 11-2** Gelombang sinus tegangan dan arus telah dibagi menjadi empat kuadran.

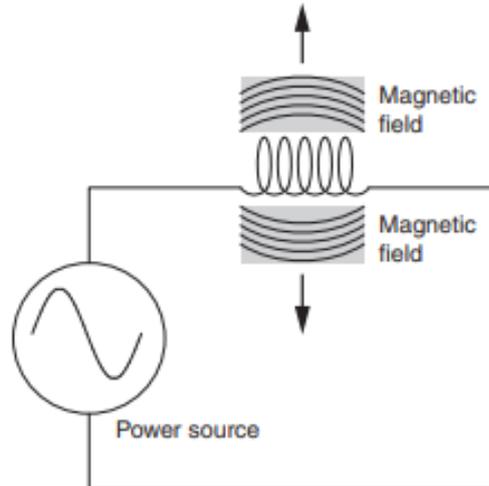
Oleh karena itu, tegangan induksi berlawanan dengan tegangan yang diberikan. Tegangan berlawanan inilah yang membatasi arus melalui induktor. Tegangan berlawanan ini disebut reaktansi, dilambangkan dengan huruf X. Karena reaktansi ini disebabkan oleh induktansi, maka disebut reaktansi induktif dan dilambangkan dengan XL. Kuantitas induktansi adalah henry dan dilambangkan dengan huruf L.

Karena reaktansi induktif adalah tegangan lawan, ia tunduk pada tiga faktor yang menentukan jumlah tegangan induksi:

Jumlah lilitan kawat

Kekuatan medan magnet

Kecepatan aksi pemotongan



**GAMBAR 11-3** Saat arus naik melalui sebuah induktor, medan magnet meluas ke luar.

Jumlah lilitan kawat dan kekuatan medan magnet adalah faktor yang menentukan induktansi, atau henrys, dari induktor. Kecepatan aksi pemotongan ditentukan oleh frekuensi sumber AC. Reaktansi induktif diukur dalam ohm dan dapat ditentukan dengan rumus:

$$X_L = 2\pi fL$$

dimana  $f$  adalah frekuensi dalam hertz, dan  $L$  adalah induktansi dalam henrys.

#### CONTOH

Sebuah induktor 1,5-henry dihubungkan ke saluran 60 Hz. Berapakah reaktansi induktifnya?

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2 \times 3.1416 \times 60 \times 1.5$$

$$X_L = 565.5\Omega$$

Dalam beban induktif murni, arus akan tertinggal dari tegangan sebesar  $90^\circ$ , Gambar 11-4.

Karena kawat digunakan untuk membangun induktor, semuanya mengandung sejumlah hambatan dan karenanya bukan beban induktif murni. Namun, ketika reaktansi induktif 10 kali lebih besar dari resistansi kawat, mereka umumnya dianggap sebagai induktor murni. Properti pembatas arus total dari sebuah induktor adalah impedansinya.

Impedansi induktor dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$Z_{\text{coil}} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

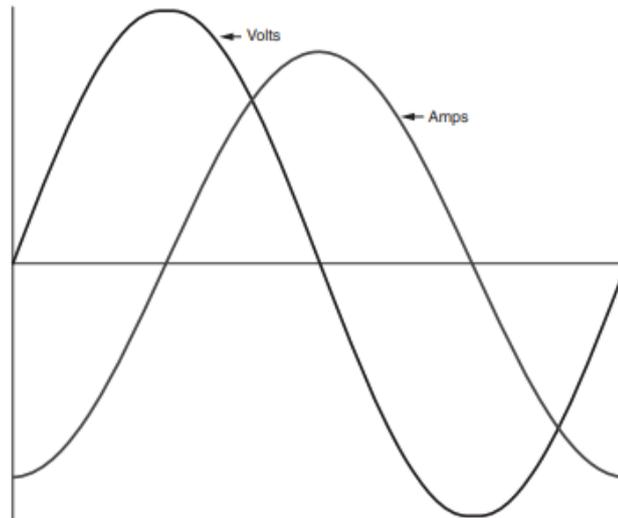
Asumsikan bahwa sebuah induktor memiliki reaktansi induktif 100 ohm dan kawat memiliki hambatan 10 ohm.

$$Z_{\text{coil}} = \sqrt{10^2 + 100^2}$$

$$Z_{\text{coil}} = \sqrt{100 + 10,000}$$

$$Z_{\text{coil}} = \sqrt{10,100}$$

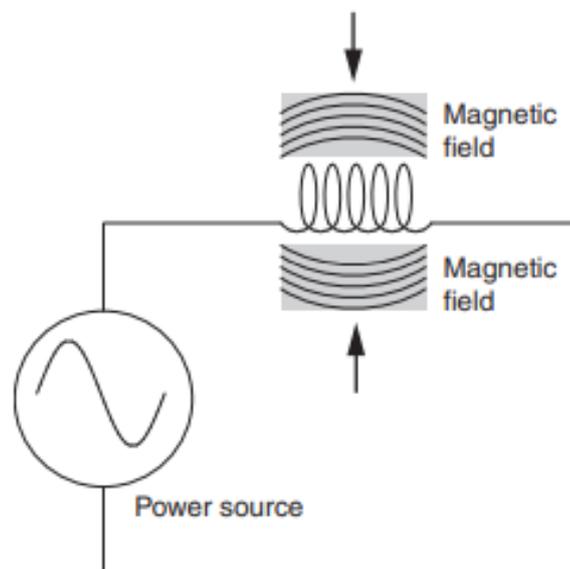
$$Z_{\text{coil}} = 100.5$$



**GAMBAR 11-4** Arus dalam rangkaian induktif murni tertinggal dari tegangan sebesar  $90^\circ$ .

Induktor tidak menghasilkan daya atau watt sebenarnya karena energi listrik tidak diubah menjadi bentuk lain. Ketika arus naik melalui induktor, medan magnet mengembang ke luar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11-3. Sumber daya menyediakan daya untuk menghasilkan medan magnet. Ketika arus berkurang, medan magnet runtuh kembali, memotong belitan konduktor dan menginduksi tegangan ke dalamnya, Gambar 11-5.

Energi listrik yang diperlukan untuk menciptakan medan magnet disimpan dalam medan elektromagnetik dan kemudian diberikan kembali ketika medan tersebut runtuh. Meskipun satu-satunya daya sebenarnya yang dihasilkan dalam induktor adalah karena resistansi kawat dan rugi-rugi inti yang disebabkan oleh arus eddy dan rugi-rugi histeresis, tegangan dan arus yang disuplai ke induktor sangat nyata. Daya yang terkait dengan perangkat reaktif disebut VAR (volt amp reaktif). VAR kadang-kadang disebut sebagai daya tanpa watt. Jika bentuk gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 11-4 dibagi menjadi kuadran, akan terlihat bahwa daya rata-rata adalah nol, Gambar 11-6.



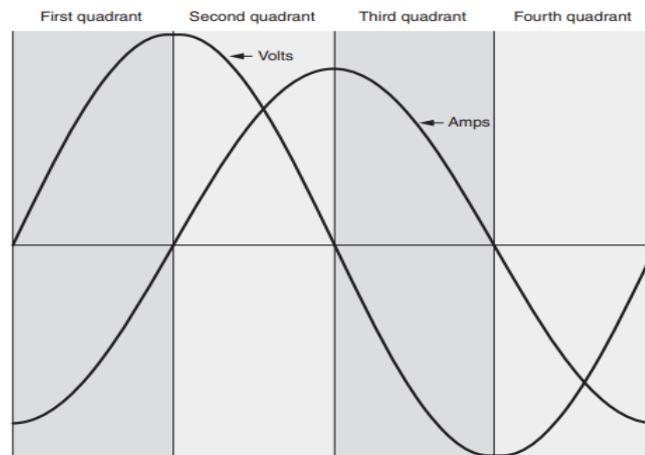
**GAMBAR 11-5** Ketika arus berkurang melalui induktor, medan magnet runtuh, menginduksi tegangan ke dalam kumparan.

Kuadran 1 ( +volt × — amp = — watt)

Kuadran 2 ( +volt × + amp = + watt)

Kuadran 3 (— volt × + amp = — watt)

Kuadran 4 (— volt × — amp = + watt)



**GAMBAR 11-6** Bentuk gelombang untuk tegangan dan arus dalam rangkaian induktif dibagi menjadi kuadran.

### Daya Yang Sebenarnya

Daya semu umumnya disebut volt amp. Ini adalah nilai yang dapat diperoleh dengan mengalikan tegangan rangkaian dengan arus rangkaian. Daya semu dan daya sebenarnya akan sama pada rangkaian yang hanya memuat beban resistif, tetapi jika beban reaktif berada pada rangkaian yang sama, volt amp dan watt tidak akan sama. Daya reaktif, atau VAR, berbeda fase 90° dengan daya sebenarnya, atau watt. Daya semu dapat ditentukan dengan menggunakan rumus

$$VA = \sqrt{\text{Watts}^2 + \text{VARs}^2}$$

### CONTOH

Sirkuit AC berisi elemen pemanas listrik 1500 watt dan induktor dengan nilai 1200 VAR. Apa kekuatan yang tampak?

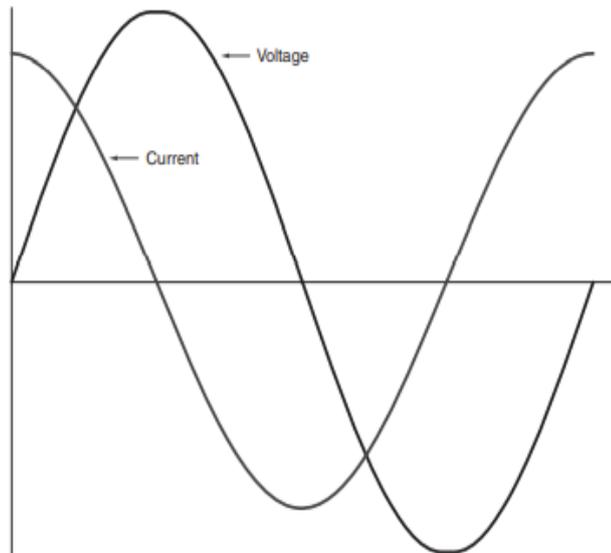
$$VA = \sqrt{1500^2 + 1200^2}$$

$$VA = \sqrt{2,250,000 + 1,440,000}$$

$$VA = \sqrt{3,690,000}$$

$$VA = 1920.9$$

**Kapasitif**—Beban kapasitif hampir seluruhnya terdiri dari kapasitor yang terhubung ke saluran. Beban kapasitif menyebabkan arus mendahului tegangan sebesar 90°, Gambar 11-7.



**GAMBAR 11-7** Arus dalam rangkaian kapasitif murni memimpin tegangan sebesar 90°.

Seperti induktor, kapasitor adalah beban reaktif. Itu tidak menghasilkan daya yang sebenarnya karena tidak mengubah energi listrik menjadi bentuk lain. Ketika tegangan naik, arus mengalir ke pelat kapasitor, dan menjadi bermuatan. Ketika tegangan berkurang, kapasitor melepaskan dan memberikan energi yang dibutuhkan untuk mengisinya kembali ke sirkuit. Juga seperti induktor, peringkat daya untuk kapasitor adalah VAR. Pada titik ini kesamaan antara induktor dan kapasitor berakhir. Mereka pada dasarnya berlawanan secara elektrik. Induktor menyebabkan arus tertinggal dari tegangan sebesar 90°, dan kapasitor menyebabkan arus mendahului tegangan sebesar 90°. Induktor menyimpan energi dalam bentuk medan elektromagnetik; kapasitor menyimpan energi dalam bentuk medan elektrostatik. Karena induktor menyebabkan arus tertinggal dari tegangan dan kapasitor menyebabkan arus mendahului tegangan, ketika mereka dihubungkan dalam rangkaian bersama-sama, mereka berbeda fase 180° satu sama lain.

#### CONTOH

Sebuah sirkuit berisi elemen pemanas listrik yang menghasilkan 2500 watt, induktor dengan nilai 3000 VAR dan kapasitor dengan nilai 2000 VAR. Apa kekuatan yang tampak?

$$VA = \sqrt{\text{Watts}^2 + (\text{VARs}_L - \text{VARs}_C)^2}$$

$$VA = \sqrt{2500^2 + (3000 - 2000)^2}$$

$$VA = \sqrt{2500^2 + 1000^2}$$

$$VA = 2692.6$$

Efek pembatas arus dari kapasitor disebut reaktansi kapasitif dan dilambangkan sebagai XC. Kapasitor dinilai dalam farad. Farad adalah jumlah kapasitansi yang sangat besar. Untuk alasan ini, kapasitor umumnya dinilai dalam mikروفarad, nanofarad, atau picofarad. Mikروفarad adalah sepersejuta farad, nanofarad adalah sepemiliar farad, dan picofarad adalah sepertriliun farad. Saat menghitung nilai kapasitif, perlu untuk mempertimbangkan

peringkat kapasitor. Misalnya, reaktansi kapasitif dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

di mana  $f$  adalah frekuensi dalam hertz, dan  $C$  adalah nilai dalam farad.

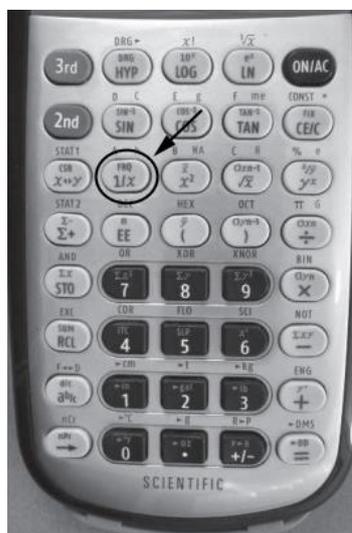
### CONTOH

Berapa reaktansi kapasitif kapasitor 20 mikrofarad yang dihubungkan pada saluran 60 Hz? (Catatan: Huruf Yunani mu ( $\mu$ ) umumnya digunakan untuk menyatakan mikro.) Dua puluh mikrofarad adalah 20-sejuta farad, atau 0,000020 farad. Kalkulator ilmiah memungkinkan memasukkan angka dalam notasi ilmiah. Kalkulator ini umumnya berisi kunci bertanda EE atau EXP, Gambar 11-8.

Dalam notasi ilmiah, mikro adalah  $10^{-6}$ . Kalkulator ilmiah juga berisi kunci timbal balik, Gambar 11-9. Kunci timbal balik digunakan untuk membagi angka apa pun di layar menjadi 1.



**GAMBAR 11-8** Kalkulator ilmiah berisi kunci untuk memasukkan notasi ilmiah.



**GAMBAR 11-9** Kalkulator ilmiah berisi kunci timbal balik.

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

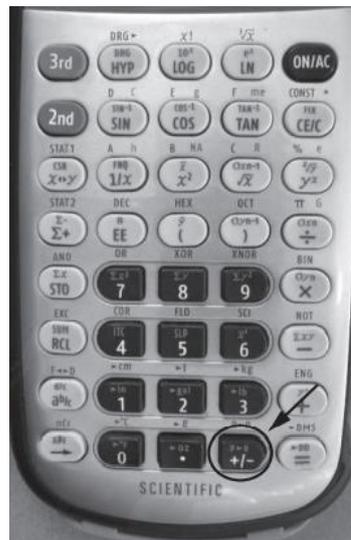
$$X_c = \frac{1}{2 \times 3.1416 \times 60 \times 20 \times 10^{-6}}$$

$$X_c = 132.6\Omega$$

Saat memasukkan nilai notasi ilmiah 10 ke negatif 6, perlu menggunakan tombol tanda ubah, Gambar 11-10. Untuk menemukan jawaban atas masalah menggunakan kalkulator ilmiah, masukkan berikut ini:

$$(2)(\times)(3.1416)(\times)(60)(\times)(20)(EE)(6)(+/-)(=)(1/\times)$$

Ketiga beban ini umumnya hadir untuk berbagai tingkat di hampir semua rangkaian AC. Efek pembatas arus yang sebenarnya, sudut fasa arus dan tegangan, daya semu, daya sebenarnya, dan daya reaktif dari setiap rangkaian AC ditentukan oleh jumlah masing-masing dari ketiga beban ini.



**GAMBAR 11-10** Tombol tanda ubah mengubah bilangan positif menjadi bilangan negatif, atau bilangan negatif menjadi bilangan positif.

Beban industri umumnya bersifat induktif karena adanya perangkat elektromagnetik seperti motor dan transformator. Untuk alasan ini, arus umumnya tertinggal dari tegangan dalam jumlah tertentu di sirkuit industri. Besarnya kondisi out-of-phase ditentukan oleh rasio resistansi dibandingkan dengan reaktansi induktif. Sebagai contoh, asumsikan bahwa sebuah rangkaian memiliki resistansi 0,5 ohm dan reaktansi induktif 0,6 ohm. Efek pembatas arus total, atau impedansi, dari rangkaian dapat ditentukan.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$Z = \sqrt{0.5^2 + 0.6^2}$$

$$Z = 0.781\Omega$$

Ada beberapa rumus yang dapat digunakan untuk menentukan perbedaan sudut fasa antara tegangan dan arus. Perbedaan sudut fase disebut sudut theta dan umumnya dilambangkan dengan huruf Yunani theta ( $\theta$ ).

$$\begin{aligned}\tan \angle \theta &= \frac{X_L}{R} \\ \tan \angle \theta &= \frac{0.6}{0.5} \\ \tan \angle \theta &= 1.2 \\ \angle \theta &= 50.2^\circ\end{aligned}$$

Sudut theta juga dapat ditentukan dengan menggunakan fungsi sin.

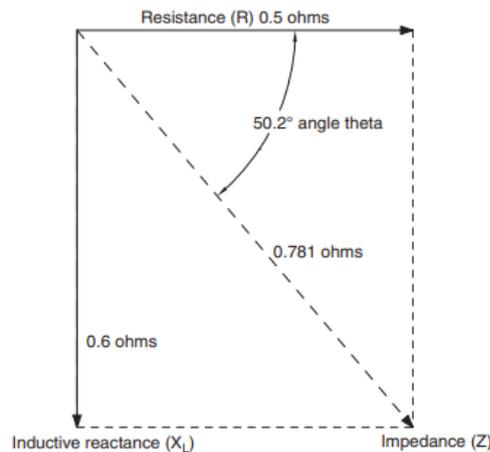
$$\begin{aligned}\sin \angle \theta &= \frac{X_L}{Z} \\ \sin \angle \theta &= \frac{0.6}{0.781} \\ \sin \angle \theta &= 0.768 \\ \angle \theta &= 50.2^\circ\end{aligned}$$

Fungsi cos dapat digunakan untuk menentukan sudut theta ketika resistansi dan impedansi diketahui.

$$\begin{aligned}\cos \angle \theta &= \frac{R}{Z} \\ \cos \angle \theta &= \frac{0.5}{0.781} \\ \cos \angle \theta &= 0.64 \\ \angle \theta &= 50.2^\circ\end{aligned}$$

Nilai resistansi dan reaktansi induktif juga dapat digambarkan untuk menggambarkan nilai impedansi dan sudut teta, Gambar 11-11.

Nilai resistansi ditarik pada sudut  $0^\circ$ , dan panjangnya sama dengan 0,5. Reaktansi induktif adalah  $90^\circ$  dari fase dengan resistansi. Digambar dengan sudut  $90^\circ$  terhadap garis yang menunjukkan hambatan, dan panjangnya sama dengan 0,6. Impedansi ditarik dari titik di mana resistansi dan reaktansi induktif bergabung ke titik di mana mereka akan berpotongan. Panjang saluran sama dengan 0,781, dan sudut antara impedansi dan resistansi adalah  $50,2^\circ$ .



**GAMBAR 11-11** Nilai resistansi, reaktansi induktif, impedansi, dan sudut teta dapat diplot.

### Faktor Daya

Faktor daya adalah rasio daya sebenarnya dibandingkan dengan daya semu. Pada Gambar 11-11, terdapat perbedaan sudut fasa sebesar  $50,2^\circ$  antara daya sebenarnya (watt) dan daya nyata (volt amp). Faktor daya adalah cosinus dari sudut ini:

$$PF = \cos \angle \theta$$

$$PF = \cos 50.2^\circ$$

$$PF = 0.64$$

Faktor daya dinyatakan sebagai persen. Pecahan desimal 0,64 diubah menjadi persen dengan memindahkan desimal dua tempat ke kanan dan menambahkan tanda persen.

$$PF = 64\%$$

Dalam contoh ini, sudut teta ditentukan menggunakan resistansi dan impedansi. Sudut theta juga dapat ditentukan dengan menggunakan daya semu, daya sebenarnya, dan daya reaktif.

$$\tan \angle \theta = \frac{\text{VARs}}{\text{Watts}}$$

$$\sin \angle \theta = \frac{\text{VARs}}{\text{VA}}$$

$$\cos \angle \theta = \frac{\text{Watts}}{\text{VA}}$$

### Pentingnya Faktor Daya

Faktor daya menjadi perhatian besar terutama untuk perusahaan utilitas. Perusahaan utilitas menagih pelanggan mereka berdasarkan jumlah watt-jam yang dikonsumsi. Namun, perusahaan utilitas harus memasok daya yang nyata. Pada contoh sebelumnya, rangkaian yang dimaksud memiliki faktor daya 64%. Asumsikan bahwa lokasi industri memiliki faktor daya 64%, dan konsumsi daya sebenarnya adalah 450 kW. Juga asumsikan bahwa tegangan yang mensuplai pembangkit adalah 480 volt, 3 fasa. Besarnya arus yang diperlukan untuk mensuplai daya sebenarnya adalah

$$I = \frac{450,000}{480 \times \sqrt{3}}$$

$$I = 541.3 \text{ A}$$

Perusahaan utilitas harus memasok daya yang nyata.

$$I_{(\text{Apparent})} = \frac{I_{(\text{True})}}{\text{PF}}$$

$$I_{(\text{Apparent})} = \frac{541.3}{0.64}$$

$$I_{(\text{Apparent})} = 845.8 \text{ A}$$

Perusahaan utilitas memasok 845,8 ampere untuk beban yang sebenarnya membutuhkan 541,3 ampere. Konduktor dinilai berdasarkan jumlah arus yang dapat mereka bawa. Arus berlebih ini mempengaruhi saluran listrik, belitan transformator, dan jenis beban lainnya yang mengandung kawat. Jika faktor daya dikoreksi menjadi 90%, arus akan turun dari 845,8 ampere menjadi 601,4 ampere.

$$I_{(\text{Apparent})} = \frac{541.3}{0.9}$$

Perusahaan utilitas umumnya membebaskan tarif listrik yang lebih tinggi kepada pabrik industri ketika faktor daya turun di bawah tingkat tertentu. Sebagai aturan umum, perusahaan utilitas tidak mencoba mengukur faktor daya dari lokasi perumahan. Beban perumahan sebagian besar resistif. Perangkat yang digerakkan motor seperti unit AC akan menyebabkan faktor daya tertinggal. Untuk mengimbangi ini, perusahaan utilitas umumnya memasang kapasitor pada saluran listrik untuk mengurangi arus yang disebabkan oleh faktor daya rendah, Gambar 11-12.



**GAMBAR 11-12** Kapasitor yang digunakan untuk koreksi faktor daya.

## 11.2 Pengukuran Faktor Daya

Ketika pabrik industri memiliki faktor daya tertinggal, nilai faktor daya harus dipertahankan antara 0,9 dan 1,0, jika memungkinkan. Kondisi ini diinginkan karena sejumlah faktor, termasuk kebutuhan untuk mengurangi arus reaktif untuk mencapai kapasitas yang lebih besar untuk arus yang berguna pada sumber listrik, penyulang, dan penyulang; perlunya pengaturan dan stabilitas tegangan yang lebih baik; dan keinginan untuk mendapatkan tarif listrik yang lebih rendah dari perusahaan listrik.

Seperti yang ditunjukkan dalam daftar berikut, ada beberapa cara untuk menentukan faktor daya seluruh pembangkit, penyulang tunggal, atau bahkan rangkaian cabang. Faktor daya dapat ditentukan dengan menggunakan

1. pengukur faktor daya.
2. kilovarmeter dan kilowattmeter.
3. wattmeter atau kilowattmeter dalam kombinasi dengan voltmeter dan amperemeter.

Yang terakhir dari tiga metode yang terdaftar adalah yang paling nyaman dalam hal koneksi yang akan dibuat. Namun, penggunaan kilovarmeter yang terhubung secara permanen juga nyaman. Ketika faktor daya pembangkit adalah 1,0 (kesatuan), kilovarmeter membaca nol.

Instrumen ini memiliki skala pusat nol. Jarum menunjukkan jumlah kilovolt ampere reaktif (kiloVAR) di mana sistem tertinggal atau memimpin. Teknisi listrik dapat mengetahui secara sekilas apakah perlu mensuplai komponen utama yang lebih besar atau lebih kecil ke sistem. Penentuan ini adalah masalah sederhana ketika kondensor sinkron tersedia. (Lihat bagian berikut tentang kondensor sinkron.)

Ketika kondensor sinkron dihubungkan melintasi saluran, ia memasok komponen utama arus yang diperlukan untuk mengimbangi atau melawan komponen arus yang tertinggal yang ada. Rencana menunjukkan lokasi dari dua kondensor sinkron yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya saluran pengumpan No. 2.

### **Koreksi Faktor Daya**

Daya atau daya sebenarnya dinyatakan dalam kilowatt. Istilah kilovolt ampere, yang berarti volt dikalikan ampere dan dibagi 1000, disebut daya semu. Daya reaktif bukanlah daya sama sekali, melainkan merupakan komponen yang berbeda fase 90° dengan daya sebenarnya. Daya reaktif diukur dalam volt-ampere reaktif (VAR).

Total beban motor pada saluran pengumpan No. 2 adalah sekitar 927 tenaga kuda. Beban ini membutuhkan hampir 1293 ampere per kaki untuk memasok motor 3-fase, 480 volt, 60-hertz. Daya nyata yang diperlukan untuk beban ini ditemukan seperti yang ditunjukkan oleh perhitungan berikut:

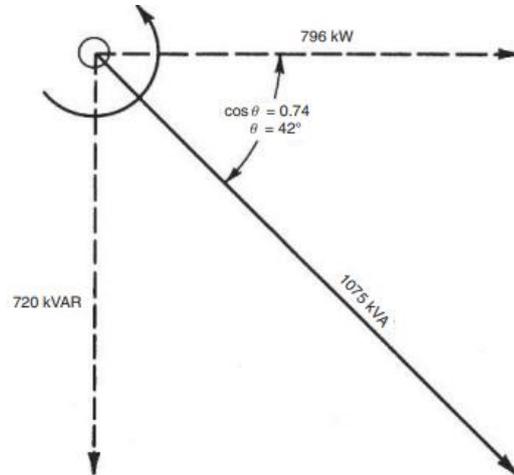
$$\begin{aligned} \text{Apparent power} &= \frac{1293 \times 480 \times 1.73}{1000} \\ &= 1074 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Nilai sebenarnya dari daya semu hanya dapat diperoleh bila semua motor berjalan dan diberi beban.

Untuk contoh ini, asumsikan bahwa faktor daya adalah 0,74. Ingatlah bahwa faktor daya adalah kosinus dari sudut teta. Ketika sudut yang sesuai dengan kosinus 0,74 ditentukan dengan menggunakan kalkulator ilmiah atau tabel fungsi trigonometri, didapat 42°, Gambar 11-13. Komponen reaktif kilovar (kVAR) dalam kelompok daya sama dengan nilai daya semu (dalam kVA) dikalikan dengan sinus takterhingga :

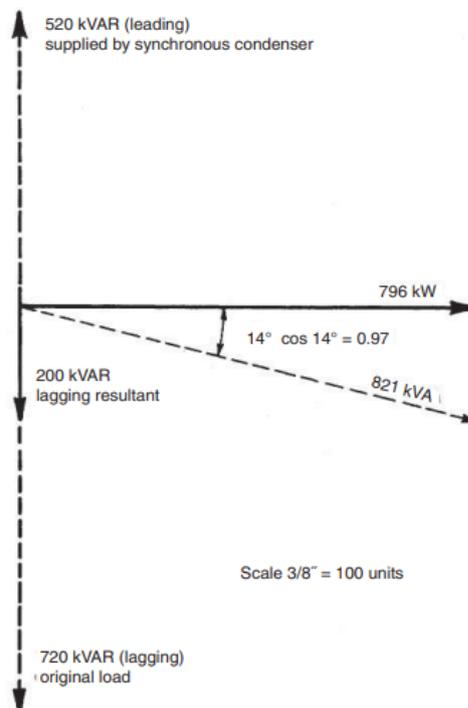
$$\begin{aligned} \text{kVAR} &= \text{kVA} (\text{sine } 42^\circ) \\ &= 1074 \times 0.67 \\ &= 720 \text{ kilovolt-amperes reactive} \end{aligned}$$

Karena  $180^\circ$  memisahkan dukungan komponen utama dihubungkan oleh kondensor sinkron dan komponen lagging yang disebabkan oleh karakteristik induktif dari beban motor (masing-masing  $90^\circ$  lead dan  $90^\circ$  lag), nilai kVAR terdepan yang diperlukan untuk membatalkan nilai kVAR lagging adalah 720. Dua kondensor sinkron 350 kVAR padat harus dipasang untuk memberikan faktor daya terkemuka dan mengurangi faktor daya tertinggal yang dihasilkan oleh motor induksi dan beban induktif lainnya.



**GAMBAR 11-13** Perpindahan sudut tanpa kondensor sinkron, faktor daya = 0,742.

Reaktansi tidak perlu dikurangi menjadi nol seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11-14. Ilustrasi ini menunjukkan bahwa kondensor sinkron mensuplai 520 kVAR reaktansi terdepan. Nilai ini mengurangi reaktansi lagging asli menjadi 200 kVAR. Namun, faktor daya ditingkatkan menjadi 0,97 dan daya semu menjadi 821 kVA. Nilai kW tidak berubah, karena ditentukan oleh pembebanan motor dan kerugian gesekan di motor. Kedua besaran ini merupakan beban sebenarnya.



**GAMBAR 11-14** Diagram vektor dengan kondensor sinkron, faktor daya = 0,97.

### 11.3 Kondenser Sinkron

Kondensor sinkron adalah mesin listrik yang berputar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11-15. Ini mirip dengan motor sinkron atau generator AC. Namun, dalam pengoperasiannya, tidak ada beban listrik atau mekanis yang terhubung dengannya. Satu-satunya daya yang diperlukan untuk pengoperasian kondensor sinkron adalah daya yang dibutuhkan untuk mensuplai rugi-rugi kecilnya sendiri.

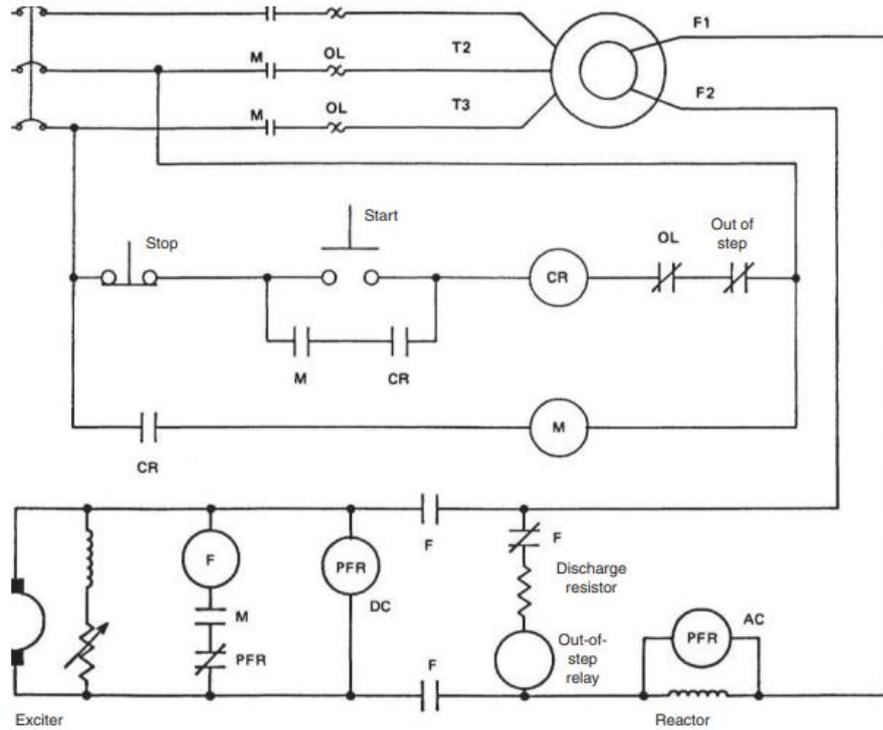
Kondensor sinkron memiliki belitan jangkar 3 fase stasioner dengan nilai 480 volt dan 60 hertz. Medan putar kondensor dibangkitkan dari sumber DC, terkadang generator DC kecil dipasang pada poros kondensor sinkron. Diagram skema dari pengontrol dan skema kontrol untuk kondensor sinkron ini ditunjukkan pada Gambar 11-16. Mesin sinkron besar sering menggunakan exciter tanpa sikat sebagai pengganti generator yang dipasang pada poros motor. Pembangkit tanpa sikat terdiri dari jangkar luka 3-fase yang dikelilingi oleh elektromagnet stasioner, Gambar 11-17.

Belitan jangkar 3 fase terhubung ke penyearah jembatan 3 fase. Keluaran penyearah mensuplai arus eksitasi DC ke medan rotor, Gambar 11-18. Rakitan exciter tanpa sikat ditunjukkan pada Gambar 11-19.

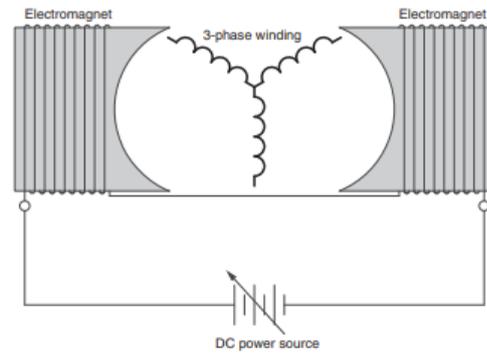
Jumlah eksitasi ke medan rotor dari kondensor sinkron dikendalikan oleh jumlah eksitasi DC ke elektromagnet stasioner. Exciter tanpa sikat menghilangkan masalah dengan sikat dan komutator yang terkait dengan generator DC kecil yang dipasang pada mesin sinkron. Pengoperasian kondensor sinkron sedemikian rupa sehingga jika medan rotor kurang tereksitasi, ia akan menunjukkan faktor daya tertinggal seperti jenis motor AC lainnya. Jika arus medan dinaikkan ke titik di mana faktor daya kondensor adalah 1, atau satu, arus dan tegangan sefasa dan tidak ada lead atau lag. Ini umumnya disebut sebagai eksitasi normal. Jika arus eksitasi dinaikkan di atas normal, kondensor sinkron akan menunjukkan faktor daya terdepan dengan cara yang sama ketika kapasitansi ditambahkan ke rangkaian. Jumlah overexcitation menentukan jumlah kekuatan terkemuka.



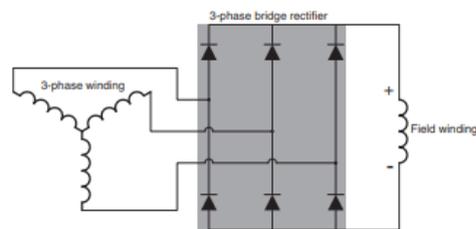
**GAMBAR 11-15** Kondensor sinkron dengan exciter yang terhubung langsung.



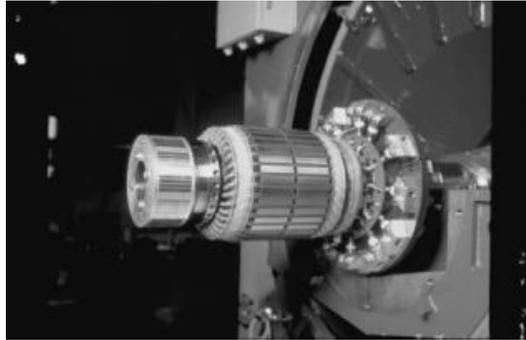
**GAMBAR 11-16** Rangkaian pengontrol motor sinkron dasar.



**GAMBAR 11-17** Exciter brushless menggunakan belitan 3-fase dan elektromagnet stasioner.



**GAMBAR 11-18** Belitan 3 fasa dihubungkan ke penyearah jembatan tiga fasa.



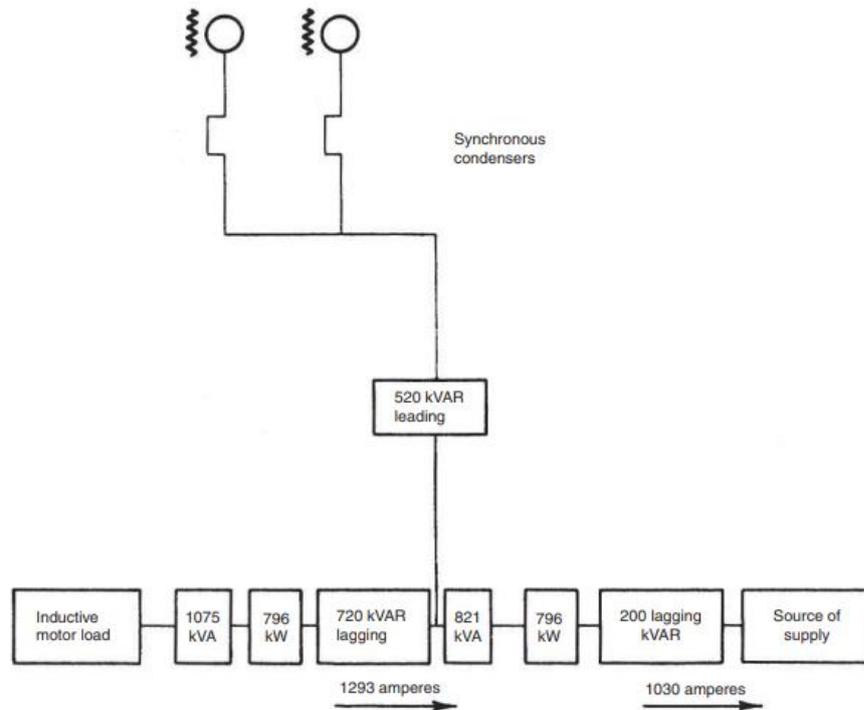
**GAMBAR 11-19** Rakitan exciter tanpa sikat.

Ketika pabrik industri tidak beroperasi pada kapasitas penuhnya, eksitasi harus diatur untuk mempertahankan nilai kVAR yang rendah di feeder. Inspeksi dan penyesuaian berkala yang diperlukan akan memastikan bahwa faktor daya tinggi tetap terjaga. Faktor daya dikoreksi atau ditingkatkan hanya dari titik pemasangan kondensator sinkron kembali ke sumber suplai, Gambar 11-20. Koreksi faktor daya tidak berpengaruh pada arus di saluran plug-in atau sirkuit cabang motor.

Oleh karena itu, untuk membatalkan arus lagging di saluran pengumpan, kondensator sinkron harus dieksitasi berlebihan. Karena instalasi ini tidak menggunakan kontrol otomatis, kekuatan eksitasi medan ditingkatkan dengan menyesuaikan rheostat medan pada kotak panel kontrol.

Ketika kondensator sinkron dimulai dari kotak panel kontrol, ia bekerja dengan cara yang sama seperti motor sinkron lainnya, dengan pengecualian bahwa beban tidak terhubung. Sebelum kondensator dimulai, kontaktor yang biasanya tertutup akan memendekkan belitan medan untuk mencegah penumpukan tegangan tinggi. Segera setelah mesin mendekati kecepatan sinkronnya, kontaktor melepaskan short dan menghubungkan medan ke exciter. Segera setelah eksitasi medan normal tercapai, arus menurun ke nilai yang relatif rendah. Ammeter AC pada kotak panel kontrol akan naik dengan cepat ketika rheostat medan disesuaikan untuk kurang eksitasi atau eksitasi berlebihan.

Ketika mesin kurang tereksitasi oleh arus medan yang lebih rendah dari normal, arus tertinggal dari tegangan. Tetapi, ketika eksitasi medan lebih kuat dari biasanya, arus mendahului tegangan dan memberikan nilai kVAR terdapan untuk melawan nilai kVAR tertinggal di saluran pengumpan. Nilai lagging ini disebabkan oleh efek induktif dari beban motor AC. Dengan menggunakan rheostat medan untuk mengatur eksitasi medan, setiap nilai kVAR terkemuka tersedia hingga output terukur mesin. Jika pabrik beroperasi pada kapasitas penuh, kedua kondensator sinkron harus digunakan. Kondensator harus disesuaikan sehingga keluaran kVAR mereka sama. Nilai kVAR total harus sedemikian rupa sehingga faktor daya ditingkatkan ke nilai yang mendekati satu.

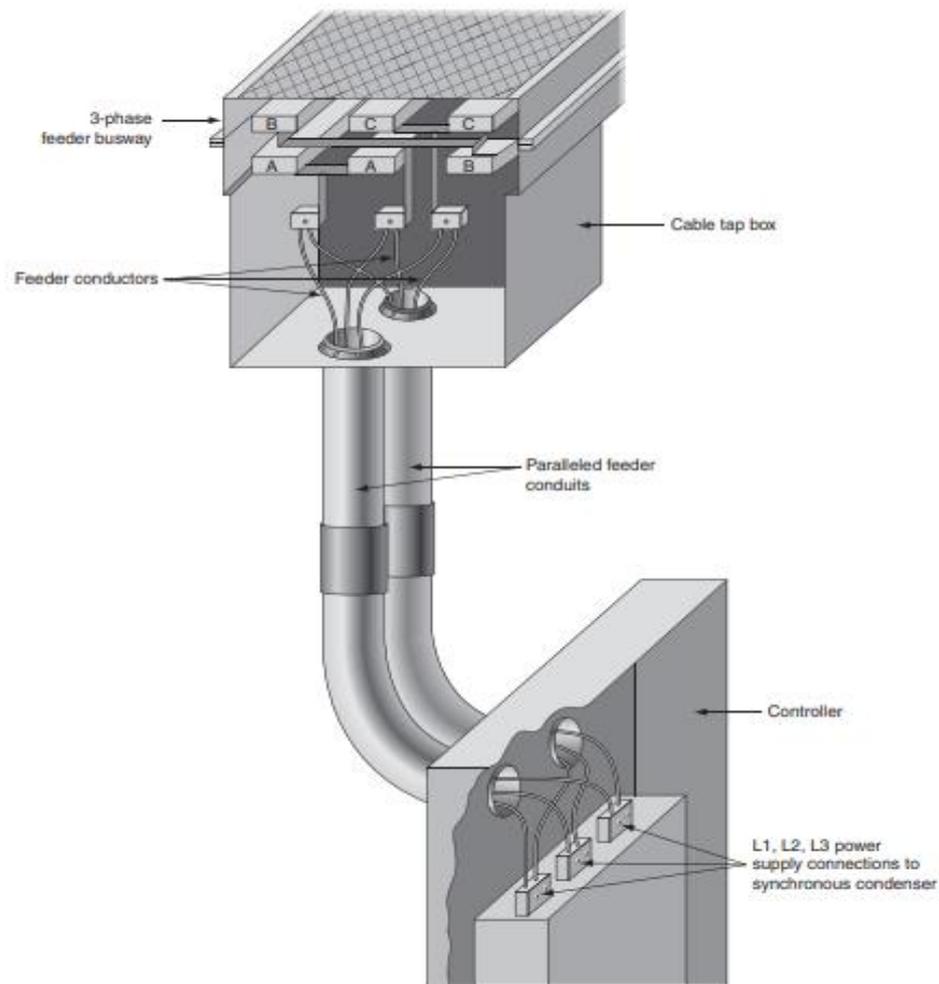


**GAMBAR 11-20** Diagram blok yang menunjukkan bagaimana faktor daya dikoreksi.

#### 11.4 Koneksi

Masing-masing dari kondensor sinkron 350 kVAR terhubung ke busway pengumpan. Nomor Pengkabelan untuk koneksi ini berukuran sesuai dengan 430.22. Konduktor harus memiliki ampacity setidaknya 125% dari rating arus beban penuh dari kondensor sinkron yang disuplai oleh pabrikan. Menggunakan 370 ampere sebagai contoh, ketika 370 dikalikan dengan 1,25, hasilnya adalah 463 ampere, ampacity konduktor yang diperlukan. Untuk mengizinkan penggunaan konduktor dan saluran yang lebih kecil, diputuskan untuk membuat paralel pengumpan. Beberapa aturan harus diikuti saat menggunakan pengumpan paralel (lihat 300.20 dan 310.10(H)):

- Semua konduktor fase, dan netral jika digunakan, serta semua konduktor pembumian peralatan harus dikelompokkan di setiap raceway;
- konduktor harus 1/0 AWG atau lebih besar;
- konduktor dalam satu pengelompokan harus sama panjangnya, bahan konduktornya sama, ukurannya sama, memiliki jenis insulasi yang sama, dan diakhiri dengan cara yang sama seperti konduktor pada pengelompokan yang lain; dan
- jalur balap yang berisi kelompok konduktor harus memiliki karakteristik fisik yang sama.



**GAMBAR 11-21** Sambungan kondensor sinkron.

Karena dua pengumpan paralel dipasang ke masing-masing kondensor sinkron, konduktor dapat berukuran setengah dari nilai ampasitas yang diperlukan, atau 232 ampere. Koneksi diilustrasikan pada Gambar 11-21.

### 11.5 Memperbaiki Faktor Daya Dengan Kapasitor

Meskipun pabrik ini menggunakan kondensor sinkron untuk koreksi faktor daya, praktik umum di banyak instalasi industri menggunakan bank kapasitor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11-22, untuk melakukan tugas ini. Kapasitor adalah perangkat yang memiliki arus terdapan dan karena itu merupakan faktor daya terdapan. Ketika kapasitor dihubungkan dalam rangkaian dengan induktor, VAR terkemuka dari kapasitor bertindak untuk membatalkan VAR yang tertinggal dari induktor. Dengan cara ini, faktor daya dapat diperbaiki.

Untuk mengoreksi faktor daya suatu rangkaian atau motor, terlebih dahulu harus ditentukan faktor daya yang ada. Dalam contoh yang ditunjukkan pada Gambar 11-23, wattmeter 3-fase, ammeter, dan voltmeter telah dihubungkan ke rangkaian 3-fase. Diasumsikan meter menunjukkan nilai yang ditunjukkan:

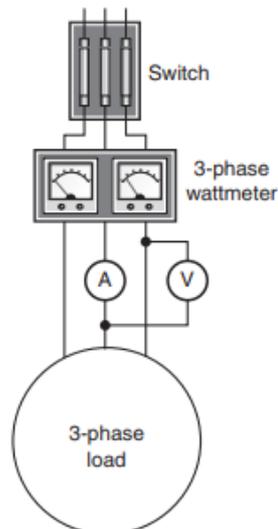
Wattmeter: 13,9 kilowatt

Amperemeter: 25 ampere

Pengukur voltase: 480 volt



**GAMBAR 11-22** Kapasitor yang digunakan untuk koreksi faktor daya.



**GAMBAR 11-23** Mengukur faktor daya.

Untuk menghitung faktor daya, pertama-tama perlu dihitung daya semu. Dalam rangkaian 3 fasa, daya semu dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} VA &= \sqrt{3} \times \text{volts} \times \text{amps} \\ &= 1.732 \times 480 \times 25 \\ &= 20.8 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Sekarang setelah daya semu dan daya sebenarnya dari rangkaian diketahui, faktor daya dapat ditentukan dengan membandingkan daya sebenarnya dan daya semu.

$$PF = \frac{W}{VA} = \frac{13.9}{20.8} = 0.668 = 66.8\%$$

Jumlah daya reaktif dalam rangkaian sekarang dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} kVAR &= \sqrt{kVA^2 - kW^2} \\ &= \sqrt{20.8^2 - 13.9^2} \\ &= \sqrt{432.64 - 193.21} \\ &= \sqrt{239.43} \\ &= 15.47 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Faktor daya umumnya tidak dikoreksi hingga 100%. Dalam contoh ini, faktor daya akan dikoreksi menjadi 97%.

Untuk menentukan kVAR kapasitif yang diperlukan untuk mengoreksi faktor daya hingga 97%, pertama-tama tentukan berapa daya semu dengan faktor daya 97%.

$$kVA = \frac{kW}{PF} = \frac{13.9}{0.97} = 14.3$$

Sekarang tentukan jumlah VAR induktif yang diperlukan untuk menghasilkan daya semu hingga 14,3 kVA.

$$\begin{aligned} kVAR &= \sqrt{kVA^2 - kW^2} \\ &= \sqrt{14.3^2 - 13.9^2} \\ &= 3.36 \end{aligned}$$

Karena rangkaian saat ini berisi 15,47 induktif kVAR aktif, 12,11 kVAR kapasitif (15,47 3,36) akan ditambahkan ke sirkuit. Metode lain untuk menentukan kapasitansi yang diperlukan untuk mengoreksi faktor daya adalah dengan menggunakan Tabel 11-1. Untuk menemukan jumlah kapasitansi yang dibutuhkan, hitung faktor daya dengan cara yang sama seperti yang dijelaskan sebelumnya. Rangkaian pada contoh sebelumnya memiliki daya sebenarnya 13,9 kilowatt dan faktor daya 67%. Untuk mencari jumlah kapasitif VAR yang diperlukan untuk mengoreksi faktor daya menjadi 97%, carilah 67% di kolom sebelah kiri. Ikuti baris ini sampai ke kolom 97%. Faktor perkaliannya adalah 0,857. Kalikan nilai daya sebenarnya dengan faktor perkalian.

$$13,9 \text{ kW} \times 0,857 = 11,9 \text{ kVARs}$$

**TABEL 11-1** Pengganda Kilowatt untuk menentukan kilovar kapasitor.

	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
50	0.982	1.008	1.034	1.060	1.086	1.112	1.139	1.165	1.192	1.220	1.248	1.276	1.306	1.337	1.369	1.403	1.440	1.481
51	0.937	0.962	0.989	1.015	1.041	1.067	1.094	1.120	1.147	1.175	1.203	1.231	1.261	1.292	1.324	1.358	1.395	1.436
52	0.893	0.919	0.945	0.971	0.997	1.023	1.050	1.076	1.103	1.131	1.159	1.187	1.217	1.248	1.280	1.314	1.351	1.392
53	0.850	0.876	0.902	0.928	0.954	0.980	1.007	1.033	1.060	1.088	1.116	1.144	1.174	1.205	1.237	1.271	1.308	1.349
54	0.809	0.835	0.861	0.887	0.913	0.939	0.966	0.992	1.019	1.047	1.075	1.103	1.133	1.164	1.196	1.230	1.267	1.308
55	0.769	0.795	0.821	0.847	0.873	0.899	0.926	0.952	0.979	1.007	1.035	1.063	1.093	1.124	1.156	1.190	1.227	1.268
56	0.730	0.756	0.782	0.808	0.834	0.860	0.887	0.913	0.940	0.968	0.996	1.024	1.054	1.085	1.117	1.151	1.188	1.229
57	0.692	0.718	0.744	0.770	0.796	0.822	0.849	0.875	0.902	0.930	0.958	0.986	1.016	1.047	1.079	1.113	1.150	1.191
58	0.655	0.681	0.707	0.733	0.759	0.785	0.812	0.838	0.865	0.893	0.921	0.949	0.979	1.010	1.042	1.076	1.113	1.154
59	0.619	0.645	0.671	0.697	0.723	0.749	0.776	0.802	0.829	0.857	0.885	0.913	0.943	0.974	1.006	1.040	1.077	1.118
60	0.583	0.609	0.635	0.661	0.687	0.713	0.740	0.766	0.793	0.821	0.849	0.877	0.907	0.938	0.970	1.004	1.041	1.082
61	0.549	0.575	0.601	0.627	0.653	0.679	0.706	0.732	0.759	0.787	0.815	0.843	0.873	0.904	0.936	0.970	1.007	1.048
62	0.516	0.542	0.568	0.594	0.620	0.646	0.673	0.699	0.725	0.754	0.782	0.810	0.840	0.871	0.903	0.937	0.974	1.015
63	0.483	0.509	0.535	0.561	0.587	0.613	0.640	0.666	0.693	0.721	0.749	0.777	0.807	0.838	0.870	0.904	0.941	0.982
64	0.451	0.477	0.503	0.529	0.555	0.581	0.608	0.634	0.661	0.689	0.717	0.745	0.775	0.806	0.838	0.872	0.909	0.950
65	0.419	0.445	0.471	0.497	0.523	0.549	0.576	0.602	0.629	0.657	0.685	0.713	0.743	0.774	0.806	0.840	0.877	0.918
66	0.388	0.414	0.440	0.466	0.492	0.518	0.545	0.571	0.598	0.626	0.654	0.682	0.712	0.743	0.775	0.809	0.846	0.887
67	0.358	0.384	0.410	0.436	0.462	0.488	0.515	0.541	0.568	0.596	0.624	0.652	0.682	0.713	0.745	0.779	0.816	0.857
68	0.328	0.354	0.380	0.406	0.432	0.458	0.485	0.511	0.538	0.566	0.594	0.622	0.652	0.683	0.715	0.749	0.786	0.827
69	0.299	0.325	0.351	0.377	0.403	0.429	0.456	0.482	0.509	0.537	0.565	0.593	0.623	0.654	0.686	0.720	0.757	0.798
70	0.270	0.296	0.322	0.348	0.374	0.400	0.427	0.453	0.480	0.508	0.536	0.564	0.594	0.625	0.657	0.691	0.728	0.769
71	0.242	0.268	0.294	0.320	0.346	0.372	0.399	0.425	0.452	0.480	0.508	0.536	0.566	0.597	0.629	0.663	0.700	0.741
72	0.214	0.240	0.266	0.292	0.318	0.344	0.371	0.397	0.424	0.452	0.480	0.508	0.538	0.569	0.601	0.635	0.672	0.713

**TABEL 11-1** Lanjutan. Pengganda Kilowatt untuk menentukan kilovar kapasitor.

	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
73	0.186	0.212	0.238	0.264	0.290	0.316	0.343	0.369	0.396	0.424	0.452	0.480	0.510	0.541	0.573	0.607	0.644	0.685
74	0.159	0.185	0.211	0.237	0.263	0.289	0.316	0.342	0.369	0.397	0.425	0.453	0.483	0.514	0.546	0.580	0.617	0.658
75	0.132	0.158	0.184	0.210	0.236	0.262	0.289	0.315	0.342	0.370	0.398	0.426	0.456	0.487	0.519	0.553	0.590	0.631
76	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.235	0.262	0.288	0.315	0.343	0.371	0.399	0.429	0.460	0.492	0.526	0.563	0.604
77	0.079	0.105	0.131	0.157	0.183	0.209	0.236	0.262	0.289	0.317	0.345	0.373	0.403	0.434	0.466	0.500	0.537	0.578
78	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.209	0.235	0.262	0.290	0.318	0.346	0.376	0.407	0.439	0.473	0.510	0.551
79	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.183	0.209	0.236	0.264	0.292	0.320	0.350	0.381	0.413	0.447	0.484	0.525
80	0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.157	0.183	0.210	0.238	0.266	0.294	0.324	0.355	0.387	0.421	0.458	0.499
81		0.000	0.026	0.052	0.078	0.104	0.131	0.157	0.184	0.212	0.240	0.268	0.298	0.329	0.361	0.395	0.432	0.473
82			0.000	0.026	0.052	0.078	0.105	0.131	0.158	0.186	0.214	0.242	0.272	0.303	0.335	0.369	0.406	0.447
83				0.000	0.026	0.052	0.079	0.105	0.132	0.160	0.188	0.216	0.246	0.277	0.309	0.343	0.380	0.421
84					0.000	0.026	0.053	0.079	0.106	0.134	0.162	0.190	0.220	0.251	0.283	0.317	0.354	0.395
85						0.000	0.027	0.053	0.080	0.108	0.136	0.164	0.194	0.225	0.257	0.291	0.328	0.369
86							0.000	0.026	0.053	0.081	0.109	0.137	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.342
87								0.000	0.027	0.055	0.083	0.111	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.316
88									0.000	0.028	0.056	0.084	0.114	0.145	0.177	0.211	0.248	0.289
89										0.000	0.028	0.056	0.086	0.117	0.149	0.183	0.220	0.261
90											0.000	0.028	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.233

### Memperbaiki Faktor Daya Pembangkit

Perusahaan utilitas sering membutuhkan faktor daya untuk diperbaiki pada titik di mana daya dipasok ke pabrik industri. Dalam contoh ini, sebuah perusahaan utilitas memasok gardu induk sebuah pembangkit dengan tegangan 12.470 volt tiga fase. Sebuah ammeter menunjukkan penarikan arus sebesar 196 ampere pada saluran suplai. Wattmeter menunjukkan konsumsi daya sebesar 3.000 kW. Kapasitor harus dipasang untuk memperbaiki faktor daya hingga 95%.

Kapasitor harus dihubungkan dalam wye, untuk menentukan:

*Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)*

- Faktor daya pembangkit
- Kapasitansi kapasitor yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya hingga 95%
- Peringkat tegangan minimum kapasitor
- Peringkat kVAR minimum dari kapasitor

Menentukan Faktor Daya Pembangkit Pertama-tama hitung daya semu.

$$VA = E_{Line} \times I_{Line} \times \sqrt{3}$$

$$VA = 12,470 \times 196 \times 1.732$$

$$VA = 4,233,216$$

Faktor daya dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$PF = \frac{\text{Watts}}{\text{Apparent Power}}$$

$$PF = \frac{3,000,000}{4,233,216}$$

$$PF = 0.709 \text{ or } 70.9\%$$

Menentukan Jumlah Kapasitansi yang Diperlukan Untuk menentukan jumlah kapasitansi yang diperlukan untuk mengoreksi faktor daya hingga 95%, pertama-tama perlu menentukan VAR induktif dalam rangkaian.

$$VAR_{s_L} = \sqrt{VA^2 - \text{Watts}^2}$$

$$VAR_{s_L} = \sqrt{4,233,216^2 - 3,000,000^2}$$

$$VAR_{s_L} = 2,986,657$$

Pada faktor daya 70,9%, pembangkit tersebut memiliki 2.986.657 VAR induktif. Untuk menentukan kapasitansi yang diperlukan untuk mengoreksi faktor daya, perlu ditentukan VAR kapasitif yang dibutuhkan. Untuk membuat perhitungan ini, tentukan daya semu jika pembangkit beroperasi dengan faktor daya 95%. Daya atau watt sebenarnya tidak akan berubah.

$$VA = \frac{\text{True Power}}{PF}$$

$$VA = \frac{3,000,000}{0.95}$$

$$VA = 3,145,895$$

Sekarang tentukan VAR induktif yang diperlukan untuk menghasilkan daya semu sebesar 3.145.895 volt amp.

$$VAR_{s_L} = \sqrt{3,145,895^2 - 3,000,000^2}$$

$$VAR_{s_L} = 946,919$$

Untuk menentukan VAR kapasitif yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya, kurangi VAR induktif yang ada dari VAR induktif yang dibutuhkan.

$$VAR_{s_C} = 2,986,657 - 946,919$$

$$VAR_{s_C} = 2,039,738$$

Setelah VAR kapasitif telah ditentukan, dimungkinkan untuk menghitung reaktansi kapasitif yang diperlukan untuk menghasilkan jumlah daya reaktif tersebut dalam beberapa cara. Karena kapasitor membentuk fase sambungan wye, nilai fase tegangan dan arus, bukan nilai saluran, harus digunakan dalam perhitungan. Ingatlah bahwa daya 3-fase dapat dihitung dengan dua cara. Jika nilai garis tegangan dan arus digunakan, mereka dikalikan dengan akar kuadrat dari 3.

$$VA = E_{(Line)} \times I_{(Line)} \times \sqrt{3}$$

Jika nilai fase tegangan dan arus digunakan, mereka dikalikan dengan 3.

$$VA = E_{(Phase)} \times I_{(Phase)} \times 3$$

Dalam koneksi wye, arus fasa dan arus saluran adalah sama. Tegangan fasa, bagaimanapun, lebih kecil dari tegangan saluran dengan akar kuadrat dari 3. Oleh karena itu, tegangan pada setiap kapasitor adalah 7200 volt, bukan 12.470.

$$E_{(Phase)} = \frac{E_{(Line)}}{\sqrt{3}}$$

$$E_{(Phase)} = \frac{12,470}{1.732}$$

$$E_{(Phase)} = 7200$$

Salah satu metode untuk menentukan reaktansi kapasitif adalah dengan terlebih dahulu menentukan jumlah arus per fasa. Besarnya arus kapasitif yang diperlukan untuk menghasilkan 2.039.738 VAR kapasitif dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$I_{C(Phase)} = \frac{VARs_c}{E_{(Phase)} \times 3}$$

$$I_{C(Phase)} = \frac{2,039,738}{21,600}$$

$$I_{C(Phase)} = 94.4 \text{ A}$$

Langkah selanjutnya adalah menentukan reaktansi kapasitif masing-masing kapasitor. Reaktansi kapasitif dapat ditentukan dengan menggunakan hukum Ohm, di mana arus sama dengan tegangan dibagi resistansi. Dalam masalah ini, arus dibatasi oleh reaktansi kapasitif, bukan resistansi. Reaktansi kapasitif sekarang dapat ditentukan.

$$X_c = \frac{E_{(Phase)}}{I_{(Phase)}}$$

$$X_c = \frac{7200}{94.4}$$

$$X_c = 76.3 \Omega$$

Metode kedua untuk menentukan reaktansi kapasitif adalah dengan menggunakan rumus:

$$X_c = \frac{E_{(\text{Phase})}^2 \times 3}{\text{VAR}_{s_c}}$$

$$X_c = \frac{7200^2 \times 3}{2,039,738}$$

$$X_c = 76.2 \Omega$$

Sedikit perbedaan dalam jawaban disebabkan oleh pembulatan nilai. Kapasitansi masing-masing kapasitor sekarang dapat ditentukan. Diasumsikan bahwa perusahaan utilitas mensuplai daya dengan frekuensi 60 Hz.

$$C = \frac{1}{2\pi fX_c}$$

$$C = \frac{1}{2 \times 3.1416 \times 60 \times 76.3}$$

$$C = \frac{1}{28,764.5}$$

$$C = 0.0000348$$

Jawabannya ada di farad. Untuk mengubah jawaban ke mikrofarad pindahkan koma desimal enam tempat ke kanan. Jawabannya adalah 34,8  $\mu\text{F}$ .

**Nilai Tegangan Minimum** Karena setiap kapasitor adalah satu fase dari koneksi wye, peringkat tegangan minimum kapasitor adalah tegangan fase 7200 volt.

**Nilai kVAR Minimum** dari Kapasitor Nilai kVAR minimum dari setiap kapasitor dapat ditentukan dengan mengalikan arus kapasitif dengan tegangan yang diberikan ke kapasitor dan kemudian membaginya dengan 1000.

$$\text{kVAR} = \frac{7200 \times 94.4}{1000}$$

$$\text{kVAR} = 680$$

Perlu dicatat bahwa meskipun beban kapasitif yang membutuhkan arus 94,4 ampere telah ditambahkan ke saluran, arus aktual yang disuplai oleh perusahaan utilitas telah menurun dari 196 ampere menjadi 145,6 ampere. Daya semu setelah faktor daya dikoreksi menjadi 95% berubah dari 4.233.216 volt amp menjadi 3.145.895 volt amp.

$$I_{(\text{Line})} = \frac{\text{VA}}{E_{(\text{Line})} \times \sqrt{3}}$$

$$I_{(\text{Line})} = \frac{3,145,895}{12,470 \times 1.732}$$

$$I_{(\text{Line})} = 145.6 \text{ A}$$

## 11.6 Memperbaiki Faktor Daya Motor

Hal ini sering diinginkan untuk memperbaiki faktor daya motor tunggal. Jumlah kapasitansi yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan cara yang sama seperti yang ditunjukkan sebelumnya, dengan menghubungkan wattmeter, ammeter, dan voltmeter dalam rangkaian. Bagan yang serupa dengan yang ditunjukkan pada Tabel 11-2 juga dapat digunakan. Kedua grafik ini mencantumkan tenaga kuda dan kecepatan sinkron dari motor rangka-U dan rangka-T. Grafik mengasumsikan faktor koreksi 93% hingga 97%. Nilai yang

*Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)*

ditunjukkan adalah kVAR kapasitansi yang diperlukan untuk mengoreksi faktor daya motor. Untuk motor yang dirancang untuk beroperasi pada 208 volt, nilai kVAR yang ditunjukkan harus ditingkatkan sebesar 1,33. Untuk motor yang dirancang untuk beroperasi pada 50 hertz, naikan nilai grafik dengan faktor 1,2.

### 11.7 Memasang Kapasitor

Pasal 460 NEC meliputi pemasangan dan proteksi sirkit kapasitor. Sebagaimana dinyatakan dalam 460.8(A), konduktor dalam sirkit kapasitor harus memiliki pengenal tidak kurang dari 135% dari pengenal arus kapasitor. Bagian ini selanjutnya menyatakan bahwa jika kapasitor digunakan dalam sirkit motor, konduktor yang menghubungkan kapasitor tidak boleh kurang dari sepertiga nilai arus motor dan dalam hal tidak kurang dari 135% dari arus pengenal kapasitor.

Jika kapasitor akan digunakan untuk memperbaiki faktor daya motor tunggal, cara pemasangan kapasitor dapat sangat mempengaruhi persyaratan Kode. Misalnya, 460.8(B) menyatakan bahwa perangkat arus lebih harus disediakan untuk setiap konduktor yang tidak diarde di bank kapasitor. Pengecualian, bagaimanapun, menyatakan bahwa perangkat arus lebih yang terpisah tidak harus disediakan jika bank kapasitor dihubungkan ke sisi beban dari perangkat pelindung beban lebih motor, Gambar 11-24. NEC 460.8(C) menyatakan bahwa kapasitor harus memiliki sarana pemutus terpisah yang diberi nilai tidak kurang dari 135% dari arus kapasitor pengenal.

Pengecualian, bagaimanapun, menyatakan bahwa sarana pemutus terpisah tidak diperlukan jika kapasitor dihubungkan ke sisi beban dari perangkat proteksi kelebihan beban motor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11-24. Jika kapasitor dihubungkan di depan gawai proteksi beban lebih, seperti ditunjukkan pada Gambar 11-25, diperlukan sarana pemutus yang terpisah dan gawai proteksi arus lebih. Tabel 11-3 memberikan daftar ukuran kawat, sekering, dan sakelar untuk peringkat kapasitor kVAR yang berbeda pada voltase yang berbeda dari sistem 3 fase.

### 11.8 Pengujian Kapasitor

**PERINGATAN:** Kapasitor adalah salah satu komponen paling berbahaya di bidang kelistrikan. Sebuah kapasitor bermuatan memiliki kemampuan untuk memberikan jumlah arus yang hampir tak terbatas. Berhati-hatilah saat menguji atau bekerja dengan kapasitor. **JANGAN PERNAH** mengisi kapasitor dan memberikannya kepada seseorang sebagai lelucon. Kapasitor dapat menyebabkan jantung mengalami fibrilasi dalam kondisi yang tepat.

Untuk memahami cara menguji kapasitor, pertama-tama perlu dipahami apa itu kapasitor. Kebanyakan kapasitor yang digunakan dalam industri, terutama untuk koreksi faktor daya, disebut kapasitor AC atau nonpolarized. Ini berarti bahwa kapasitor tidak peka terhadap polaritas tegangan mana yang terhubung ke pelat mana. Kapasitor ini umumnya dibuat dari dua pelat logam yang dipisahkan oleh bahan isolasi yang disebut dielektrik, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 11-26. Untuk menguji kapasitor secara akurat, dua pengukuran harus dilakukan. Salah satunya adalah mengukur nilai kapasitansi kapasitor untuk

menentukan apakah itu sama atau kira-kira sama dengan nilai laju. Yang lainnya adalah untuk menguji kekuatan dielektrik.

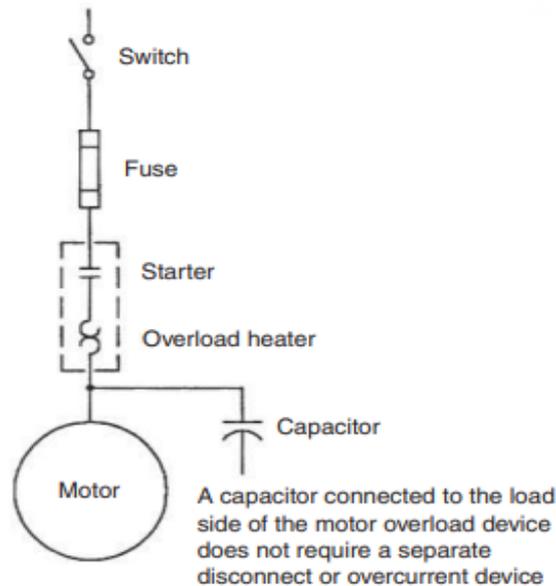
**TABEL 11-2** Memperbaiki faktor daya motor. (Tabel Singkatan: Courtesy of ARCO Electric Products)

Kilovolt-Ampere Reaktif untuk Motor U-Frame  
Peringkat Kapasitor yang Disarankan untuk Faktor Daya Sekitar 93% hingga 97%

Hp	3600 RPM	1800 RPM	1200 RPM	900 RPM	720 RPM	600 RPM
5	2.5	2.5	2.5	3	4	4
7½	2.5	2.5	3	4	5	6
10	3	3	3	5	6	7.5
15	4	4	5	6	8	8
20	5	5	6	7.5	8	10
25	6	6	7.5	8	10	13
30	8	8	8	10	13	15
40	10	10	10	13	15	20
50	12	10	13	15	18	23
60	13	13	15	18	21	26
75	17	15	18	21	26	35
100	21	21	25	26	35	40
125	26	26	30	30	40	50
150	30	30	35	37	50	50
200	40	37	40	50	60	60
250	50	45	50	60	70	75
300	60	50	60	60	80	90
350	60	60	75	75	90	95

Kilovolt-Ampere Reaktif untuk Motor T-Frame  
Peringkat Kapasitor yang Disarankan untuk Faktor Daya Sekitar 94% hingga 97%

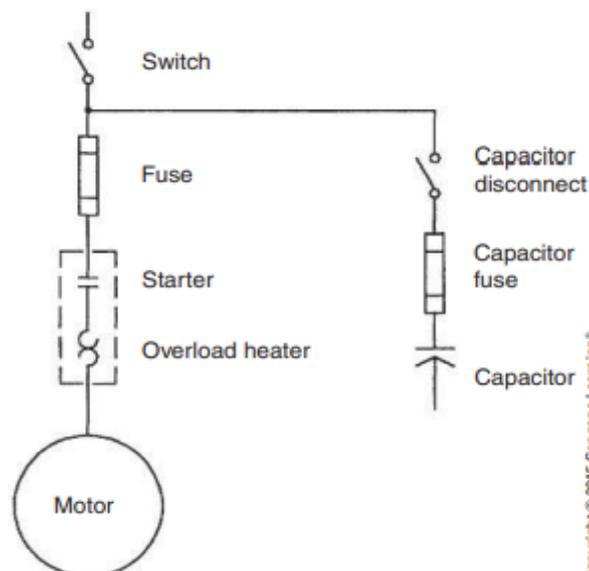
Hp	3600 RPM	1800 RPM	1200 RPM	900 RPM	720 RPM	600 RPM
5	2.5	2.5	3	4	4	5
7½	2.5	3	4	5	5	6
10	4	4	5	6	7.5	8
15	5	5	6	7.5	8	10
20	6	6	7.5	9	10	12
25	7.5	7.5	8	10	12	18
30	8	8	10	14	15	20.5
40	12	14	16	18	20	25
50	15	18	20	21	23	30
60	18	20	23	25	30	35
75	20	25	25	30	35	40
100	23	30	30	35	40	45
125	25	35	35	40	45	50
150	30	40	40	50	50	60
200	35	50	50	70	70	90
250	40	60	60	80	90	100
300	45	70	75	100	100	
350	50	75	90			



**GAMBAR 11-24** Kapasitor terhubung ke sisi beban motor.

Tes pertama harus dilakukan dengan ohmmeter. Dengan daya terputus, sambungkan terminal ohmmeter langsung melintasi terminal kapasitor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11-27. (Ini adalah praktik yang baik untuk melepaskan kapasitor, dengan menghubungkan resistor melintasi kabel, sebelum menghubungkan ke ohmmeter.)

Tes ini menentukan apakah dielektrik korsleting. Ketika ohmmeter terhubung, jarum harus berayun ke atas dan kembali ke tak terhingga. Jumlah ayunan jarum ditentukan oleh kapasitansi kapasitor. Kemudian balikkan koneksi ohm-meter; jarum harus bergerak dua kali lebih jauh ke atas dan kembali ke pengaturan tak terhingga.



**GAMBAR 11-25** Kapasitor terhubung di depan perangkat pelindung kelebihan beban.

Jika tes ohmmeter berhasil, dielektrik harus diuji pada tegangan pengenalnya. Ini disebut uji kekuatan dielektrik. Untuk melakukan pengujian ini, perangkat uji dielektrik harus digunakan. Perangkat ini sering disebut sebagai HiPot karena kemampuannya menghasilkan tegangan tinggi atau potensial tinggi. Perangkat uji dielektrik berisi kontrol tegangan variabel,

voltmeter, dan mikroammeter, Gambar 11-28. Untuk menggunakan HiPot, sambungkan ujung terminalnya ke terminal kapasitor. Tingkatkan tegangan output sampai tegangan pengenal diterapkan ke kapasitor. Mikroammeter menunjukkan aliran arus antara pelat dan dielektrik. Jika kapasitor baik, mikrometer harus menunjukkan arus nol.

Nilai kapasitansi harus diukur untuk menentukan apakah ada pelat terbuka di kapasitor. Untuk mengukur nilai kapasitansi kapasitor, sambungkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11-29, beberapa nilai tegangan AC melintasi pelat kapasitor. Tegangan ini tidak boleh lebih besar dari tegangan kapasitor pengenal. Kemudian ukur jumlah arus di sirkuit. Sekarang tegangan dan arus diketahui, reaktansi kapasitif dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

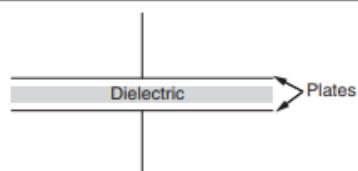
$$X_c = \frac{E}{I}$$

Setelah reaktansi kapasitif ditentukan, kapasitansi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

**TABEL 11-3** Pengkabelan tiga fase dan sekering untuk instalasi kapasitor.

KVAR	240 VOLTS				480 VOLTS				600 VOLTS			
	NOM. AMPS.	SIZE THW WIRE	FUSE	Switch	NOM. AMPS.	SIZE THW WIRE	FUSE	Switch	NOM. AMPS.	SIZE THW WIRE	FUSE	Switch
1	2.4	14	5	30	1.2	14	5	30				
2.5	6.0	14	10	30	3.0	14	5	30	2.4	14	5	30
3	7.2	14	15	30	3.6	14	10	30	3.0	14	5	30
4	9.6	14	20	30	4.8	14	10	30	3.8	14	10	30
5	12.0	12	20	30	6.0	14	10	30	4.8	14	10	30
6	14.4	12	25	30	7.2	14	15	30	5.7	14	10	30
7.5	18.0	10	30	30	9.0	14	20	30	7.0	14	15	30
8	19.2	10	35	60	9.6	14	20	30	7.6	14	15	30
10	24.0	8	40	60	12.0	12	25	30	9.5	14	20	30
13	31.2	6	50	60	15.6	10	30	30	12.2	12	20	30
15	36.0	6	60	60	18.0	10	30	30	14.2	12	25	30
18	43.4	4	80	100	21.7	10	35	60	17.3	10	30	30
20	48.0	4	80	100	24.0	8	40	60	19.0	10	35	60
21	50.5	4	80	100	25.2	8	40	60	20.1	10	40	60
23	55.2	3	90	100	27.6	8	50	60	22.8	10	40	60
25	60.0	2	90	100	30.0	6	60	60	23.8	8	40	60
26	62.5	2	90	100	31.2	6	60	60	24.8	8	40	60
30	72.0	2	125	200	36.0	6	60	60	28.8	8	50	60
33	79.2	1	150	200	39.6	6	80	100	31.3	6	60	60
35	84.0	1	150	200	42.0	4	80	100	33.6	6	60	60
37	88.8	1/0	150	200	44.4	4	80	100	35.1	6	60	60
40	96.0	1/0	175	200	48.0	4	80	100	38.0	6	80	100
45	108.0	2/0	200	200	54.0	3	90	100	42.7	4	80	100
50	120.0	2/0	200	200	60.0	2	90	100	47.6	4	80	100
55	132.0	3/0	225	400	66.0	2	100	100	52.4	3	90	100
60	144.0	3/0	250	400	72.0	2	125	200	57.6	3	90	100
65	156.0	3/0	250	400	78.0	1	150	200	62.4	2	90	100
70	168.0	4/0	300	400	84.0	1	150	200	66.2	2	100	100
75	180.0	250	300	400	90.0	1/0	150	200	71.0	2	125	200
80					96.0	1/0	175	200	77.0	1	150	200
85					102.0	1/0	175	200	81.0	1	150	200
90					108.0	2/0	200	200	85.5	1/0	150	200
95					114.0	2/0	200	200	90.0	1/0	150	200
100					120.0	2/0	200	200	95.0	1/0	175	200
125					150.0	3/0	250	400	119.0	2/0	200	200



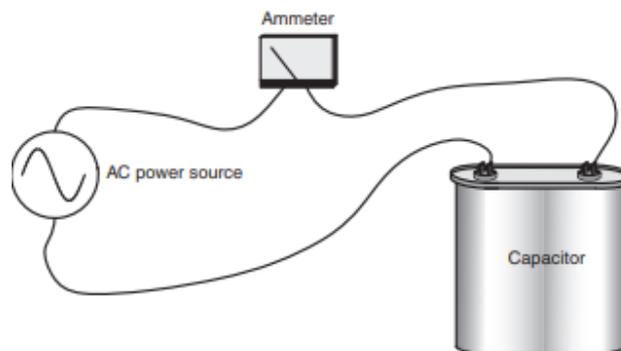
**GAMBAR 11-26** Kapasitor dasar.



**GAMBAR 11-27** Menguji kapasitor dengan ohmmeter.



**GAMBAR 11-28** Satu set uji dielektrik.



**GAMBAR 11-29** Menentukan kapasitansi kapasitor.

### 11.9 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditunjukkan secara rinci, dan referensi Kode harus dikutip bila perlu.

1. Sebutkan tiga macam beban listrik yang dihubungkan pada rangkaian AC.
2. Seorang ahli listrik menggunakan ammeter penjepit dan voltmeter untuk mengukur arus dan tegangan motor.
  - A. Jika kedua nilai dikalikan, apakah hasil kali adalah daya yang sebenarnya atau daya yang tampak?

- B. Apa yang perlu Anda ketahui untuk dapat menghitung nilai daya lainnya?
3. Ballast di beberapa luminer fluoresen yang lebih tua dikatakan memiliki faktor daya yang rendah. Perangkat apa yang ditambahkan ke rangkaian untuk meningkatkan faktor daya?
  4. Apa pengaruh faktor daya motor pada rangkaian cabang yang memasok daya ke motor?
  5. Reaktansi induktif, resistansi, dan impedansi semuanya diukur dalam ohm. Apa karakteristik umum yang memungkinkan hal ini?
  6. Reaktansi induktif, resistansi, dan impedansi selalu ada di motor yang melayani sirkuit. Manakah dari ketiganya yang benar-benar menentukan ukuran konduktor yang dibutuhkan?
  7. Kita diberitahu bahwa 1 tenaga kuda setara dengan 746 watt, tetapi motor 1-tenaga kuda, 200 volt fase tunggal, menurut Tabel 10-2 (Tabel NEC 430.248), memiliki arus 9,2 ampere. Jelaskan perbedaan yang tampak ini.
  8. Sebuah rangkaian 3 fasa 240 volt memiliki arus 116 ampere. Sebuah wattmeter yang terhubung ke sirkuit menunjukkan beban 34,7 kilowatt.
    - A. Apa faktor daya?
    - B. Berapa banyak VAR kapasitif yang diperlukan untuk memperbaiki faktor daya menjadi 95%?
  9. Ketika suplai 60 volt, 60 hertz dihubungkan ke kapasitor, arusnya terbaca 0,6 ampere. Berapa kapasitansi kapasitor tersebut?

## BAB 12

### VENTILASI, AC, DAN FASILITAS LAINNYA

#### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

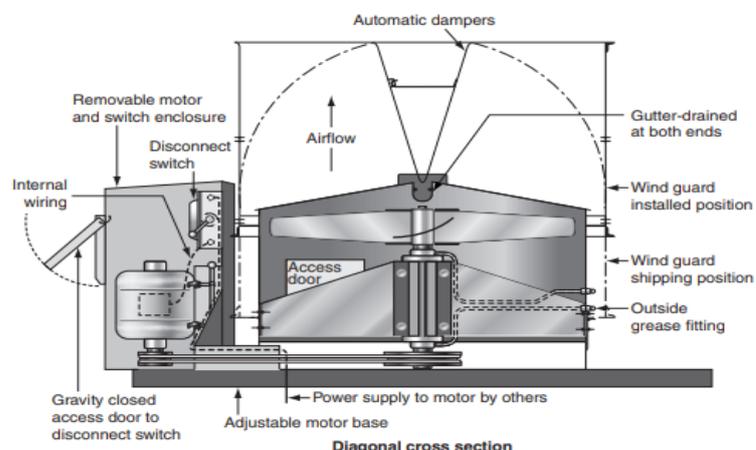
- menjelaskan sirkuit ventilator.
- menentukan persyaratan untuk kontrol pemanasan.
- menentukan kebutuhan listrik untuk AC.

Rencana dan spesifikasi bangunan industri menunjukkan bahwa masih ada beberapa sirkuit lain yang akan dipasang. Meskipun sirkuit ini dalam skala lebih kecil daripada yang dibahas dalam bab-bab sebelumnya, mereka tetap penting.

#### 12.1 Sistem Ventilator Dan Sistem Pembuangan

Menurut rencana dan spesifikasi, ada enam unit ventilasi yang akan dipasang dan dihubungkan untuk operasi. Empat unit ini terletak di atap area manufaktur. Dua unit yang tersisa terletak di atap struktur kantor. Setiap unit ventilasi terdiri dari rumah baja yang dirancang untuk dipasang pada permukaan datar dan unit peniup tertutup di rumah baja.

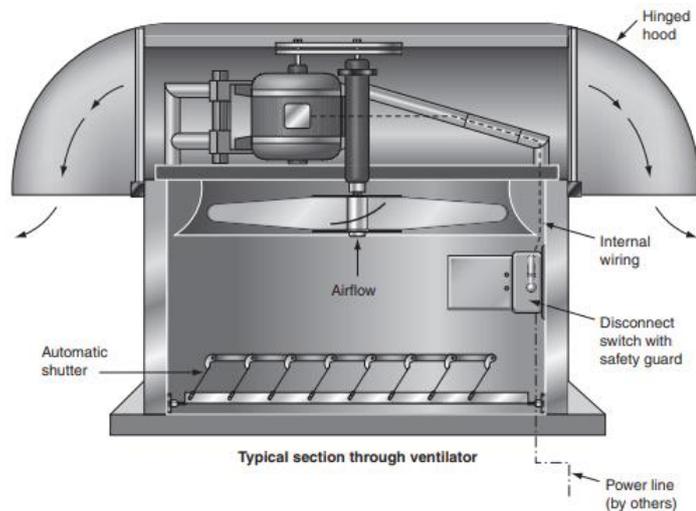
Unit blower buang terdiri dari motor 3-tenaga kuda, 3-fase, 208 volt yang menggerakkan kipas tipe baling-baling melalui penggerak sabuk-V, Gambar 12-1. Pengaturan ini menghasilkan mode operasi yang lebih senyap daripada yang dapat diperoleh dengan menggunakan unit penggerak langsung. Unit motor dan kipas dipasang bantalan untuk menyerap getaran. Akibatnya, unit hampir tidak bersuara selama operasi kecuali suara aliran udara. Kipas berputar pada kecepatan 905 RPM dan dinilai pada 17.300 kaki kubik per menit (CFM) pada tekanan udara statis 0 inci.



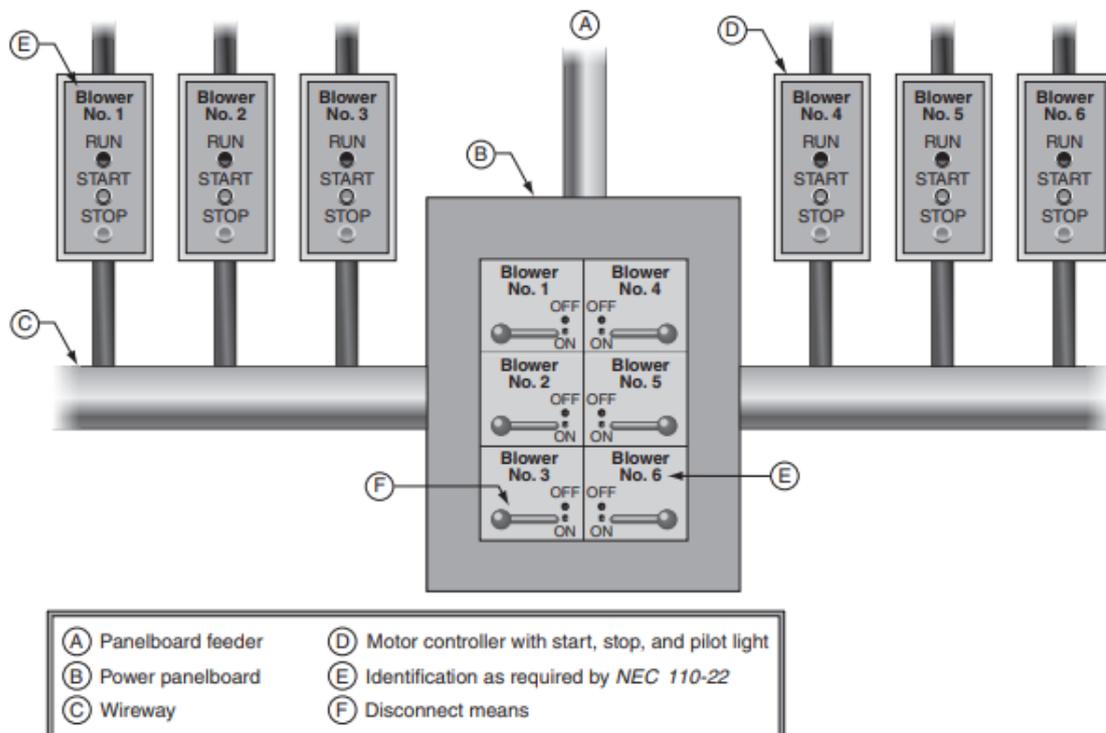
**GAMBAR 12-1** Unit blower buang.

Dua blower ventilasi yang terletak di atap struktur kantor juga memiliki daya 3 tenaga kuda, Gambar 12-2. Blower ini mengalirkan udara dari toilet dan kamar kecil yang terletak di lantai satu dan dua, serta kamar mandi dan ruang loker basement. Kipas angin memiliki kecepatan 913 RPM dan harus digunakan dengan tekanan udara statis kurang dari 1 inci.

Seperti ditunjukkan pada Lembar E-3, dua ventilasi dan empat blower buang disuplai dari panel daya khusus, P-11. Kotak panel daya ini ditunjukkan pada Gambar 12-3. Kotak panel berisi sarana pemutus peleburan untuk masing-masing sirkuit motor. Jalur kabel enam inci dipasang di kanan dan kiri dari kotak panel. Pengendali motor manual dipasang dari jalur kabel ini.



GAMBAR 12-2 Blower ventilasi.



GAMBAR 12-3 Tata letak kotak panel daya dan pengontrol motor.

## 12.2 Terminologi Khusus

Sebagian besar frasa berikut digunakan berulang kali dalam Pasal 440 NEC.

### Arus Kontinu Maksimum

Arus kontinu maksimum ditentukan oleh pabrikan kompresor motor pendingin kedap udara di bawah kondisi pengujian tertentu. Arus kontinu maksimum diperlukan untuk

merancang unit dengan benar. Teknisi listrik tidak perlu mengetahui informasi ini, dan informasi ini tidak ditempatkan pada papan nama.

#### **Nilai-Beban Saat Ini**

Arus beban pengenalan ditentukan oleh pabrikan kompresor motor pendingin kedap udara dengan menguji pada tekanan pendingin pengenalan, kondisi suhu, dan tegangan. Dalam kebanyakan kasus, arus beban pengenalan setidaknya sama dengan 64,1% dari arus kontinu maksimum kompresor motor pendingin hermetis.

#### **Pilihan Arus Cabang-Sirkuit**

Beberapa kompresor motor pendingin kedap udara dirancang untuk beroperasi terus menerus pada arus yang lebih besar dari 156% dari arus beban pengenalan. Dalam kasus seperti itu, pelat nama unit ditandai dengan arus pemilihan sirkuit cabang. Arus pemilihan cabang-sirkuit setidaknya 64,1% dari nilai arus kontinu maksimum kompresor motor pendingin kedap udara.

#### **Kapasitas Sirkuit Minimum**

Pabrikan unit AC diharuskan menandai pelat nama dengan ampacity sirkuit minimum. Ini adalah informasi penting bagi teknisi listrik. Pabrikan menentukan ampacity sirkuit minimum dengan mengalikan arus beban pengenalan, atau arus pemilihan sirkuit cabang dari kompresor motor pendingin hermetis, dengan 125%. Nilai arus dari semua beban bersamaan lainnya, seperti motor kipas, transformator, kumpulan relai, dan sebagainya, kemudian ditambahkan ke nilai ini.

#### **Perangkat Pelindung Arus Lebih Maksimum**

Pabrikan diharuskan untuk menandai perangkat proteksi arus lebih maksimum pada pelat nama. Nilai ini ditentukan dengan mengalikan arus beban pengenalan, atau arus pemilihan rangkaian cabang dari motor kompresor pendingin hermetis, dengan 225% dan kemudian menambahkan semua beban bersamaan seperti pemanas listrik, motor, dan sebagainya.

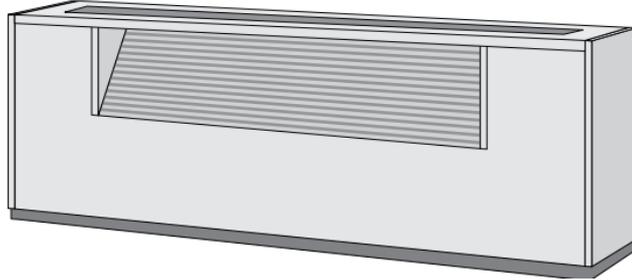
### **12.3 Peralatan Pendinginan**

Peralatan pendingin untuk bangunan industri terdiri dari tiga pendingin cair dan sepuluh unit koil kipas, seperti yang ditunjukkan pada Lembar E-3 dari rencana. Pompa sirkulasi air terletak di ruang ketel dan tidak diperlihatkan dalam gambar rencana. Meskipun pemasangan sebenarnya dari peralatan pendingin adalah tanggung jawab kontraktor lain, teknisi listrik harus memahami dan memahami pengoperasian dasar sistem pendingin.

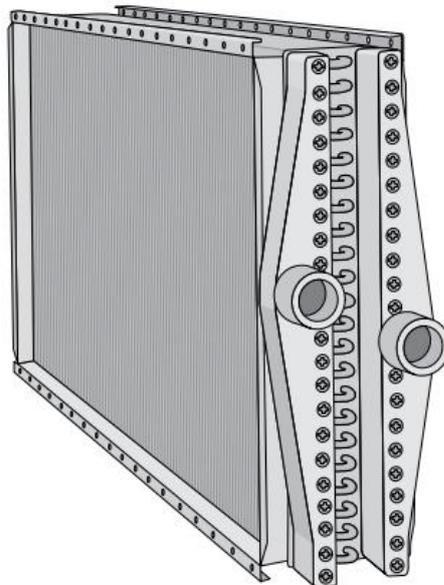
Masing-masing dari tiga pendingin cair mampu mendinginkan hampir 100 galon air per menit hingga suhu 46°F (8°C) dari suhu air balik 52°F (11°C). Air ini disirkulasikan melalui sistem perpipaan ke unit koil kipas, Gambar 12-4, yang terletak di berbagai titik di dalam gedung. Udara dingin kemudian dihembuskan dari unit-unit ini ke area terdekat. Masing-masing berfungsi untuk menjaga suhu udara yang nyaman.

Setiap unit koil kipas dilengkapi dengan motor induksi 2 tenaga kuda yang menggerakkan kipas tipe sangkar-tupai. Kipas menggerakkan hampir 3000 kaki kubik udara per menit melalui koil tabung sirip, Gambar 12-5. Pergerakan udara melalui koil menghilangkan panas dari udara, yang kemudian dipaksa melalui saluran kerja ke area yang tepat untuk didinginkan. Setiap kali area tertentu didinginkan ke suhu yang diinginkan,

termostat membuka sirkuit kontrol ke pengontrol motor dan pergerakan udara berhenti sampai area tersebut membutuhkan pendinginan lagi. Kontroler untuk setiap unit koil kipas terletak berdekatan dengan unit pendingin. Tiga sirkuit dari panelboard P-14 digunakan untuk memasok sepuluh unit pendingin koil kipas.



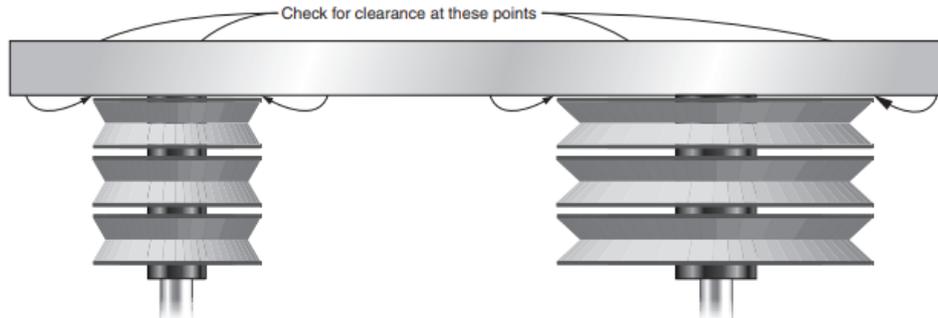
**GAMBAR 12-4** Unit kumparan kipas.



**GAMBAR 12-5** Kumparan tabung sirip.

Motor unit koil kipas dapat diharapkan untuk berjalan terus menerus dalam jangka waktu lebih dari 3 jam. Dengan demikian, motor ini dianggap sebagai motor tugas kontinu. Perlindungan kelebihan beban harus disediakan untuk motor dan berukuran sesuai dengan 430.32(A)(1). Singkatnya, bagian ini membutuhkan

- perangkat kelebihan beban terpisah untuk setiap motor;
- perangkat yang dipilih sebagai berikut:
  - Untuk motor dengan faktor servis tidak kurang dari 1,15, peringkat perangkat adalah 125% amp beban penuh (FLA).
  - Untuk motor dengan kenaikan suhu tidak lebih dari 40°C, peringkat perangkat adalah FLA 125%.
  - Untuk semua motor lain, peringkat perangkat adalah 115% FLA.



**GAMBAR 12-6** Sejajarkan berkas gandum dengan penggaris.

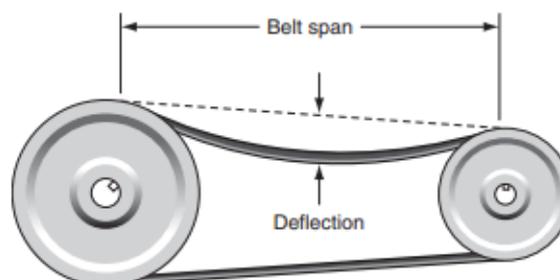
Misalnya, proteksi untuk motor 50°C yang memiliki faktor servis 1 berukuran trip pada nilai yang tidak melebihi 115% dari rating beban penuh motor. Untuk unit pendingin koil kipas, nilai trip ini adalah

$$7,5 \text{ ampere} \times 1,15 = 8,625 \text{ ampere}$$

Saat raceway dipasang dari pengontrol ke motor, beberapa bagian NEC harus diterapkan. Secara khusus, 430.242, 430.245(A), 250.112(C), 250.122(D), dan 250.134 relevan dengan instalasi. Selain itu, karena motor harus dapat digerakkan untuk menyesuaikan tegangan pada sabuk penggerak, Pasal 350 NEC akan berlaku. Instalasi tipikal mencakup bagian saluran logam fleksibel yang panjangnya sedikit kurang dari 3 kaki (900 mm), dengan konduktor pembumian peralatan dipasang di jalur balap untuk mengardekan motor.

Setelah raceway dipasang, teknisi listrik biasanya bertanggung jawab untuk menyelaraskan motor dan menyetel sabuk penggerak. Penggerak untuk unit pendingin membutuhkan tiga V-belt. Disarankan agar ketiga sabuk dibeli satu set sehingga semuanya memiliki panjang yang sama. Sabuk harus dipasang hanya setelah motor dilonggarkan dari alasnya dan dipindahkan lebih dekat ke rakitan kipas. Sabuk tidak boleh ditarik di atas berkas gandum karena kain sabuk dapat rusak.

Motor harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga berkas-berkasnya berada dalam kesejajaran yang sempurna, Gambar 12-6. Motor kemudian digerakkan untuk mengencangkan sabuk. Ketegangan yang benar untuk sabuk dapat ditentukan dari literatur pabrikan motor. Pengukuran dapat dilakukan untuk menemukan gaya yang diperlukan untuk membelokkan sabuk dengan jarak yang sama dengan 1/64 rentang sabuk, Gambar 12-7. Tergantung pada kelas penampang sabuk, nilai perwakilan dari defleksi ditunjukkan pada Tabel 12-1.



**GAMBAR 12-7** Mengukur ketegangan sabuk yang benar.

**TABEL 12-1** Nilai defleksi belt.

BELT CROSS SECTION	DEFLECTION FORCE IN POUNDS	
	MINIMUM	MAXIMUM
A	2	3½
B	2¼	6
C	6	12
D	13	25
E	25	36

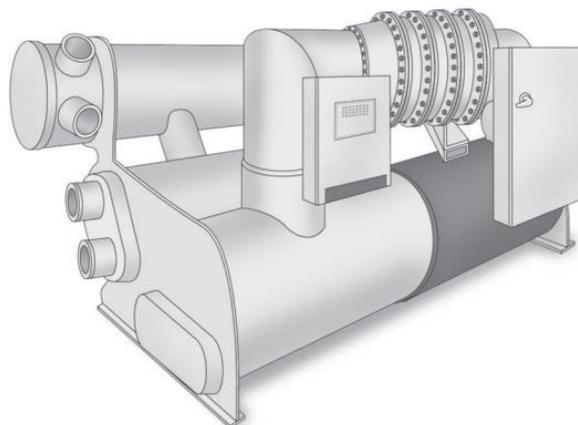
#### 12.4 Pendingin Cair (*Chiller*)

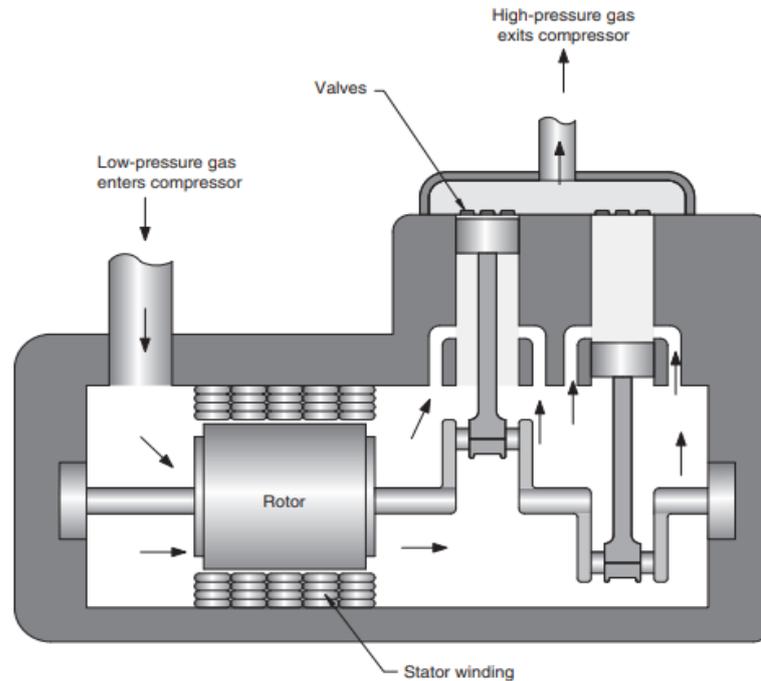
Instalasi pendingin mencakup tiga pendingin cair, Gambar 12-8, yang menyediakan air dingin ke unit koil kipas. Setiap chiller terhubung ke sirkuit terpisah dari panelboard P-14. Setiap dua dari tiga pendingin cukup untuk memenuhi kebutuhan pendinginan bangunan industri. Akibatnya, satu unit bertindak sebagai cadangan untuk memastikan bahwa pendinginan yang memadai selalu tersedia.

Pendingin masing-masing memiliki setara dengan dua motor 12½-tenaga kuda dalam bentuk kompresor motor kedap udara (lihat Pasal 440 NEC). Motor hermetis merupakan bagian integral dari sistem refrigerasi. Media pendingin memberikan efek pendinginan saat melewati motor, Gambar 12-9. Motor diberi label dengan arus beban pengenal dan arus rotor terkunci. Arus beban pengenal digunakan untuk mengukur elemen pemanas untuk relai beban lebih. Menurut 440,52(A)(1), relai ini dipilih untuk trip tidak lebih dari 140% dari arus beban pengenal.

$$37,4 \text{ ampere} \times 1,40 = 52,36 \text{ ampere}$$

Ketika sarana pemutus dipilih, baik arus rotor terkunci dan arus beban pengenal dipertimbangkan. Misalnya, jika kompresor kedap udara memiliki arus beban pengenal 37,4 ampere dan arus rotor terkunci 250 ampere, persyaratan 440,12 diterapkan sebagai berikut untuk menentukan tenaga kuda ekivalen yang diperlukan untuk memilih sarana pemutus yang benar.

**GAMBAR 12-8** Pendingin cair.



**GAMBAR 12-9** Refrigeran bertekanan rendah mengalir melalui belitan stator untuk memberikan pendinginan bagi motor kompresor yang tertutup rapat.

1. Dari Tabel 10-4 (Tabel NEC 430.250):  
Motor 3 fasa 208 volt dengan arus beban pengenal 37,4 ampere setara dengan motor 3 fasa 230 volt dengan arus beban pengenal 42 ampere. Tabel menunjukkan bahwa nilai ini melebihi yang diberikan untuk motor 10-tenaga kuda. Akibatnya, sarana pemutus dengan peringkat 15 tenaga kuda dapat diterima menurut tabel ini.
1. Dari Tabel 10-4 [Tabel NEC 430.251(B)]:  
Arus rotor terkunci 250 ampere ternyata kurang dari nilai yang diberikan untuk motor 15-tenaga kuda; dengan demikian, sarana pemutus yang dinilai pada 15 tenaga kuda dapat diterima menurut tabel ini.
2. Karena sarana pemutus 15-tenaga kuda adalah minimum yang dapat diterima oleh NEC Tabel 430.251(B), ini adalah minimum yang diperlukan untuk pemasangan. Kedua motor hermetis pada masing-masing unit chiller dihubungkan sehingga tidak dapat distarter secara bersamaan. Timer dipasang untuk menunda start motor kedua sampai 15 detik setelah start motor pertama. Penundaan ini mengurangi lonjakan arus pada konduktor suplai.

## 12.5 Unit Presipitasi

Kabut oli hadir di udara sebagian besar toko mesin besar. Kabut terdiri dari tetesan minyak atau cairan pendingin yang kecil, hampir mikroskopis. Peralatan mesin berkecepatan tinggi seperti gilingan bor, gerinda, dan mesin bubut turret cenderung mencemari udara sekitar dengan kabut minyak. Satu penggiling berkecepatan tinggi dapat mengeluarkan hampir 38 liter (10 galon) oli pendingin dalam bentuk kabut dalam periode 8 jam.



**GAMBAR 12-10** Unit presipitator.

Kabut minyak di udara menurunkan visibilitas di dalam area manufaktur dan meninggalkan lapisan atau residu pada mesin dan peralatan di sekitarnya. Selain itu, kabut juga dapat menyebabkan iritasi kulit dan mata, serta penyakit tenggorokan dan paru-paru pada pekerja. Salah satu metode untuk menghilangkan polutan ini adalah dengan menggunakan unit presipitasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12-10. Unit-unit ini diproduksi dalam ukuran yang cukup besar untuk digunakan dengan kelompok mesin atau dalam unit paket kecil yang dapat dipasang pada mesin individual yang menyebabkan kabut oli. Unit presipitasi dapat dipasang tepat di belakang, di atas, atau di samping mesin; namun, lokasi di bagian belakang alat berat adalah lokasi yang paling umum.

Spesifikasi untuk bangunan industri memerlukan unit pengendapan individu untuk dipasang di bagian belakang setiap penggilingan vertikal, bubut turret, dan penggiling silinder. Akibatnya, 23 unit curah hujan harus dipasang dan dihubungkan. Setiap unit presipitasi menempati luas lantai 18 inci kali 30 inci (45,7 cm kali 76,2 cm). Unit ini tingginya 36 inci (91,4 cm) dan dipasang padaudukan yang dibuat khusus. Unit ini memiliki kapasitas penanganan udara 600 cu. kaki per menit.

Konstruksi dasar unit presipitasi adalah sebagai berikut: Dipasang pada atau di dekat alat berkecepatan tinggi, alat ini menarik udara yang terkontaminasi dari sekitar operasi pemotongan atau penggilingan; menghilangkan kabut minyak, asap, dan bau; dan mengembalikan udara bersih ke ruang toko. Minyak pendingin yang diselamatkan dikembalikan ke reservoir pasokan cairan pendingin mesin dan digunakan kembali.

Unit pembersih udara ini terdiri dari kabinet baja yang kokoh, yang mudah dipasang. Seluruh unit dapat diakses dari samping. Pintu berengsel memungkinkan akses siap ke unit. Kabinet berisi sel kolektor, ionizer, power pack, dan rakitan kipas. Saluran masuk udara terletak di dekat bagian bawah kabinet. Saluran masuk ini terhubung ke sumber kabut oli atau kap mesin. Pipa fleksibel atau tetap yang mirip dengan pipa cerobong aluminium digunakan untuk membuat sambungan. Flensa penghubung menyediakan sarana pemasangan antara

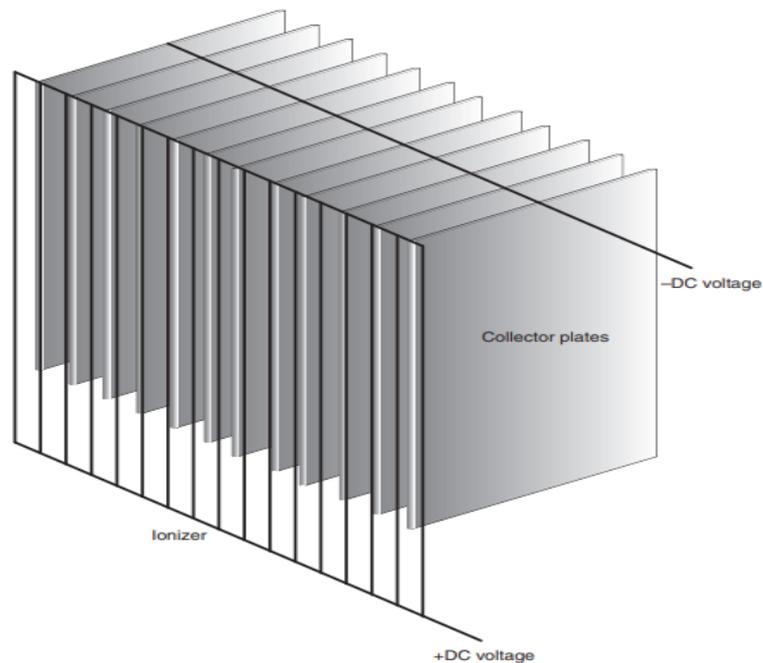
mesin dan saluran masuk udara. Saluran keluar udara terletak di bagian belakang unit presipitasi dan dilengkapi dengan panggangan.

### Konstruksi Dasar Presipitator

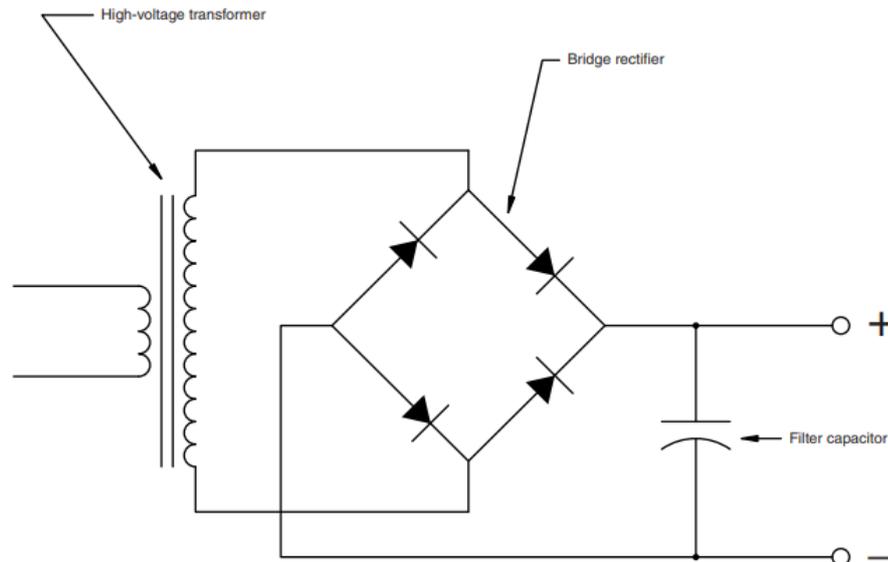
Bagian utama dari precipitator adalah ionizer, sel kolektor, dan power supply. Ionizer terdiri dari kabel tungsten yang terhubung secara elektrik. Seluruh unit ionizer diisolasi dari casing logam. Ionizer terhubung ke satu konduktor dari sumber DC tegangan tinggi. Ionizer umumnya terhubung ke tegangan positif.

Pelat kolektor adalah pelat logam datar yang dihubungkan secara listrik bersama-sama, dan seluruh rakitan juga diisolasi dari wadah logam. Pelat kolektor dihubungkan ke terminal negatif dari sumber DC tegangan tinggi, Gambar 12-11. Catu daya terdiri dari trafo tegangan tinggi, penyearah jembatan untuk mengubah AC menjadi DC, dan kapasitor filter, Gambar 12-12.

Kipas blower menarik udara melintasi ionizer. Partikel mikroskopis minyak, debu, serbuk sari, dan sebagainya, menerima muatan positif saat mereka mengalir melintasi kabel tungsten. Partikel bermuatan positif kemudian tertarik ke pelat kolektor negatif. Untuk membersihkan presipitator, daya dimatikan dan pelat dilepas untuk dibersihkan. Minyak dalam jumlah besar, bagaimanapun, akan menumpuk dan mengalir ke bawah pelat, di mana mereka dikembalikan ke tangki pendingin mesin.



**GAMBAR 12-11** Konstruksi dasar presipitator.



**GAMBAR 12-12** Penyearah mengubah AC tegangan tinggi menjadi DC tegangan tinggi.

### 12.6 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditampilkan secara rinci, dan Kode referensi harus dikutip bila perlu.

1. Berapa banyak konduktor yang harus dipasang dari sarana pemutus pada kotak panel daya ke pengontrol motor? Berapa ukuran mereka?

Untuk pertanyaan berikut, informasi pelat nama untuk unit kompresor motor pendingin hermetis diberikan. Dalam setiap kasus, perlindungan sirkuit cabang terletak di ruang peralatan yang jauh dari unit pendingin. Ukuran dan jenis konduktor harus ditentukan, bersama dengan peringkat sakelar pemutus. Penurunan tegangan merupakan pertimbangan kritis dan harus dijaga dalam batas yang direkomendasikan.

2. Tegangan sistem adalah fase tunggal 208Y/120 volt. Konduktor sirkuit cabang akan memiliki panjang 75 kaki.
  - a. Ukuran konduktor:
  - b. Jenis konduktor:
  - c. Beralih peringkat:
  - d. Penurunan tegangan:

#### TEGANGAN 208 SAMPAI 230 FASE 1

Gunakan hanya konduktor tembaga.	
Kapasitas Sirkuit Minimum 23.3 Amps	
Kompresor RLA 17.6	LRA 87
Sekering Maks. Ampere 40	Hz 60
Maks. Pemutus Sirkuit HACR	40-ampere
Motor Kipas FLA 1.3	Hp <sup>1</sup> /6

3. Tegangan sistem adalah 3 fase 208Y/120 volt. Konduktor sirkuit cabang akan memiliki panjang 100 kaki.
  - a. Ukuran konduktor:
  - b. Jenis konduktor:

c. Beralih peringkat:

d. Penurunan tegangan:

TEGANGAN 208 SAMPAI 230 FASE 1 HZ 60

Ampere Sirkuit Minimum	38
Kompresor RLA 29.1	LRA 141
Seleksi Cabang-Sirkuit Saat Ini 29.1	
Sekering Maksimum 60/50 Amps	
Pemutus Sirkuit HACR Maksimum 60/50 Amps	
Motor Kipas FLA 1.9	Hp <sup>1/4</sup>

4. Sebutkan dan jelaskan fungsi satuan presipitator

## BAB 13

### SISTEM KEAMANAN

#### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- mengidentifikasi perangkat yang digunakan untuk memberikan perlindungan sistem.
- menjelaskan pengoperasian pemutus sirkuit, sekering, dan perangkat pelindung gangguan arde.
- membuat penyesuaian yang tepat dari perangkat tersebut dengan elemen yang dapat disesuaikan.
- menentukan kapan koordinasi selektif tercapai.

#### 13.1 Sistem Keamanan

Bab-bab sebelumnya dari teks ini menjelaskan banyak perangkat dan metode untuk menyediakan perlindungan sistem. Bab ini mengevaluasi sistem perlindungan daya lengkap untuk menentukan apakah sistem tersebut sepenuhnya sesuai dengan rekomendasi NEC.

##### **Perlindungan Ground-Fault dalam Sistem Terkoordinasi**

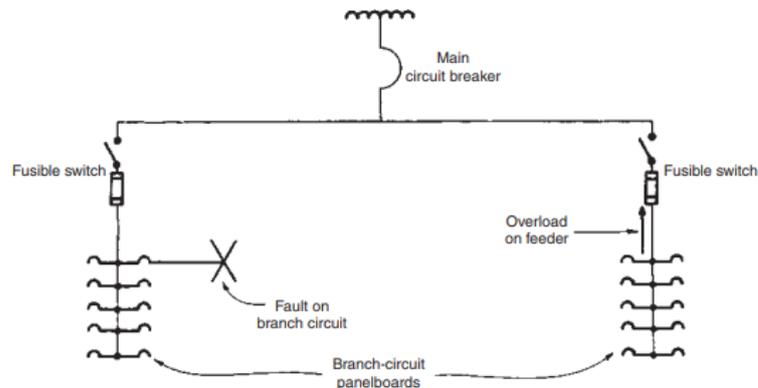
NEC menetapkan dalam 230,95 bahwa proteksi ground-fault harus disediakan pada peralatan listrik tertentu. Selain itu, NEC mencantumkan beberapa aplikasi lain sebagai berikut untuk jenis perangkat pelindung ini:

- Yang dibutuhkan:
  - untuk 1000 ampere atau lebih besar, layanan wye yang diarde dengan kokoh lebih dari 150 volt ke ground, tetapi tidak melebihi 1000 volt fase-ke-fase untuk setiap pemutusan layanan dengan nilai 1000 ampere atau lebih.
- Pengecualian:
  - Ketentuan bagian Kode ini tidak boleh berlaku dalam proses industri berkelanjutan di mana penghentian yang tidak teratur akan menimbulkan atau meningkatkan bahaya.

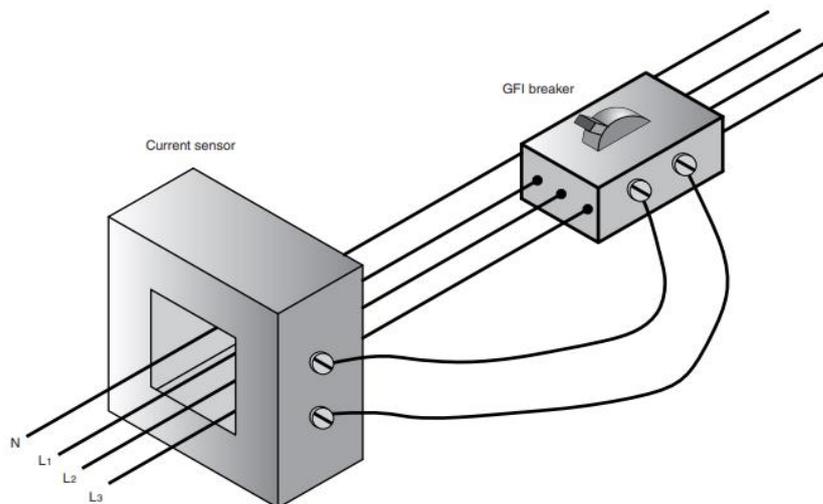
Sama pentingnya dengan persyaratan untuk proteksi gangguan tanah adalah kebutuhan untuk mengkoordinasikan proteksi arus lebih selektif yang tepat. Untuk mencapai koordinasi, teknisi listrik harus memiliki pengetahuan yang berkaitan dengan karakteristik pengoperasian berbagai jenis gawai proteksi. Jadi, setelah pemilihan peralatan yang tepat dilakukan, teknisi listrik harus dapat memeriksa dan melakukan penyetelan jika diperlukan untuk mencapai koordinasi, Gambar 13-1.

Koordinasi selektif berarti bahwa ketika terjadi kelebihan beban atau kondisi gangguan, hanya bagian dari sistem kelistrikan yang dalam bahaya yang diputuskan. Misalnya, gangguan pada rangkaian cabang menyebabkan perangkat pelindung rangkaian cabang terbuka. Pada saat yang sama, semua perangkat pelindung lainnya tetap tertutup. Demikian pula, kelebihan beban pada penyulang hanya menyebabkan perangkat pelindung arus lebih penyulang yang terbuka.

Tiga tipe dasar perangkat yang terlibat dalam koordinasi selektif adalah pemutus sirkuit, sekering, dan pelindung ground-fault. Pemutus sirkuit dan sekering dipasang di konduktor yang tidak diarde dari sistem kelistrikan untuk melindungi sistem dengan memantau arus di konduktor tersebut. Perangkat pelindung ini memutuskan konduktor dari sumber daya jika terjadi kondisi abnormal yang ditentukan, Gambar 13-2.



**GAMBAR 13-1** Koordinasi proteksi arus lebih selektif.



**FIGURE 13-2** Ground-fault protection for a 3-phase system.

Perangkat pelindung gangguan tanah terdiri dari sensor gangguan tanah (transformator arus) dan relai. Semua konduktor fase dan netral sistem dipasang melalui pusat sensor. Selama arus pada penghantar ini seimbang (kondisi normal), relai bersifat statis. Namun, jika salah satu konduktor bersentuhan dengan tanah, arus yang dihasilkan melalui sensor tidak seimbang.

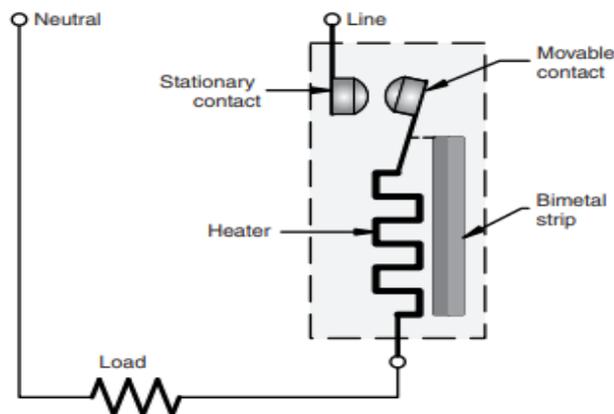
Jika gangguan ini memiliki magnitudo yang cukup dan berlangsung dalam periode yang cukup lama, relai mengirimkan sinyal ke perangkat pelindung sirkuit, yang kemudian membuka sirkuit. Deskripsi rinci berikut tentang karakteristik pengoperasian perangkat ini disajikan untuk membantu siswa memperoleh pemahaman tentang pengoperasiannya.

### 13.2 Pemutus Sirkuit

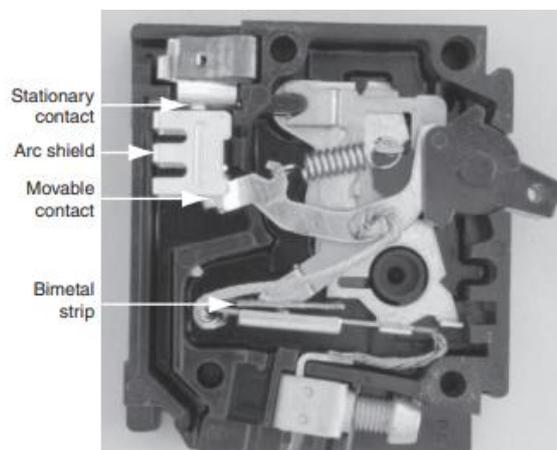
Pemutus sirkuit dikategorikan berdasarkan metode yang digunakan untuk memutus arus sirkuit (memadamkan busur) ketika kontak terbuka. Tiga jenis utama pemutus sirkuit

adalah udara, oli, dan vakum. Terlepas dari metode yang digunakan untuk memadamkan busur, pemutus tenaga merasakan arus tenaga dalam salah satu dari dua cara. Salah satu metode penginderaan arus tenaga adalah melalui produksi panas. Pemutus tenaga ini sering disebut sebagai pemutus tenaga termal. Pemutus tenaga termal umumnya menggunakan beberapa jenis elemen pemanas yang dimasukkan secara seri dengan beban, Gambar 13-3. Pemanas terletak dekat dengan strip bimetal. Strip bimetalik terhubung secara mekanis ke kontak yang dapat dipindahkan dari pemutus tenaga.

Ketika ada arus melalui pemanas, itu menyebabkan strip bimetalik menekuk atau melengkung. Jika arus lebih tinggi dari batas yang telah ditentukan, strip bimetal akan melengkung cukup jauh untuk menyebabkan kontak terbuka. Karena aksi pemutus tenaga tergantung pada pemanasan strip bimetal, ada beberapa waktu tunda sebelum tenaga terbuka. Jumlah waktu tunda tergantung pada jumlah arus lebih. Jika jumlah arus lebih kecil, mungkin diperlukan beberapa menit sebelum pemutus tenaga membuka kontak. Arus lebih yang besar akan menyebabkan kontak terbuka lebih cepat. Pemutus tenaga termal kutub tunggal ditunjukkan pada Gambar 13-4. Simbol skema yang umumnya digunakan untuk mewakili pemutus tenaga termal ditunjukkan pada Gambar 13-5.



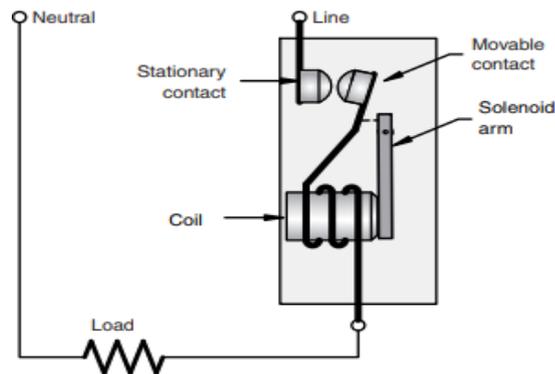
**GAMBAR 13-3** Pemutus tenaga termal merasakan arus tenaga dengan memasukkan elemen pemanas secara seri dengan beban.



**GAMBAR 13-4** Pemutus tenaga termal kutub tunggal.



**GAMBAR 13-5** Simbol skema yang digunakan untuk mewakili pemutus sirkuit termal kutub tunggal.



**GAMBAR 13-6** Pemutus sirkuit magnetik merasakan arus sirkuit dengan memasukkan koil secara seri dengan beban.

### Pemutus Sirkuit Magnetik

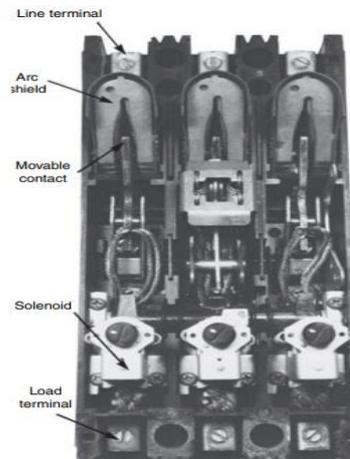
Metode kedua dari penginderaan arus rangkaian dilakukan dengan menghubungkan sebuah kumparan secara seri dengan beban, Gambar 13-6. Saat arus mengalir melalui sirkuit, medan magnet terbentuk di sekitar koil. Medan magnet menarik lengan logam dari solenoida. Jika medan magnet menjadi cukup kuat, lengan logam secara mekanis membuka kontak pemutus sirkuit. Pemutus sirkuit yang beroperasi berdasarkan prinsip ini disebut sebagai pemutus sirkuit magnetik. Pemutus sirkuit magnetik 3-kutub ditunjukkan pada Gambar 13-7.



**GAMBAR 13-7** Pemutus sirkuit magnetik tiga kutub.

Konstruksi internal pemutus sirkuit magnetik ditunjukkan pada Gambar 13-8. Pada Gambar 13-9, salah satu solenoida telah dilepas. Ini memungkinkan koil seri terlihat. Simbol skema umumnya digunakan untuk mewakili pemutus sirkuit magnetik ditunjukkan pada Gambar 13-10. Karena pemutus sirkuit tipe magnetik tidak bergantung pada pemanasan strip bimetal, ada sedikit waktu tunda dalam pembukaan kontak ketika terjadi kelebihan beban. Untuk alasan ini, mereka sering disebut sebagai pemutus arus sesaat. NEC Tabel 430.52 mencantumkan peringkat atau pengaturan maksimum dari gawai proteksi sirkuit cabang motor, hubung singkat, dan gangguan arde. Salah satu perangkat perlindungan yang terdaftar adalah pemutus perjalanan seketika.

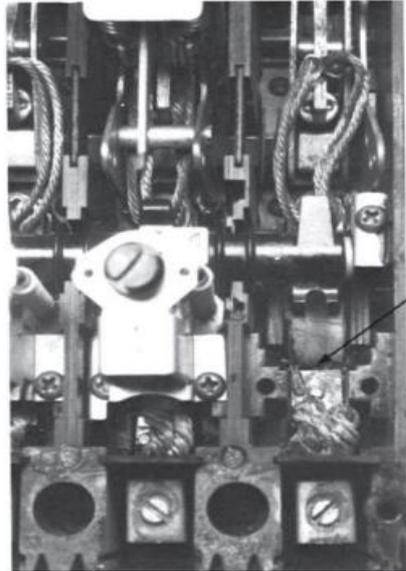
Ada beberapa jenis pemutus sirkuit yang menggunakan sensor arus termal dan magnetik. Pemutus sirkuit ini dikenal sebagai pemutus sirkuit termomagnetik. Simbol skema yang umumnya digunakan untuk menunjukkan penggunaan pemutus termomagnetik ditunjukkan pada Gambar 13-11.



**GAMBAR 13-8** Konstruksi internal pemutus sirkuit magnetik 3-kutub.

### Peringkat Arus Pemutus Sirkuit

Pemutus sirkuit sebenarnya memiliki dua peringkat arus yang berbeda. Salah satunya adalah peringkat perjalanan, dan yang lainnya adalah peringkat interupsi. Nilai arus trip adalah jumlah arus yang harus menyebabkan pemutus sirkuit membuka kontaknya ketika terlampaui. Peringkat arus trip standar untuk pemutus sirkuit waktu terbalik (pemutus sirkuit termal) dan sekering tercantum dalam 240,6. Peringkat arus perjalanan berkisar antara 15 hingga 6000 ampere.



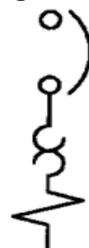
**GAMBAR 13-9** Seri kumparan pemutus sirkuit magnetik.

Peringkat interupsi menunjukkan jumlah arus maksimum yang dimaksudkan oleh pemutus sirkuit untuk diinterupsi ketika kontakannya terbuka. Jumlah arus yang akan mengalir selama kondisi hubung singkat ditentukan oleh dua faktor:

1. Tegangan sirkuit
2. Impedansi sirkuit



**GAMBAR 13-10** Simbol skema umumnya digunakan untuk mewakili pemutus sirkuit magnetik.



**GAMBAR 13-11** Simbol skema umumnya digunakan untuk mewakili pemutus sirkuit termomagnetik.

Impedansi rangkaian ditentukan oleh faktor-faktor seperti kapasitas kVA transformator yang memasok daya ke rangkaian cabang, ukuran kawat yang digunakan dalam rangkaian, resistansi kontak sambungan, dan sebagainya. Ketika terjadi korsleting atau arde, pemutus sirkuit harus mampu memutus arus. Asumsikan, misalnya, bahwa pemutus sirkuit memiliki peringkat arus trip 100 ampere. Sekarang asumsikan bahwa korsleting terjadi dan

ada arus 15.000 ampere di sirkuit. Karena pemutus sirkuit memiliki peringkat arus trip 100 ampere, ia akan segera membuka kontakannya.

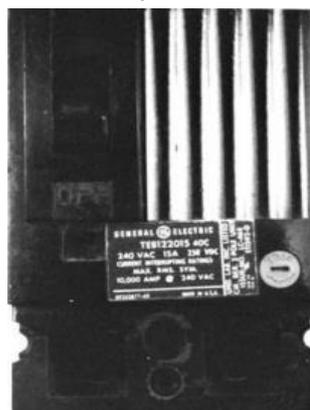
Agar pemutus arus dapat menghentikan arus, ia harus mampu memutus arus sebesar 15.000 ampere. Pemutus sirkuit umumnya memiliki peringkat interupsi 5000 ampere. Karena peringkat interupsi dapat menjadi sangat penting jika terjadi korsleting, 240,83(C) menyatakan bahwa pemutus sirkuit yang memiliki peringkat interupsi selain 5000 ampere harus memiliki peringkat yang ditandai pada pemutus sirkuit, Gambar 13-12.

Bila perlu mengganti pemutus sirkuit, selalu pastikan peringkat interupsi. Jika pemutus sirkuit dengan peringkat interupsi 5000 ampere digunakan untuk menggantikan pemutus dengan peringkat interupsi 10.000 ampere, korsleting dapat menyebabkan banyak kerusakan pada peralatan dan individu.

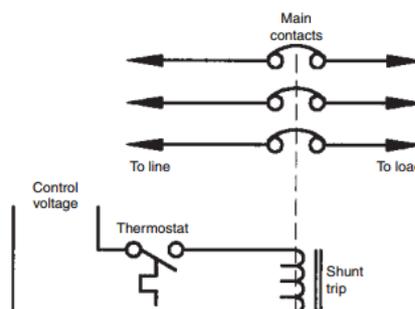
### Perjalanan Shunt dan Sakelar Bantu

Beberapa pemutus sirkuit mengandung kumparan solenoida kecil yang dikenal sebagai trip shunt. Perjalanan shunt digunakan untuk membuka kontak pemutus sirkuit dengan memberi energi pada solenoida dari sumber eksternal.

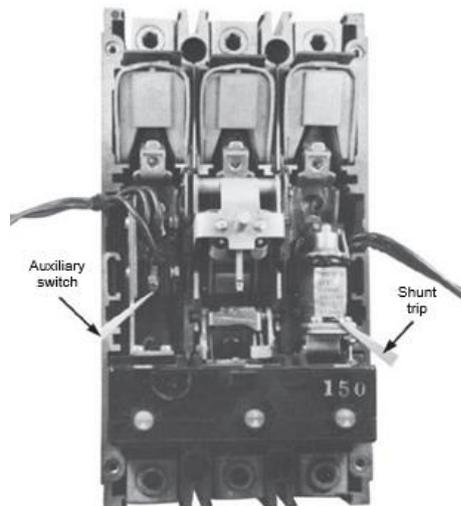
Asumsikan, misalnya, diinginkan untuk memutuskan daya ke sirkuit jika suhu naik di atas tingkat tertentu. Jika pemutus sirkuit yang melindungi sirkuit mengandung trip shunt, termostat dapat dihubungkan secara seri dengan solenoida. Jika suhu naik di atas tingkat yang diinginkan, kontak termostat akan menutup dan memberi energi pada koil, Gambar 13-13. Ketika kumparan diberi energi, kontak pemutus sirkuit akan terbuka dan memutuskan daya ke sirkuit. Pemutus sirkuit 3 kutub yang berisi trip shunt dan sakelar bantu ditunjukkan pada Gambar 13-14. Sambungan trip shunt untuk pemutus arus ditunjukkan pada Gambar 13-15.



**GAMBAR 13-12** Nilai interupsi pemutus sirkuit 10.000 ampere.



**GAMBAR 13-13** Termostat digunakan untuk memutuskan daya ke rangkaian jika suhu naik ke titik tertentu.



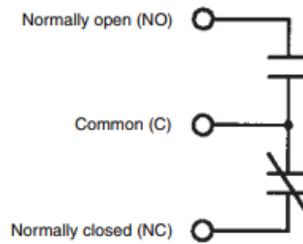
**GAMBAR 13-14** Pemutus arus dengan trip shunt dan sakelar bantu.



**GAMBAR 13-15** Sambungan trip shunt.

Beberapa pemutus sirkuit berisi sakelar bantu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13-14. Sakelar bantu adalah sakelar batas mikro kecil. Kontaknya dikendalikan oleh aksi pemutus sirkuit. Sakelar bantu umumnya berisi satu set kontak yang biasanya terbuka dan biasanya tertutup yang terhubung ke terminal umum, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13-16. Kontak ditampilkan di posisi mereka akan berada saat pemutus sirkuit dimatikan, atau dibuka. Ketika pemutus sirkuit dihidupkan, atau ditutup, kontak sakelar bantu akan berubah posisi. Kontak yang biasanya tertutup akan terbuka dan kontak yang biasanya terbuka akan tertutup.

Kontak sakelar bantu dapat digunakan untuk berbagai tujuan. Dalam beberapa kasus, jika pemutus sirkuit harus terbuka, mungkin diinginkan untuk memutuskan daya ke beberapa perangkat kontrol lain pada sirkuit yang berbeda. Dalam aplikasi lain, jika pemutus harus terbuka, kontak bantu dapat digunakan untuk menerangi lampu indikator pada kotak panel operator. Sambungan sakelar bantu untuk pemutus sirkuit 3-kutub ditunjukkan pada Gambar 13-17.



**GAMBAR 13-16** Kontak sakelar bantu.



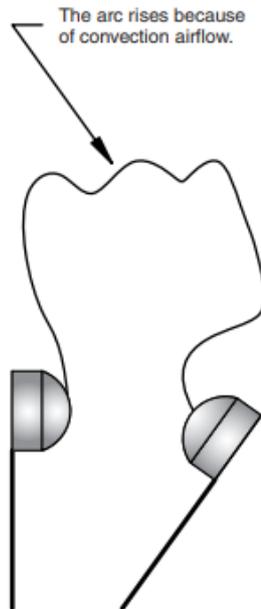
**GAMBAR 13-17** Sambungan sakelar bantu.

### Pemutus Sirkuit Udara

Pemutus sirkuit udara dinamakan demikian karena mereka menggunakan udara sebagai media isolasi untuk memutus busur ketika kontak terbuka. Mereka dapat dibagi menjadi tiga tipe dasar:

1. Pemutus sirkuit kasus cetakan
2. Pemutus sirkuit daya tegangan rendah
3. Pemutus sirkuit tegangan menengah

Terlepas dari jenis pemutus sirkuit udara yang digunakan, semuanya memiliki satu karakteristik yang sama: Mereka menggunakan udara sebagai media untuk memadamkan busur. Ketika kontak terpisah untuk menghentikan arus, dihasilkan busur yang mengandung banyak panas. Semakin jauh jarak kontak, semakin panjang busur dan semakin besar efek pendinginan. Aliran udara konveksi menyebabkan busur naik, Gambar 13-18.



**GAMBAR 13-18** Busur dihasilkan ketika kontak terbuka.

### **Pemutus Sirkuit Kotak Cetakan**

Pemutus sirkuit kasus cetakan digunakan pada tegangan rendah (1000 volt atau kurang), sirkuit arus rendah. Mereka dicirikan oleh penggunaan kasing yang dicetak, yang menghasilkan persyaratan ruang minimum. Mereka digunakan untuk melindungi motor kecil, penerangan, dan sirkuit peralatan.

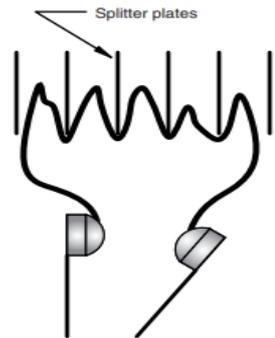
Pemutus arus yang dimaksudkan untuk tegangan dan arus yang lebih rendah sering bergantung pada jarak antara kontak yang cukup untuk meregangkan busur cukup jauh untuk memadamkannya. Pemutus sirkuit yang dimaksudkan untuk digunakan pada sirkuit tegangan tinggi sering menggunakan perangkat lain untuk membantu memadamkan busur. Salah satu perangkat ini adalah splitter. Pembagi terdiri dari pelat logam atau berinsulasi yang terletak di bagian atas kontak, Gambar 13-19. Fungsinya adalah untuk memungkinkan gas panas keluar, tetapi memperpanjang jalur busur sehingga efek pendinginan meningkat. Jalur busur yang lebih panjang melemahkan busur hingga akhirnya padam. Pemutus sirkuit kotak cetakan 2 kutub dengan pembagi busur ditunjukkan pada Gambar 13-20. Pembagi busur ditunjukkan di luar pemutus sirkuit pada Gambar 13-21.

### **Pemutus Sirkuit Daya Tegangan Rendah**

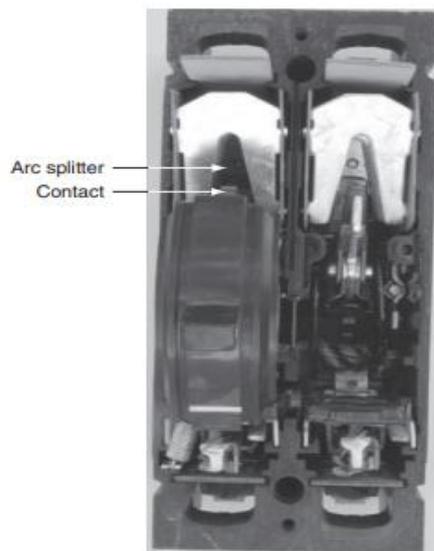
Pemutus arus listrik bertegangan rendah umumnya dibuat dengan wadah logam. Mereka dapat diperoleh dalam ukuran kasus yang berkisar dari 100 hingga 6000 ampere dan dapat memiliki peringkat arus trip yang berkisar antara 15 hingga 6000 ampere. Karena mereka dimaksudkan untuk mengganggu arus yang lebih tinggi, pengaturan kontak umumnya berbeda dari pemutus sirkuit kotak cetakan.

Pemutus sirkuit daya tegangan rendah biasanya memiliki dua set kontak yang terpisah. Satu set adalah kontak utama dan digunakan untuk menghubungkan saluran dan memuat bersama. Set kedua, kontak lengkung, digunakan untuk mengarahkan busur menjauh dari kontak utama, Gambar 13-22. Kontak lengkung selanjutnya dibantu oleh tanduk busur, yang membantu menarik busur menjauh dari kontak lengkung dan juga membantu meregangkan

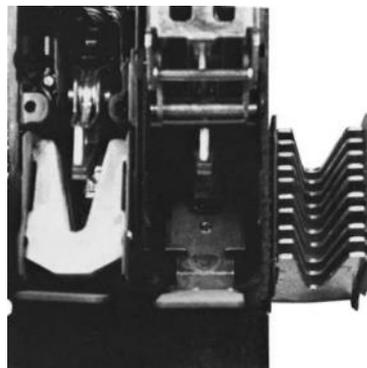
busur. Pembagi, umumnya terletak di atas tanduk busur, memecah busur menjadi beberapa bagian untuk memadamkannya, Gambar 13-23.



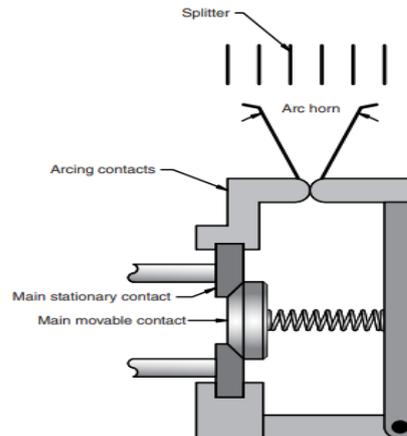
**GAMBAR 13-19** Pelat pemisah memanjangkan busur, yang membantu memadamkannya.



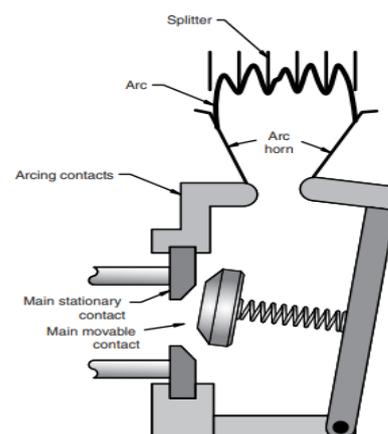
**GAMBAR 13-20** Pemutus sirkuit kotak cetakan dua kutub dengan pembagi busur.



**GAMBAR 13-21** Pembagi busur dibuat dari pelat individu.



**GAMBAR 13-22** Pemutus sirkuit daya tegangan rendah umumnya berisi dua set kontak dan klakson busur.



**GAMBAR 13-23** Tanduk busur menarik busur menjauh dari kontak busur.

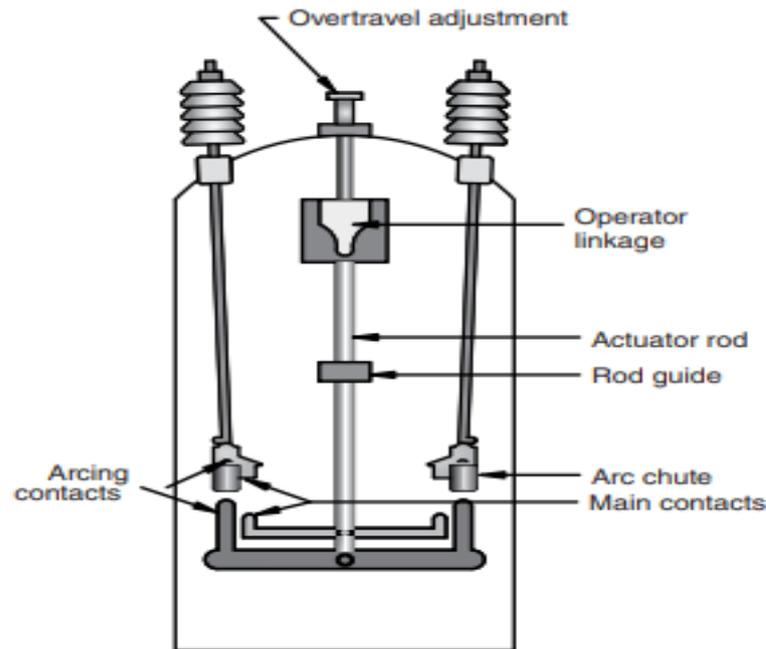
### Pemutus Sirkuit Udara Tegangan Menengah

Pemutus sirkuit udara tegangan menengah dimaksudkan untuk beroperasi pada tegangan sistem yang berkisar dari 600 volt hingga 15 kilovolt. Mereka dibangun dengan kotak logam dan umumnya berisi gulungan blow-out dan puffer, serta splitter dan tanduk busur untuk membantu memadamkan busur.

Kumparan blow-out dihubungkan secara seri dengan kontak lengkung sehingga arus mengalir melaluinya ketika kontak utama terbuka. Arus melalui kumparan menghasilkan medan magnet, yang menarik busur dan membantu untuk memindahkannya ke splitter. Puffer dibuat dengan menempelkan piston kecil ke tuas operasi pemutus. Piston terletak di dalam silinder. Ketika pemutus sirkuit terbuka, piston dipaksa untuk bergerak melalui silinder, mengirimkan embusan udara ke arah busur. Kepulan udara ini membantu memindahkan busur ke dalam splitter.

### Pemutus Sirkuit Minyak

Pemutus sirkuit oli sering digunakan di gardu induk untuk memutus tegangan setinggi 230 kilovolt. Mereka menggunakan minyak sebagai dielektrik atau isolator. Kontak terletak di bawah oli. Ketika kontak terbuka, panas busur menyebabkan minyak di sekitarnya terurai dan membentuk gas. Gas memadamkan busur.

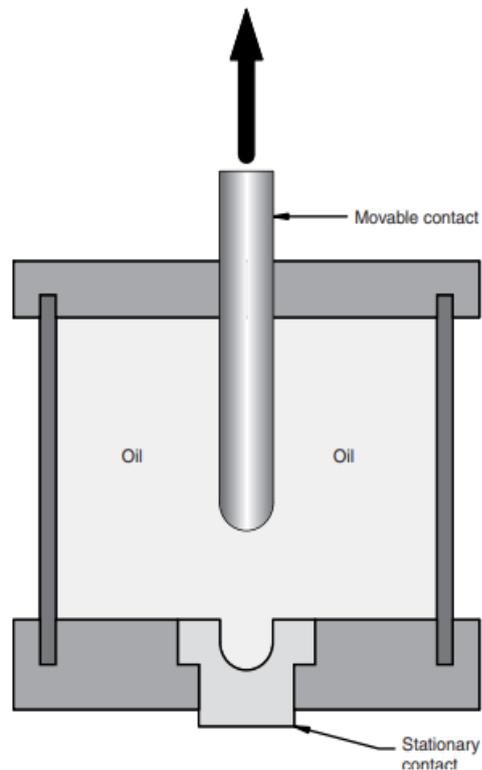


**GAMBAR 13-24** Pemutus sirkuit oli tangki mati tipikal.

Ada dua tipe dasar pemutus sirkuit oli, tipe tangki penuh atau tangki mati dan tipe oli rendah atau miskin oli. Jenis tangki mati adalah yang paling tua dan umumnya digunakan untuk tegangan di atas 13,8 kilovolt. Konstruksi pemutus sirkuit tangki mati tipikal ditunjukkan pada Gambar 13-24. Pemutus sirkuit tangki mati menerima namanya dari fakta bahwa tangki berada pada potensial tanah dan diisolasi dari bagian aktif oleh minyak dielektrik. Pemutus sirkuit yang ditunjukkan adalah tipe pemutusan ganda yang berisi satu set kontak utama dan kontak lengkung. Bagian bergerak dari kontak utama dan kontak lengkung dikendalikan oleh batang aktuator, yang dioperasikan secara manual.

Pemutus sirkuit miskin minyak diproduksi dalam beberapa gaya yang berbeda. Tipe plain-break bergantung pada minyak di sekitarnya dan tekanan yang dihasilkan oleh produksi gas untuk mengontrol busur ketika kontak terbuka, Gambar 13-25. Tekanan akhirnya dilepaskan antara kasing dan kontak yang dapat digerakkan. Tipe lain dari pemutus sirkuit minyak rendah sering disebut sebagai tipe berventilasi dan dirancang dengan ventilasi yang memungkinkan tekanan yang dihasilkan oleh pembentukan gas untuk keluar dari ruang busur, Gambar 13-26.

Tipe lain dari pemutus sirkuit oli rendah yang dimaksudkan untuk digunakan pada tegangan yang lebih tinggi, yang disebut tipe pemutus ganda, menggunakan pengaturan kontak pemutus ganda, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13-27.

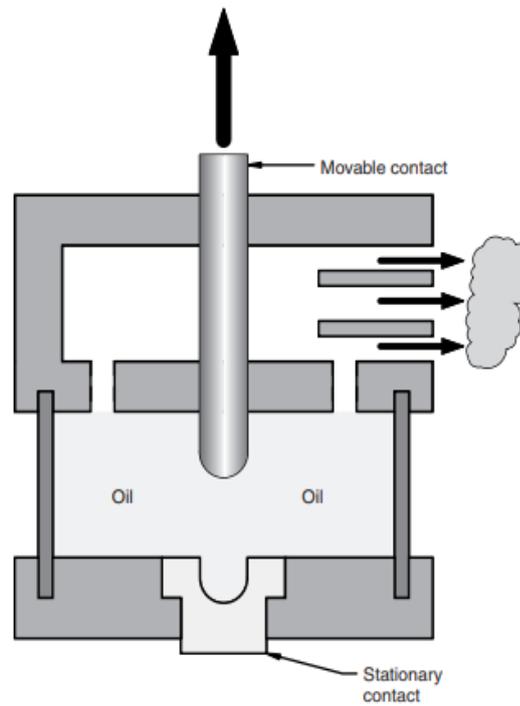


**GAMBAR 13-25** Pemutus sirkuit tipe oli rendah pemecah biasa.

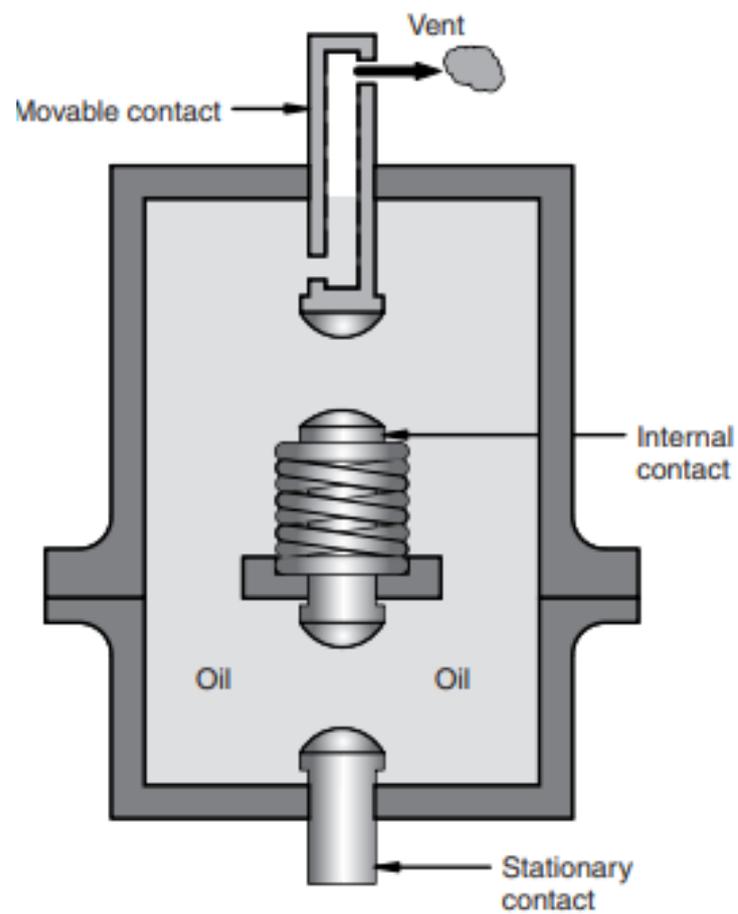
### Pemutus Sirkuit Vakum

Pemahaman tentang pengoperasian pemutus sirkuit vakum dimulai dengan pemahaman tentang mekanisme busur listrik yang terjadi di udara. Ketika busur listrik terjadi di udara, molekul gas di udara menjadi terionisasi. Molekul terionisasi ini membentuk jalur konduksi untuk aliran elektron. Ini adalah ionisasi molekul gas yang membuat tugas memadamkan busur listrik di udara begitu sulit.

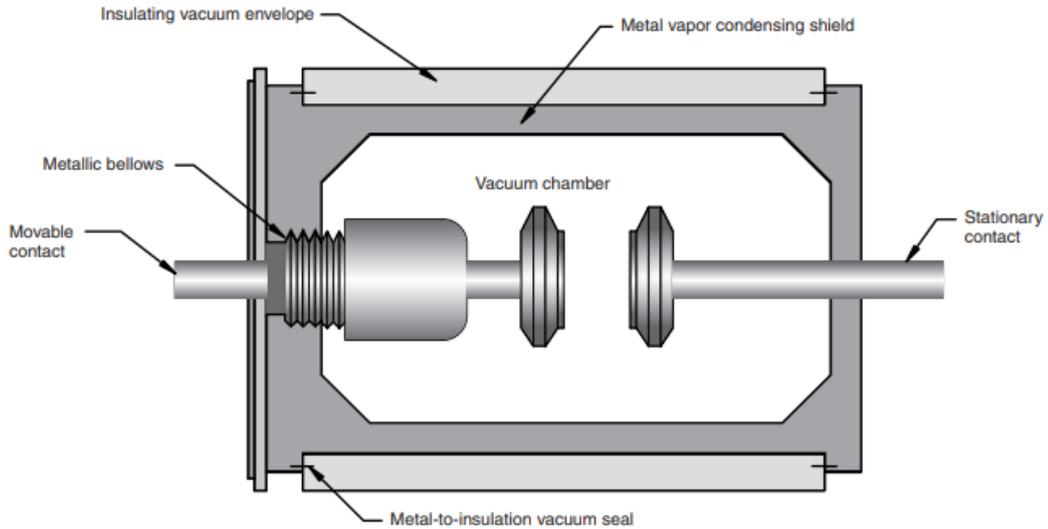
Dalam pemutus sirkuit vakum, kontak-kontaknya terdapat di dalam selungkup tertutup, Gambar 13-28. Jika udara dapat sepenuhnya dikeluarkan dari wadah, tidak ada busur yang dapat terjadi karena tidak akan ada molekul yang terionisasi. Meskipun tidak mungkin untuk mendapatkan ruang hampa yang sempurna, sangat sedikit molekul udara yang tersisa di dalam ruangan, dan busur apa pun yang dihasilkan oleh pembukaan kontak akan sangat kecil. Busur kecil ini padam oleh jarak antara kontak. Kebanyakan pemutus sirkuit vakum hanya membutuhkan sekitar setengah sampai tiga perempat inci jarak antara kontak untuk mengontrol tegangan lebih dari 13,8 kilovolt. Sebuah bellow logam terhubung ke kontak bergerak. Bellow memungkinkan pergerakan kontak sambil mempertahankan vakum. Pemutus sirkuit vakum digunakan untuk menggantikan pemutus sirkuit oli yang lebih tua karena ukurannya lebih kecil dan membutuhkan perawatan yang sangat sedikit.



**GAMBAR 13-26** Pemutus sirkuit oli rendah tipe berventilasi tipikal.



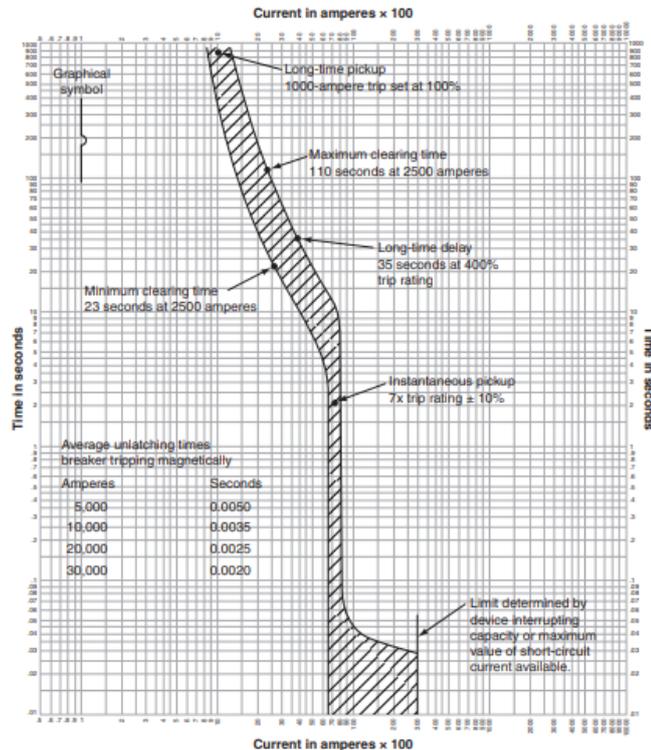
**GAMBAR 13-27** Pemutus sirkuit oli rendah double-break tipikal.



**GAMBAR 13-28** Pemutus sirkuit vakum tipikal.

**13.3 Bagan Karakteristik Arus Waktu Pemutus Arus**

Bagan karakteristik arus waktu diterbitkan untuk sebagian besar perangkat pelindung, Gambar 13-29. Kotak log-log digunakan untuk bagan dengan waktu pada sumbu vertikal dan arus pada sumbu horizontal. Secara umum, waktu diberikan dalam detik dan arus dalam ampere.



**GAMBAR 13-29** Kurva arus waktu pemutus sirkuit.

Istilah yang digunakan dengan kurva pemutus sirkuit adalah trip coil rating, ukuran frame, long-time delay, long-time pickup, sesaat pickup current, short-time delay, short-time pickup, unlatching time, dan interrupting rating. Peringkat trip coil juga dikenal sebagai peringkat pemutus. Artinya, pemutus 150 ampere adalah pemutus dengan koil trip 150

ampere. Peringkat ini tidak dapat disetel pada pemutus sirkuit kotak cetakan. Namun, dalam beberapa model pemutus, konstruksi fisiknya sedemikian rupa sehingga pemutus berbagai peringkat dapat dipertukarkan. Karena itu, pemutus dengan ukuran (peringkat) yang berbeda dapat dipasang untuk memenuhi kebutuhan perlindungan khusus. Sebagian besar pemutus sirkuit tipe udara dapat disesuaikan. Peringkat dapat diubah dari 80% menjadi 160% dari peringkat koil perjalanan. Penyetelan di atas 100% dari peringkat kumparan trip harus dilakukan hanya pada instalasi di mana motor atau beban pembangkit surja lainnya menjadi faktor.

Nilai arus di mana trip coil beroperasi disebut long-time pickup. Koil trip 200 ampere yang disesuaikan ke 120% memiliki pickup lama 240 ampere. Ukuran bingkai menunjukkan ukuran maksimum unit perjalanan yang dapat ditampung oleh pemutus tertentu. Dengan demikian, pemutus dengan ukuran bingkai 100 ampere akan menerima unit perjalanan dengan peringkat standar apa pun mulai dari 15 hingga 100 ampere. Bagian tunda lama dari kurva menunjukkan karakteristik operasi pemutus dalam kondisi kelebihan beban. Untuk pemutus sirkuit kasus cetakan, penundaan ini biasanya dikendalikan oleh perangkat yang sensitif terhadap perubahan termal. Jika pemutus memiliki penyetelan penundaan waktu yang lama, nilai waktu dapat disetel ke nilai rendah untuk penerangan dan beban resistif. Namun, pengaturan nilai waktu yang tinggi diperlukan untuk start motor dan beban pembangkit surja lainnya.

Arus pickup sesaat adalah titik di mana pemutus merespon arus hubung singkat melalui pengaturan trip yang digerakkan secara magnetis. Nilai ini dapat disesuaikan di banyak pemutus. Pembukaan sesaat adalah waktu yang dibutuhkan pemutus untuk membuka ketika tidak ada penundaan yang disengaja ditambahkan. Namun, ketika perjalanan harus ditunda dengan sengaja, penundaan waktu singkat ditambahkan, Gambar 13-30. Fitur ini hanya tersedia pada pemutus yang lebih canggih. Pickup waktu singkat adalah nilai arus di mana penundaan waktu singkat dimulai. Waktu membuka kunci adalah titik di mana aksi pembukaan pemutus tidak dapat diubah lagi, Gambar 13-31.

Kurva karakteristik pemutus sirkuit adalah pita yang mewakili rentang waktu atau arus yang melaluinya pemutus dapat diharapkan beroperasi. Batas atas pita menunjukkan nilai maksimum; batas pita bawah adalah nilai minimum. Pada Gambar 13-29, kurva menunjukkan bahwa beban 250% (2500 ampere) dapat dibersihkan dalam waktu tidak kurang dari 23 detik atau tidak lebih dari 110 detik.

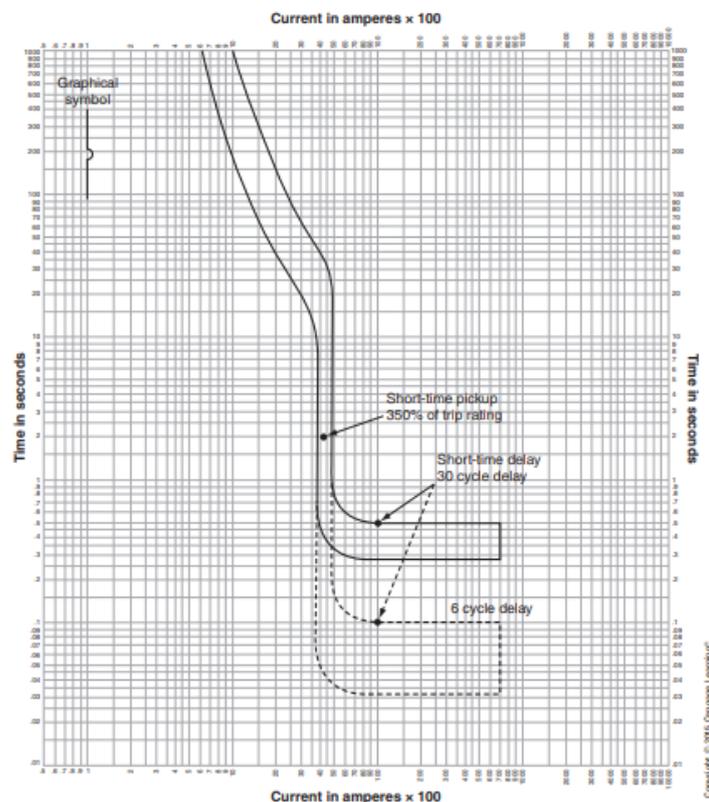
Setiap gawai proteksi yang dirancang untuk membuka sirkit pada kondisi gangguan harus mampu memutus arus maksimum yang dapat mengalir dalam sirkit tersebut (110.9). Peringkat interupsi perangkat pelindung menunjukkan arus maksimum yang dapat diinterupsi perangkat. Untuk arus di atas nilai ini, busur dapat dipertahankan melintasi celah kontak setelah terbuka. Busur ini terus memasok arus ke gangguan dan merusak perangkat pelindung. Perangkat tersedia dengan kapasitas interupsi mulai dari 5000 hingga 200.000 ampere.

### 13.4 Grafik Karakteristik Arus-Waktu Sekering

Sekering memiliki kinerja yang sangat dapat diprediksi, yang biasanya diwakili pada grafik dengan kurva tunggal yang mirip dengan garis kanan pada Gambar 13-32. Kurva jenis ini disebut kurva karakteristik arus waktu kliring total. Nilai lain juga penting dalam menentukan selektivitas sekering. Waktu leleh minimum adalah nilai arus waktu di mana pembukaan sekering menjadi ireversibel.

### 13.5 Bagam Karakteristik Arus-Waktu Pelindung Gangguan Tanah

Kurva pelindung gangguan tanah menunjukkan reaksi perangkat pada pengaturan waktu tunda tertentu, Gambar 13-33. Sensor ground-fault selalu digunakan bersama dengan perangkat pelindung lain yang dapat merespons sinyal. Jadi, untuk arus gangguan tanah tertentu, waktu yang diperlukan untuk pembebasan sirkuitnya adalah jumlah dari waktu tunda sensor gangguan tanah dan waktu yang diperlukan untuk perangkat pelindung terkait untuk membuka.



**GAMBAR 13-30** Kurva karakteristik untuk pemutus sirkuit dengan penundaan waktu singkat yang dapat disesuaikan.

### 13.6 Sistem Koordinasi

Masing-masing dari tiga jenis perangkat pelindung yang dijelaskan sebelumnya memiliki karakteristik pengoperasian yang berbeda. Penambahan perangkat ini ke sistem terkoordinasi membutuhkan pemilihan peringkat yang tepat. Gambar 13-34 menunjukkan kurva karakteristik dari dua pemutus sirkuit, utama 1600-ampere dan penyulang 800-ampere. Penetasan silang pada gambar menunjukkan area di mana pemutus tidak berkoordinasi. Untuk situasi ini, jika kelebihan beban 5000 ampere berlanjut selama 20 detik, kemungkinan besar kedua pemutus akan terbuka. Jadi, alih-alih melindungi sirkuit pengumpan, pemutus Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)

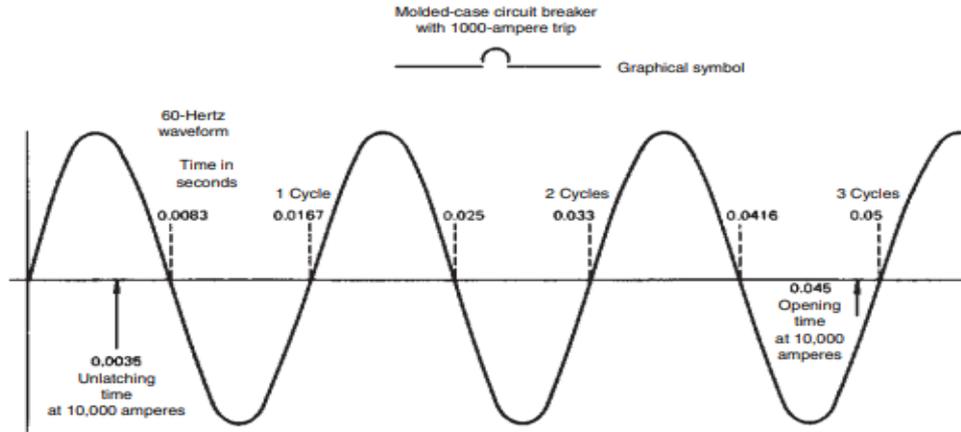
terbuka akan menyebabkan seluruh bangunan menjadi tanpa daya. Hasil akhir yang sama akan terjadi untuk hubung singkat lebih dari 18.000 ampere. Masalah ini dapat diminimalkan dengan pemilihan, penyesuaian, dan pemeliharaan perangkat pelindung yang tepat. Namun, harus dicatat bahwa pemutus sirkuit pada umumnya sulit untuk dikoordinasikan. Secara khusus, pemutus sirkuit kasus cetakan hampir tidak mungkin untuk dikoordinasikan, kecuali pada nilai arus beban lebih rendah.

Semua pemutus sirkuit dalam suatu sistem, kecuali pemutus sirkuit cabang, harus memiliki fitur penundaan waktu singkat jika ingin dicapai koordinasi. Penyisipan penundaan dalam trip magnetik pengumpukan dan perangkat utama memungkinkan untuk mencapai koordinasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13-35. Ada masalah dengan metode memperoleh koordinasi ini: Suatu kondisi ditetapkan di mana kesalahan tidak dapat dibuka untuk beberapa siklus. Hal ini meningkatkan kemungkinan kerusakan yang mungkin terjadi akibat kondisi patahan.

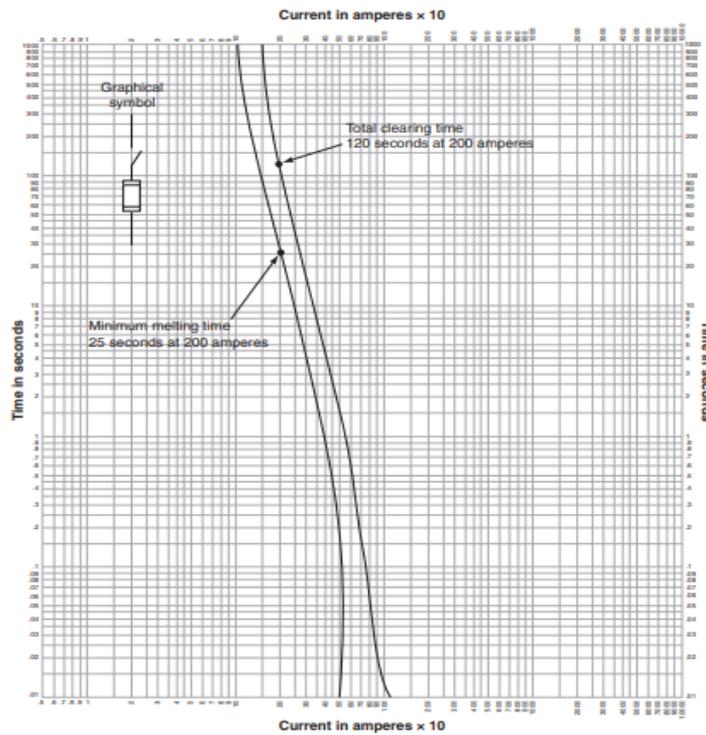
Koordinasi dapat dilakukan dengan mudah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13-36, dengan menggunakan sekering saja atau dalam kombinasi dengan pemutus sirkuit. Sekering 800 ampere berkoordinasi dengan pemutus sirkuit 1600 ampere, dan koordinasi tercapai—dengan satu kemungkinan pengecualian. Waktu pelepasan pemutus dapat, dalam kondisi tertentu, melebihi kecepatan sekering, dalam hal ini koordinasi tidak akan diperoleh.

Sistem yang hanya berisi sekering adalah situasi yang paling mudah untuk dikoordinasikan. Ketika sekering dipilih sesuai dengan rekomendasi pabrikan, koordinasi lengkap dapat dicapai. Artinya, sekering digunakan dengan perbandingan tertentu terhadap gawai proteksi hulu. Misalnya, sekering pembatas arus 1600 ampere yang digunakan untuk jaringan utama akan berkoordinasi dengan basis 2:1 dengan sekering pembatas arus lainnya atau pada basis 4:1 dengan sekering tunda waktu (seperti jenis yang digunakan dengan motor). Jika proteksi gangguan tanah diperlukan setelah gawai proteksi arus lebih dikoordinasikan, proteksi tersebut harus ditambahkan ke sistem tanpa mengganggu koordinasi.

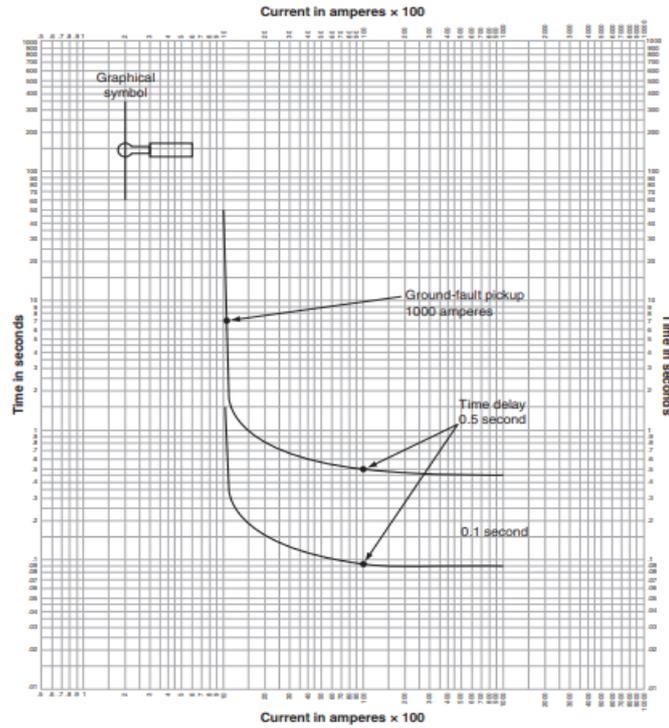
Jika lebih dari satu pelindung gangguan arde dipasang, masalah ganda akan muncul: Kedua pelindung harus berkoordinasi dengan sistem arus lebih dan satu sama lain, Gambar 13-37. Koordinasi dengan gawai proteksi arus lebih dapat dicapai dengan memilih dan menyetel protektor gangguan tanah sehingga kurva karakteristiknya berada di atas kurva pembersihan total gawai proteksi arus lebih hilir berikutnya. Koordinasi dengan pelindung ground-fault lainnya dicapai dengan menggunakan pengaturan trip yang lebih rendah dan pengaturan waktu yang semakin pendek pada masing-masing perangkat hilir, atau dengan membuat koneksi interlock antara perangkat sehingga perangkat yang pertama kali merasakan kesalahan mengunci perangkat hulu sampai pengaturan waktu perangkat hilir terlampaui.



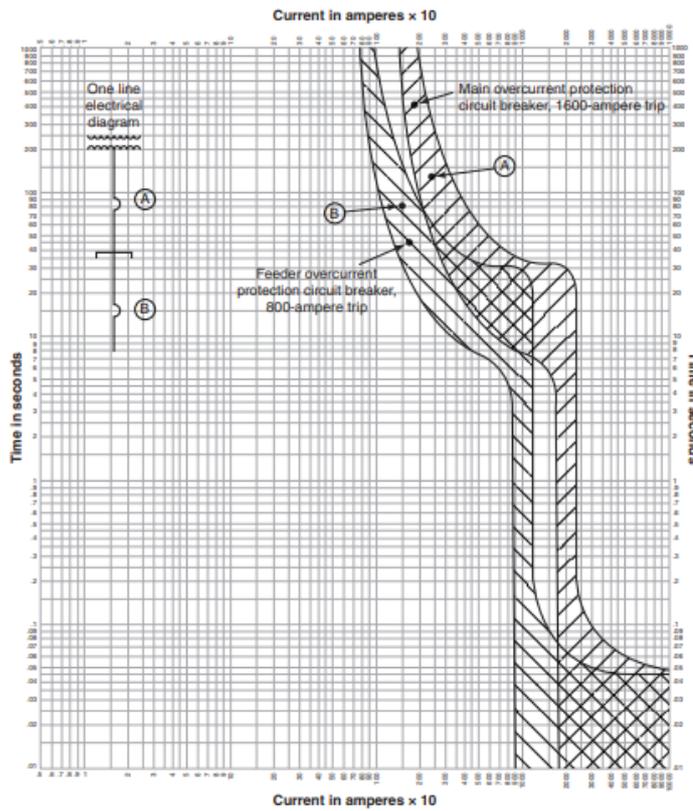
**GAMBAR 13-31** Perbandingan waktu penguncian dan pembukaan untuk pemutus sirkuit yang tersandung secara magnetis.



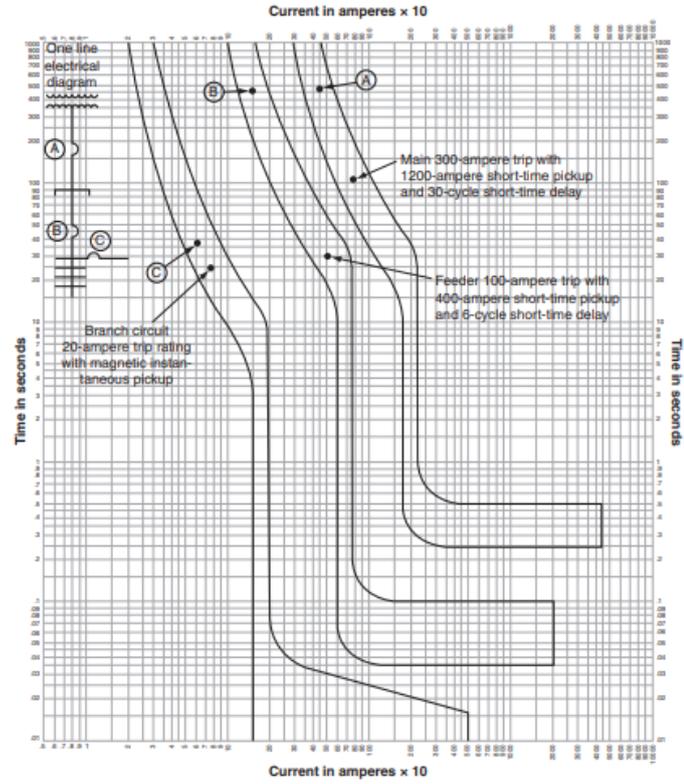
**GAMBAR 13-32** Kurva karakteristik untuk sekering pembatas arus.



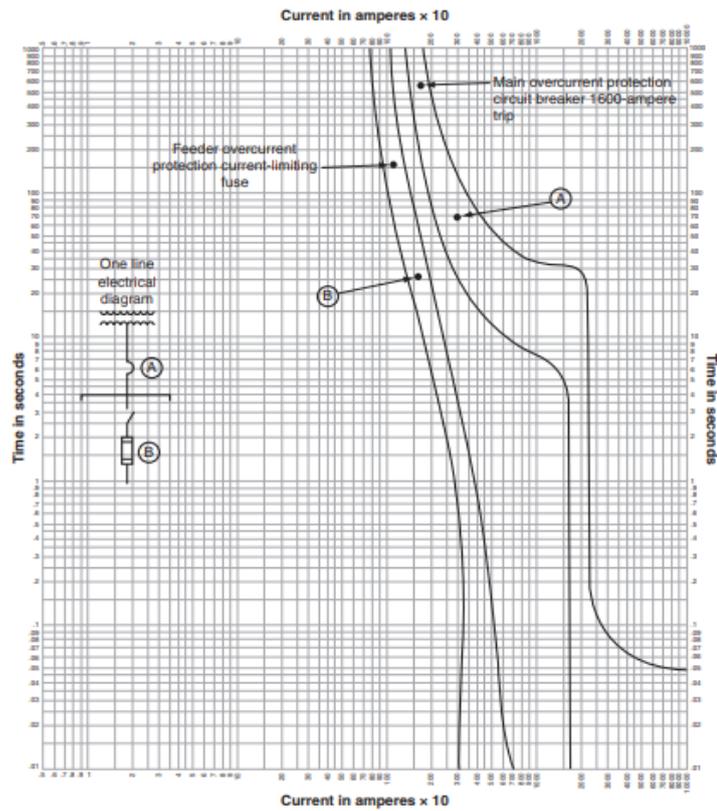
**GAMBAR 13-33** Kurva karakteristik untuk pelindung gangguan tanah dengan waktu tunda yang dapat disesuaikan.



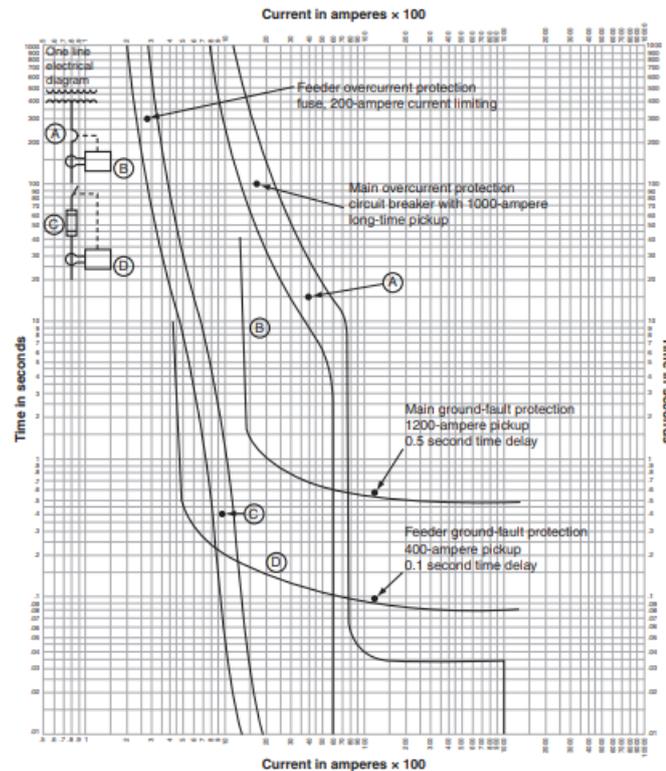
**GAMBAR 13-34** Kurva pemutus arus yang menunjukkan area di mana koordinasi tidak tercapai.



**GAMBAR 13-35** Kurva pemutus arus menunjukkan koordinasi.



**GAMBAR 13-36** Pemutus arus dan koordinasi sekering.



**GAMBAR 13-37** Koordinasi selektif dari sistem dengan proteksi ground-fault.

Ringkasnya, untuk mengoordinasikan suatu sistem, pemilihan perangkat proteksi yang tepat harus disertai dengan ukuran yang benar dari berbagai komponen diikuti dengan penyesuaian perangkat ini secara hati-hati. Selain itu, pemeliharaan perangkat yang tepat setelah dioperasikan akan membantu memastikan bahwa koordinasi, setelah tercapai, akan dipertahankan.

### 13.7 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditunjukkan secara rinci, dan referensi Kode harus dikutip bila perlu.

1. Buat daftar jenis layanan yang diperlukan oleh NEC untuk memiliki perlindungan gangguan tanah.
2. Buat daftar jenis layanan yang direkomendasikan untuk memiliki perlindungan gangguan tanah.
3. Berapa banyak konduktor dari sistem 3-fase, 4-kawat yang harus dipasang melalui sensor gawai proteksi gangguan arde?
4. Berapa kisaran arus trip untuk waktu 1 menit yang telah berlalu (lihat Gambar 13-29)?
5. Berapa rentang waktu perjalanan untuk arus 3000 ampere (lihat Gambar 13-29)?
6. Dalam hal pemutus arus, apa yang dimaksud dengan waktu pembukaan sesaat?
7. Dalam hal pemutus arus, apa yang dimaksud dengan tunda waktu lama?
8. Apa yang dimaksud dengan frasa waktu leleh minimum?
9. Untuk arus 300 ampere, waktu pembukaan sekering adalah berapa detik (lihat Gambar 13-32)?

10. Untuk arus 300 ampere, aksi pembukaan sekering tidak dapat diubah setelah berapa detik (lihat Gambar 13-32)?
11. Apa perbedaan antara gangguan hubung singkat dan gangguan tanah?
12. Jelaskan apa yang dimaksud dengan koordinasi selektif dan sebutkan tiga jenis perangkat yang terlibat.
13. Jika gangguan 1000 ampere terjadi pada sistem yang ditunjukkan pada Gambar 13-34, apa yang mungkin terjadi?
14. Apa pengaturan arus dan waktu tunda maksimum dari perlindungan gangguan tanah seperti yang ditetapkan oleh NEC?

## BAB 14

### PENANGKAL PETIR

#### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- menggambarkan proses petir.
- mengidentifikasi persyaratan untuk melindungi bangunan.
- daftar aturan keselamatan petir.

Petir secara bersamaan merupakan fenomena yang menarik, mengagumkan, dan misterius. Indah untuk disaksikan tetapi merusak dan fatal untuk dialami. Namun, itu adalah kejadian yang wajar dan perlu. Petir adalah listrik yang dipamerkan; dan seperti halnya daya listrik di rumah, bisnis, dan pabrik kita, tindakan pencegahan khusus harus diambil atau kita harus menanggung akibatnya.

Untuk memahami seluk-beluk proteksi petir, perlu juga memahami, atau setidaknya menerima, dasar-dasar struktur atom dan apa yang terjadi di dalam struktur itu. Untuk itu, kajian proteksi petir ini diawali dengan pemaparan singkat tentang teori struktur atom.

#### 14.1 Struktur Atom

Semua materi terdiri dari atom. Misalnya, setetes air mengandung sekitar 100 miliar atom. Setiap atom di pusatnya memiliki inti yang terdiri dari proton dan neutron. Inti dianggap memiliki muatan positif sama dengan jumlah proton. Dalam kondisi normal, inti dikelilingi oleh sejumlah elektron, masing-masing memiliki muatan negatif, sama dengan jumlah proton dalam inti. Jumlah pasti proton atau elektron, dalam kondisi normal, berbeda untuk setiap unsur dan dinyatakan sebagai nomor atom unsur tersebut. Hidrogen memiliki nomor atom 1, tembaga 29, timah 82, dan seterusnya.

Jika suatu gaya diberikan pada atom sedemikian rupa sehingga elektron terlepas atau ditambahkan, atom tersebut dikatakan menjadi ion. Atom yang kehilangan elektron memiliki muatan positif bersih dan dengan demikian disebut ion positif; atom yang menerima elektron adalah ion negatif. Fenomena mampu melepaskan elektron dari atom, atau mengionisasinya, memungkinkan untuk menyimpan daya listrik dan mentransfer daya itu dari satu tempat ke tempat lain.

#### Elektron Bekerja

Untuk tujuan penjelasan lebih lanjut, asumsikan situasi hipotetis di mana sejumlah besar ion positif dikumpulkan di Titik A. Di titik lain (sebut saja Titik B) yang terletak di ruang angkasa adalah elektron yang terkumpul yang telah terlepas dari atom-atom di Titik A. Jika 6.250.000,000,000,000 (6,25 × 10<sup>18</sup>) elektron dipindahkan dari Titik A ke Titik B, jumlah muatan disebut sebagai coulomb.

Untuk sesaat, menyimpang dari situasi hipotetis dan mengalihkan perhatian Anda ke sifat dasar muatan. Merupakan hukum dasar bahwa benda bermuatan yang berbeda muatan akan saling tarik menarik, dan benda bermuatan yang sejenis akan saling tolak menolak. Gaya tarik menarik atau tolak menolak antar muatan berbanding lurus dengan kuadrat jarak antara

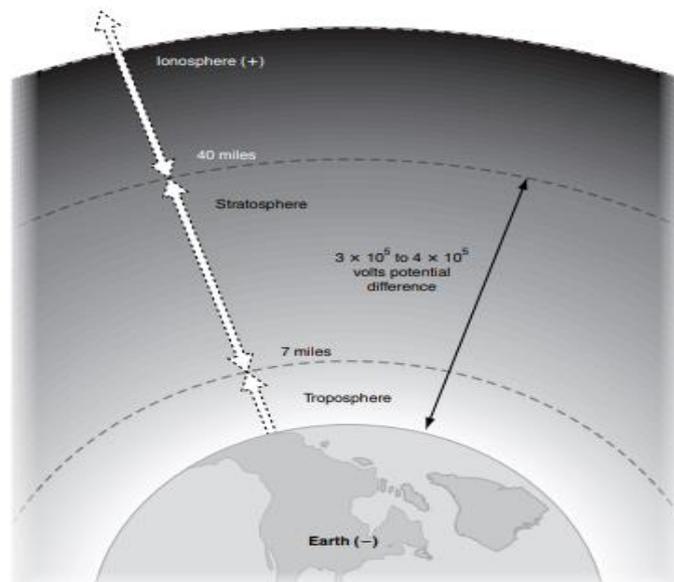
*Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)*

muatan tersebut. Ini membawa kita ke definisi lain dari coulomb. Coulomb (C) adalah jumlah muatan yang, ketika ditempatkan 1 meter (m) dari muatan sejenis, menolaknya dengan gaya 9.000.000.000 ( $9 \times 10^9$ ) newton (N). Oleh karena itu diperlukan usaha (gaya  $\times$  jarak) untuk mengumpulkan muatan di suatu titik, karena, ketika muatan 1 coulomb terbentuk, gaya sebesar 9.000.000.000 ( $9 \times 10^9$ ) newton harus diberikan pada jarak 1 meter. Kerja yang dilakukan (energi yang dilepaskan) oleh gaya 1 newton, yang bekerja pada jarak 1 meter, dinyatakan sebagai 1 joule (J).

Kembali ke Titik A dan B, sekarang harus jelas bahwa, karena elektron dipaksa dari Titik A ke Titik B, pekerjaan dilakukan dan perbedaan energi ditetapkan. Dalam studi kelistrikan, ini disebut beda potensial, yang diukur dalam volt (V). Volt adalah energi potensial yang diperoleh suatu muatan ketika usaha 1 joule dilakukan pada muatan 1 coulomb.

### Ionosfer

Kami sekarang memperluas contoh hipotetis dengan memberikan lokasi ke Titik A dan B. Karena subjeknya adalah petir, masuk akal untuk menempatkan Titik B di Bumi dan Titik A di wilayah yang disebut ionosfer. Ionosfer terletak pada ketinggian 40 mil atau lebih di atas bumi, di mana atmosfer mengandung lebih banyak ion daripada atom netral, Gambar 14-1.



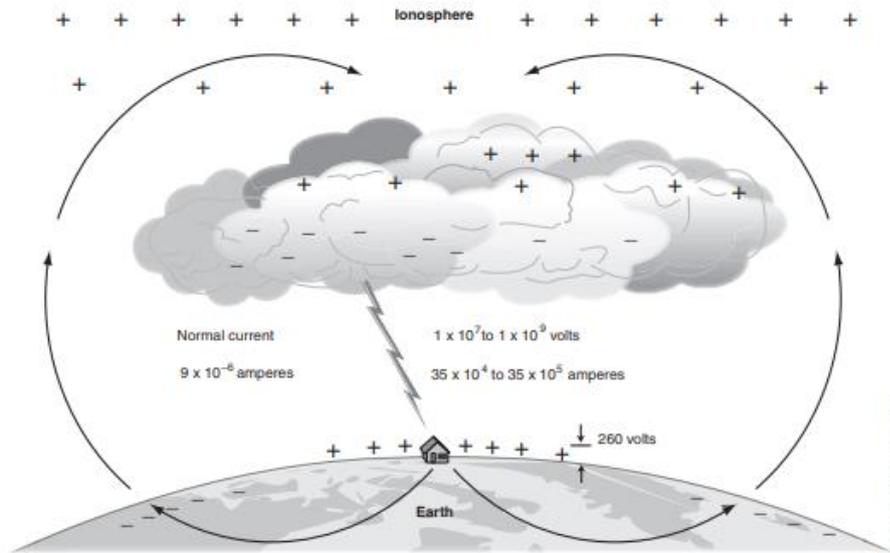
**GAMBAR 14-1** Lokasi ionosfer dalam kaitannya dengan bumi.

Bumi memiliki kelebihan elektron dan sekitar 300.000 ( $3 \times 10^5$ ) volt negatif terhadap ionosfer. Ini berarti bahwa seseorang dengan tinggi rata-rata, saat berdiri, ditutupi dari kaki hingga kepala oleh gradien potensial sekitar 260 volt, Gambar 14-2. Reaksi khas terhadap pernyataan ini adalah "Mengapa orang tersebut tidak merasakan kejutan?" Kejutan listrik diukur dalam hal arus, dan arus dalam hal ini tidak terbatas. (Arus udara-Bumi dihitung antara 1400 ampere dan 1800 ampere atau sekitar 0,0009 [10<sup>-6</sup>] ampere per mil persegi.) Tetapi arus total dari Bumi cukup untuk mengganggu keseimbangan alam, dan petir diperkirakan menjadi cara alami untuk mengembalikan keseimbangan. Diperkirakan, rata-rata bumi disambar petir 100 kali per detik, dan sekitar 90% dari peristiwa ini, elektron mengalir ke bumi. Namun, tidak ada kesepakatan penuh tentang bagaimana ini terjadi.

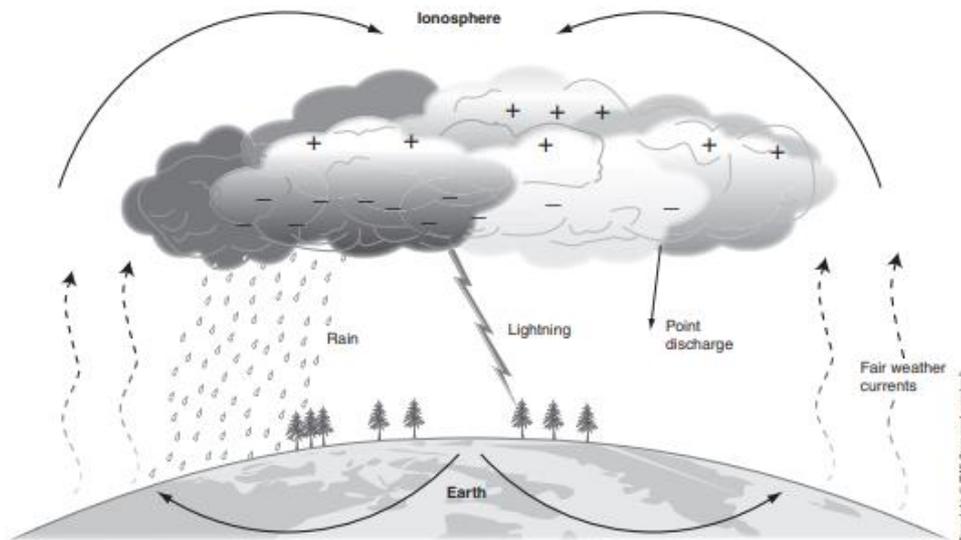
## 14.2 Bagaimana Petir Dihasilkan

Petir dihasilkan oleh awan cumulonimbus yang tampak tidak menyenangkan, atau awan petir. Di sini aksinya sangat keras sehingga muatan dapat terbentuk di bagian bawah awan. Sebagian besar muatan ini negatif terhadap bagian atas awan dan bumi di bawah awan, Gambar 14-3. Sekarang, kita pada dasarnya memiliki Titik B pada muatan negatif tinggi dan beberapa Titik A pada muatan positif tinggi. Apa yang terjadi tergantung pada seberapa tinggi perbedaan potensial dan impedansi antara titik-titik. Mungkin ada sambaran petir dari awan ke awan, dari titik perbedaan potensial tinggi di dalam awan, atau antara awan petir dan bumi. Kami, tentu saja, terutama tertarik pada sapuan awan-ke-Bumi.

Pukulan ini kemungkinan besar terjadi pada titik yang tinggi—yaitu, di mana pohon, gedung tinggi, atau perpanjangan lain dari bumi naik ke atas, sehingga mengurangi jarak dan, dengan demikian, impedansi antara muatan di Bumi dan biaya awan.



**GAMBAR 14-2** Orang yang berdiri di bumi dikelilingi oleh gradien potensial sekitar 260 volt.



**GAMBAR 14-3** Sambaran petir dihasilkan antara awan petir dan Bumi.

## Sambaran Petir

Menurut Pusat Statistik Kesehatan Nasional, setiap tahun petir di Amerika Serikat saja membunuh sekitar 150 orang, melukai 250 lainnya, dan menyebabkan kerusakan lebih dari \$250 juta. Semua bencana ini disebabkan oleh transfer energi yang sangat besar yang terjadi selama pemogokan awan-ke-Bumi. Arus dapat naik hingga 200.000 ( $2 \times 10^5$ ) ampere, dan beda potensial dapat mencapai 100 juta volt. Namun, stroke hanya berlangsung sepersekian detik. Tujuan kami dalam proteksi petir adalah untuk menyediakan jalur impedansi rendah dari titik tinggi, di mana sambaran membuat kontak dengan bumi, sehingga arus dapat dihamburkan ke area yang luas.

### 14.3 Label Utama

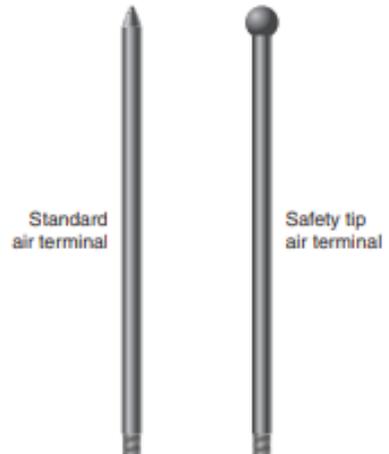
Pemasangan sistem proteksi petir untuk bangunan, pohon, dan struktur lainnya di tempat terbuka harus dipandu oleh persyaratan Layanan Label Induk, yang disahkan oleh UL, dan/atau oleh Kode Instalasi Lembaga Penangkal Petir. Sistem yang dianjurkan oleh organisasi-organisasi ini didasarkan pada prinsip dasar penyediaan jalur impedansi rendah untuk stroke untuk mengikuti ke Bumi, sambil meminimalkan kemungkinan kerusakan, kebakaran, dan cedera pribadi atau kematian sebagai stroke mengikuti jalan itu.

#### Terminal Udara (Penangkal Petir)

Terminal udara, atau penangkal petir, adalah elemen tertinggi dari sistem proteksi petir. Ini adalah batang padat atau berbentuk tabung yang terbuat dari tembaga, perunggu, atau aluminium. Biasanya runcing tajam, tersedia dengan ujung pengaman, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14-4. Ini dipasang di tempat yang tidak akan menimbulkan bahaya bagi personel, seperti di atap datar.

Terminal menarik petir tetapi tidak mencegah petir, seperti yang semula diduga oleh Benjamin Franklin. Sambaran petir tertarik ke terminal karena merupakan bagian dari jalur yang menawarkan impedansi paling kecil ke tanah. Secara umum, terminal udara harus

- memanjang di atas objek yang akan dilindungi, tidak kurang dari 10 inci (250 mm) atau lebih dari 36 inci (900 mm);
- ditempatkan di punggung atap pelana, gambrel, dan pinggul;
- ditempatkan pada perimeter atap datar dengan interval tidak melebihi 20 kaki (6 m) dan dalam jarak 2 kaki (600 mm) dari tepi;
- ditempatkan di tengah area atap dengan interval tidak melebihi 50 kaki (15 m);
- ditempatkan di atap dan cerobong asap kecuali jika proyeksi ini dilindungi oleh terminal lain.



**GAMBAR 14-4** Terminal udara.

### Konduktor Petir

Konduktor petir dipasang untuk menghubungkan dan menghubungkan ke bumi, terminal udara, dan bagian logam lain dari objek yang akan dilindungi. Mereka terbuat dari tembaga atau aluminium. Secara umum, konduktor petir harus:

- tidak ditekuk dengan radius kurang dari 8 inci;
- tidak ditekuk dengan sudut lebih dari 90°;
- memiliki luas penampang tidak kurang dari 59.000 mil lingkaran untuk tembaga atau 98.500 mil lingkaran untuk aluminium;
- mempertahankan arah horizontal atau ke bawah;
- menyediakan setidaknya dua jalur untuk aliran arus dari terminal udara ke Bumi;
- menyediakan jalur tanah untuk setiap 100 kaki (30 m) perimeter;
- sambungkan semua bodi logam, seperti kipas angin dan ventilasi atap, ke sistem proteksi;
- diikat dengan aman ke terminal udara, lapangan, dan struktur; dan
- tidak disembunyikan dalam saluran logam kecuali konduktor diikat dengan aman ke saluran di kedua ujungnya.

### Koneksi Pembumian

Dasarnya biasanya batang baja berlapis tembaga dengan panjang setidaknya 10 kaki dan diameter inci. Namun, di mana lapisan tanah atas sangat dangkal, pelat dasar dapat digunakan. Secara umum, koneksi grounding harus:

- dibuat dengan batang yang ditancapkan ke tanah, setidaknya 2 kaki (600 mm) dari objek yang dilindungi sehingga bagian atas batang berada 1 kaki (300 mm) di bawah kemiringan;
- dibuat untuk pipa air logam bawah tanah atau selubung sumur; dan
- saling terhubung dengan elektroda arde yang digerakkan untuk sistem listrik atau telepon.

### 14.4 Peraturan Keselamatan

Mengikuti persyaratan khusus dari organisasi yang disebutkan sebelumnya akan menghasilkan struktur yang bebas dari bahaya petir. Namun karena manusia juga rentan

terhadap petir, kita harus mewaspadai berbagai aturan keselamatan yang akan membantu kita menghindari pengalaman sambaran petir yang mengejutkan. Departemen Perdagangan Amerika Serikat, Administrasi Kelautan dan Atmosfer Nasional, telah menyusun aturan keselamatan berikut untuk perlindungan manusia saat petir mengancam:

- Tetap di dalam rumah dan jangan keluar rumah kecuali benar-benar diperlukan.
- Jauhi pintu dan jendela yang terbuka, perapian, radiator, kompor, pipa logam, bak cuci piring, dan peralatan listrik yang dapat dicolokkan.
- Jangan gunakan peralatan listrik seperti pengering rambut, sikat gigi elektrik, atau pisau cukur listrik selama badai.
- Jangan gunakan telepon selama badai—petir dapat menyambar saluran telepon di luar.
- Jangan mengambil cucian dari jemuran.
- Jangan bekerja pada pagar, telepon atau saluran listrik, pipa, atau fabrikasi baja struktural.
- Jangan menggunakan benda logam seperti pancing dan tongkat golf. Para pegolf yang memakai sepatu cleated adalah penangkal petir yang sangat baik.
- Jangan menangani bahan yang mudah terbakar dalam wadah terbuka.
- Menghentikan kerja traktor dan turun, terutama ketika traktor sedang menarik peralatan logam. Traktor dan peralatan lain yang kontak logam dengan tanah sering tersambar petir.
- Keluar dari air dan turun dari perahu kecil.
- Tetap di dalam mobil Anda jika Anda sedang mengemudi. Mobil menawarkan proteksi petir.
- Mencari perlindungan di sebuah gedung. Jika bangunan tidak tersedia, cari perlindungan di gua, selokan, ngarai, atau di bawah rumpun pohon di hutan terbuka.
- Bila tidak ada tempat berteduh, hindari objek tertinggi di area tersebut. Jika hanya pohon-pohon yang terisolasi di dekatnya, perlindungan terbaik adalah dengan berjongkok di tempat terbuka, menjaga jarak dua kali lebih jauh dari pohon-pohon yang terisolasi daripada pohon-pohon yang tinggi.
- Hindari puncak bukit, ruang terbuka, pagar kawat, jemuran logam, gudang terbuka, dan benda tinggi yang konduktif listrik.
- Jika Anda merasakan muatan listrik—jika rambut Anda berdiri tegak atau kulit Anda tergelitik—petir mungkin akan menyambar Anda. Jatuh ke tanah segera.

Orang yang tersambar petir mengalami sengatan listrik yang parah dan dapat terbakar, tetapi mereka tidak membawa muatan listrik dan dapat ditangani dengan aman. Seseorang yang diduga tewas tersambar petir seringkali dapat dihidupkan kembali dengan CPR segera, pijat jantung, dan pernapasan buatan yang berkepanjangan. Dalam kelompok yang tersambar petir, yang tampaknya meninggal harus dirawat terlebih dahulu. Mereka yang menunjukkan tanda-tanda vital mungkin akan pulih secara spontan, meskipun luka bakar dan cedera lainnya mungkin memerlukan perawatan. Pemulihan dari sambaran petir biasanya selesai, kecuali kemungkinan gangguan atau kehilangan penglihatan atau pendengaran.

Jika Anda pernah hadir saat seseorang tersambar petir, segera lakukan resusitasi jantung paru (RJP). Jika Anda tidak tahu bagaimana menerapkan teknik pendukung kehidupan dasar ini, hubungi American Heart Association Anda untuk instruksi. Dorong teman Anda untuk belajar juga, karena jika petir menyambar Anda, mungkin menyelamatkan hidup Anda untuk memiliki teman yang bisa datang membantu Anda.

#### **14.5 Pertanyaan**

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditunjukkan secara rinci, dan referensi Kode harus dikutip bila perlu.

1. Dengan kata-kata Anda sendiri, tulis dua definisi coulomb.
2. Dengan kata-katamu sendiri, jelaskan apa yang menyebabkan terjadinya petir.
3. Sebutkan aturan umum penempatan terminal udara.
4. Buat daftar aturan umum untuk koneksi grounding.
5. Jika Anda diminta untuk mengevaluasi instalasi penangkal petir, apa yang akan Anda cari?
6. Jika Anda sedang menghadiri pertandingan bisbol Liga Kecil ketika kilat di sekitar terlihat, tindakan apa yang akan Anda sarankan untuk dilakukan orang lain?

## BAB 15

### LOKASI PENCAHAYAAN

#### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- daftar pertimbangan penting dalam pemilihan lampu untuk penerangan lokasi.
- pilih nilai iluminasi untuk penerangan lokasi.
- menghitung batas daya dan permintaan daya untuk penerangan lokasi.
- menemukan lumener untuk penerangan lokasi.
- daftar opsi kontrol untuk penerangan lokasi.

#### 15.1 Pemilihan Lampu

Dalam memilih lampu yang sesuai untuk penerangan lokasi, setidaknya tiga faktor harus dipertimbangkan: (1) jumlah daya yang dibutuhkan lampu untuk menyediakan cahaya yang dibutuhkan, (2) warna yang dihasilkan lampu, dan (3) persyaratan pemeliharaan lampu.

Pada pemikiran pertama, studi tentang pencahayaan situs dapat dianggap sebagai subjek yang terbatas. Namun, beberapa pengalaman akan mengungkapkan bahwa ada serangkaian opsi yang dapat diterapkan dalam pencahayaan situs dengan area yang luas. Untuk memeriksa opsi ini, akan berguna untuk membagi sistem menjadi tiga bagian: kontrol daya, sumber cahaya, dan distribusi cahaya.

#### Kontrol Daya

Sakelar sakelar mungkin memadai jika bebannya kecil dan persyaratan kontrolnya minimal. Saat beban meningkat, biasanya memasang kontaktor yang, pada sinyal, menghidupkan atau mematikan sejumlah besar sumber cahaya. Kontaktor mirip dengan starter motor yang melengkapi rangkaian kontrol akan memberi energi pada koil yang menutup satu set kontak. Sirkuit yang dikendalikan dapat terhubung langsung ke sumber cahaya, atau mungkin memberi energi pada kotak panel di mana banyak sirkuit terhubung ke berbagai sumber cahaya. Pengoperasian sistem mungkin manual, seperti sakelar sakelar, atau mungkin sepenuhnya otomatis.

Keuntungan menggunakan sakelar sakelar adalah biaya awal; kerugiannya adalah bahwa seseorang harus melakukan operasi, yang dapat memakan biaya dan kemungkinan besar tidak dapat diandalkan. Sistem otomatis memiliki biaya awal yang tinggi tetapi hanya biaya perawatan yang minimal, ditambah lagi dapat diandalkan. Untuk pencahayaan situs, itu harus peka terhadap siklus siang dan malam. Pilihan paling sederhana adalah jam waktu astronomi. Jam-jam ini diatur untuk waktu dan tanggal; kemudian mereka secara otomatis menyesuaikan periode aktif untuk perubahan musiman di jam malam. Perangkat kontrol dengan keandalan yang lebih besar adalah fotosel yang dapat disesuaikan dengan intensitas cahaya yang tepat untuk kontrol hidup dan mati. Pada hari berawan, mungkin akan menyalakan penerangan lebih awal dari jam waktu.

## Sumber cahaya

Sumber cahaya (lampu) dapat ditempatkan dalam tiga kategori: pijar, fluoresen, dan pelepasan intensitas tinggi (HID). Direkomendasikan bahwa orang yang memilih atau memasang sumber cahaya memiliki spesifikasi lampu dan panduan aplikasi (ini tersedia dari sebagian besar pusat distribusi listrik atau dapat diminta dari salah satu produsen lampu utama), karena ada ratusan jenis lampu yang tersedia, semua dengan karakteristik yang berbeda. Berikut ini adalah deskripsi singkat dari beberapa jenis lampu.

Pijar Ada dua model lampu pijar. Yang pertama akan dibahas adalah jenis filamen, atau Edison, dan yang kedua adalah lampu halogen tungsten. Lampu tipe Edison menggunakan filamen kawat yang tertutup bola kaca untuk menghasilkan cahaya. Bola lampu dapat disedot atau diisi dengan gas inert. Filamen adalah gulungan kawat yang memancarkan cahaya ketika dipanaskan. Output cahaya bervariasi dari 100 hingga 10.000 lumen, dan watt lampu bervariasi dari 3 hingga 1500 watt. Baik keluaran cahaya maupun umur lampu peka terhadap tegangan yang diberikan. Sedikit peningkatan tegangan di atas nilai pengenal akan menghasilkan intensitas cahaya yang lebih tinggi dan masa pakai lampu yang jauh lebih pendek. Dalam praktiknya, di mana masa pakai lampu merupakan faktor penting, lampu dengan rating 130 volt dipasang pada sistem 120 volt, yang hampir menggandakan masa pakai lampu. Lampu jenis halogen menggunakan kumparan filamen tungsten yang dililit rapat dalam tabung kuarsa kecil. Cahaya dihasilkan pada suhu yang lebih tinggi; dengan demikian, ia memiliki sifat rendering warna yang unggul jika dibandingkan dengan lampu Edison. Lampu itu mahal, tetapi umurnya lebih lama dari, kadang-kadang dua kali lipat, dari lampu Edison. Lumener lebih kecil dan dapat memberikan kontrol distribusi cahaya yang unggul.

**TABEL 15-1** Data performa lampu.

LAMP TYPE	WATTS RATING	LUMEN RATING	TOTAL WATTS	LAMP LIFE (HOURS)	LAMP LENGTH	(LAMPS) LOAD*
Incandescent	1000	17,700	1000	1000	13 in.	(17) 929 kW
Halogen	1000	21,000	1000	3000	10 in.	(14) 24 kW
Fluorescent (800 ma)	60	4050	100	12,000	48 in.	(74) 15.5 kW
Mercury	250	12,100	285	24,000	8.5 in.	(25) 11.7 kW
Metal halide	250	20,500	285	17,000	8.5 in.	(15) 6.8 kW
High-pressure sodium	250	28,500	310	28,500	10 in.	(11) 5.6 kW
Low-pressure sodium	135	22,500	180	18,000	20 in.	(13) 3.9 kW

Fluorescent Fluorescent adalah jenis lampu tabung dengan filamen di kedua ujung tabung. Ukuran dan panjang tabung sangat bervariasi, dari beberapa inci (milimeter) hingga 8 kaki (2,5 m) panjangnya dan dari diameter 5/8 hingga 12/8 inci (15,87 hingga 38 mm). Output cahaya bervariasi dari sedikit di atas 400 lumen hingga mendekati 6000 lumen. Cahaya dihasilkan oleh elektron yang membombardir fosfor; dengan demikian, sifat rendisi warna cahaya dapat divariasikan dengan pemilihan fosfor. Lampu neon memiliki masa pakai yang lama dan toleransi yang wajar terhadap perubahan tegangan. Penerapannya dalam penerangan lokasi terbatas karena keluaran cahaya lampu turun dengan suhu sekitar, dan

karena panjangnya, lumener harus didukung dengan kuat jika ada kemungkinan angin berkecepatan tinggi.

HID Ada empat jenis lampu HID: merkuri, metal halida, sodium tekanan tinggi, dan sodium tekanan rendah. Sebagian besar lampu ini memiliki basis tipe sekrup tunggal. Lampu merkuri adalah model tertua tetapi sekarang penggunaannya berkurang. Biasanya tersedia dengan peringkat daya 100 hingga 1000 watt, dengan output cahaya 2850 hingga 63.000 lumen. Depresiasi ringan selama masa pakai lampu tinggi dan penampilan warna buruk. Lampu halida logam tersedia dalam peringkat daya dari 39 hingga 1000 watt, dengan keluaran cahaya bervariasi dari 2300 hingga 125.000 lumen dan masa pakai lampu dari 10.000 hingga 24.000 jam. Panjang lampu bervariasi dari 4 hingga 15 inci (100 hingga 375 mm). Mereka biasanya lebih disukai daripada lampu merkuri.

Lampu natrium tekanan tinggi tersedia dengan peringkat daya dari 35 hingga 1000 watt, dengan keluaran cahaya bervariasi dari 1250 hingga 140.000 lumen. Umur lampu bervariasi dari 10.000 hingga 24.000 jam. Penampilan warna buruk, tetapi diskriminasi warna dimungkinkan. Lampu natrium tekanan rendah memiliki peringkat daya yang bervariasi dari 18 hingga 180 watt dan keluaran cahaya dari 1800 hingga 33.000 lumen. Umur lampu berkisar antara 14.000 hingga 18.000 jam. Output cahaya dan kehidupan sangat baik, tetapi diskriminasi warna tidak berlaku, semuanya tampak berwarna sama: kuning. Orang yang parkir di tempat parkir tidak akan dapat mengidentifikasi mobil mereka berdasarkan warna.

Tabel 15-1 memberikan perbandingan lampu yang mungkin dipilih untuk menerangi lokasi di gedung industri. Data operasional untuk lampu yang terdaftar disediakan dalam kolom dua sampai enam. Pada kolom terakhir dilakukan perbandingan dengan memilih jumlah cahaya yang akan dihasilkan, kemudian menghitung jumlah lampu dan daya listrik yang dibutuhkan. Seperti dapat dilihat pada tabel, natrium tekanan rendah adalah yang paling murah untuk dioperasikan. Ini tidak menunjukkan bahwa itu adalah lampu pilihan. Ketika semua faktor lain seperti diskriminasi warna, masa pakai lampu, dan jumlah kutub yang diperlukan dipertimbangkan, halida logam adalah pesaing yang kuat.

### **Distribusi Cahaya**

Distribusi cahaya setelah diciptakan di dalam lampu dipengaruhi oleh tiga faktor: lampu, reflektor, dan lensa. Banyak halogen dan semua lampu fluoresen berbentuk tabung, sehingga memancarkan cahaya 360° di seluruh panjang tabung. Dalam kebanyakan kasus, reflektor dipasang untuk mengarahkan 50% atau lebih cahaya. Ketika cahaya dipantulkan oleh permukaan, ada penyerapan tergantung pada reflektifitas permukaan. Saat memilih reflektor, ingatlah bahwa putih memiliki reflektifitas tertinggi. Permukaan ini harus dibersihkan sebelum pemasangan dan setiap kali lampu diganti. Meski distribusi dari lampu jenis lain lebih terarah, kemungkinan besar akan ada reflektor untuk mengarahkan cahaya dalam pola tertentu. Lensa terbuat dari kaca bening atau plastik dan dirancang untuk mengarahkan cahaya. Mereka harus dibersihkan secara teratur dan diganti jika mulai menguning seperti kecenderungan beberapa plastik. Dengan sebagian besar lumener, grafik tersedia untuk merinci distribusi cahaya. Ini harus dipelajari untuk menentukan apakah lumener memiliki pola distribusi yang tepat untuk aplikasi. Misalnya, lumener yang dirancang untuk menerangi rak buku akan menjadi pilihan yang buruk untuk ruang perakitan.

### Khasiat Lampu

Agar adil dalam membandingkan kebutuhan daya lampu, diasumsikan bahwa keluaran cahaya lampu adalah sama. Karena hal ini jarang terjadi, telah dikembangkan suatu teknik yang membandingkan keluaran cahaya lampu (lumen) dengan kebutuhan daya (watt). Dengan membagi peringkat lumen lampu dengan peringkat watt, nilai yang disebut kemanjuran lampu ditentukan. Kemanjuran yang tinggi berarti bahwa lampu tersebut menghasilkan cahaya dalam jumlah besar untuk setiap watt daya. Saat mengevaluasi lampu yang menggunakan ballast, nilai watt ballast juga harus disertakan.

Jenis lampu tipikal dan efisiensinya (lumen per watt) ditunjukkan pada Tabel 15-1. Tinjauan Tabel 15-1 akan menunjukkan bahwa lampu natrium tekanan rendah lebih disukai, bila daya hanya dipertimbangkan; lampu natrium tekanan tinggi adalah yang kedua; dan lampu halida logam dan lampu fluoresen keluaran tinggi diikat untuk ketiga. Lampu pijar dan lampu merkuri sangat buruk untuk tujuan ini sehingga penggunaannya akan sulit dibenarkan.

### Karakteristik Warna Lampu

Warna yang dirasakan seseorang saat melihat bangunan dan area sekitarnya bisa menjadi sangat penting. Gambar struktur, mobil di tempat parkir, material di tempat penyimpanan, dan orang-orang yang memasuki gedung, semuanya akan memiliki tampilan yang berbeda ketika disinari cahaya dengan kandungan warna yang berbeda. Warna yang dirasakan dari salah satu objek ini dipengaruhi oleh warna objek itu sendiri dan warna cahaya yang digunakan untuk menerangi objek tersebut. Contoh umum dari hal ini sering diamati di tempat parkir di mana mobil mengambil tampilan yang sama sekali berbeda di malam hari ketika penerangan tempat parkir dinyalakan.

Ketika penting agar diskriminasi warna yang baik dimungkinkan, maka lampu harus dipilih untuk memungkinkan hal ini. Jika diskriminasi warna yang tepat diperlukan, objek yang akan dilihat harus dilihat di bawah lampu sebelum lampu dipilih untuk dipasang. Namun, untuk penggunaan umum, daftar pada Tabel 15-2 dapat digunakan sebagai panduan. Perbandingan karakteristik pada Tabel 15-2, bersama dengan informasi kinerja pada Tabel 15-1, akan menunjukkan lampu natrium tekanan rendah sebagai lampu terbaik jika diskriminasi warna tidak penting. Lampu natrium tekanan rendah akan dapat diterima untuk sebagian besar penggunaan eksterior, dan yang lainnya akan digunakan dalam kasus di mana warna lebih penting.

**TABEL 15-2** Karakteristik warna lampu.

JENIS LAMPU	KARAKTERISTIK WARNA
Pijar	Diterima oleh banyak orang sebagai standar warna; dianggap sebagai cahaya hangat; blues akan tampak agak abu-abu
Merkuri deluxe white	Memiliki cahaya kehijauan yang sejuk; merah dan oranye akan tampak agak abu-abu
Berpendar	Berbagai macam jenis warna lampu memungkinkan tingkat rendering warna apa pun
Logam halide	Mirip dengan merkuri
Natrium tekanan rendah	Memiliki cahaya oranye-kuning; memungkinkan diskriminasi warna yang baik, kecuali dengan beberapa warna merah dan biru

Natrium bertekanan tinggi	Cahaya monokromatik kuning yang tidak memungkinkan diskriminasi warna, kecuali dengan objek kuning
---------------------------	--

### Pemeliharaan Lampu

Pemeliharaan sistem pencahayaan apa pun sangat sensitif terhadap seberapa sering lampu dapat diperkirakan akan gagal dan seberapa sulit untuk menggantinya. Melihat kembali Tabel 15-1, dapat diperhatikan bahwa lampu pijar sejauh ini memiliki harapan hidup terpendek, diikuti oleh fluoresen dan halida logam; semua yang lain memiliki harapan hidup lebih dari 18.000 jam (selama periode 4 tahun pada 50% waktu pembakaran). Juga harus diperhatikan bahwa panjang lampu fluoresen adalah 4 kaki (1,2 m), yang membuatnya paling sulit untuk ditangani pada pemasangan tiang.

Sekali lagi, lampu natrium tekanan tinggi dan lampu natrium tekanan rendah diberi peringkat tertinggi. Untuk bangunan industri, kebutuhan untuk mengidentifikasi mobil di tempat parkir dan bahan di area penyimpanan adalah pembenaran untuk menggunakan lampu natrium tekanan tinggi sebagai sumber cahaya untuk semua area situs.

### 15.2 Pilihan Pencahayaan

Jumlah cahaya, atau penerangan, yang dibutuhkan untuk area eksterior tergantung pada jenis aktivitas yang akan berlangsung di area tertentu. Illuminating Engineering Society of North America (IES) telah menerbitkan rekomendasi untuk berbagai area aktivitas. Kecuali ditentukan lain, nilai iluminasi yang diberikan adalah footcandle, yang dapat diukur pada permukaan horizontal area, di trotoar di tempat parkir atau jalan raya, atau di trotoar tempat orang berjalan.

Untuk area di lokasi bangunan industri, pencahayaan yang direkomendasikan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 15-3.

Perhatikan bahwa area penyimpanan direkomendasikan untuk memiliki tingkat pencahayaan yang jauh lebih tinggi daripada area lainnya. Ini karena dianggap sebagai area kerja, dibandingkan dengan area lain di mana hanya berjalan atau mengemudi.

**TABEL 15-3** Pencahayaan yang direkomendasikan.

SITE ACTIVITY	ILLUMINANCE (FOOTCANDLES)
Parking	0.5
Roadway	0.6
Storage	20
Pedestrian	0.9

### 15.3 Batasan Daya

Sejak embargo minyak pada awal 1970-an, banyak negara bagian telah membuat undang-undang yang membatasi daya yang dapat didedikasikan untuk penerangan area eksterior (dan interior). Beberapa prosedur umum dilakukan, tetapi yang diadopsi oleh sebagian besar negara bagian adalah "ASHRAE/IES Standard 90, Energy Conservation in New Building Construction."

**TABEL 15-4** Tunjangan daya.

SITE AREA	POWER ALLOWANCE (WATTS)
Parking	30 watts per space
Roadway	2 W/ft (6.5 W/m)
Storage	0.4 W/ft <sup>2</sup> (4.3 W/m <sup>2</sup> )
Pedestrian	30 W/ft (100 W/m)

**TABEL 15-5** Batas daya penerangan industri.

SITE ACTIVITY		POWER ALLOWANCE	AREA WATTS
Parking	90 spaces	30 watts per space	2700
Roadway	425 ft 130 m	2 watts per linear ft 6.5 watts per m	850
Storage	7900 sq. ft 735 sq. m	0.4 watts per sq. ft 43 watts per sq. m	3160
Pedestrian	60 ft 18 m	30 watts per linear ft 10 watts per m	1800
Power limit (watts)			8510

**TABEL 15-6** Persyaratan daya penerangan lokasi.

SITE ACTIVITY	NUMBER OF LUMINAIRES	WATTS PER LUMINAIRE	TOTAL WATTS
Parking	12	310	3720
Roadway	6	125	750
Storage	6	480	2880
Pedestrian	18	65	1170
Total watts			8520

Untuk area di lokasi bangunan industri, tunjangan daya ditunjukkan pada Tabel 15-4. Prosedur menentukan bahwa nilai daya yang ditentukan untuk setiap area dijumlahkan dan hanya nilai total yang dianggap sebagai batas daya. Untuk lokasi bangunan industri, batas daya ditunjukkan pada Tabel 15-5. Beban terhubung yang sebenarnya ditunjukkan pada Tabel 15-6. Karena total beban tersambung tidak jauh lebih besar dari batas daya, pemasangan ini sesuai dengan kode energi umum.

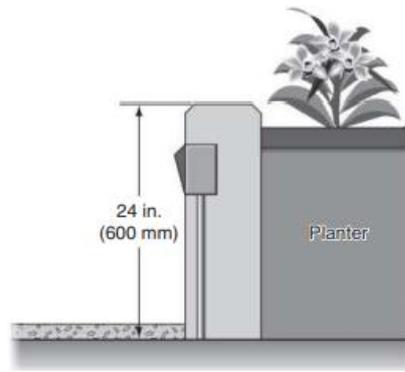
#### 15.4 Penempatan Luminer

Lokasi dan pemilihan luminer, serta ukuran lampu, difasilitasi oleh gambar yang serupa dengan yang ditunjukkan pada Gambar 15-1. Jenis gambar ini, yang disediakan oleh pabrikan luminer, disebut kurva iso-illuminance atau, dalam contoh khusus ini, kurva isofootcandle. Setiap kurva mewakili garis, jika digambar pada permukaan horizontal yang diterangi, di mana iluminasi berada pada nilai yang ditentukan. Pada Gambar 15-1, kurva berbentuk telur di sebelah simbol tengah menunjukkan bahwa terdapat 5,6 footcandle di sepanjang garis tersebut. Simbol tengah menunjukkan bahwa ini untuk luminer kembar. Pelabelan juga menunjukkan bahwa itu adalah untuk lampu natrium tekanan tinggi 250 watt di setiap luminer, dan bahwa luminer dipasang 30 kaki (9 m) di atas permukaan yang diterangi.

#### Pencahayaan Parkir

Dalam prakteknya, kurva ini digabungkan dengan kurva lain yang sejenis dan tidak serupa untuk membentuk pola seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15-2. Ini adalah tata letak untuk tempat parkir gedung industri, yang menunjukkan tiga luminer kembar di median





**GAMBAR 15-4** Penerangan jalan masuk tengah.

### 15.5 Instalasi Listrik

Konduktor penguburan langsung, Tipe UF, digunakan untuk melayani instalasi penerangan. Persyaratan NEC yang dibahas dalam Bab 1 diikuti dan, sebagai tambahan, jalur balap dipasang di mana pun konduktor harus berjalan di bawah trotoar.

Dua pertimbangan yang sangat penting menentukan pemilihan ukuran konduktor dan pengaturan sirkuit. Pertama, konduktor berukuran untuk memastikan penurunan tegangan rendah. Ini sangat penting karena jarak yang jauh yang harus dilalui konduktor. Pertimbangan penting kedua adalah untuk dapat memiliki kontrol selektif terhadap pencahayaan di berbagai area aktivitas.

#### Kontrol Pencahayaan

Karena biaya energi yang tinggi, penggunaan kontrol penerangan listrik tingkat lanjut untuk penerangan lokasi menjadi hemat biaya dalam banyak kasus. Kontrol fotosel pada dasarnya adalah suatu keharusan untuk semua pencahayaan situs. Ini dapat dipasang pada unit pencahayaan individual atau pada titik kontrol utama. Fotosel digunakan untuk memastikan bahwa pencahayaan situs dimatikan selama siang hari.

Jam waktu sering digunakan bersama dengan fotosel untuk menonaktifkan pencahayaan saat tidak digunakan lagi. Bangunan industri menggunakan fotosel untuk mengaktifkan pencahayaan pejalan kaki saat senja, kemudian jam waktu digunakan untuk menonaktifkan pencahayaan tersebut setelah pekerja terakhir pergi.

Dimmer untuk penerangan situs dengan cepat mendapatkan popularitas. Peredupan memiliki keuntungan, dibandingkan sistem kontrol lainnya, karena dapat menurunkan pencahayaan dan penggunaan energi sambil mempertahankan pencahayaan yang seragam di seluruh area. Penggunaan energi dapat dikurangi hingga 20%, atau lebih, dari nilai aslinya. Sistem peredupan harus dipasang di area penyimpanan dan tempat parkir. Sebuah fotosel akan memberi sinyal kapan harus menyalakan lampu; kemudian, jam waktu akan memulai peredupan saat pencahayaan tingkat tinggi tidak lagi diperlukan. Sakelar override akan ditempatkan di tempat yang nyaman jika ada kebutuhan untuk memiliki pencahayaan penuh setiap saat.

### 15.6 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditunjukkan secara rinci, dan referensi Kode harus dikutip bila perlu.

1. Sebutkan tiga perangkat umum yang digunakan untuk mengontrol sistem penerangan.
  - 1.
  - 2.
  - 3.
2. Tiga jenis sumber cahaya utama adalah
  - 1.
  - 2.
  - 3.
3. Susun lampu yang tercantum dalam Tabel 15-1 dalam urutan kemanjurannya berdasarkan peringkat, dimulai dengan kemanjuran terendah, yang menunjukkan kemanjuran yang dihitung.
  1. ( ) 5. ( )
  2. ( ) 6. ( )
  3. ( ) 7. ( )
  4. ( )
4. Jelaskan perbedaan antara istilah efikasi dan efisiensi, dan berikan contohnya masing-masing.
5. Kapan rendition warna menjadi penting di tempat parkir, dan kapan itu tidak penting?
6. Jelaskan mengapa area penyimpanan mungkin memerlukan tingkat pencahayaan yang lebih tinggi daripada area parkir.
7. Sebutkan faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam memilih jenis lampu untuk tempat parkir.
8. Jelaskan kurva isofootcandle.
9. Sebutkan beberapa perangkat yang dapat digunakan dengan pencahayaan area untuk mengurangi penggunaan energi.

## BAB 16

### PENGONTROL LOGIKA YANG DAPAT DIPROGRAM

#### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- daftar bagian-bagian utama dari pengontrol logika yang dapat diprogram (PLC).
- menjelaskan perbedaan antara PLC dan jenis komputer lainnya.
- mendiskusikan perbedaan antara jalur input/output (I/O), unit pemrosesan pusat (CPU), dan pemuat program.
- menggambar diagram cara kerja modul input dan output.

PLC pertama kali digunakan oleh industri otomotif pada akhir 1960-an. Setiap kali perubahan dibuat dalam desain mobil, perlu untuk mengubah sistem kontrol yang mengoperasikan mesin. Ini terdiri dari rewiring fisik sistem kontrol untuk membuatnya melakukan operasi baru. Menghubungkan ulang sistem, tentu saja, sangat memakan waktu dan mahal. Apa yang dibutuhkan industri adalah sistem kontrol yang dapat diubah tanpa pengkabelan ulang yang ekstensif yang diperlukan untuk mengubah sistem kontrol relai.

#### 16.1 Perbedaan Antara Pengontrol Logika Yang Dapat Diprogram Dan Komputer Pribadi

Salah satu pertanyaan pertama yang umumnya ditanyakan adalah "Apakah PLC sebuah komputer?" Jawaban atas pertanyaan itu adalah ya. PLC adalah jenis komputer khusus yang dirancang untuk melakukan fungsi khusus. Meskipun PLC dan komputer pribadi (PC) sama-sama komputer, ada beberapa perbedaan yang signifikan. Keduanya umumnya menggunakan tipe dasar komputer dan chip memori yang sama untuk melakukan tugas yang dimaksudkan, tetapi PLC harus beroperasi di lingkungan industri. Komputer apa pun yang ditujukan untuk penggunaan industri harus mampu menahan suhu yang ekstrem, mengabaikan lonjakan dan penurunan tegangan pada saluran listrik, tahan terhadap guncangan dan getaran, dan bertahan dalam atmosfer yang sering mengandung uap korosif, oli, dan kotoran.

PLC dirancang untuk diprogram dengan skema atau diagram tangga alih-alih bahasa komputer umum. Seorang ahli listrik yang akrab dengan diagram logika tangga umumnya dapat belajar memprogram PLC dalam beberapa jam, berbeda dengan waktu yang dibutuhkan untuk melatih seseorang bagaimana menulis program untuk komputer standar.

#### 16.2 Komponen Dasar

PLC dapat dibagi menjadi empat bagian utama:

1. Catu daya
2. CPU
3. Terminal pemrograman atau pemuat program
4. Rak I/O (diucapkan "eye-oh")

##### Catu Daya

Fungsi dari power supply adalah untuk menurunkan tegangan AC yang masuk ke level yang diinginkan, menyearhkannya ke DC, kemudian menyaring dan mengaturnya. Logika  
*Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)*

internal PLC umumnya beroperasi pada 5 hingga 24 volt DC, tergantung pada jenis pengontrolnya. Tegangan ini harus bebas dari lonjakan tegangan dan gangguan listrik lainnya dan diatur dalam 5% dari nilai tegangan yang diperlukan. Beberapa produsen PLC membangun catu daya terpisah, dan yang lain membangun catu daya ke dalam CPU.

### **CPU**

CPU adalah "otak" dari PLC. Ini berisi chip mikroprosesor dan sirkuit terintegrasi terkait untuk melakukan semua fungsi logika. Chip mikroprosesor yang digunakan di sebagian besar PLC sama dengan yang ditemukan di sebagian besar PC rumahan dan bisnis.

CPU, Gambar 16-1, sering kali memiliki kunci yang terletak di panel depan. Sakelar ini harus dihidupkan sebelum CPU dapat diprogram. Hal ini dilakukan untuk mencegah agar rangkaian tidak berubah secara tidak sengaja. Sambungan colokan pada CPU menyediakan sambungan untuk terminal pemrograman dan rak I/O, Gambar 16-2. CPU dirancang sedemikian rupa sehingga sekali program telah dikembangkan dan diuji, dapat disimpan pada beberapa jenis media seperti tape, disk, CD, atau perangkat penyimpanan lainnya. Akibatnya, jika CPU gagal dan harus diganti, program dapat diunduh dari media penyimpanan. Ini menghilangkan proses yang memakan waktu karena harus memprogram ulang unit dengan tangan.

### **Terminal Pemrograman**

Terminal pemrograman atau terminal pemuatan digunakan untuk memprogram CPU. Jenis terminal yang digunakan tergantung pada pabrikan dan seringkali pada preferensi konsumen. Beberapa adalah perangkat genggam kecil yang menggunakan layar kristal cair atau LED untuk menampilkan program, Gambar 16-3. Beberapa dari unit kecil ini menampilkan satu baris program pada satu waktu, dan yang lainnya membutuhkan program untuk dimasukkan dalam bahasa yang disebut Boolean.

Jenis lain dari terminal pemrograman berisi tampilan dan keyboard, Gambar 16-4. Terminal jenis ini umumnya menampilkan beberapa baris program sekaligus dan dapat digunakan untuk mengamati operasi rangkaian saat beroperasi.

Banyak industri lebih suka menggunakan komputer notebook atau laptop untuk pemrograman, Gambar 16-5. Antarmuka yang memungkinkan komputer terhubung ke input PLC dan program perangkat lunak biasanya tersedia dari pabrikan PLC.



**GAMBAR 16-1** Sebuah CPU.



**GAMBAR 16-2** Sambungan colokan yang terdapat pada CPU.



**GAMBAR 16-3** Terminal pemrograman genggam dan PLC kecil.



**GAMBAR 16-4** Terminal pemrograman.



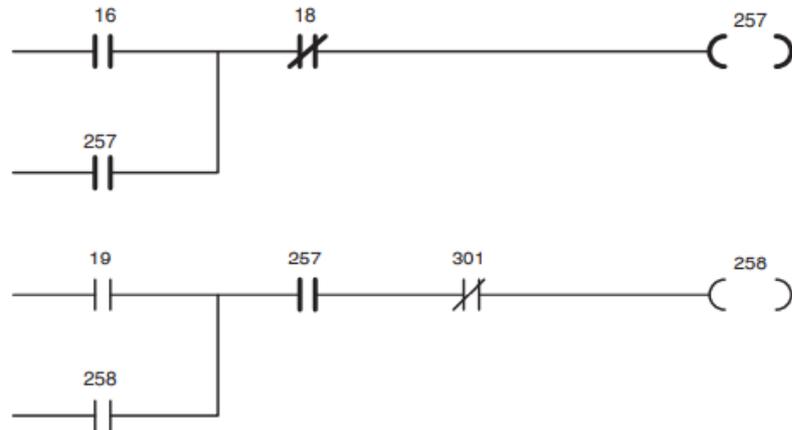
**GAMBAR 16-5** Komputer laptop digunakan untuk memprogram PLC.

Terminal digunakan tidak hanya untuk memprogram PLC tetapi juga untuk memecahkan masalah sirkuit. Ketika terminal terhubung ke CPU, sirkuit dapat diperiksa saat sedang beroperasi. Gambar 16-6 mengilustrasikan sirkuit tipikal dari yang terlihat di layar. Perhatikan bahwa diagram skematik ini berbeda dari diagram tangga biasa. Semua komponen saluran ditampilkan sebagai kontak yang biasanya terbuka atau biasanya tertutup. Tidak ada simbol NEMA untuk push-button, float switch, limit switch, dan sebagainya. PLC hanya mengenali kontak terbuka atau tertutup. Itu tidak tahu apakah kontak terhubung ke tombol tekan, sakelar batas, atau sakelar pelampung. Namun, setiap kontak memiliki nomor. Nomor tersebut digunakan untuk membedakan satu kontak dengan kontak lainnya.

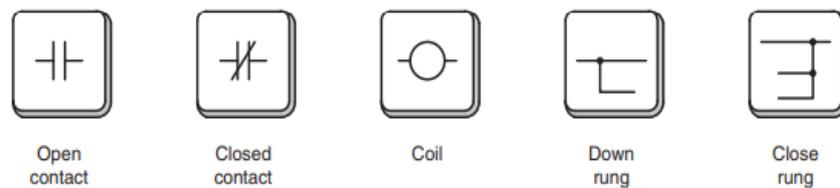
Dalam contoh ini, simbol kumparan terlihat seperti sekumpulan tanda kurung, bukan lingkaran seperti yang ditunjukkan pada kebanyakan diagram tangga. Setiap garis diakhiri dengan sebuah kumparan, dan setiap kumparan memiliki nomor. Ketika simbol kontak memiliki nomor yang sama dengan koil, itu berarti kontak dikendalikan oleh koil itu. Skema pada Gambar 16-6 menunjukkan kumparan bernomor 257 dan dua kontak bernomor 257. Ketika kumparan 257 diberi energi, PLC menafsirkan kedua kontak 257 menjadi tertutup.

Karakteristik interpretasi diagram bila dilihat pada layar sebagian besar terminal pembebanan adalah ketika ada jalur arus melalui kontak, atau jika koil diberi energi, koil atau kontak tersebut akan disorot pada tampilan. Dalam contoh yang ditunjukkan pada Gambar 16-6 untuk kumparan 257, kontak 16 dan kontak 18 digambar dengan garis tebal gelap, yang menggambarkan bahwa mereka disorot atau diterangi pada tampilan. Menyoroti kontak tidak berarti telah berubah dari keadaan aslinya.

Ini berarti bahwa ada sirkuit lengkap melalui kontak itu. Kontak 16 disorot, menunjukkan bahwa kumparan 16 telah diberi energi dan kontak 16 ditutup, memberikan rangkaian lengkap. Kontak 18, bagaimanapun, ditampilkan seperti biasanya tertutup. Karena disorot, kumparan 18 belum diberi energi, karena jalur arus masih ada melalui kontak 18. Kumparan 257 diperlihatkan disorot, menunjukkan bahwa itu diberi energi. Karena kumparan 257 diberi energi, kedua kontak 257 sekarang ditutup, memberikan jalur arus melaluinya.



**GAMBAR 16-6** Menganalisis operasi rangkaian dengan terminal.



**GAMBAR 16-7** Simbol digunakan untuk memprogram PLC.

Saat terminal pemuatan digunakan untuk memuat program ke PLC, simbol kontak dan koil pada keyboard digunakan, Gambar 16-7. Kunci lain mengizinkan jenis relai tertentu, seperti pengatur waktu, penghitung, atau relai retentif, untuk diprogram ke dalam logika rangkaian. Beberapa kunci mengizinkan jalur paralel, umumnya disebut sebagai anak tangga bawah, untuk dimulai dan diakhiri. Metode yang digunakan untuk memprogram PLC khusus untuk merek dan model pengontrol. Biasanya Anda perlu berkonsultasi dengan literatur pabrikan jika Anda tidak terbiasa dengan PLC tertentu.

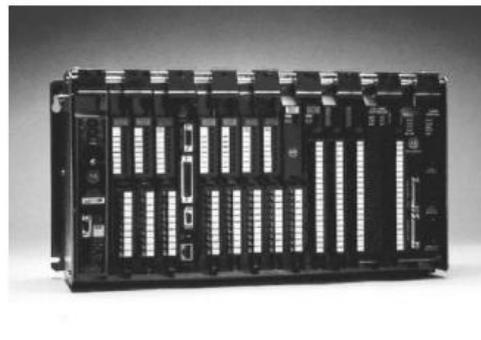
### Rak I/O

Rak I/O digunakan untuk menghubungkan CPU ke dunia luar. Ini berisi modul input yang membawa informasi dari perangkat sensor kontrol ke CPU dan modul output yang membawa instruksi dari CPU ke perangkat output di lapangan. Rak I/O ditunjukkan pada Gambar 16-8A dan Gambar 16-8B. Modul input dan output berisi lebih dari satu input atau output. Setiap nomor dari empat sampai enam belas adalah umum, tergantung pada pabrikan dan model PLC. Modul yang ditunjukkan pada Gambar 16-8A masing-masing dapat menangani enam belas koneksi.

Ini berarti bahwa setiap modul input dapat menangani enam belas perangkat input yang berbeda seperti tombol tekan, sakelar batas, sakelar jarak, dan sakelar float. Modul output masing-masing dapat menangani enam belas perangkat eksternal seperti lampu pilot, kumparan solenoida, dan kumparan relai. Tegangan operasi dapat berupa AC atau DC, tergantung pada merek dan model pengontrol, dan umumnya 120 atau 24 volt. Rak I/O yang ditunjukkan pada Gambar 16-8A dapat menangani sepuluh modul. Karena setiap modul dapat menangani enam belas perangkat input atau output, rak I/O mampu menangani 160 perangkat input dan output. Banyak PLC yang mampu menangani beberapa rak I/O.



**GAMBAR 16-8A** Rak I/O dengan modul input dan output.



**GAMBAR 16-8B** Rak I/O dengan modul input dan output.



**GAMBAR 16-9** CPU dengan rak I/O.

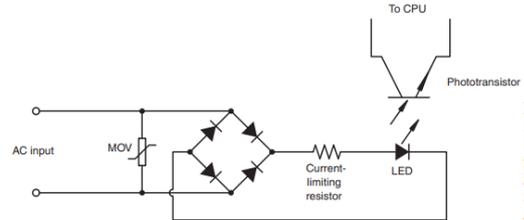
### Kapasitas I/O

Salah satu faktor yang menentukan ukuran dan biaya PLC adalah kapasitas I/O-nya. Banyak unit kecil mungkin dimaksudkan untuk menangani sedikitnya enam belas perangkat input dan output. PLC besar umumnya dapat menangani beberapa ratus. Jumlah perangkat input dan output yang harus ditangani pengontrol juga memengaruhi kecepatan prosesor dan jumlah memori yang harus dimiliki CPU. CPU dengan rak I/O ditunjukkan pada Gambar 16-9.

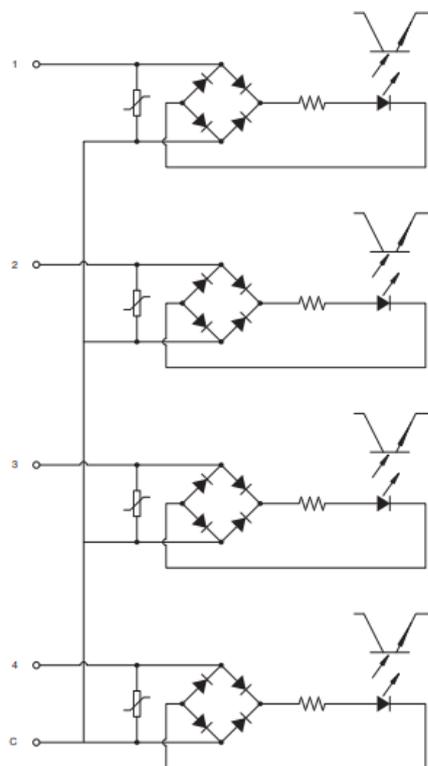
### Modul Masukan

CPU PLC sangat sensitif terhadap lonjakan tegangan dan gangguan listrik. Untuk alasan ini, modul input I/O menggunakan isolasi-opto untuk memisahkan secara elektrik sinyal yang masuk dari CPU. Gambar 16-10 menunjukkan rangkaian tipikal yang digunakan untuk input.

Varistor oksida logam (MOV) terhubung di seluruh input AC untuk membantu menghilangkan lonjakan tegangan yang mungkin terjadi pada saluran. MOV adalah resistor peka tegangan. Selama tegangan pada terminalnya tetap di bawah tingkat tertentu, ia menunjukkan resistansi yang sangat tinggi. Jika tegangan menjadi terlalu tinggi, resistansi hampir seketika berubah ke nilai yang sangat rendah. Penyearah jembatan mengubah tegangan AC menjadi DC. Sebuah resistor digunakan untuk membatasi arus ke LED. Ketika daya diterapkan ke sirkuit, LED menyala. Cahaya dideteksi oleh fototransistor, yang memberi sinyal kepada CPU bahwa ada tegangan di terminal input.



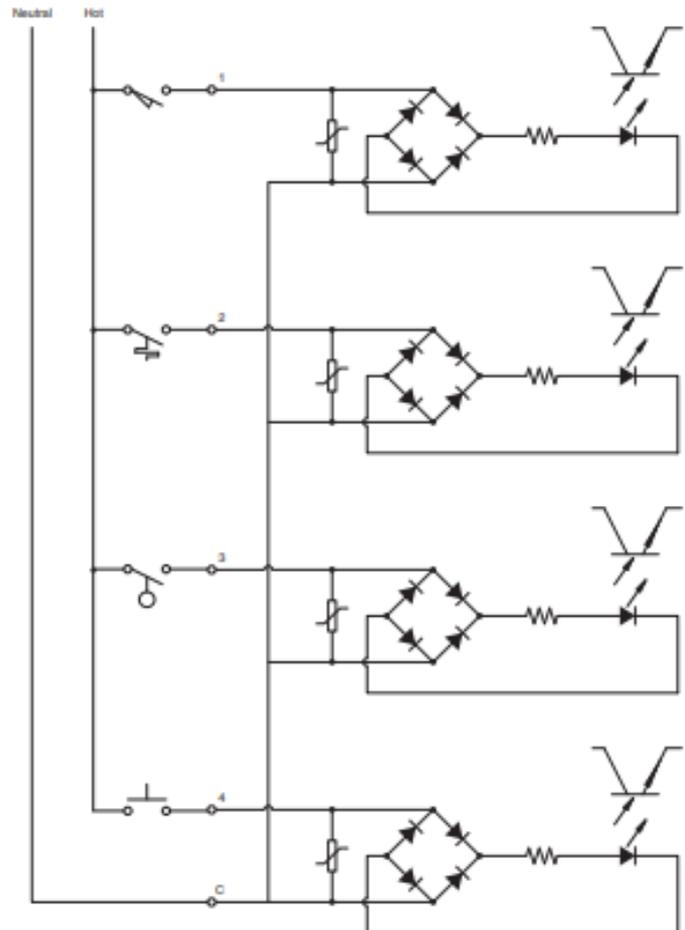
**GAMBAR 16-10** Rangkaian input.



**GAMBAR 16-11** Modul empat masukan.

Ketika modul memiliki lebih dari satu input, penyearah jembatan dihubungkan bersama di satu sisi untuk membentuk terminal umum. Di sisi lain, penyearah diberi label 1, 2, 3, dan 4. Gambar 16-11 menunjukkan empat penyearah jembatan yang terhubung bersama untuk membentuk terminal umum. Gambar 16-12 menunjukkan sakelar batas yang terhubung ke input 1, sakelar suhu yang terhubung ke input 2, sakelar apung yang terhubung ke input 3, dan tombol tekan yang biasanya terbuka terhubung ke input 4. Perhatikan bahwa perangkat pilot menyelesaikan rangkaian ke penyearah jembatan. Jika ada sakelar yang

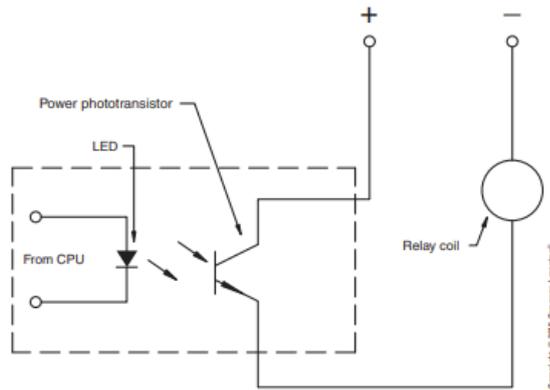
ditutup, 120 volt AC akan dihubungkan ke penyearah jembatan, menyebabkan LED yang sesuai menyala dan memberi sinyal kepada CPU bahwa input memiliki tegangan yang diterapkan padanya. Ketika tegangan diterapkan ke input, CPU menganggap input itu berada pada level tinggi.



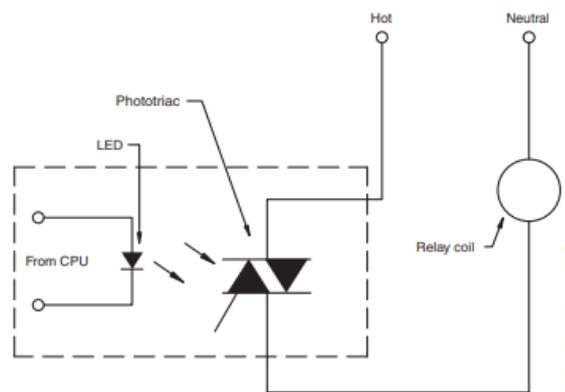
**GAMBAR 16-12** Perangkat percontohan terhubung ke modul input.

### Modul Keluaran

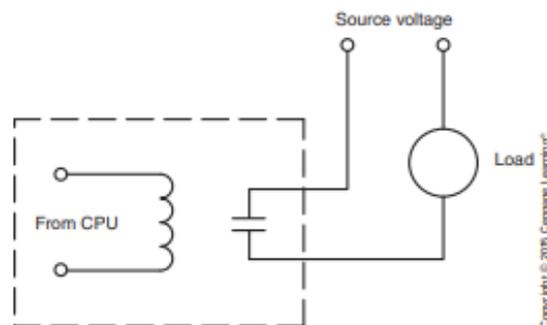
Modul output digunakan untuk menghubungkan CPU ke beban. Modul output menyediakan isolasi jalur antara CPU dan sirkuit eksternal. Isolasi umumnya diberikan dalam salah satu dari dua cara. Yang paling populer adalah dengan isolasi optik, sangat mirip dengan modul input. Dalam hal ini, CPU mengontrol LED. LED digunakan untuk memberi sinyal pada perangkat solid-state untuk menghubungkan beban ke saluran. Jika beban dioperasikan oleh DC, fototransistor daya digunakan untuk menghubungkan beban ke saluran, Gambar 16-13. Jika beban adalah perangkat AC, triac digunakan untuk menghubungkan beban ke saluran, Gambar 16-14. Perhatikan bahwa CPU dipisahkan dari sirkuit eksternal oleh seberkas cahaya. Tidak ada lonjakan tegangan atau gangguan listrik yang dapat ditransmisikan ke CPU.



**GAMBAR 16-13** Sebuah fototransistor daya menghubungkan beban DC ke saluran.



**GAMBAR 16-14** Sebuah triac menghubungkan beban AC ke saluran.



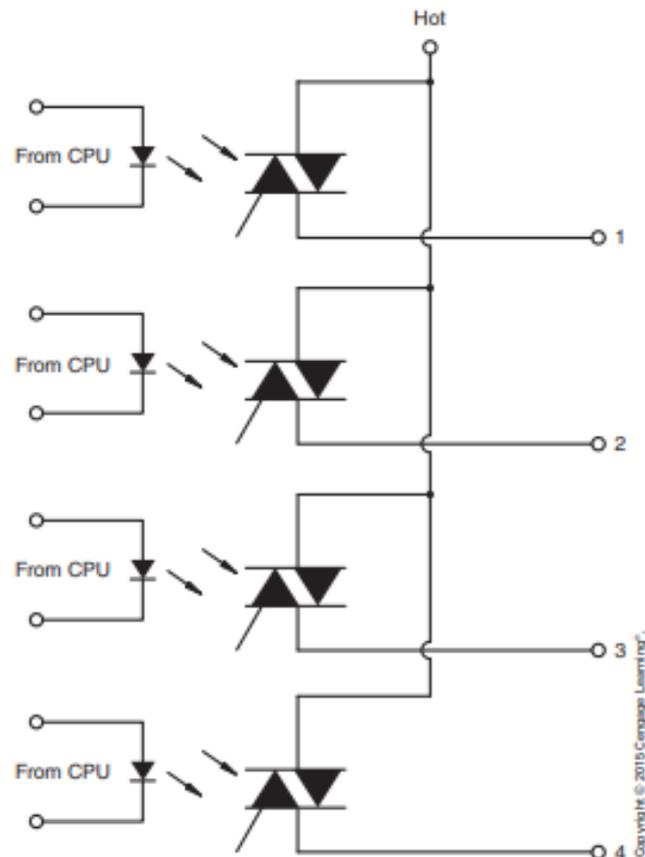
**GAMBAR 16-15** Relai menghubungkan beban ke saluran.

Metode kedua untuk mengontrol output adalah dengan relay kecil, Gambar 16-15. CPU mengontrol koil relay. Kontak menghubungkan beban ke saluran. Keuntungan dari modul keluaran jenis ini adalah tidak peka terhadap tegangan AC atau DC dan dapat mengontrol rangkaian 120 atau 24 volt. Kerugiannya adalah ia memang mengandung bagian yang bergerak yang bisa aus. Dalam hal ini, CPU diisolasi dari sirkuit eksternal oleh medan magnet, bukan berkas cahaya.

Jika modul berisi lebih dari satu output, satu terminal dari setiap perangkat output dihubungkan bersama untuk membentuk terminal umum, mirip dengan modul dengan banyak input, Gambar 16-16. Perhatikan bahwa satu sisi dari setiap triac telah dihubungkan bersama untuk membentuk titik yang sama. Sisi lain dari setiap triac diberi label 1, 2, 3, atau

*Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)*

4. Jika transistor daya digunakan sebagai perangkat output, kolektor atau emitor dari setiap transistor akan dihubungkan untuk membentuk terminal umum. Gambar 16-14 menunjukkan koil relai yang terhubung ke output triac. Perhatikan bahwa triac digunakan sebagai sakelar untuk menghubungkan beban ke saluran. Daya untuk mengoperasikan beban harus disediakan oleh sumber eksternal. Modul output tidak menyediakan daya untuk mengoperasikan beban eksternal.



**GAMBAR 16-16** Modul keluaran ganda.

Jumlah arus keluaran yang dapat dikontrol terbatas. Nilai arus dari sebagian besar keluaran dapat berkisar dari 0,5 hingga sekitar 3 ampere, tergantung pada merek pengontrol dan jenis keluaran yang digunakan. Output dimaksudkan untuk mengontrol beban yang menarik sejumlah kecil arus seperti kumparan solenoida, lampu pilot, dan kumparan relai. Beberapa keluaran dapat mengontrol kumparan starter motor secara langsung, dan yang lainnya memerlukan estafet interposisi. Relai interposing digunakan ketika penarikan arus beban berada di atas nilai arus keluaran.

### Relay Internal

Logika sebenarnya dari rangkaian kontrol dilakukan oleh relai internal. Relai internal adalah perangkat imajiner yang hanya ada dalam logika komputer. Itu dapat memiliki sejumlah kontak dari satu hingga beberapa ratus, dan kontak dapat diprogram secara normal terbuka atau tertutup secara normal. Relai internal diprogram ke dalam logika PLC dengan memberi mereka nomor tertentu. Pabrikan menyediakan bagan yang mencantumkan nomor

mana yang dapat digunakan untuk memprogram input dan output, kumparan relai internal, timer, penghitung, dan sebagainya. Ketika sebuah kumparan dimasukkan di ujung garis logika dan diberi nomor yang sesuai dengan relai internal, itu akan bertindak seperti relai fisik. Kontak apa pun yang diberi nomor yang sama dengan relai itu akan dikendalikan oleh relai itu.

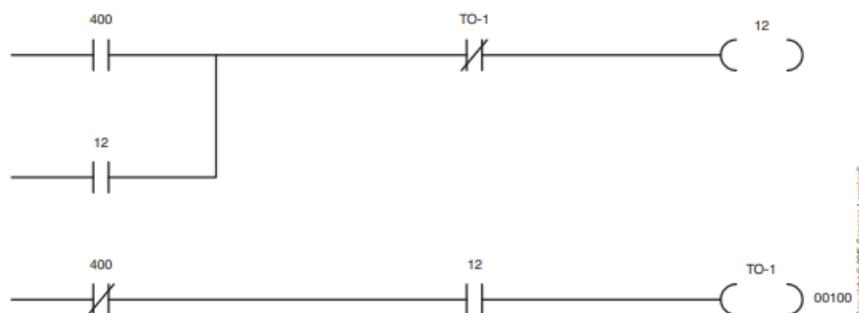
### Timer dan Penghitung

Timer dan counter juga merupakan relay internal. Tidak ada timer atau counter fisik di PLC. Mereka diprogram ke dalam logika dengan cara yang sama seperti relai internal lainnya, dengan memberi mereka nomor yang sesuai dengan timer atau counter. Perbedaannya adalah waktu tunda atau jumlah hitungan harus diprogram ketika dimasukkan ke dalam program. Jumlah hitungan untuk penghitung dimasukkan menggunakan angka pada tombol pada terminal beban. Timer umumnya diprogram dalam interval 0,1 detik. Beberapa pabrikan menyediakan kunci desimal, sedangkan yang lain tidak. Jika kunci desimal tidak disediakan, waktu tunda dimasukkan sebagai interval 0,1 detik. Jika diinginkan penundaan 10 detik, misalnya, angka 100 akan dimasukkan. Seratus persepuluh detik sama dengan 10 detik.

### Sirkuit Off-Delay

Beberapa PLC mengizinkan pengatur waktu untuk diprogram sebagai penundaan hidup atau mati, tetapi yang lain hanya mengizinkan pengatur waktu penundaan untuk diprogram. Ketika PLC hanya mengizinkan timer on-delay untuk diprogram, rangkaian sederhana dapat digunakan untuk mengizinkan timer on-delay untuk melakukan fungsi timer off-delay, Gambar 16-17. Untuk memahami aksi dari rangkaian, ingatlah operasi dari timer off-delay. Ketika koil pengatur waktu diberi energi, kontak waktunya akan segera berubah posisi. Ketika koil tidak diberi energi, kontak tetap dalam keadaan energinya selama beberapa waktu sebelum kembali ke keadaan normalnya.

Dalam rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 16-17, diasumsikan bahwa kontak 400 mengontrol aksi pengatur waktu. Kumparan 400 adalah koil relai internal yang terletak di suatu tempat di sirkuit. Coil 12 adalah output dan mengontrol beberapa perangkat eksternal. Coil TO-1 adalah pengatur waktu tunda yang disetel selama 100-persepuluh detik. Ketika kumparan 400 diberi energi, kedua 400 kontak berubah posisi. Kontak 400 yang biasanya terbuka akan menutup dan menyediakan jalur arus ke koil 12. Kontak 400 yang biasanya tertutup akan terbuka, yang mencegah rangkaian selesai ke koil TO-1 ketika koil 12 diberi energi. Perhatikan bahwa kumparan 12 langsung menyala ketika kontak 400 ditutup. Ketika kumparan 400 tidak diberi energi, kedua 400 kontak kembali ke posisi normalnya.



**GAMBAR 16-17** Rangkaian timer off-delay.

Jalur arus dipertahankan ke koil (12) dengan kontak 12 yang sekarang tertutup, secara paralel dengan kontak 400 yang biasanya terbuka. Ketika kontak 400 yang biasanya tertutup kembali ke posisi normalnya, jalur arus dibuat untuk menggulung TO-1 melalui kontak 12 yang sekarang tertutup. Ini memulai urutan waktu timer TO-1. Setelah penundaan selama 10 detik, kontak TO-1 yang biasanya tertutup akan terbuka dan menghilangkan energi koil 12, mengembalikan kedua kontak 12 ke posisi normalnya. Sirkuit sekarang kembali dalam keadaan yang ditunjukkan pada Gambar 16-17. Perhatikan aksi rangkaian. Ketika kumparan 400 diberi energi, kumparan keluaran 12 segera menyala. Ketika koil 400 tidak diberi energi, keluaran 12 tetap menyala selama 10 detik sebelum dimatikan.



**GAMBAR 16-18** Unit penggerak arus searah yang dikendalikan oleh PLC.

Jumlah relai internal dan timer yang terdapat dalam PLC ditentukan oleh kapasitas memori komputer. Sebagai aturan umum, PLC yang memiliki kapasitas I/O besar memiliki jumlah memori yang besar. Penggunaan PLC terus meningkat sejak penemuannya pada akhir 1960-an. Sebuah PLC dapat menggantikan ratusan relai dan hanya menempati sebagian kecil ruang. Logika rangkaian dapat diubah dengan mudah dan cepat tanpa memerlukan pengkabelan ulang yang ekstensif. Tidak ada bagian yang bergerak atau kontak yang aus, dan waktu hentinya lebih kecil dari pada rangkaian relai yang setara. Ketika penggantian diperlukan, itu dapat diprogram ulang dari perangkat penyimpanan media.

Metode pemrograman yang disajikan dalam teks ini bersifat umum karena tidak mungkin menyertakan contoh peralatan dari masing-masing pabrikan tertentu. Konsep, bagaimanapun, adalah umum untuk semua pengontrol yang dapat diprogram. Sebuah PLC yang digunakan untuk mengontrol drive DC ditunjukkan pada Gambar 16-18.

### **16.3 Memasang Pengontrol Logika Yang Dapat Diprogram**

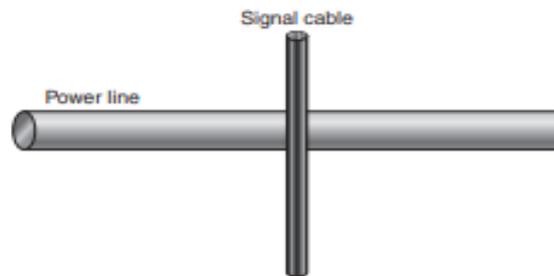
Dalam memasang PLC, beberapa aturan umum harus diikuti. Aturan-aturan ini pada dasarnya masuk akal dan dirancang untuk membantu mengurangi jumlah kebisingan listrik yang dapat diinduksi ke dalam kabel input. Kebisingan listrik adalah masalah di beberapa instalasi sehingga beberapa produsen menggunakan kabel optik sebagai pengganti kabel untuk koneksi ke rak I/O.

#### **Jaga agar Kawat Tetap Singkat**

Cobalah untuk menjaga kabel berjalan sesingkat mungkin. Jangkauan kawat yang panjang memiliki lebih banyak area permukaan kawat untuk menangkap kebisingan listrik yang menyimpang.

### Rencanakan Rute Kabel Sinyal

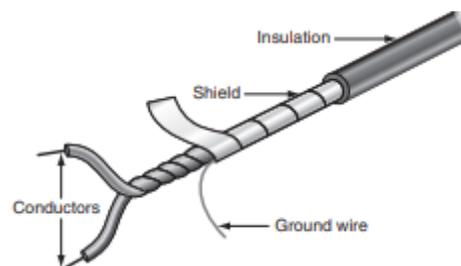
Sebelum memulai, rencanakan bagaimana kabel sinyal harus dipasang. Jangan pernah menjalankan kabel sinyal pada saluran yang sama dengan kabel listrik. Cobalah untuk menjalankan kabel sinyal sejauh mungkin dari kabel listrik. Jika perlu menyilangkan kabel daya, pasang kabel sinyal sehingga menyilang pada sudut yang tepat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16-19.



**GAMBAR 16-19** Kabel sinyal melintasi saluran listrik di sudut kanan.

### Gunakan Kabel Terlindung

Kabel berpelindung digunakan untuk pemasangan kabel sinyal. Salah satu jenis yang paling umum, ditunjukkan pada Gambar 16-20, menggunakan kabel bengkok dengan pelindung foil Mylar. Kabel arde harus diarde jika pelindung ingin beroperasi dengan benar. Jenis kabel berpelindung ini dapat memberikan rasio pengurangan kebisingan sekitar 30.000:1. Jenis lain dari kabel sinyal menggunakan sepasang kabel sinyal bengkok yang dikelilingi oleh pelindung yang dikepang. Jenis kabel ini memberikan rasio pengurangan kebisingan sekitar 300:1.

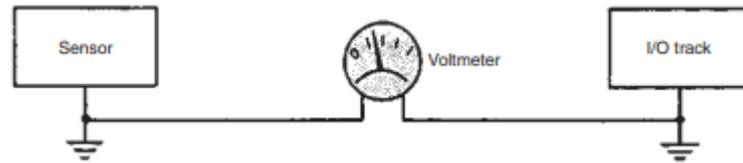


**GAMBAR 16-20** Kabel berpelindung.

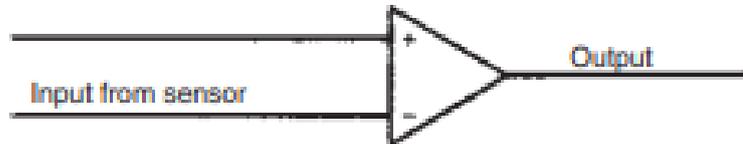
Penggunaan kabel koaksial umum harus dihindari. Kabel ini terdiri dari konduktor tunggal yang dikelilingi oleh pelindung yang dikepang. Jenis kabel ini menawarkan pengurangan kebisingan yang sangat buruk.

### Landasan

Tanah umumnya dianggap netral secara listrik atau nol di semua titik. Namun, ini mungkin tidak selalu terjadi dalam aplikasi praktis. Tidak jarang ditemukan bahwa bagian yang berbeda dari peralatan memiliki permukaan tanah yang terpisah beberapa volt, Gambar 16-21. Untuk mengatasi masalah ini, kadang-kadang digunakan kabel besar untuk mengikat kedua peralatan. Ini memaksa mereka untuk eksis pada potensi yang sama. Metode ini kadang-kadang disebut sebagai metode brute force. Jika metode brute force tidak praktis, pelindung kabel sinyal diarde hanya pada salah satu ujungnya. Metode yang disukai umumnya adalah membumikan pelindung pada sensor.



**GAMBAR 16-21** Semua alasan tidak sama.



**GAMBAR 16-22** Penguat diferensial mendeteksi perbedaan level sinyal.

#### 16.4 Penguat Diferensial

Perangkat elektronik yang sering digunakan untuk membantu mengatasi masalah derau yang ditimbulkan adalah penguat diferensial. Perangkat ini, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 16-22, mendeteksi perbedaan tegangan antara sepasang kabel sinyal dan memperkuat perbedaan ini. Karena tingkat kebisingan yang diinduksi harus sama di kedua konduktor, amplifier akan mengabaikan kebisingan. Sebagai contoh, asumsikan sebuah sensor menghasilkan sinyal 50 milivolt. Sinyal ini diterapkan ke modul input, tetapi noise yang diinduksi berada pada level 5 volt. Dalam hal ini tingkat kebisingan 100 kali lebih besar dari tingkat sinyal. Tingkat kebisingan yang diinduksi, bagaimanapun, adalah sama untuk kedua konduktor input. Oleh karena itu, penguat diferensial mengabaikan kebisingan 5 volt dan hanya memperkuat perbedaan tegangan, yaitu 50 milivolt.

#### 16.5 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditunjukkan secara rinci, dan referensi Kode harus dikutip bila perlu.

1. Industri apa yang pertama kali menggunakan PLC?
2. Sebutkan empat bagian dasar PLC.
3. Di bagian PLC manakah logika rangkaian yang sebenarnya dilakukan?
4. Perangkat apa yang memisahkan PLC dari sirkuit luar?
5. Jika modul output I/O mengontrol tegangan AC, perangkat elektronik apa yang digunakan untuk mengontrol beban?
6. Apa itu opto-isolasi?
7. Mengapa kabel sinyal harus dibuat sesingkat mungkin?
8. Mengapa kawat berpelindung digunakan untuk menjalankan sinyal?
9. Apa metode grounding brute force?
10. Jelaskan pengoperasian penguat diferensial.

## BAB 17

### MENGEMBANGKAN PROGRAM UNTUK PLC

#### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- mengembangkan program untuk pengontrol logika terprogram (PLC) menggunakan diagram skematik.
- menghubungkan perangkat eksternal ke terminal input dan output PLC.

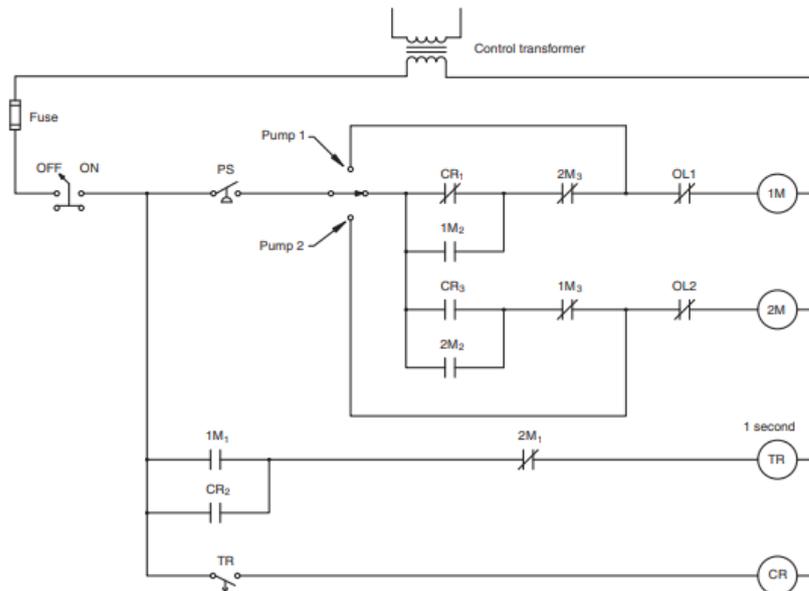
Sirkuit kontrol umumnya digambarkan sebagai skema standar atau diagram tangga. Sirkuit ini kemudian diubah menjadi diagram logika yang dapat dimuat ke dalam memori pengontrol logika yang dapat diprogram. Rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 17-1 akan diubah untuk pemrograman menjadi PLC. Sirkuit ini digunakan untuk mengontrol dua pompa sumur. Pembangunan perumahan berisi satu tangki tekanan yang memasok air ke pembangunan. Namun, ada dua sumur dalam yang terpisah yang memasok air ke tangki.

Diinginkan agar sumur digunakan secara merata. Sirkuit pada Gambar 17-1 akan menyebabkan pompa bekerja bergantian setiap kali sakelar tekanan ditutup. Sakelar pemilih dapat diatur ke salah satu dari tiga mode operasi. Dalam mode otomatis, sirkuit akan beroperasi secara otomatis dan memungkinkan pompa untuk bekerja bergantian setiap kali sakelar tekanan ditutup. Sakelar pemilih juga dapat diatur untuk mengizinkan hanya satu pompa yang beroperasi setiap kali sakelar tekanan menutup jika satu pompa gagal. Sakelar on-off dapat digunakan untuk menghentikan semua operasi rangkaian.

Sebelum sebuah program dapat dikembangkan dari diagram tangga, pertama-tama perlu untuk menentukan jumlah perangkat input dan output. Dalam rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 17-1, sebenarnya ada tiga perangkat input: sakelar hidup-mati, sakelar tekanan, dan sakelar pemilih. Saklar pemilih, bagaimanapun, membutuhkan tiga input terpisah. Oleh karena itu, akan ada lima input ke PLC. Hanya dua output yang diperlukan untuk kumparan starter motor 1M dan 2M. Kumparan TR dan CR adalah relai internal yang hanya ada dalam logika PLC.

Langkah pertama dalam mengembangkan program adalah menetapkan perangkat input dan output eksternal ke input dan output tertentu. Dalam contoh ini, diasumsikan bahwa PLC yang akan digunakan memiliki enam belas input dan delapan output.

Tabel 17-1 mencantumkan nomor yang terkait dengan input, output, relai internal, dan timer. Tabel menunjukkan bahwa terminal 1 sampai 16 adalah input dan terminal 17 sampai 24 adalah output. PLC ini dapat memiliki sebanyak tujuh puluh lima relai internal. Nomor koil relai internal berkisar dari 100 hingga 175. Total ada dua puluh lima timer yang diprogram ke dalam pengontrol ini. Kumparan bernomor 200 sampai 225 digunakan untuk pengatur waktu. Diasumsikan juga bahwa jam internal yang mengontrol operasi pengatur waktu beroperasi dalam interval 0,1 detik. Oleh karena itu, perlu memprogram nilai 10 untuk menghasilkan waktu tunda 1 detik untuk timer TR, seperti yang ditunjukkan pada skema.



**GAMBAR 17-1** Sirkuit yang digunakan untuk mengganti pengoperasian dua pompa sumur

**TABEL 17-1** Nomor koil terkait dengan relai internal tertentu.

Inputs	1-16
Outputs	17-24
Internal Relays	100-175
Timers	200-225

### 17.1 Menetapkan Input Dan Output

Dalam contoh ini, sakelar hidup-mati ditetapkan ke input 1; sakelar tekanan ditetapkan ke input 2; terminal otomatis sakelar pemilih ditetapkan ke input 4; terminal pompa 1 ditetapkan ke input 3; dan terminal pompa 2 ditetapkan ke input 5, Gambar 17-2. Perhatikan bahwa satu sisi dari setiap perangkat input telah dihubungkan ke terminal daya yang panas atau tidak diarde. Sisi lain dari setiap perangkat input terhubung ke terminal input yang sesuai. PLC tidak memberikan daya ke terminal input atau output. Input dan output harus memiliki daya yang disediakan untuk mereka. Terminal input umum (C) terhubung ke konduktor daya netral atau ground.

Koil starter motor 1M terhubung ke terminal output 17, dan koil starter motor 2M terhubung ke terminal output 18. Perhatikan juga bahwa kontak beban lebih yang biasanya tertutup untuk starter 1M dan 2M dihubungkan secara seri dengan starter yang sesuai. Sudah menjadi praktik umum di banyak industri untuk membiarkan kontak kelebihan beban disambungkan ke koil starter untuk memastikan bahwa starter akan kehilangan energi jika terjadi kelebihan beban. Beberapa produsen peralatan kontrol motor menyediakan kontak kelebihan beban kedua yang biasanya terbuka. Kontak ini dapat digunakan sebagai input ke PLC dan ditempatkan dalam logika rangkaian. Dalam contoh ini, bagaimanapun, diasumsikan bahwa relai beban lebih berisi satu kontak normal tertutup yang akan tetap terhubung dengan

kabel ke koil. Terminal keluaran umum disambungkan ke konduktor daya panas, atau tidak diarde, dan sisi lain dari setiap koil dihubungkan ke konduktor daya netral, atau diarde.

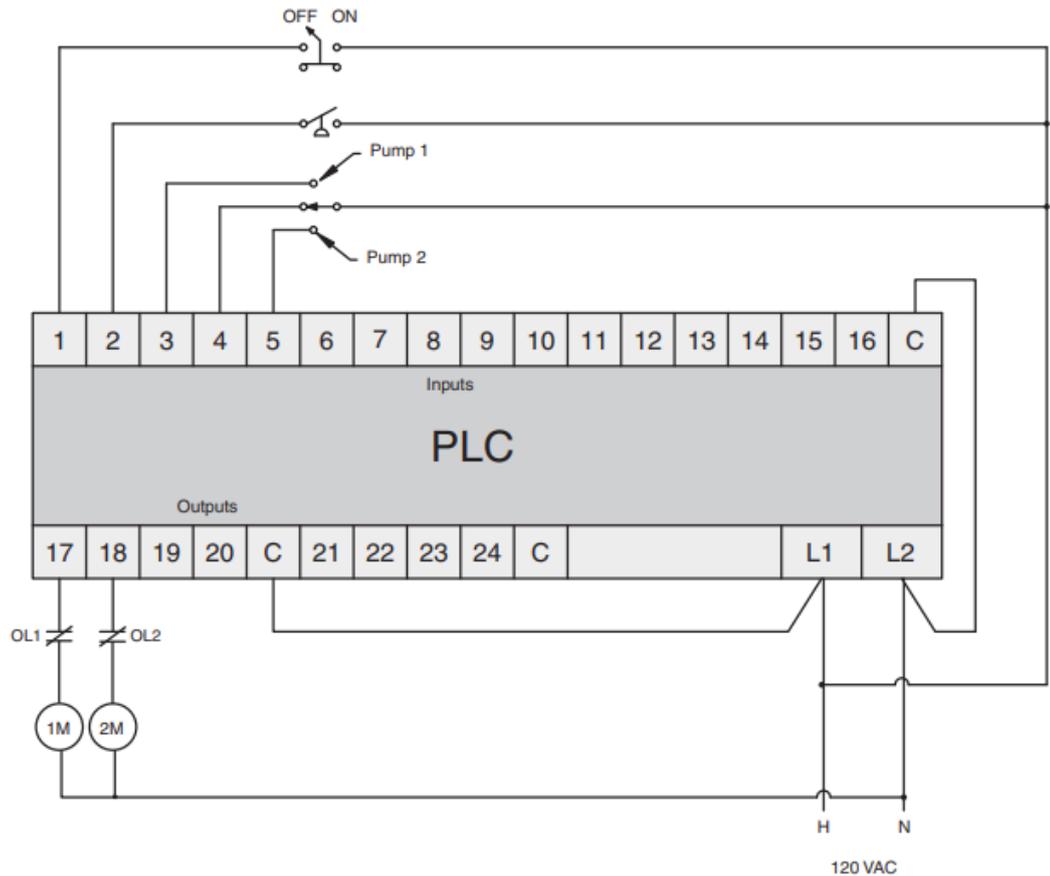
## 17.2 Mengubah Skema

Langkah selanjutnya adalah mengubah skema kontrol atau diagram tangga menjadi diagram logika yang dapat dimuat ke PLC. Beberapa aturan dasar harus diikuti saat melakukan konversi ini:

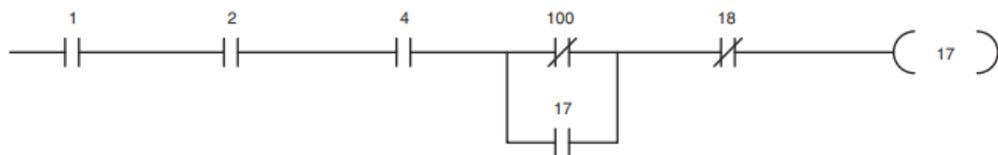
- Setiap baris logika harus diakhiri dengan sebuah kumparan.
- Setiap kontak berlabel nomor yang sama sebagai kumparan dikendalikan oleh kumparan itu.
- Setiap relai dapat memiliki jumlah kontak yang tidak terbatas dan dapat ditetapkan sebagai kontak normal terbuka atau tertutup normal.
- Setiap kumparan yang diberi nomor yang sama sebagai keluaran akan mengontrol keluaran tersebut.
- Setiap kontak yang diberi nomor yang sama sebagai input dikendalikan oleh input tersebut.
- PLC mengasumsikan input rendah (tidak ada daya yang diterapkan) saat program dimuat ke dalam memori. Ketika daya diterapkan ke input, itu akan menyebabkan kontak yang ditetapkan ke input itu berubah status. Kontak yang biasanya terbuka akan menutup, dan kontak yang biasanya tertutup akan terbuka.
- Sejumlah kontak dapat ditetapkan ke input yang sama.

Dalam skema yang ditunjukkan pada Gambar 17-1, kontak yang dikendalikan oleh relai CR digunakan di seluruh rangkaian. Diasumsikan bahwa relay ini akan diberi nomor koil 100. Diasumsikan juga koil pengatur waktu TR akan diberi nomor koil 200. Cara paling sederhana untuk mengubah diagram tangga menjadi rangkaian logika adalah dengan melakukan perubahan secara bertahap.

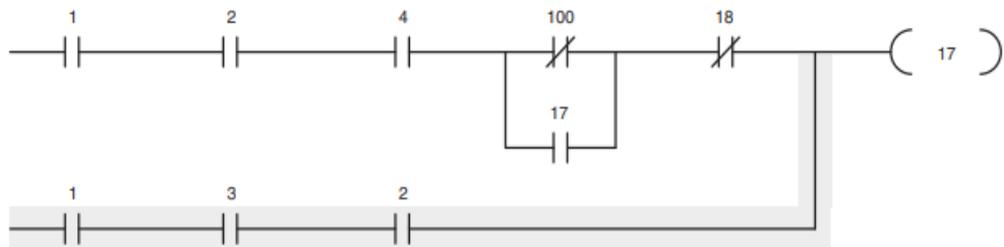
Langkah pertama adalah menggambar diagram logika yang akan mengontrol pengoperasian koil starter motor 1M. Karena kumparan 1M dihubungkan ke keluaran 17, maka kumparan nomor 17 akan digunakan untuk kumparan 1M. Sirkuit yang ditunjukkan pada Gambar 17-3 memenuhi langkah dasar pertama dari logika. Perhatikan bahwa sakelar on-off terhubung ke input 1. Oleh karena itu, kontak 1 akan dikontrol oleh sakelar on-off. Ketika sakelar dihidupkan, daya akan diberikan ke terminal input 1, dan kontak yang biasanya terbuka berlabel 1 akan menutup. Sakelar tekanan terhubung ke input 2, dan terminal otomatis sakelar pemilih terhubung ke input 4. Karena relai kontrol diberi nomor koil 100, kontak CR1 diberi label 100. Kontak 2M3 yang biasanya tertutup adalah berlabel 18 karena koil starter motor 2M terhubung ke terminal output 18. Perhatikan bahwa kontak beban lebih (OL1) yang biasanya tertutup tidak ditampilkan dalam diagram logika karena kabelnya keras ke koil starter. Kontak 1M2 yang terhubung secara paralel dengan kontak CR1 yang biasanya tertutup diberi label 17 karena output 17 mengontrol pengoperasian koil starter 1M.



**GAMBAR 17-2** Perangkat input dan output terhubung ke terminal yang tepat.



**GAMBAR 17-3** Garis logika pertama mengontrol kumparan starter 1M.

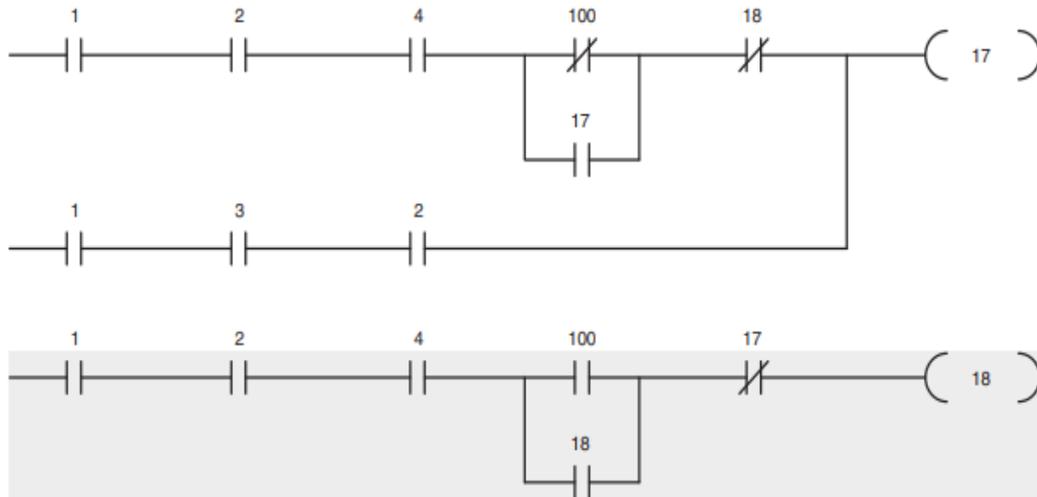


**GAMBAR 17-4** Sirkuit bypass pompa 1 ditambahkan.

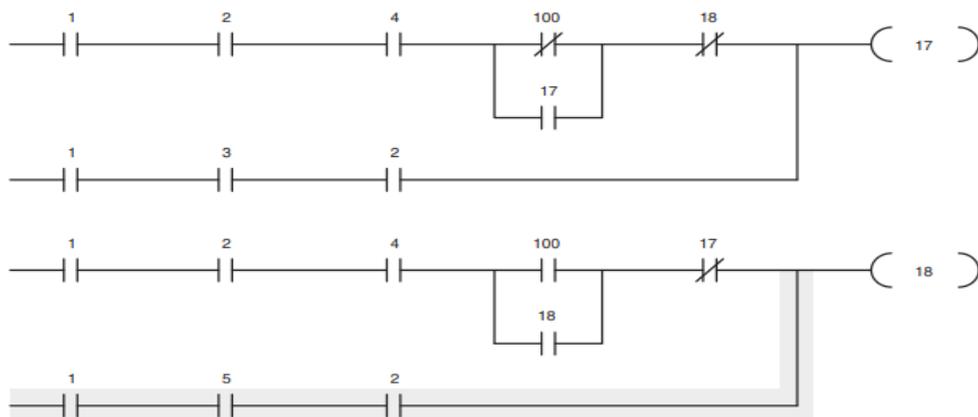
Langkah selanjutnya adalah menambahkan logika yang mengizinkan terminal pompa 1 dari sakelar pemilih untuk mem-bypass rangkaian kontrol otomatis. Terminal pompa 1 dari sakelar pemilih terhubung ke terminal input 3. Sakelar tekanan harus tetap mengontrol operasi pompa jika sakelar pengumpul diatur pada posisi pompa 1. Oleh karena itu, kontak lain berlabel 2 akan dihubungkan secara seri dengan kontak 3. Pertimbangan lain adalah bahwa sakelar hidup-mati mengontrol daya ke seluruh rangkaian. Ada beberapa cara untuk menyelesaikan logika ini, tergantung pada jenis PLC yang digunakan, tetapi dalam contoh ini

akan dilakukan dengan memasukkan kontak yang biasanya terbuka yang dikendalikan oleh input 1 secara seri dengan setiap baris logika. Salah satu keuntungan dari PLC adalah bahwa setiap input dapat diberikan sejumlah kontak. Perubahan sirkuit ini ditunjukkan pada Gambar 17-4.

Logika untuk mengendalikan koil starter motor 2M dikembangkan dengan cara yang sama seperti logika untuk mengendalikan koil starter 1M. Logika baru ditunjukkan pada Gambar 17-5. Terminal pompa 2 dari sakelar pemilih terhubung ke input 5 dari PLC. Kontrol bypass untuk pompa 2 ditambahkan ke sirkuit pada Gambar 17-6.

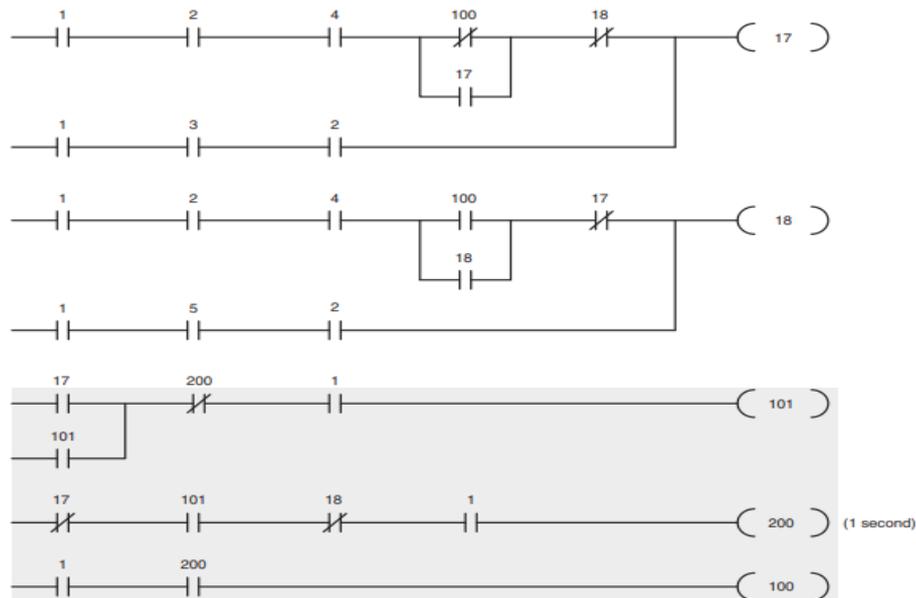


**GAMBAR 17-5** Logika untuk kontrol koil starter 2M ditambahkan ke rangkaian.



**GAMBAR 17-6** Sirkuit bypass pompa 2 ditambahkan.

Pada rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 17-1, kumparan relai CR dikendalikan oleh timer off-delay dengan penundaan 1 detik. Timer ini digunakan untuk memastikan bahwa tidak ada masalah dengan balapan kontak. Perlombaan kontak terjadi ketika satu kontak dapat dibuka sebelum kontak lain ditutup atau kontak satu ditutup sebelum kontak lainnya dibuka. Diasumsikan bahwa PLC dalam contoh ini hanya berisi timer on-delay. Oleh karena itu perlu untuk mengubah logika untuk membuat timer off-delay. Ini telah dibahas dalam Bab 16. Untuk membuat perubahan ini, diperlukan relai kontrol kedua berlabel 101. Rangkaian lengkapnya ditunjukkan pada Gambar 17-7.



**GAMBAR 17-7** Rangkaian logika lengkap.

### 17.3 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditunjukkan secara rinci, dan referensi Kode harus dikutip bila perlu.

1. Dalam rangkaian yang dibahas dalam bab ini, ke terminal input mana sakelar tekanan terhubung?
2. Nomor koil apa yang dapat digunakan sebagai relai internal dalam pengontrol logika terprogram yang dibahas dalam bab ini?
3. Output PLC mana yang dibahas dalam bab ini yang mengontrol pengoperasian koil starter motor 2M?
4. Lihat rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 17-1. Apakah sakelar tekanan biasanya terbuka, biasanya tertutup, biasanya terbuka dalam keadaan tertutup, atau biasanya tertutup dalam keadaan terbuka?
5. Apakah PLC memasok daya untuk mengoperasikan perangkat yang terhubung ke terminal keluaran?
6. Rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 17-1 berisi empat kumparan: 1M, 2M, CR, dan TR. Mengapa hanya ada dua kumparan yang terhubung ke terminal keluaran PLC?
7. Dalam contoh ini, kontak beban lebih yang biasanya tertutup tidak dimasukkan dalam diagram logika karena kontak tersebut disambungkan ke koil starter motor. Jika kontak kelebihan beban yang biasanya tertutup ini telah dihubungkan ke input 6 dan 7 dari PLC, apakah kontak tersebut akan diprogram sebagai bukaan normal atau tutup normal? Jelaskan jawabanmu.

## **BAB 18**

### **SERAT OPTIK**

#### **TUJUAN**

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- mendiskusikan keuntungan kabel serat optik dibandingkan konduktor tembaga.
- membahas konstruksi kabel serat optik.
- mendiskusikan refraksi.
- menjelaskan bagaimana cahaya ditransmisikan melalui kabel serat optik.
- mendiskusikan pemancar serat optik.
- membahas penerima serat optik.
- daftar berbagai jenis konektor kabel serat optik.
- mendiskusikan masalah dalam membuat sambungan serat optik.

#### **18.1 Serat Optik**

Kabel serat optik menjadi semakin populer untuk transmisi data di lingkungan industri. Kabel serat optik memiliki beberapa keunggulan dibandingkan kabel tembaga untuk transmisi data. Kawat tembaga sangat rentan terhadap interferensi elektromagnetik yang disebabkan oleh perangkat listrik yang menarik arus dalam jumlah besar, seperti motor, transformator, dan penggerak frekuensi variabel. Kabel serat optik benar-benar kebal terhadap interferensi elektromagnetik.

Juga, kecepatan transmisi data untuk kabel serat optik jauh lebih tinggi daripada untuk tembaga. Kabel tembaga pasangan terpilin umumnya terbatas pada kecepatan transmisi data sekitar 1 MBPS (juta bit per detik). Kabel koaksial dapat membawa sekitar 10 MBPS. Beberapa kabel koaksial khusus dapat menangani 400 MBPS. Kabel serat optik biasanya dapat menangani 8000 MBPS, dan uji laboratorium telah menunjukkan bahwa kecepatan hingga 200.000 MBPS dimungkinkan.

Karena frekuensi cahaya yang tinggi, kabel serat optik memiliki bandwidth yang sangat lebar dibandingkan dengan kabel tembaga. Bandwidth kabel serat optik sekitar satu juta kali lipat dari kabel tembaga. Kabel serat optik jauh lebih kecil dan lebih ringan daripada kabel tembaga. Serat tunggal berdiameter kira-kira 0,001 inci (1 mikrometer [sebelumnya "mikron"]) dan dapat membawa informasi lima kali lebih banyak daripada kabel telepon yang berisi 900 pasang konduktor bengkok 22 AWG. Kabel serat optik tunggal dan dupleks ditunjukkan pada Gambar 18-1.

#### **Konstruksi Kabel**

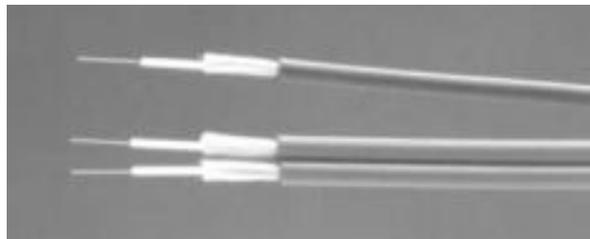
Kabel serat optik terdiri dari tiga bagian: inti, kelongsong, dan selubung, Gambar 18-2. Inti terdiri dari kaca atau plastik. Kaca memiliki bit rate transmisi atau bandwidth yang lebih tinggi daripada plastik, dan memiliki kehilangan garis yang lebih sedikit daripada plastik. Serat kaca juga mampu menahan suhu yang lebih tinggi dan tidak terlalu terpengaruh oleh atmosfer dan lingkungan yang korosif. Serat inti plastik lebih fleksibel dan dapat ditekuk ke radius yang

lebih rapat daripada kaca. Serat plastik lebih kuat dan dapat dipotong, disambung, dan diakhiri dengan lebih sedikit kesulitan daripada kaca.

Cladding atau clad mengelilingi inti dan terbuat dari kaca atau plastik juga. Clad melayani dua fungsi dasar. Ini melindungi inti dari lingkungan sekitarnya, dan meningkatkan ukuran dan kekuatan kabel itu sendiri. Meningkatkan ukuran kabel membuatnya lebih mudah untuk ditangani. Inti dan kelongsong dianggap sebagai serat optik. Selubungnya adalah jaket poliuretan yang mengelilingi kabel. Selubung melindungi serat optik dari lingkungan. Kabel serat optik dapat dikemas sebagai serat tunggal, pasangan serat, atau beberapa ribu serat.

### Cara Kerja Kabel Serat Optik

Cahaya merambat lurus. Kabel serat optik, bagaimanapun, memungkinkan untuk membelokkan cahaya di sekitar sudut dan mengarahkannya ke lokasi yang diinginkan, Gambar 18-3. Alasan mengapa cahaya dapat merambat melalui serat optik adalah karena pembiasan. Bayangkan Anda sedang berdiri di tepi danau pegunungan yang jernih pada hari yang tenang dan tidak berangin. Jika Anda melihat ke permukaan danau, Anda mungkin akan melihat matahari, awan, dan pepohonan terpantul di permukaan air. Jika Anda melihat langsung ke air di kaki Anda, Anda tidak akan lagi melihat pantulan awan atau pepohonan, tetapi Anda akan melihat ke bawah ke dalam air.

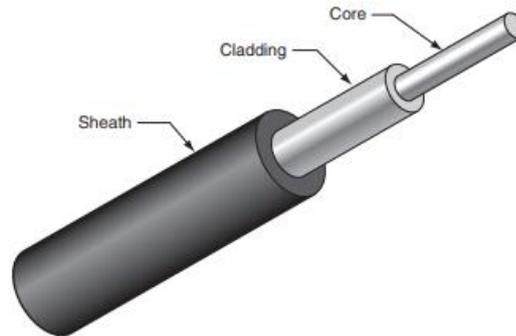


**GAMBAR 18-1** Kabel serat optik tunggal dan dupleks.

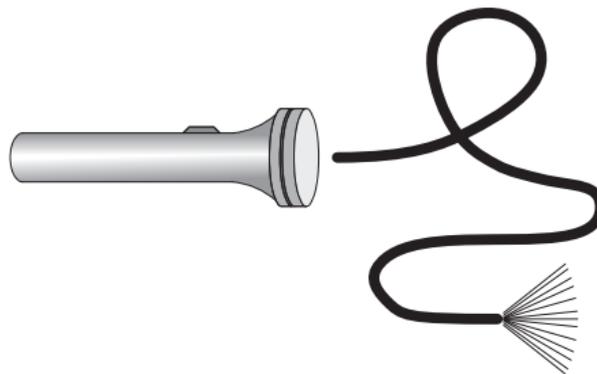
Ini adalah contoh pembiasan bukan refleksi. Sudut di mana Anda berhenti melihat pantulan awan dan pepohonan dan mulai melihat ke bawah ke dalam air disebut sudut kritis atau sudut penerimaan. Sudut kritis terjadi karena udara dan air memiliki sifat optik yang berbeda. Properti optik adalah kecepatan di mana cahaya dapat melakukan perjalanan melalui material. Properti optik umumnya dinyatakan sebagai istilah yang disebut indeks bias (IR), atau  $n$ . Indeks bias adalah kecepatan cahaya merambat melalui suatu bahan. Ini ditentukan dengan membandingkan kecepatan cahaya yang merambat melalui ruang hampa dengan kecepatan cahaya yang merambat melalui bahan tertentu.

$$n = \frac{\text{Speed of light in vacuum}}{\text{Speed of light in material}}$$

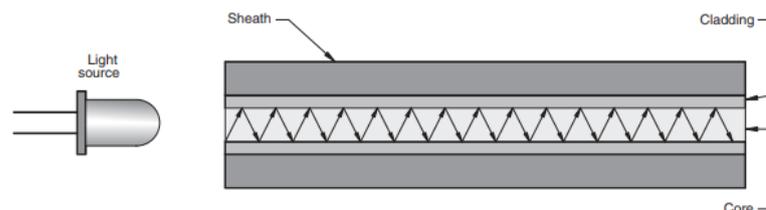
Dalam serat optik kaca, indeks bias sekitar 1,46 hingga 1,51.



**GAMBAR 18-2** Kabel serat optik.



**GAMBAR 18-3** Kabel serat optik memungkinkan cahaya dibelokkan.



**GAMBAR 18-4** Cahaya merambat melalui inti sebagai hasil pembiasan.

Ketika kabel serat optik dihubungkan ke sumber cahaya, Gambar 18-4, cahaya mengenai kabel pada berbagai sudut. Beberapa foton menyerang pada sudut yang tidak dapat dibiaskan dan hilang melalui kelongsong dan diserap oleh selubung. Foton yang dapat dibiaskan memantul ke bawah inti ke perangkat penerima. Tindakan memantul dari foton ini menyebabkan kondisi yang dikenal sebagai dispersi modal. Karena foton memasuki kabel pada sudut yang berbeda, beberapa foton memantul lebih banyak daripada yang lain sebelum mencapai ujung kabel, menyebabkan mereka datang lebih lambat daripada foton yang memantul lebih sedikit. Hal ini menyebabkan perbedaan fase cahaya yang mencapai sumbernya. Dispersi modal dapat sangat dikurangi dengan menggunakan kabel serat yang disebut kabel mode tunggal. Kabel mode tunggal memiliki diameter 1 hingga 2 mikrometer. Cladding juga mempengaruhi dispersi modal. Jika ketebalan kelongsong dipertahankan dalam tiga kali panjang gelombang cahaya, dispersi modal dihilangkan.

Jenis kabel lain yang jauh lebih besar dari kabel mode tunggal adalah kabel multimode. Ketebalan kabel multimode berkisar dari sekitar 5 hingga 1000 mikrometer. Kabel multimode dapat menyebabkan dispersi modal yang parah dalam panjang beberapa ribu kaki. Namun,

untuk jangka pendek, umumnya lebih disukai karena ukurannya lebih besar dan lebih mudah digunakan daripada kabel mode tunggal. Kabel multimode juga lebih murah daripada kabel mode tunggal, dan untuk jangka pendek, dispersi modal umumnya dapat diabaikan. Jenis lain dari kabel multimode yang disebut kabel bertingkat memiliki inti yang terbuat dari cincin konsentris. Cincin di luar memiliki kerapatan yang lebih rendah daripada cincin di bawahnya. Ini menghasilkan sudut bias yang lebih tajam untuk cincin luar. Pengaturan ini membantu menghilangkan dispersi modal.

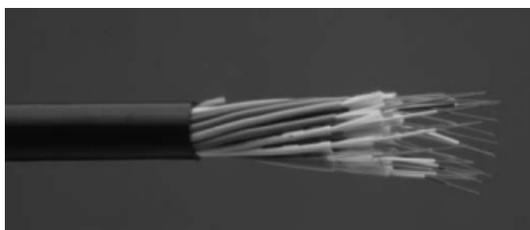
### Rugi Kabel

Kabel serat optik mengalami beberapa kerugian atau redaman. Tidak ada kabel serat optik yang sempurna, dan sejumlah cahaya lolos melalui cladding dan diserap oleh selubungnya. Kerugian terbesar umumnya terjadi ketika kabel diterminasi atau disambung. Ujung kabel serat optik harus bersih dan bebas dari goresan, goresan, atau untaian yang tidak rata. Umumnya direkomendasikan bahwa ujung kabel serat optik dipoles saat diterminasi. Alat pemotong pisau panas khusus tersedia untuk memotong kabel serat optik. Sebuah kabel dengan beberapa kabel serat optik ditunjukkan pada Gambar 18-5.

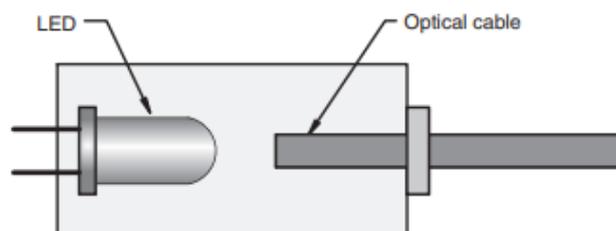
### Pemancar

Beberapa faktor harus dipertimbangkan dalam memilih pemancar atau sumber cahaya untuk sistem serat optik. Salah satunya adalah panjang gelombang sumber cahaya. Banyak kabel serat optik menentukan rentang panjang gelombang untuk kinerja terbaik. Panjang gelombang dapat diukur dengan warna cahaya yang dipancarkan. Pertimbangan lain adalah lebar spektral. Lebar spektral adalah ukuran rentang warna yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Lebar spektral mempengaruhi distorsi warna yang terjadi pada serat optik.

Aperture numerik (NA) adalah ukuran sudut di mana cahaya dipancarkan dari sumbernya. Jika NA sumber terlalu lebar, dapat memenuhi NA serat optik. Jika NA sumber terlalu kecil, itu akan memenuhi serat. Sumber cahaya NA rendah membantu mengurangi kerugian baik pada serat optik maupun pada titik koneksi.

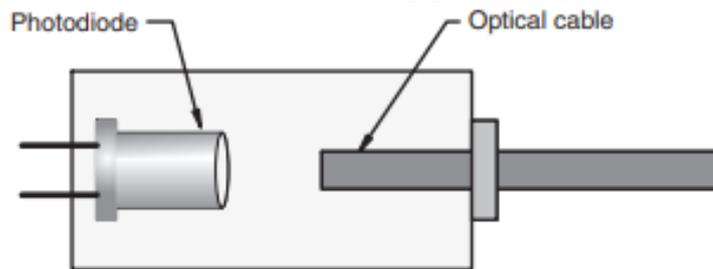


**GAMBAR 18-5** Beberapa kabel serat optik.



**GAMBAR 18-6** Sebuah pemancar umumnya LED atau dioda laser.

Sumber cahaya pemancar umumnya adalah light-emitting diode (LED) atau laser, Gambar 18-6. LED relatif murah, beroperasi dengan daya rendah, dan memiliki lebar spektral yang lebar. Mereka umumnya digunakan untuk jarak pendek sekitar 7 kilometer, atau 4,3 mil. LED memiliki bandwidth yang relatif rendah sekitar 200 MHz atau kurang. Mereka dapat digunakan untuk kecepatan transmisi bit data sekitar 200 MBPS atau kurang. LED memiliki panjang gelombang yang berkisar dari sekitar 850 hingga 1300 nanometer. Dioda laser mahal, membutuhkan daya operasi yang besar, dan memiliki lebar spektral yang sempit. Mereka dapat digunakan untuk transmisi jarak yang sangat jauh dan dapat menangani tingkat transmisi data yang sangat tinggi. Dioda laser umumnya digunakan untuk aplikasi telepon dan televisi kabel. Dioda laser beroperasi pada panjang gelombang sekitar 1300 nanometer.



**GAMBAR 18-7** Penerima menerima cahaya dari kabel optik.

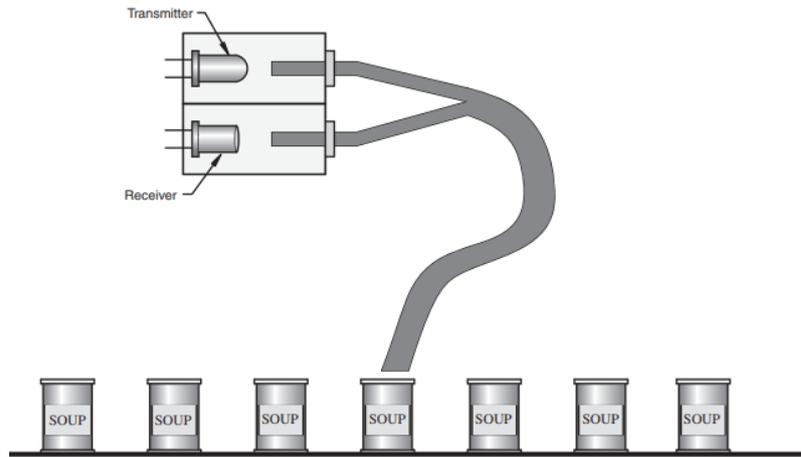
### Penerima

Penerima mengubah sinyal input cahaya menjadi sinyal listrik yang dapat digunakan oleh pengontrol yang dapat diprogram atau perangkat lain. Unit penerima umumnya terdiri dari fotodioda, Gambar 18-7. Fotodioda lebih disukai daripada jenis perangkat pendeteksi foto lainnya karena kecepatannya.

### Transceiver

Transceiver menampung pemancar dan penerima dalam paket yang sama. Transceiver sering digunakan sebagai perangkat photodetection. Asumsikan bahwa setengah dari serat optik dalam kabel terhubung ke pemancar, dan setengah lainnya terhubung ke penerima. Jika benda mengkilap, seperti kaleng di jalur perakitan, harus lewat di depan kabel, cahaya yang disuplai oleh pemancar akan dipantulkan dari kaleng kembali ke penerima, Gambar 18-8. Keluaran dari penerima dapat dihubungkan ke masukan dari pengontrol yang dapat diprogram yang menyebabkan penghitung melangkah setiap kali kaleng terdeteksi.

Perangkat lain yang berisi pemancar dan penerima panggilan repeater. Sebuah repeater digunakan untuk meningkatkan sinyal ketika kabel serat optik dijalankan jarak jauh. Repeater tidak hanya memperkuat sinyal tetapi juga dapat membentuk kembali sinyal digital kembali ke bentuk aslinya. Kemampuan repeater untuk membentuk kembali sinyal digital kembali ke bentuk aslinya adalah salah satu keuntungan besar dari sinyal tipe digital dibandingkan analog. Repeater “tahu” seperti apa sinyal digital asli, tetapi tidak “tahu” seperti apa sinyal analog asli. Kerugian besar dari sinyal tipe analog adalah bahwa setiap distorsi dari sinyal asli atau noise diperkuat.



**GAMBAR 18-8** Sebuah transceiver berisi pemancar dan penerima.

## 18.2 Konektor Serat-Optik

Salah satu masalah terbesar dengan sistem serat optik adalah koneksi yang buruk. Ada dua kondisi yang umumnya menyebabkan koneksi yang buruk: keselarasan yang buruk antara kabel, atau perangkat dan celah udara antara kabel atau perangkat. Celah udara mengubah indeks bias, menyebabkan refleksi Fresnel pada titik sambungan. Celah udara dapat menghasilkan rongga resonansi optik pada titik sambungan. Rongga resonansi ini menyebabkan cahaya dipantulkan kembali ke pemancar, di mana dipantulkan kembali untuk dipantulkan kembali ke penerima.

Jika kabel serat optik tidak disejajarkan dengan benar, sebagian sinyal cahaya tidak akan ditransmisikan antara dua kabel dan perangkat yang terhubung dengannya. Kerugian karena koneksi yang buruk bisa sangat besar. Kerugian diukur dalam desibel (dB).

$$\text{dB} = 10 \log_{10} \frac{\text{Power out}}{\text{Power in}}$$

### Perangkat Kopting

Ada tiga tipe dasar konektor serat optik: berulir, bayonet, dan push-pull, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 18-9. Jenis berulir, yang ditunjukkan pada Gambar 18-10, adalah salah satu yang paling awal diperkenalkan. Penggunaan konektor berulir telah menurun karena kinerja yang buruk. Salah satu masalah dengan konektor jenis ini adalah seberapa ketat untuk membuat sambungan. Juga, tidak ada yang mengontrol penyelarasan rotasi. Jika konektor berulir dicabut dan kemudian disambungkan kembali, kedua kabel mungkin tidak akan berada dalam kesejajaran yang sama. Konektor berulir biasanya memiliki kerugian 0,6 hingga 0,8 dB.

Pada pertengahan 1980-an, konektor bayonet, yang ditunjukkan pada Gambar 18-11, diperkenalkan. Konektor ini memecahkan beberapa masalah dasar konektor berulir. Tindakan twist-lock memberikan kekencangan yang seragam setiap kali konektor digunakan, dan keselarasan rotasi lebih konstan. Konektor ini biasanya memiliki kerugian sekitar 0,5 dB. Konektor bayonet masih banyak digunakan di seluruh industri. Konektor jenis push-pull, Gambar 18-12, telah menjadi sangat populer untuk menyambungkan kabel serat optik karena menawarkan keselarasan yang sangat baik dan memiliki pantulan balik yang lebih sedikit

dibandingkan jenis konektor lainnya. Konektor push-pull biasanya memiliki kerugian sekitar 0,2 dB.

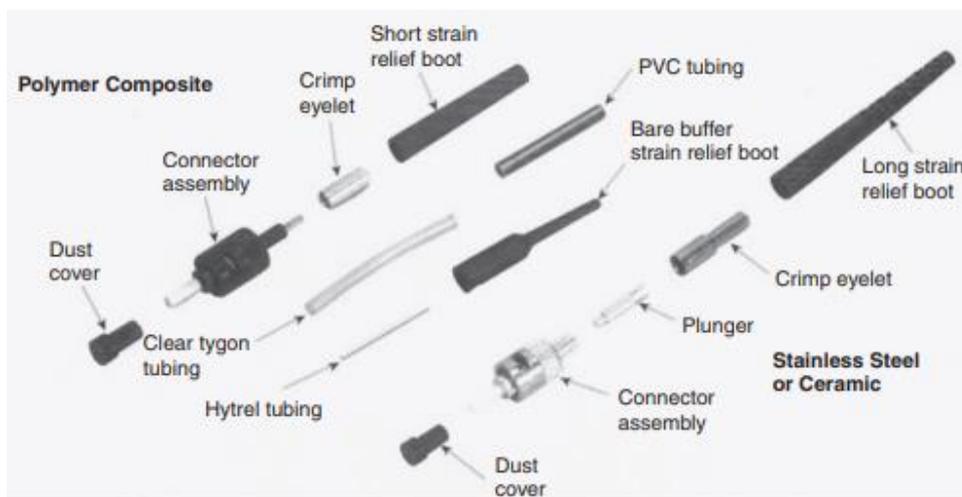


**GAMBAR 18-9** Berbagai jenis konektor optik.

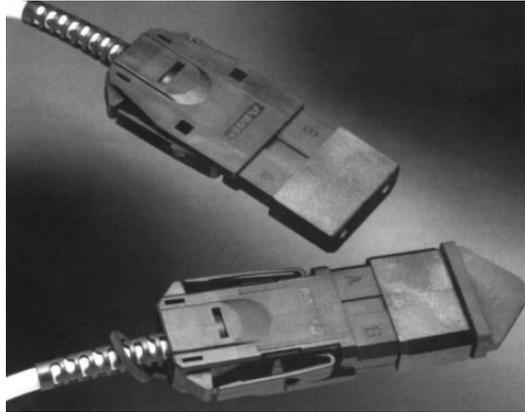
Perangkat sambungan listrik, seperti kabel ekstensi, umumnya memiliki konektor laki-laki di satu ujung dan perempuan di ujung lainnya. Kabel serat optik umumnya menggunakan konektor jantan di kedua ujungnya. Perangkat yang mereka sambungkan memiliki koneksi wanita. Ketika dua kabel serat optik akan disambungkan, coupler dengan dua ujung betina digunakan, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 18-13.



**GAMBAR 18-10** Konektor optik berulir.



**GAMBAR 18-11** Konektor optik tipe Bayonet.



**GAMBAR 18-12** Konektor serat optik tipe push-pull.

### Membuat Koneksi Serat Optik

Memasang konektor ke kabel serat optik berbeda dengan menyambungkan konektor jantan ke kabel ekstensi listrik. Sambungan serat optik harus tepat. Sambungannya diepoksi dan dipoles. Alat crimp khusus dan die digunakan, tergantung pada ukuran kabel. Mikroskop umumnya digunakan untuk memeriksa koneksi untuk kemungkinan masalah. Kit yang berisi peralatan yang diperlukan untuk membuat sambungan serat optik ditunjukkan pada Gambar 18-14. Kit ini berisi alat crimp dan crimping dies, bushing pemoles, film pemoles, penari telanjang kabel dan serat, mikroskop dengan tripod, dan oven pengawet epoksi.



**GAMBAR 18-13** Adaptor untuk menghubungkan dua konektor optik push-pull.

### 18.3 Pencahayaan Serat-Optik

Pencahayaan serat optik memiliki beberapa keunggulan dibandingkan pencahayaan konvensional.

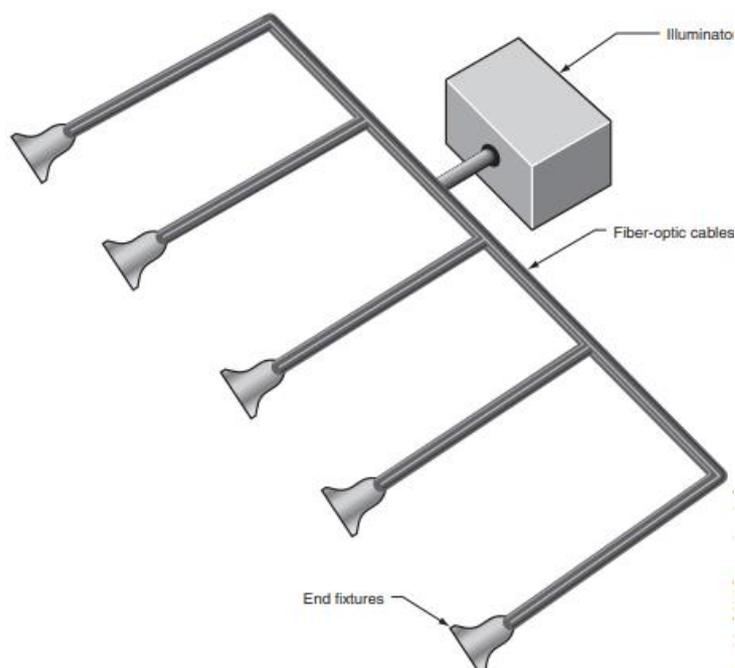
- Dapat digunakan di kolam renang dan air mancur tanpa bahaya sengatan listrik dan persyaratan listrik dari lumener kedap air.
- Dapat ditempatkan di area luar ruangan untuk penerangan aksen bangunan dan jalan setapak.
- Disuplai oleh satu sumber cahaya; dengan demikian, lumener tidak menghasilkan panas dan tidak memiliki sambungan listrik, dan lampu tidak perlu diganti.
- Sangat ideal untuk aplikasi di museum untuk menonjolkan karya seni yang berharga karena tidak menghasilkan panas atau radiasi ultraviolet, yang merupakan penyebab utama memudarnya warna.

- Sumber cahaya individu tidak menghasilkan medan elektromagnetik yang dapat mengganggu peralatan listrik sensitif. Satu-satunya sambungan listrik adalah pada iluminator; dengan demikian, sumber cahaya individu tidak menghasilkan medan elektromagnetik.

Pencahayaan serat optik memiliki batasan yang signifikan: Tidak dapat memberikan jumlah pencahayaan yang dapat diperoleh dengan sumber cahaya konvensional. Kemajuan sedang dibuat dalam teknologi ini, dan dalam waktu dekat kemungkinan kabel serat optik akan memberikan jumlah cahaya yang diperlukan untuk bersaing dengan lumener umum. Kabel serat optik kemudian dapat digunakan untuk memberikan penerangan di lokasi berbahaya tanpa lumener tahan ledakan yang mahal. Sistem pencahayaan serat optik terdiri dari tiga bagian utama: iluminator, kabel, dan perlengkapan ujung, Gambar 18-15. Iluminator adalah satu-satunya bagian dari sistem yang memerlukan sambungan listrik, memungkinkannya ditempatkan di tempat yang nyaman untuk pemeliharaan dan penggantian lampu (bohlam).



**GAMBAR 18-14** Toolkit untuk membuat sambungan serat optik.



**GAMBAR 18-15** Sistem penerangan serat optik.

#### 18.4 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditunjukkan secara rinci, dan referensi Kode harus dikutip bila perlu.

1. Sebutkan setidaknya dua keuntungan kabel serat optik dibandingkan kabel tembaga.
2. Jenis kabel serat optik mana yang memiliki kecepatan transmisi bit lebih tinggi, kaca atau plastik?
3. Jenis kabel serat optik mana yang lebih fleksibel dan dapat ditekuk hingga radius yang lebih rapat, kaca atau plastik?
4. Berapa indeks biasnya?
5. Sebutkan dua perangkat yang umumnya digunakan untuk mentransmisikan cahaya dalam serat.
6. Sebutkan tiga jenis perangkat kopling yang digunakan untuk menghubungkan kabel serat optik.
7. Konektor serat optik mana yang menunjukkan kerugian paling sedikit?
8. Apakah pencahayaan serat optik memancarkan radiasi ultraviolet (UV)?
9. Apa kelemahan utama sistem pencahayaan serat optik?
10. Apa tiga bagian yang membentuk sistem pencahayaan serat optik?

## BAB 19

### LOKASI BERBAHAYA

#### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- mendiskusikan berbagai kelas, divisi, dan kelompok lokasi berbahaya.
- menggambarkan sirkuit yang aman secara intrinsik.
- mendiskusikan segel vertikal dan horizontal.
- jelaskan perbedaan antara lumener tahan ledakan dan lumener tertutup dan bergasket.
- diskusikan persyaratan pemasangan lumener gantung.
- daftar kondisi penggunaan kabel fleksibel di lokasi berbahaya.

Lokasi berbahaya adalah area yang menunjukkan risiko kebakaran atau ledakan yang tinggi karena unsur-unsur di atmosfer atau sekitarnya. NEC membagi lokasi berbahaya menjadi tiga kelas. Lokasi Kelas I adalah area di mana terdapat atau mungkin terdapat konsentrasi tinggi gas atau uap yang mudah terbakar atau meledak. Lokasi Kelas II mengandung debu yang mudah terbakar atau meledak, dan lokasi Kelas III adalah daerah yang mengandung serat mudah terbakar.

Kelas I dan II dibagi lagi menjadi beberapa kelompok yang masing-masing mengandung bahan berbahaya yang memiliki sifat dan karakteristik yang sama. Bagan pada Tabel 19-1 berisi daftar kelompok dan suasana khas atau bahaya di masing-masing kelompok. Grafik juga menunjukkan suhu pengapian khas bahan berbahaya ini. Grup A, B, C, dan D terdapat di lokasi Kelas I. Grup E, F, dan G ditemukan di lokasi Kelas II. Tidak ada daftar grup untuk lokasi Kelas III.

Selain itu, lokasi berbahaya dibagi menjadi dua divisi yang bergantung pada kemungkinan adanya bahaya. Lokasi Divisi 1 adalah area yang dianggap berbahaya setiap saat atau sepanjang waktu selama operasi normal. Lokasi Divisi 2 adalah area yang dapat menjadi berbahaya melalui kecelakaan yang dapat diperkirakan. Misalnya, area di mana bensin diproduksi akan dianggap Kelas I, Divisi 1. Area di mana pemeliharaan dilakukan pada truk yang mengangkut bensin akan menjadi Kelas I, Divisi 2.

**TABEL 19-1** Klasifikasi atmosfer berbahaya.

<p><b>Grup A</b> Asetilen (581°F, 420°C)</p>	<p><b>Grup D</b> Aseton (869°F, 465°C)</p>
<p><b>Grup B</b> Butadiena (788°F, 420°C) Etilen oksida (804°F, 429°C) Hidrogen (968°F, 520°C) Gas yang diproduksi mengandung lebih dari 30% hidrogen berdasarkan volume Propilen oksida (840 °F, 449 °C)</p>	<p>Akrlonitril (898°F, 481°C) Amonia (928°F, 498°C) Benzena (928°F, 498°C) Butana (550 °F, 288 °C) 1-Butanol (650 °F, 343 °C) 2-Butanol (781°F, 405°C) N-butil asetat (790 °F, 421 °C)</p>

<p><b>Grup C</b>  Asetadehid (347°F, 175°C)  Siklopropana (938°F, 503°C)  Dietil eter (320 °F, 160 °C)  Etilen (842°F, 450°C)  Dimetil hidrazin tidak simetris (480 °F, 249 °C)</p>	Etana (882 °F, 472 °C) Etanol (685 °F, 363 °C) Etil diklorida (800 °F, 427 °C) Bensin (536 hingga 880 ° F, 280 hingga 471 ° C) Heptana (399°F, 204°C) Heksana (437°F, 225°C)
<p><b>Grup E</b>  Atmosfer yang mengandung debu logam yang mudah terbakar terlepas dari resistivitas seperti aluminium atau magnesium, dan debu mudah terbakar lainnya yang memiliki resistivitas kurang dari 100 ohm-sentimeter</p>	Isoamil alkohol (662°F, 350°C) Iosprene (428°F, 220°C) Metana (999 ° F, 630 ° C) Metanol (725 °F, 385 °C) Metil etil keton (759°F, 404°C) Metil isobutil keton (840 °F, 440 °C) 2-Metil-1-propanol (780 °F, 416 °C) 2-Metil-2-propanol (892 °F, 478 °C)
<p><b>Grup F</b>  Atmosfer yang mengandung debu karbon seperti karbon hitam, batu bara, arang, atau kokas dengan resistivitas antara 100 dan 108 ohm-sentimeter</p>	Nafta (550 °F, 288 °C) Oktan (403°F, 206°C) Pentana (470 °F, 243 °C) 1-Pentanol (572 °F, 300 °C)
<p><b>Grup G</b>  Atmosfer yang mengandung debu mudah terbakar dengan resistivitas 108 ohm-sentimeter atau lebih besar</p>	Propana (842 °F, 450 °C) 1-Propanol (775 °F, 413 °C) 2-Propanol (750 °F, 399 °C) Propilen (851°F, 455°C) Stirena (914°F, 490 °C) Toluena (896°F, 480°C) Vinyl asetat (756°F, 402°C) Vinil klorida (882°F, 472°C) Xyenes (867 hingga 984°F, 464 hingga 529°C)

### 19.1 Persetujuan Peralatan

NEC menyatakan dalam 500,8(B) bahwa peralatan harus disetujui tidak hanya untuk lokasi kelas tetapi juga untuk jenis atmosfer tertentu yang akan ada. Selain itu, peralatan yang terletak di lokasi Kelas I tidak boleh memiliki permukaan terbuka yang beroperasi pada suhu yang lebih besar dari suhu penyalaan otomatis gas atau uap di sekitarnya. Peralatan yang terletak di lokasi Kelas II tidak boleh memiliki suhu permukaan lebih besar dari yang ditentukan dalam tabel diatas, dan peralatan yang terletak di lokasi Kelas III tidak boleh memiliki suhu permukaan lebih besar dari yang ditentukan dalam 503,5.

#### Grup A

Grup A adalah atmosfer yang mengandung asetilena.

**Grup B**

Grup B berisi gas yang mudah terbakar atau uap yang dihasilkan cairan yang mudah terbakar yang memiliki nilai celah aman eksperimental maksimum (MESG) kurang dari atau sama dengan 0,45 mm atau rasio arus pengapian minimum (MIC) kurang dari atau sama dengan 0,40 mm.

**Grup C**

Grup C berisi gas yang mudah terbakar atau uap yang dihasilkan cairan yang mudah terbakar yang memiliki nilai celah aman eksperimental maksimum lebih besar dari 0,45 mm dan kurang dari atau sama dengan 0,75 mm, atau rasio arus pengapian minimum lebih besar dari 0,40 mm dan kurang dari atau sama dengan 0,80 mm .

**Grup D**

Grup D berisi gas yang mudah terbakar atau uap yang dihasilkan mudah terbakar yang memiliki nilai MESG lebih besar dari 0,75 mm atau rasio arus minimum lebih besar dari 0,80 mm. Bahan khas dan suhu pengapian atmosfer ditunjukkan pada Tabel 19-1 untuk kelompok yang berbeda.

**Grup E**

Grup E mengandung debu logam yang mudah terbakar, termasuk aluminium, magnesium, dan paduan komersialnya, atau debu mudah terbakar lainnya yang ukuran partikel, abrasif, dan konduktivitasnya menimbulkan bahaya serupa dalam penggunaan peralatan listrik.

**Grup F**

Grup F mengandung debu karbon yang mudah terbakar yang memiliki lebih dari 8% total volatil yang terperangkap atau yang telah peka oleh bahan lain sehingga menimbulkan bahaya ledakan.

**Grup G**

Grup G mengandung debu yang mudah terbakar yang tidak termasuk dalam Grup E atau F, termasuk tepung, biji-bijian, kayu, plastik, dan bahan kimia.

**19.2 Sirkuit Dan Peralatan Yang Aman Secara Intrinsik**

Peralatan dan aparatus terkait yang telah diidentifikasi sebagai aman secara intrinsik diizinkan di setiap lokasi berbahaya (terklasifikasi) yang telah diidentifikasi. Peralatan harus disetujui untuk jenis atmosfer yang akan digunakan. Peralatan dan sirkuit yang aman secara intrinsik beroperasi pada tingkat daya yang rendah. Sirkuit dan peralatan ini beroperasi pada daya yang cukup rendah yang, bahkan dalam kondisi kelebihan beban atau gangguan, tidak mengandung energi listrik atau panas yang cukup untuk menyebabkan pengapian atmosfer di sekitarnya. Kondisi abnormal dianggap sebagai kerusakan yang tidak disengaja pada perkawatan medan, kegagalan peralatan, aplikasi tegangan lebih yang tidak disengaja, dan kesalahan penyetelan peralatan. Sirkuit yang aman secara intrinsik harus dipisahkan secara fisik dari semua sirkuit lain yang tidak dianggap demikian. Segel harus digunakan untuk mencegah lewatnya gas atau uap seperti pada sistem tegangan tinggi. Pemasangan sistem yang aman secara intrinsik tercakup dalam 504.

### 19.3 Peralatan

NEC menyatakan dalam 500,8(B) bahwa peralatan yang digunakan di lokasi berbahaya harus disetujui tidak hanya untuk lokasi tersebut tetapi juga untuk jenis atmosfer tertentu di mana peralatan tersebut digunakan. Sebagaimana dinyatakan dalam 501.10(A)(1), saluran logam kaku, saluran logam menengah baja berulir, atau kabel tipe MI dengan alat kelengkapan terminasi yang disetujui diperlukan di lokasi Kelas I, Divisi 1. Secara umum, penggunaan saluran logam kaku atau saluran logam menengah baja berulir juga diperlukan di lokasi Kelas II (502.10) dan di lokasi Kelas III (503.10). Di lokasi Kelas I, Divisi 2, kabel tipe MI, MC, MV, atau TC dapat digunakan dengan alat kelengkapan yang disetujui. Kabel tipe SNM dengan fitting terminasi yang disetujui ditunjukkan pada Gambar 19-1.

Lokasi Kelas I, Divisi 1 dianggap paling berbahaya. Peralatan yang digunakan di lokasi Kelas I, Divisi 1 harus tahan ledakan. Peralatan tahan ledakan dirancang untuk menahan ledakan internal tanpa membiarkan gas atau uap panas keluar ke atmosfer luar. Hal ini dicapai dengan memaksa gas yang keluar untuk bergerak melintasi permukaan datar yang besar atau melalui ulir sekrup sebelum keluar ke atmosfer luar, Gambar 19-2. Ini mendinginkan gas panas atau uap di bawah titik pengapian atmosfer sekitarnya.



**GAMBAR 19-1** Kabel tipe SNM dengan fitting terminasi yang disetujui: digunakan di Kelas I, Grup A, B, C, D, Divisi 2; Kelas II, Grup G, Divisi 2; dan Kelas III.

Sebagai aturan umum, peralatan yang dipasang di lokasi Kelas II harus tahan debu. Definisi selungkup tahan debu diberikan dalam 500.2. Kandang kedap debu dibuat sehingga debu tidak dapat masuk ke dalam selungkup. Produsen peralatan yang dimaksudkan untuk digunakan di lokasi berbahaya sering kali merancang peralatan tersebut agar dapat digunakan di lebih dari satu area. Pada Gambar 19-3, beberapa kotak outlet ditampilkan. Kotak outlet ini dapat digunakan di Kelas I, Grup C dan D; Kelas II, Golongan E, F, dan G; dan lokasi Kelas III.



**GAMBAR 19-2** Gas panas didinginkan sebelum meninggalkan enklosur.

### 19.4 Segel

NEC 501.15 membutuhkan penggunaan segel saluran. Segel digunakan untuk meminimalkan lewatnya gas dan untuk mencegah lewatnya nyala api melalui saluran. Secara umum, mereka diperlukan dalam jarak 18 inci (450 mm) dari selungkup tahan ledakan dan

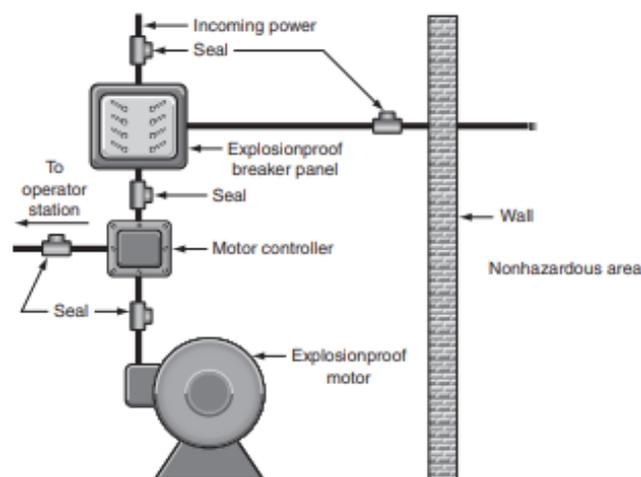
*Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)*

dalam saluran apa pun yang keluar dari lokasi yang lebih berbahaya ke lokasi yang kurang berbahaya, Gambar 19-4. Segel tersedia dalam ukuran saluran standar dan dapat dipasang secara vertikal atau horizontal. Segel yang dirancang untuk dipasang dalam posisi vertikal ditunjukkan pada Gambar 19-5. Yang dirancang untuk dipasang dalam posisi horizontal ditunjukkan pada Gambar 19-6.



**GAMBAR 19-3** Kotak outlet tahan ledakan: digunakan di Kelas I, Grup C, D; Kelas II, Golongan E, F, G; dan Kelas III.

Ketika segel dipasang, konduktor harus ditarik melalui segel dan sistem diuji untuk hubungan pendek atau dasar sebelum senyawa penyegel ditambahkan. Tampilan potongan segel vertikal ditunjukkan pada Gambar 19-7. Untuk menambahkan senyawa penyegel, sumbat besar dilepas. Bahan serat kemudian dikemas di sekitar bagian dalam bawah segel untuk membentuk bendungan. Bendungan mencegah senyawa penyegel, sebelum menjadi keras, mengalir ke saluran.



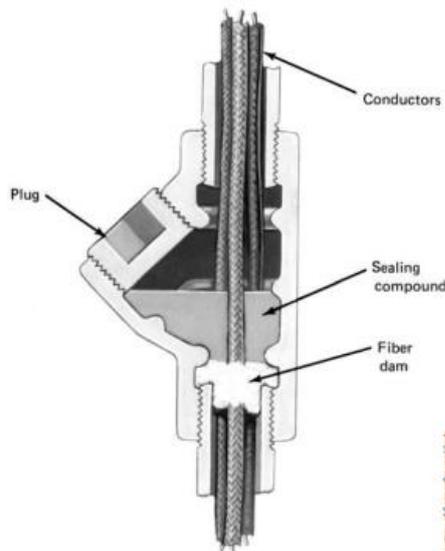
**GAMBAR 19-4** Segel diperlukan dalam instalasi tahan ledakan.



**GAMBAR 19-5** Segel yang dirancang untuk dipasang pada posisi vertikal: digunakan di Kelas I, Grup A, B, C, D; dan Kelas II, Grup E, F, G.



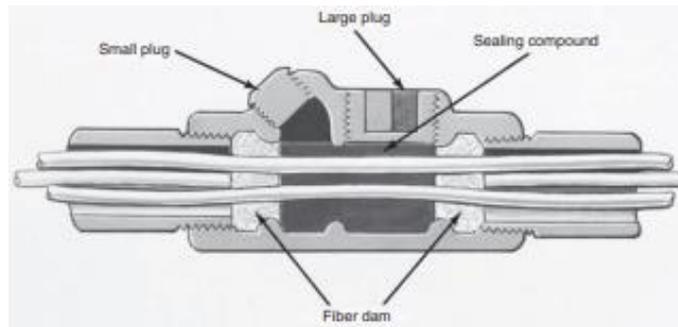
**GAMBAR 19-6** Segel yang dirancang untuk dipasang pada posisi horizontal: Kelas I, Grup A, B, C, D; dan Kelas II, Grup E, F, G.



**GAMBAR 19-7** Tampilan potongan dari segel vertikal.

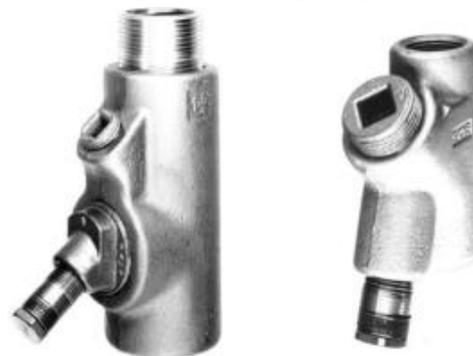
Ketika segel horizontal dipasang, dua bendungan serat terpisah harus digunakan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19-8.

Segel horizontal berisi dua colokan terpisah, yang besar dan yang kecil. Ketika segel dipasang, sumbat besar dilepas terlebih dahulu untuk memungkinkan pemasangan bahan serat. Setelah ini tercapai, sumbat diganti dan senyawa penyegel cair dituangkan ke dalam melalui lubang yang disediakan oleh sumbat yang lebih kecil.



**GAMBAR 19-8** Dua fiber dam harus digunakan saat memasang segel horizontal.

Kondensasi terkadang menjadi masalah karena menyebabkan uap air terkumpul di dalam saluran. Untuk membantu mencegah masalah ini, beberapa segel vertikal dirancang dengan sumbat pembuangan, Gambar 19-9. Segel ini dipasang di area rendah di mana saluran horizontal yang panjang berbelok ke bawah. Segel dirancang sedemikian rupa sehingga poros berongga memanjang melalui senyawa penyegel. Sumbat dapat dilepas secara berkala untuk mengalirkan uap air dari sistem. Beberapa alat kelengkapan segel saluran pembuangan memiliki lubang lubang untuk memungkinkan pengeringan terus menerus.



**GAMBAR 19-9** Segel vertikal dengan sumbat pembuangan: digunakan di Kelas I, Grup B, C, D; dan Kelas II, Grup F, G.

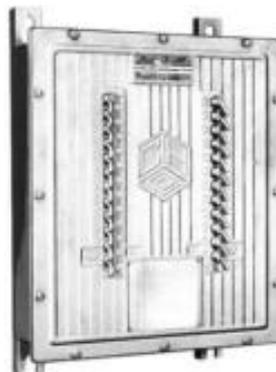
### 19.5 Kotak Panel Pemutus Sirkuit

Ketika pemutus sirkuit dipasang di lokasi Kelas I, pemutus sirkuit harus tahan ledakan. Jenis selungkup yang digunakan ditentukan oleh suasana di area tempat perangkat akan dipasang, ukuran pemutus yang dibutuhkan, dan jumlah pemutus yang dibutuhkan. Pemutus sirkuit tunggal dan selungkup ditunjukkan pada Gambar 19-10. Jenis pemutus ini dapat diperoleh dalam ukuran bingkai 50-, 100-, dan 225-ampere.



**GAMBAR 19-10** Pemutus sirkuit tunggal dalam selungkup tahan ledakan: digunakan di Kelas I, Grup C, D; Kelas II, Golongan E, F, G; dan Kelas III.

Kotak panel pemutus sirkuit ganda, cocok untuk area Kelas II, ditunjukkan pada Gambar 19-11. Kotak panel ini dianggap tahan debu dan dapat memuat hingga 24 pemutus kutub tunggal, 12 pemutus kutub ganda, atau delapan pemutus 3 kutub. Namun, kotak panel ini tidak diizinkan di area yang mengandung gas atau uap berbahaya. Kotak panel pemutus sirkuit ganda yang diizinkan di area Kelas I ditunjukkan pada Gambar 19-12.

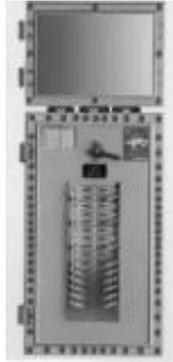


**GAMBAR 19-11** Kotak panel pemutus arus tahan debu: digunakan di Kelas I, Grup C, D; Kelas II, Golongan E, F, G; dan Kelas III.

## 19.6 Luminer

Luminer yang digunakan di lokasi berbahaya dapat diperoleh dalam berbagai jenis, gaya, dan ukuran. Luminer yang ditunjukkan pada Gambar 19-13 dikenal sebagai luminer tertutup dan bergasket. Mereka dianggap kedap uap, tetapi tidak tahan ledakan. Bola kaca yang menutupi lampu tidak dirancang untuk menahan ledakan internal. Untuk alasan ini, luminer ini tidak diizinkan di lokasi Kelas I, Divisi 1. Namun, mereka dapat digunakan di lokasi Kelas I, Divisi 2.

Luminer tahan ledakan ditunjukkan pada Gambar 19-14. Luminer ini dapat digunakan di lokasi Kelas I, Divisi 1. Bola kaca terbuat dari kaca temper, yang dapat menahan ledakan internal. Jenis luminer ini juga dapat dilengkapi dengan bola dunia bagian dalam dari kaca berwarna jika diinginkan. Pandangan cutaway dari jenis luminer ini ditunjukkan pada Gambar 19-15.



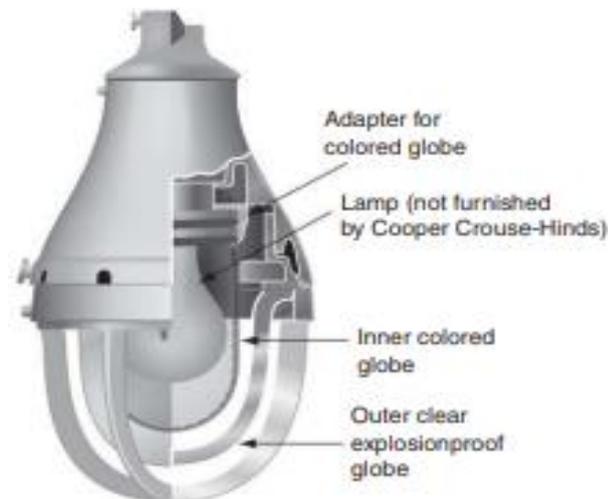
**GAMBAR 19-12** Kotak panel pemutus sirkuit tahan ledakan: digunakan di Kelas I, Grup C, D; Kelas II, Golongan E, F, G; dan Kelas III.



**GAMBAR 19-13** Luminer tertutup dan bergasket: digunakan di Kelas I, Divisi 2.



**GAMBAR 19-14** Luminer pijar tahan ledakan.



**GAMBAR 19-15** Tampilan potongan luminer pijar tahan ledakan.

Lumener tipe fluoresen juga dapat diperoleh untuk digunakan di lokasi berbahaya. Lumener yang ditunjukkan pada Gambar 19-16 dapat digunakan di lokasi Kelas I dan Kelas II. Lumener ini juga diizinkan di area semprotan cat dan lokasi basah. Mereka menggunakan tabung kaca tugas berat untuk menutupi lampu neon. Ballast disimpan dalam wadah tahan ledakan.

#### **Peringkat T dari Luminer**

Lumener yang dimaksudkan untuk digunakan di lokasi berbahaya memiliki suhu atau peringkat "T". Peringkat T menunjukkan suhu pengoperasian maksimum lumener. Suhu operasi harus dijaga di bawah suhu penyalaan atmosfer sekitarnya. Bagan pada Tabel 19-2 mencantumkan nomor T dan suhu pengoperasian maksimum lumener dengan nomor tersebut. Lumener yang terdaftar untuk digunakan di lokasi Divisi 1 diharapkan dipasang di area yang selalu mengandung bahan berbahaya. Untuk alasan ini, peringkat T ditetapkan dengan mengukur suhu pada permukaan luar lumener. Lumener yang terdaftar untuk digunakan di lokasi Divisi 2 diperkirakan tidak berada di dekat bahan berbahaya dalam kondisi normal. Nilai T dari lumener ini ditetapkan dengan mengukur suhu pada titik terpanas pada lumener, yaitu lampu itu sendiri.

#### **Pemasangan Luminer**

NEC 501.130(A)(3) menjelaskan metode untuk memasang lumener gantung (menggantung) di lokasi berbahaya. Secara umum, daya disuplai melalui saluran logam kaku berulir atau saluran perantara baja berulir. Jika batang memiliki panjang 12 inci (300 mm) atau kurang, tidak diperlukan penyangga tambahan. Namun, jika batang lebih panjang dari 12 inci (300 mm), penyangga lateral harus ditempatkan dalam jarak 12 inci (300 mm) dari lumener, atau kopleng fleksibel tahan ledakan harus digunakan dalam jarak 12 inci (300 mm).) dari kotak persimpangan, Gambar 19-17. Kopleng fleksibel tahan ledakan yang digunakan untuk tujuan ini ditunjukkan pada Gambar 19-18.

### **19.7 Kontrol Motor**

NEC 501.115 menyatakan bahwa sakelar, pemutus sirkuit, dan kontak putus-putus dari tombol tekan, relai, alarm, dan lain-lain, harus ditutup dalam selungkup tahan ledakan saat

digunakan di lokasi Kelas I. Namun ada pengecualian, jika kontak direndam dalam minyak atau tertutup rapat, atau jika sirkuit tidak mengandung energi yang cukup untuk menyalakan atmosfer di sekitarnya. Starter motor manual tahan ledakan ditunjukkan pada Gambar 19-19. Starter ini dapat digunakan untuk mengontrol motor AC atau DC. Mereka berisi pemanas untuk memberikan perlindungan arus berlebih untuk motor. Sebuah starter motor manual tunggal ditunjukkan pada Gambar 19-20. Starter khusus ini dapat digunakan di atmosfer yang mengandung hidrogen.

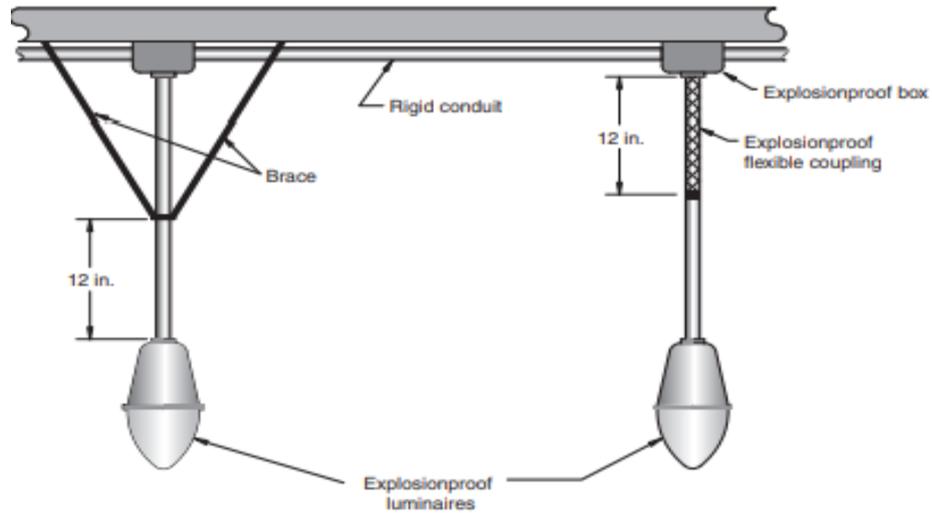
Dengan menggunakan starter tahan ledakan, seringkali perlu untuk menyesuaikan peringkat ukuran pemanas kelebihan beban. Ini karena pemanas harus berada di dalam selungkup tahan ledakan, yang membuat pembuangan panas menjadi sulit. Bagan pada Gambar 19-21 digunakan untuk memilih ukuran pemanas beban berlebih yang tepat untuk starter motor manual yang ditunjukkan pada Gambar 19-20.



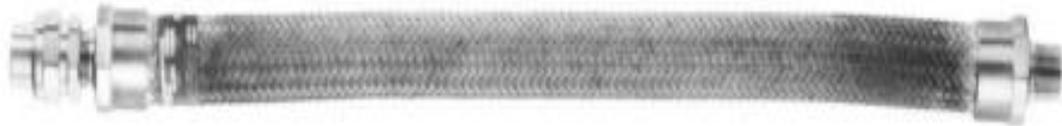
**GAMBAR 19-16** Luminer fluorescent tahan ledakan: digunakan di Kelas I, Grup C, D; Kelas II Kelompok E, F, G; area semprotan cat; dan lokasi basah.

**TABEL 19-2** Nomor T dan suhu yang sesuai.

T NUMBER	TEMPERATURE		T NUMBER	TEMPERATURE	
	°C	°F		°C	°F
T1	842	450	T3A	356	180
T2	572	300	T3B	329	165
T2A	536	280	T3C	320	160
T2B	500	260	T4	275	135
T2C	446	230	T4A	248	120
T2D	419	215	T5	212	100
T3	392	200	T6	185	85



**GAMBAR 19-17** Memasang lumener gantung di lokasi Kelas I, Divisi 1.



**GAMBAR 19-18** Kopling fleksibel tahan ledakan: digunakan di Kelas I, Grup A, B, C, D; Kelas II, Golongan E, F, G; dan Kelas III.



**GAMBAR 19-19** Starter motor manual ganda yang digunakan di lokasi berbahaya: digunakan di Kelas I, Grup C, D; Kelas II, Golongan E, F, G; dan Kelas III.

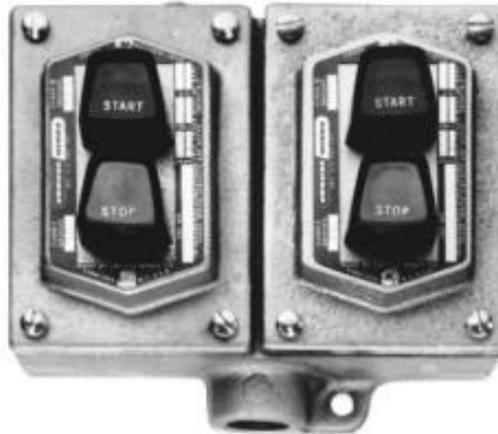


**GAMBAR 19-20** Starter motor manual tunggal yang digunakan di lokasi berbahaya: digunakan di Kelas I, Grup B, C, D; Kelas II, Golongan E, F, H; dan Kelas III.

HEATER TABLE					
FULL LOAD MOTOR CURRENT		HEATER RATING	FULL LOAD MOTOR CURRENT		HEATER RATING
.40-	.43	.50	2.72-	2.95	3.40
.44-	.48	.55	2.96-	3.27	3.70
.49-	.53	.61	3.28-	3.59	4.10
.54-	.58	.67	3.60-	3.99	4.50
.59-	.64	.74	4.00-	4.39	5.00
.65-	.71	.81	4.40-	4.79	5.50
.72-	.78	.89	4.80-	5.26	6.00
.79-	.87	.98	5.27-	5.83	6.60
.88-	.95	1.10	5.84-	6.39	7.30
.96-	1.03	1.20	6.40-	7.03	8.00
1.04-	1.15	1.30	7.04-	7.74	8.80
1.16-	1.27	1.45	7.75-	8.46	9.70
1.28-	1.35	1.60	8.47-	9.35	10.60
1.36-	1.51	1.70	9.36-	10.30	11.70
1.52-	1.67	1.90	10.31-	11.35	12.90
1.68-	1.83	2.10	11.36-	12.47	14.20
1.84-	1.99	2.30	12.48-	13.67	15.60
2.00-	2.23	2.50	13.68-	15.12	17.10
2.24-	2.47	2.80	15.13-	16.00	18.60
2.48-	2.71	3.10			

Note: These heaters are for motors rated 40°C continuously. For motors rated 50° or 55°C, multiply full load motor current by 0.9 and use this value to select heaters. Symbol 0 (zero) may be used to indicate heater omitted.

**GAMBAR 19-21** Meja pemanas kelebihan beban untuk starter manual tahan ledakan.



**GAMBAR 19-22** Tombol tekan yang digunakan di lokasi berbahaya: digunakan di Kelas I, Grup C, D; Kelas II, Golongan E, F, G; dan Kelas III.

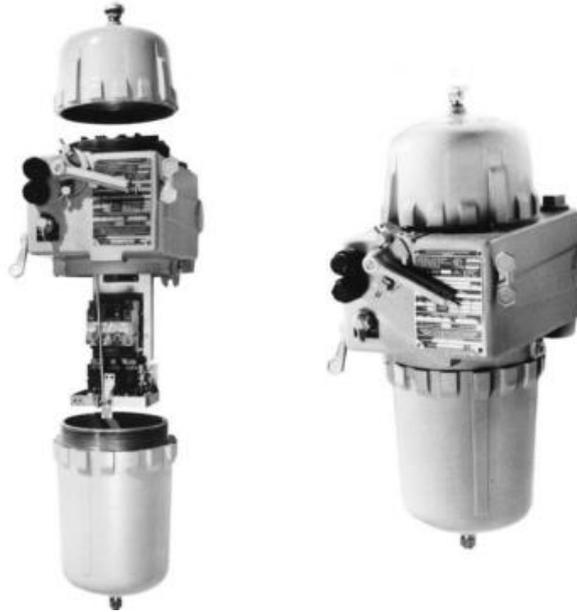
Kebanyakan sirkuit kontrol motor semi-otomatis atau otomatis, dan memerlukan penggunaan perangkat pilot seperti tombol tekan yang ditunjukkan pada Gambar 19-22. Semua perangkat pilot, seperti sakelar batas, sakelar aliran, sakelar apung, dan sebagainya, harus ditempatkan di dalam selungkup tahan ledakan saat digunakan di lokasi Kelas I. Kontrol semi otomatis dan otomatis memerlukan penggunaan starter magnet, kontaktor, dan relai. Kontaktor dan/atau starter ini juga harus ditempatkan di dalam selungkup tahan ledakan. Starter motor yang ditunjukkan pada Gambar 19-23 berisi pemutus sirkuit dan starter motor dengan relai beban lebih.

### 19.8 Kabel Dan Wadah Fleksibel

Kabel senur fleksibel dan colokan tambahan diizinkan di lokasi berbahaya untuk pengoperasian lampu atau perlengkapan portabel, Gambar 19-24 (501.140, 502.140, dan 503.140). Ketika mereka digunakan, mereka harus mematuhi ketentuan berikut:

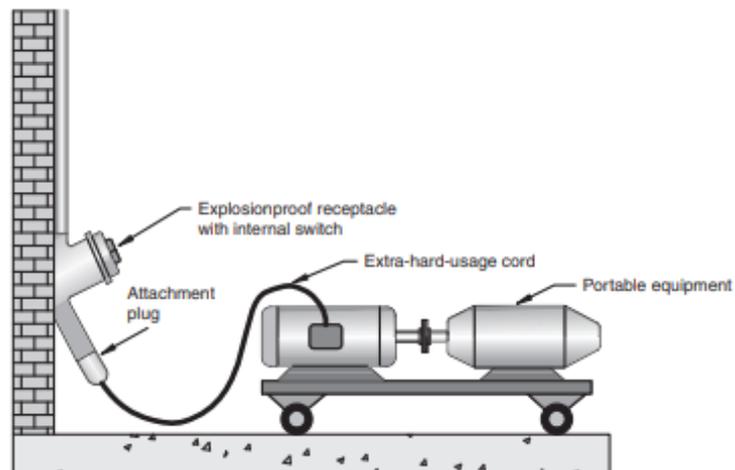
1. Disetujui untuk penggunaan ekstra keras
2. Berisi konduktor pembumian terpisah
3. Terhubung dengan benar ke terminal atau konduktor suplai
4. Ditopang oleh klem sedemikian rupa sehingga tidak ada tegangan yang ditransmisikan ke sambungan terminal
5. Dilengkapi dengan segel untuk mencegah masuknya uap yang mudah terbakar di lokasi Kelas I, debu yang mudah terbakar di lokasi Kelas II, atau masuknya serat di lokasi Kelas III

Colokan dan stop kontak harus disetujui untuk lokasi penggunaannya (501.145, 502.145, dan 503.145). Stop kontak tahan ledakan dibuat dengan sakelar internal yang memutuskan daya dari sirkuit sebelum steker lampiran dilepas. Pandangan cutaway dari jenis wadah ini ditunjukkan pada Gambar 19-25.



**GAMBAR 19-23** Starter motor tahan ledakan dengan pemutus sirkuit: digunakan di Kelas I, Grup C, D; Kelas II, Golongan E, F, G; dan Kelas III.

Steker dan soket ini dibuat sedemikian rupa sehingga steker pelengkap dapat dimasukkan ke dalam atau dilepas dari stopkontak hanya bila sakelar pemutus dalam posisi mati. Hal ini dilakukan untuk mencegah kemungkinan timbulnya busur di luar selungkup tahan ledakan saat steker disambungkan atau diputus. Setelah steker dimasukkan ke dalam stopkontak, sakelar dihidupkan dengan memutar steker searah jarum jam. Sebuah stopkontak dan steker lampiran yang tahan ledakan ditunjukkan pada Gambar 19-26.



**GAMBAR 19-24** Peralatan portabel dihubungkan dengan kabel.



**GAMBAR 19-25** Tampilan potongan wadah tahan ledakan.



**GAMBAR 19-26** Steker dan stop kontak yang tahan ledakan: digunakan di Kelas I, Grup B, C, D; Kelas II, Grup F, G; dan Kelas III.

## 19.9 Area Berbahaya

### Garasi Komersial

Pasal 511 NEC berkaitan dengan lokasi di mana kendaraan bermotor diservis atau diperbaiki. Kendaraan ini termasuk mobil, truk, bus, dan traktor. Secara umum, luas lantai garasi, hingga tingkat 18 inci (450 mm) di atas lantai, dianggap sebagai lokasi Kelas I, Divisi 2, Gambar 19-27. Satu-satunya pengecualian untuk ini adalah jika sistem ventilasi mekanis menyediakan aliran udara yang cukup untuk menghasilkan setidaknya empat perubahan udara per jam. Area lubang di bawah lantai dianggap sebagai lokasi Kelas I, Divisi 1 kecuali sistem ventilasi mekanis menyediakan setidaknya enam pergantian udara per jam. Dalam hal ini, area pit dianggap Kelas I, Divisi 2.

### Hanggar Pesawat

NEC 513.1 berlaku untuk bangunan atau struktur di bagian mana pun pesawat yang berisi cairan Kelas I (mudah terbakar) atau cairan Kelas II (mudah terbakar) yang suhunya di atas titik nyalanya ditempatkan atau disimpan dan di mana pesawat mungkin menjalani servis, perbaikan, atau perubahan. Ini tidak berlaku untuk lokasi yang digunakan secara eksklusif untuk pesawat yang tidak pernah berisi bahan bakar atau pesawat tanpa bahan bakar.

Secara umum, setiap lubang yang terletak di bawah permukaan lantai dianggap sebagai lokasi Kelas I, Divisi 1 atau Zona 1, Gambar 19-28. Setiap area hingga ketinggian 18

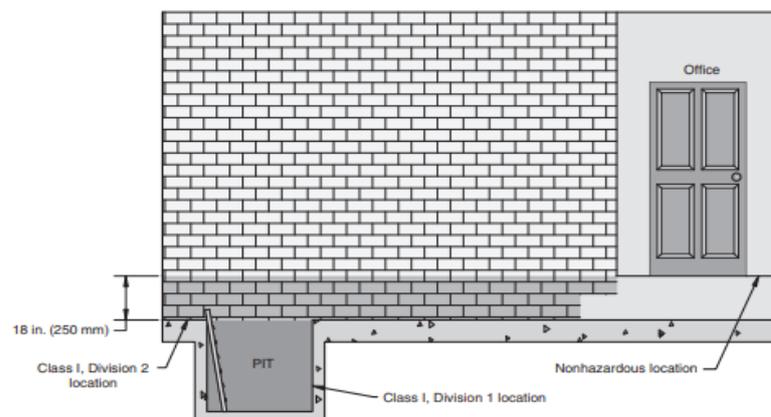
inci (450 mm) di atas lantai, setiap area dalam jarak 5 kaki (1,5 m) dari mesin atau engine, setiap area dalam jarak 5 kaki (1,5 m) dari tangki bahan bakar, dan setiap area yang memanjang 5 kaki (1,5 m) di atas permukaan sayap atau mesin dianggap sebagai lokasi Kelas I, Divisi 2 atau Zona 2.

### Fasilitas Pengeluaran Bahan Bakar Motor

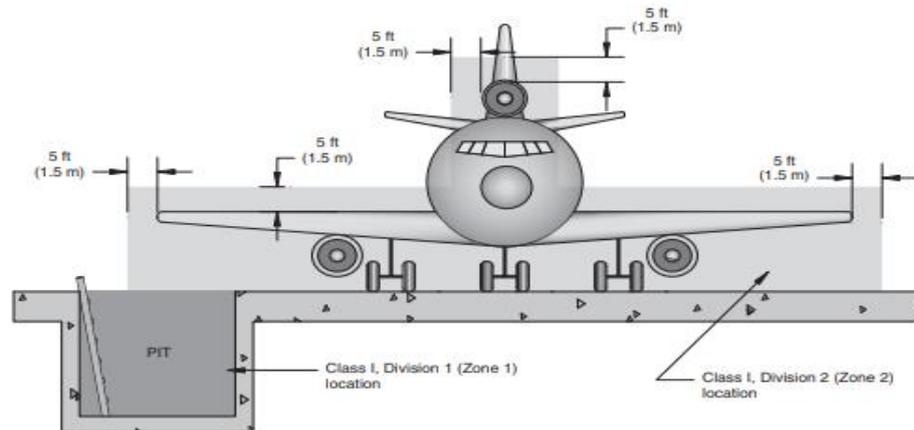
NEC 514.2 berlaku untuk fasilitas penyaluran bahan bakar motor, fasilitas penyaluran bahan bakar laut/motor, fasilitas penyaluran bahan bakar motor yang terletak di dalam gedung, dan fasilitas penyaluran bahan bakar motor kendaraan armada. Secara umum, setiap ruang di bawah permukaan tanah, dalam jarak 10 kaki (3050 mm) dari pipa pengisi tangki bawah tanah, dianggap sebagai Kelas I, Divisi 1 (Zona 1), Gambar 19-29. Setiap area dalam radius 10 kaki (3050 mm) dari garis pengisian tangki bawah tanah dan hingga 18 inci (450 mm) di atas permukaan tanah dianggap sebagai Kelas I, Divisi 2 (Zona 2). Setiap area dalam jarak 5 kaki (1,5 m), memanjang ke segala arah, dari lubang tangki bensin dianggap Kelas I, Divisi 1. Setiap ruang antara 5 kaki dan 10 kaki (1,5 m dan 3050 mm), memanjang ke segala arah, dari lubang tangki bensin dianggap sebagai lokasi Kelas I, Divisi 2.

Setiap ruang di bawah permukaan tanah, dalam jarak 20 kaki dari pompa pengeluaran bensin luar, dianggap Kelas I, Divisi 1. Setiap ruang di dalam selungkup pompa, hingga ketinggian 4 kaki di atas alas, dan setiap ruang di dalam boot nozzle dianggap Kelas I, Divisi 1, Gambar 19-30. Lokasi Kelas I Divisi 2 adalah sebagai berikut:

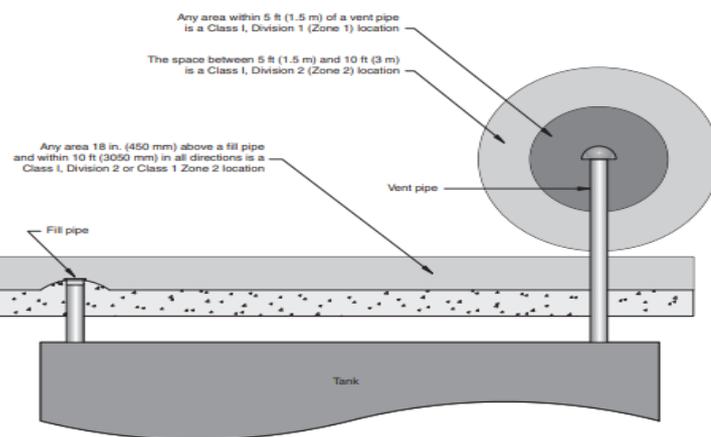
1. Setiap area 18 inci (0,5 m) di atas permukaan tanah, dalam jarak 20 kaki (6 m) dari pompa pengeluaran luar
2. Setiap ruang, di dalam bagian dalam selungkup pompa, diisolasi oleh partisi padat
3. Ruang apa pun di dalam selungkup pompa yang lebih tinggi dari 4 kaki (1,2 m)
4. Setiap ruang dalam jarak 18 inci (0,5 m), ke segala arah, dari selungkup pompa



**GAMBAR 19-27** Garasi komersial.



**GAMBAR 19-28** Hanggar pesawat.



**GAMBAR 19-29** Tangki bensin bawah tanah.

### Proses Penyemprotan dan Pencelupan

NEC 516.3 memberikan klasifikasi lokasi untuk area yang mengandung konsentrasi berbahaya dari uap atau debu yang mudah terbakar yang dihasilkan oleh penyemprotan atau pencelupan. Lokasi Kelas I atau Kelas II Divisi 1 adalah sebagai berikut:

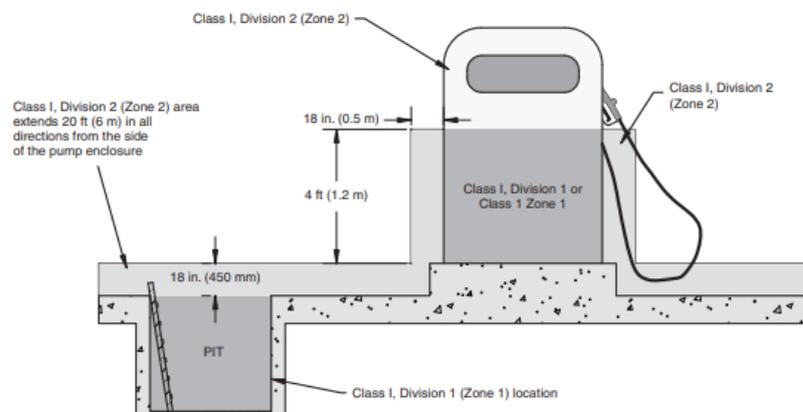
1. Interior bilik atau ruangan semprot, Gambar 19-31
2. Bagian dalam saluran pembuangan
3. Setiap area dalam jalur langsung operasi penyemprotan
4. Setiap area dalam jarak 5 kaki (1525 mm) ke segala arah dari sumber uap, memanjang dari sumber ke lantai; sumber dianggap permukaan tangki celup, permukaan basah papan pembuangan, atau permukaan benda yang dicelupkan, Gambar 19-32
5. Lubang apa pun dalam jarak 25 kaki (7620 mm) dari sumber uap

Lokasi Kelas I atau Kelas II Divisi 2 adalah sebagai berikut:

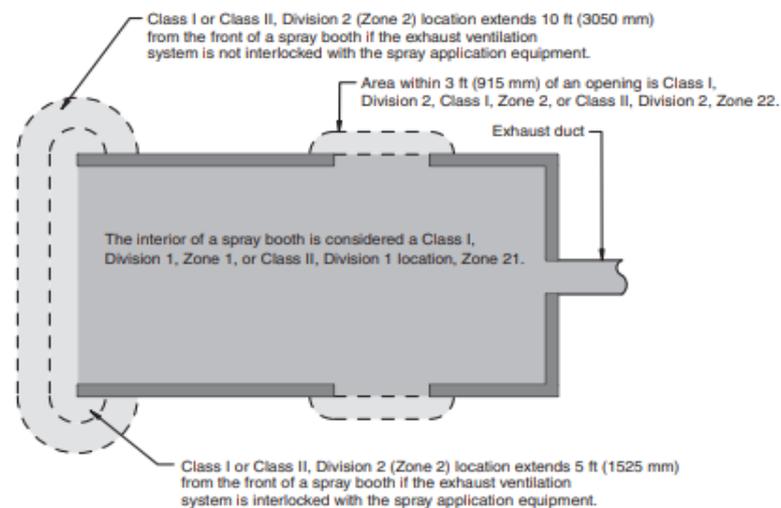
1. Untuk penyemprotan terbuka, ini adalah ruang yang memanjang 20 kaki (6100 mm) secara horizontal dan 10 kaki (3050 mm) secara vertikal dari lokasi Divisi 1, Gambar 19-33.
2. Untuk bilik semprotan depan terbuka dengan bagian atas tertutup dan sisi tertutup, itu adalah ruang dalam jarak 3 kaki (915 mm) ke segala arah bukaan selain dari depan. Jumlah area berbahaya yang membentang di sekitar bukaan depan ditentukan oleh

jenis sistem ventilasi. Jika sistem ventilasi saling terkait dengan peralatan semprot sedemikian rupa sehingga peralatan semprot tidak dapat digunakan saat sistem ventilasi tidak beroperasi, maka area Kelas 1 Divisi 2 atau Kelas 1 Zona 2 dan Kelas 2 Divisi 1 atau Zona 22 adalah dianggap 5 kaki ke segala arah dari bukaan depan stan. Jika sistem ventilasi tidak saling terkait dengan peralatan semprot, area berbahaya dianggap 10 kaki (3 m) ke segala arah dari bukaan depan.

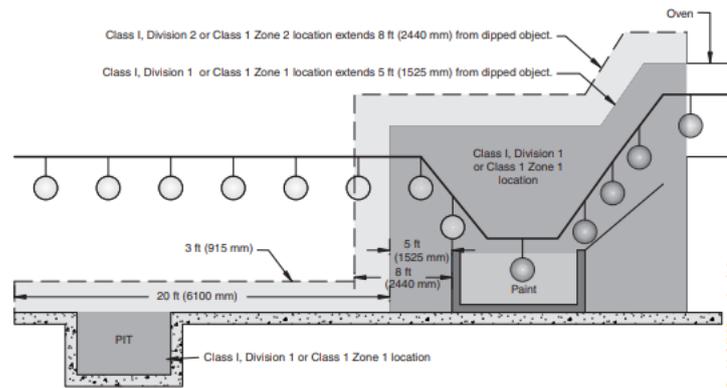
3. Untuk bilik semprot dengan bagian atas terbuka, area berbahaya dianggap 3 kaki (915 mm) di atas bilik dan 3 kaki (915 mm) ke segala arah dari bukaan.
4. Untuk bilik atau ruangan semprot yang benar-benar tertutup, area dalam jarak 3 kaki (915 mm) ke segala arah dari setiap bukaan dianggap sebagai Kelas 1 Divisi 2 atau Kelas 1 Zona 2 dan Kelas 2 Divisi 1 atau Zona 22.
5. Untuk tangki celup dan papan pembuangan, setiap ruang antara 5 kaki dan 8 kaki (1525 mm dan 2440 mm) dari sumber uap, dan setiap ruang antara 5 kaki dan 25 kaki (1525 mm dan 7620 mm) secara horizontal dari sumber uap, memanjang hingga ketinggian 3 kaki (915 mm) di atas lantai, dianggap sebagai lokasi Kelas I atau Kelas II, Divisi 2.



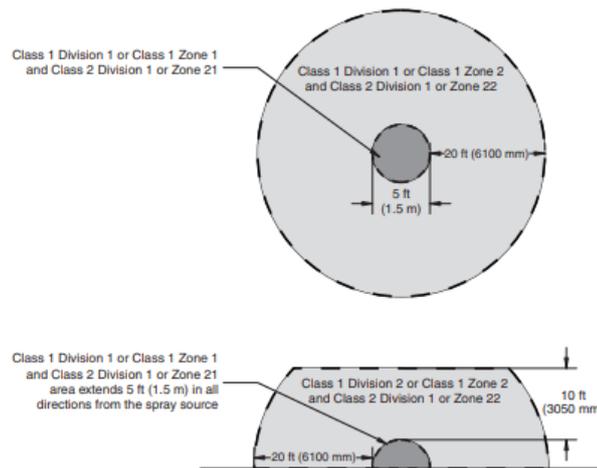
**GAMBAR 19-30** Pompa pengisian bensin.



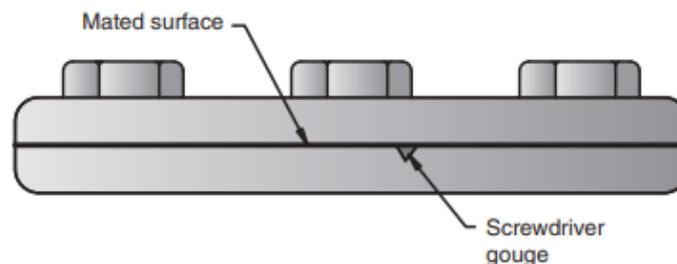
**GAMBAR 19-31** Tempat semprotan.



**GAMBAR 19-32** Tong celup.



**GAMBAR 19-33** Buka area semprotan.



**GAMBAR 19-34** Pencungkil atau goresan obeng dapat merusak integritas selungkup dengan menyediakan titik keluar untuk gas panas.

### 19.10 Peralatan Tahan Ledakan

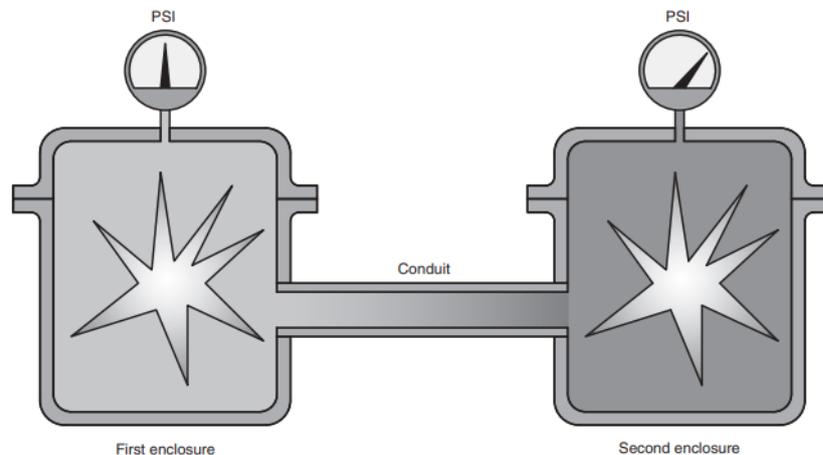
Perhatian besar harus dilakukan saat memasang atau memelihara peralatan tahan ledakan. Pemasangan atau pemeliharaan peralatan ini yang tidak tepat dapat sepenuhnya meniadakan integritas sistem. Permukaan kawin kotak anti ledakan digiling rata untuk memberikan kecocokan yang sangat dekat. Sebuah gouge obeng atau goresan yang dalam dapat memberikan titik keluar untuk gas panas keluar dan menyalakan atmosfer sekitarnya, Gambar 19-34.

Permukaan tanah penutup tahan ledakan harus dibersihkan dengan pelarut untuk menghilangkan partikel kotoran sebelum bagian-bagian tersebut dibaut bersama-sama. Jika perlu untuk menghilangkan zat yang tidak dapat dibersihkan dengan pelarut, gunakan wol

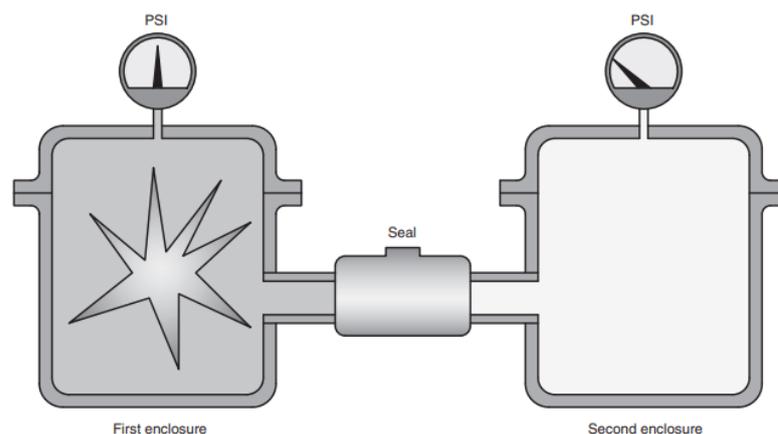
baja halus; jangan pernah menggunakan amplas atau alat penggores tajam seperti pisau dempul. Semua baut harus terpasang dan kencang. Jika satu baut hilang, selungkup mungkin tidak dapat mencegah penyalan atmosfer di sekitarnya jika terjadi ledakan internal.

Segel harus dipasang di antara selungkup tahan ledakan untuk mencegah kondisi yang dikenal sebagai tumpukan tekanan. Tumpukan tekanan terjadi ketika gas panas yang dihasilkan oleh ledakan internal berjalan melalui saluran ke selungkup yang berdekatan, Gambar 19-35. Gas panas ini menambah volume gas yang sudah ada di selungkup kedua. Jika gas di selungkup kedua dinyalakan oleh gas panas yang dihasilkan oleh ledakan di selungkup pertama, tekanan yang dihasilkan di selungkup kedua bisa sebesar tiga kali lipat dari yang biasanya diharapkan. Namun, segel yang dipasang dengan benar mencegah aliran gas panas dari satu selungkup ke selungkup lainnya, Gambar 19-36.

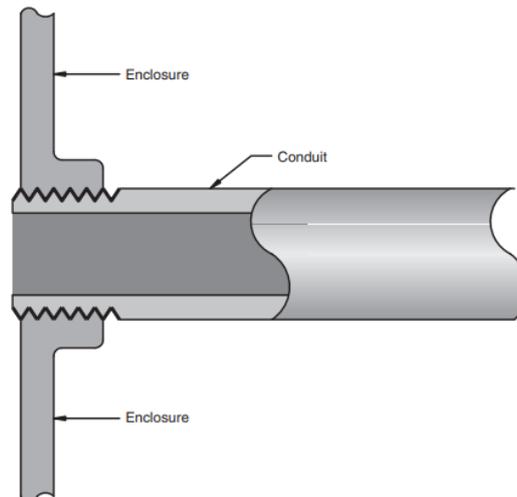
Segel sangat penting ketika saluran keluar dari lokasi berbahaya dan memasuki lokasi yang tidak berbahaya, Gambar 19-4. Peralatan dan penutup di lokasi yang tidak berbahaya tidak dirancang untuk tahan terhadap ledakan internal jenis apa pun dan akan hancur total. Beberapa jenis selungkup tahan ledakan dirancang untuk dibor dan disadap di lapangan. Bila ini dilakukan, setidaknya lima ulir penuh harus dipasang antara saluran dan selungkup, Gambar 19-37.



**GAMBAR 19-35** Tumpukan tekanan terjadi ketika gas panas dari satu selungkup dipaksa masuk ke dalam selungkup kedua. Ini menghasilkan peningkatan tekanan di detik.



**GAMBAR 19-36** Sebuah segel mencegah lewatnya gas panas dari satu selungkup ke yang lain.



**GAMBAR 19-37** Setidaknya lima ulir penuh harus dibuat antara selungkup dan saluran.

### 19.11 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditampilkan secara rinci, dan Kode referensi harus dikutip bila perlu.

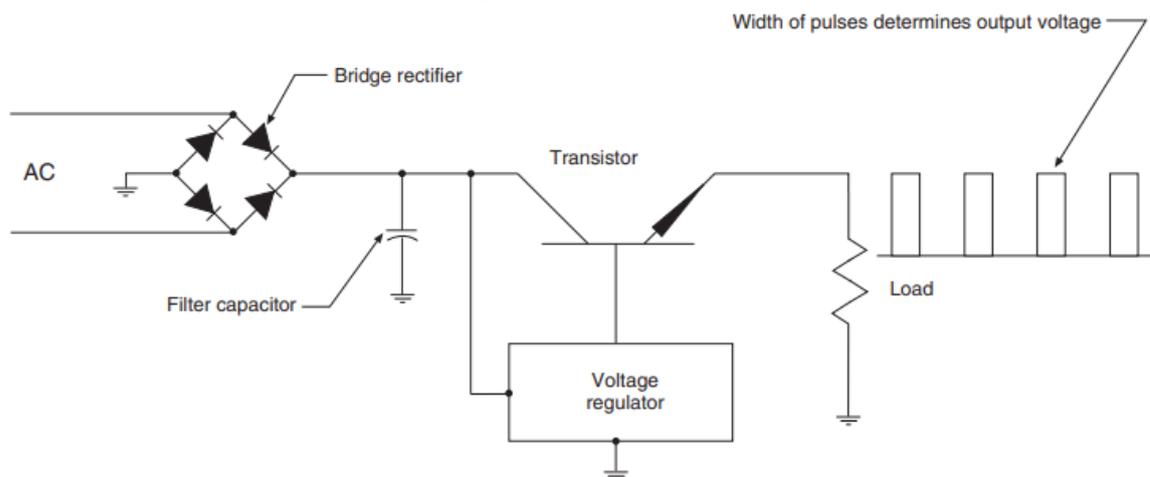
1. Apa kelas, divisi, dan kelompok area di mana gas asetilena diproduksi?
2. Apa yang akan menjadi kelas, divisi, dan kelompok daerah di mana bensin diproduksi?
3. Apa yang akan menjadi kelas, divisi, dan kelompok daerah di mana tepung diproduksi?
4. Apa kelas, divisi, dan kelompok area penyimpanan batubara?
5. Kelas apa yang digunakan untuk area di mana serat mudah terbakar ditunen menjadi kain?
6. Berapa suhu operasi maksimum peralatan yang akan digunakan di lokasi Grup B?
7. Apa sirkuit yang aman secara intrinsik?
8. Berapa panjang maksimum batang yang digunakan untuk lampu gantung sebelum bracing diperlukan?
9. Mengapa segel digunakan dalam sistem kabel tahan ledakan?
10. Apakah luminer "tertutup dan bergasket" diizinkan di lokasi Kelas II, Divisi 1?
11. Sebutkan lima kondisi yang harus dipenuhi sebelum kabel fleksibel dapat digunakan di lokasi berbahaya.
12. Di garasi komersial, apa klasifikasi area yang kurang dari 18 inci (450 mm) di atas lantai (selain lubang)?
13. Sampai ketinggian berapa di atas sayap pesawat terbang lokasi Kelas I, Divisi 2 diperpanjang?
14. Bagian dalam selungkup pompa pengisian bensin dianggap Kelas I, Divisi 1 sampai ketinggian berapa?
15. Sebuah bilik semprotan depan terbuka memiliki bagian atas dan samping yang tertutup. Bilik dilengkapi dengan sistem ventilasi yang saling mengunci dengan peralatan semprot sedemikian rupa sehingga peralatan semprot tidak akan beroperasi ketika sistem ventilasi tidak beroperasi. Berapa klasifikasi luas 8 ft (2,5 m) di depan bukaan stan semprot?

## BAB 20 HARMONIK

### TUJUAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu

- menggambarkan harmonik.
- mendiskusikan masalah tentang harmonik.
- mengidentifikasi karakteristik harmonik yang berbeda.
- melakukan tes untuk menentukan apakah ada masalah harmonik.
- mendiskusikan metode menangani masalah harmonik.



**GAMBAR 20-1** Modulasi lebar pulsa mengatur tegangan keluaran dengan memvariasikan waktu kerja transistor dibandingkan dengan waktu transistor mati.

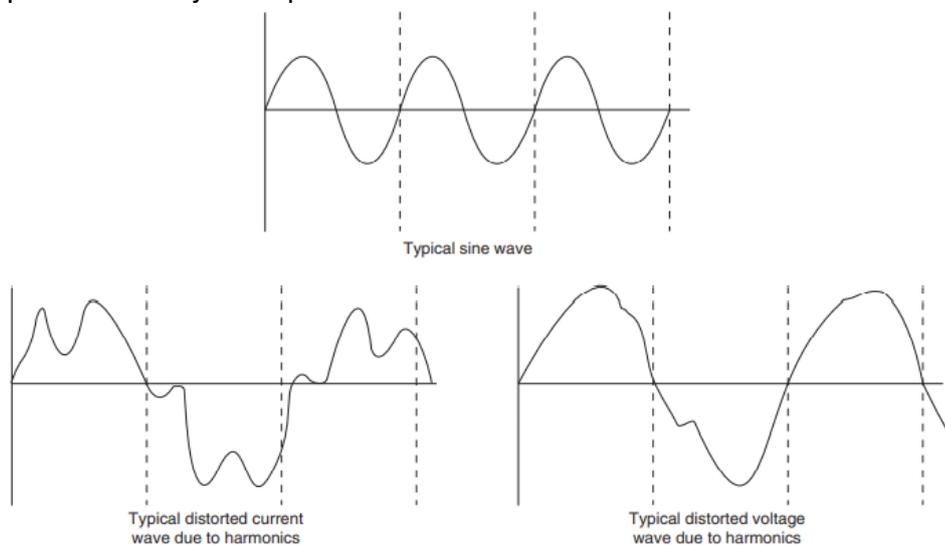
Harmonik adalah tegangan atau arus yang beroperasi pada frekuensi yang merupakan kelipatan dari frekuensi daya dasar. Jika frekuensi daya dasar adalah 60 hertz, misalnya, harmonik kedua adalah 120 hertz, harmonik ketiga adalah 180 hertz, dan seterusnya. Harmonik dihasilkan oleh beban nonlinier yang menarik arus dalam pulsa daripada secara terus menerus. Harmonik pada saluran listrik satu fasa umumnya disebabkan oleh perangkat seperti catu daya komputer, ballast elektronik pada lampu fluorescent, triac light dimmer, dan sebagainya. Harmonik tiga fasa umumnya dihasilkan oleh penggerak frekuensi variabel untuk motor AC dan penggerak elektronik untuk motor DC.

Sebuah contoh yang baik dari beban berdenyut adalah salah satu yang mengubah arus menjadi DC dan kemudian mengatur tegangan DC dengan modulasi lebar pulsa, Gambar 20-1. Banyak catu daya yang diatur beroperasi dengan cara ini. Penyearah jembatan pada Gambar 20-1 mengubah AC menjadi DC berdenyut. Kapasitor filter digunakan untuk menghaluskan pulsasi. Transistor menyala dan mati untuk memasok daya ke beban. Jumlah waktu transistor dihidupkan dibandingkan dengan waktu dimatikan menentukan tegangan output DC. Setiap kali transistor menyala, hal itu menyebabkan kapasitor mulai dikosongkan. Ketika transistor mati, kapasitor akan mulai mengisi lagi. Arus ditarik dari saluran AC setiap kali kapasitor diisi. Pulsasi arus yang dihasilkan oleh kapasitor pengisian ini dapat

menyebabkan gelombang sinus AC menjadi terdistorsi. Bentuk gelombang arus dan tegangan yang terdistorsi ini mengalir kembali ke bagian lain dari sistem tenaga, Gambar 20-2.

### 20.1 Efek Harmonis

Harmonik dapat memiliki efek yang sangat merugikan pada peralatan listrik. Beberapa gejala umum harmonik adalah konduktor dan trafo yang terlalu panas, dan pemutus sirkuit yang tampaknya trip padahal seharusnya tidak. Harmonik diklasifikasikan berdasarkan nama, frekuensi, dan urutan. Nama mengacu pada apakah harmonik adalah frekuensi dasar kedua, ketiga, keempat, dan seterusnya. Frekuensi mengacu pada frekuensi operasi harmonik. Harmonik kedua beroperasi pada 120 hertz, yang ketiga pada 180 hertz, yang keempat pada 240 hertz, dan seterusnya. Urutan mengacu pada rotasi fasor sehubungan dengan bentuk gelombang fundamental. Pada motor induksi, harmonik urutan positif berputar dalam arah yang sama dengan frekuensi dasar. Sebuah harmonik urutan negatif berputar dalam arah yang berlawanan dari frekuensi dasar. Harmonik yang disebut triplen memiliki urutan nol. Triplen adalah kelipatan ganjil dari harmonik ketiga (3, 9, 15, 21, dan seterusnya). Urutan sembilan harmonik pertama ditunjukkan pada Tabel 20-1.



**GAMBAR 20-2** Harmonik menyebabkan gelombang sinus AC menjadi terdistorsi.

**TABEL 20-1** Nama, frekuensi, dan urutan sembilan harmonik pertama.

NAME	FUND.	2ND	3RD	4TH	5TH	6TH	7TH	8TH	9TH
Frequency	60	120	180	240	300	360	420	480	540
Sequence	+	-	0	+	-	0	+	-	0

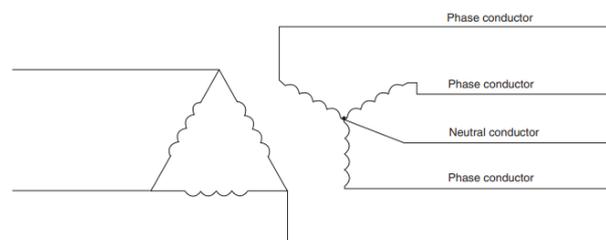
Harmonik dengan urutan positif umumnya menyebabkan panas berlebih pada konduktor dan transformator dan pemutus sirkuit. Harmoni urutan negatif dapat menyebabkan masalah pemanasan yang sama seperti harmonik positif ditambah masalah tambahan dengan motor. Karena rotasi fasor dari harmonik negatif berlawanan dengan frekuensi dasar, ia cenderung melemahkan medan magnet putar motor induksi, menyebabkannya menghasilkan torsi yang lebih kecil. Pengurangan torsi menyebabkan motor

beroperasi di bawah kecepatan normal. Pengurangan kecepatan menghasilkan arus motor yang berlebihan dan panas berlebih. Meskipun triplen tidak memiliki rotasi fasor, mereka dapat menyebabkan banyak masalah dalam sistem 3-fase, 4-kawat, seperti sistem 208/120-volt atau 480/277-volt. Dalam sistem umum 208/120-volt terhubung wye, primer umumnya terhubung di delta, dan sekunder terhubung di wye, Gambar 20-3.

Beban fase tunggal yang beroperasi pada 120 volt dihubungkan antara konduktor fase apa pun dan konduktor netral. Arus netral adalah jumlah vektor dari arus fasa. Dalam rangkaian 3 fasa seimbang (semua fasa memiliki arus yang sama), arus netral adalah nol. Meskipun beban fase tunggal cenderung menyebabkan kondisi tidak seimbang, jumlah vektor arus umumnya menyebabkan konduktor netral membawa arus lebih sedikit daripada konduktor fase mana pun. Hal ini berlaku untuk beban yang linier dan menarik arus gelombang sinus kontinu. Ketika arus berdenyut (nonlinier) dihubungkan ke sistem 3-fase, 4-kawat, frekuensi harmonik tiga kali lipat mengganggu hubungan fasor normal dari arus fasa dan dapat menyebabkan arus fasa menambah konduktor netral alih-alih membatalkan. Karena konduktor netral tidak dilindungi oleh sekering atau pemutus sirkuit, ada bahaya nyata dari pemanasan berlebihan pada konduktor netral.

Arus harmonik juga tercermin dalam belitan primer delta di mana mereka bersirkulasi dan menyebabkan panas berlebih. Masalah pemanasan lainnya disebabkan oleh arus eddy dan kerugian histeresis. Transformer biasanya dirancang untuk operasi 60-hertz. Frekuensi harmonik yang lebih tinggi menghasilkan kerugian inti yang lebih besar daripada yang dirancang untuk ditangani oleh transformator. Trafo yang dihubungkan dengan rangkaian yang menghasilkan harmonik terkadang harus diturunkan atau diganti dengan trafo yang dirancang khusus untuk beroperasi dengan frekuensi harmonik.

Transformator bukan satu-satunya komponen listrik yang terpengaruh oleh arus harmonik. Generator darurat dan siaga dapat terpengaruh dengan cara yang sama seperti transformator. Hal ini terutama berlaku untuk generator siaga yang digunakan untuk memberi daya pada peralatan pemrosesan data jika terjadi kegagalan daya. Beberapa frekuensi harmonik bahkan dapat mendistorsi persilangan nol dari bentuk gelombang yang dihasilkan oleh generator.



**GAMBAR 20-3** Dalam sistem 3-fase, 4-kawat terhubung, pusat sekunder koneksi wye diketuk untuk membentuk konduktor netral.

## 20.2 Masalah Pemutus Sirkuit

Pemutus sirkuit termomagnetik menggunakan mekanisme trip bimetal yang sensitif terhadap panas yang dihasilkan oleh arus sirkuit. Pemutus sirkuit ini dirancang untuk menanggapi efek pemanasan dari nilai arus RMS yang sebenarnya. Jika arus menjadi terlalu besar, mekanisme bimetal membuat pemutus terbuka. Arus harmonik menyebabkan distorsi

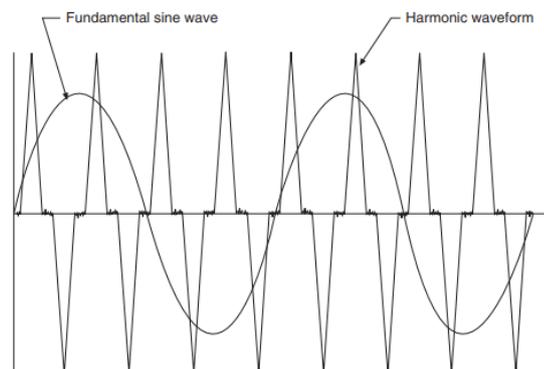
*Instalasi Listrik Industri (Dr. Agus Wibowo)*

nilai RMS, yang dapat menyebabkan pemutus putus padahal seharusnya tidak, atau tidak trip saat seharusnya. Pemutus sirkuit termomagnetik, bagaimanapun, umumnya perlindungan yang lebih baik terhadap arus harmonik daripada pemutus sirkuit elektronik. Pemutus elektronik merasakan nilai puncak arus. Puncak arus harmonik umumnya lebih tinggi dari gelombang sinus fundamental, Gambar 20-4. Meskipun puncak arus harmonik umumnya lebih tinggi dari frekuensi dasar, mereka bisa lebih rendah. Dalam beberapa kasus, pemutus elektronik mungkin trip pada arus rendah dan dalam kasus lain mungkin tidak trip sama sekali.

### 20.3 Masalah Saluran Bus Dan Papan Panel

Arus harmonik tiga kali lipat juga dapat menyebabkan masalah dengan saluran bus netral dan lug penghubung. Sebuah bus netral berukuran untuk membawa arus fase pengenal. Karena harmonik rangkap tiga dapat menyebabkan arus netral lebih tinggi dari arus fasa, maka bus netral dapat mengalami kelebihan beban. Kotak panel listrik dan saluran bus dirancang untuk membawa arus yang beroperasi pada 60 hertz. Arus harmonik menghasilkan medan magnet yang beroperasi pada frekuensi yang lebih tinggi. Jika bidang ini harus beresonansi secara mekanis dengan panelboard atau penutup saluran bus, kotak panel dan saluran bus dapat bergetar dan menghasilkan suara mendengung pada frekuensi harmonik.

Peralatan telekomunikasi sering dipengaruhi oleh arus harmonik. Kabel telekomunikasi sering dijalankan dekat dengan saluran listrik. Untuk meminimalkan interferensi, kabel komunikasi dijalankan sejauh mungkin dari konduktor fase dan sedekat mungkin dengan konduktor netral. Arus harmonik dalam konduktor netral menginduksi arus frekuensi tinggi ke dalam kabel komunikasi. Arus frekuensi tinggi ini dapat didengar sebagai suara dengung bernada tinggi pada saluran telepon.



**GAMBAR 20-4** Bentuk gelombang harmonik umumnya memiliki nilai puncak yang lebih tinggi daripada bentuk gelombang dasar.

### 20.4 Menentukan Masalah Harmonis Pada Sistem Fasa Tunggal

Ada beberapa langkah yang bisa diikuti dalam menentukan apakah ada masalah dengan harmonik. Salah satu langkahnya adalah dengan melakukan survei terhadap peralatan tersebut. Ini sangat penting dalam menentukan apakah ada masalah dengan harmonik dalam sistem fase tunggal.

1. Lakukan pemeriksaan peralatan. Komputer pribadi, printer, dan lampu neon dengan pemberat elektronik diketahui menghasilkan harmonik. Setiap peralatan yang menarik arus dalam pulsa dapat menghasilkan harmonik.

2. Tinjau catatan perawatan untuk melihat apakah ada masalah dengan pemutus sirkuit yang tersandung tanpa alasan yang jelas.
3. Periksa transformator dari panas berlebihan. Jika ventilasi pendingin tidak terhalang dan transformator beroperasi terlalu panas, harmonik bisa menjadi masalah. Periksa arus transformator dengan ammeter yang mampu menunjukkan nilai arus RMS yang sebenarnya. Pastikan bahwa nilai tegangan dan arus transformator tidak terlampaui.

Penting untuk menggunakan ammeter yang merespon arus RMS yang sebenarnya saat melakukan pemeriksaan ini. Beberapa amperemeter merespon nilai rata-rata, bukan nilai RMS. Meteran yang merespon nilai RMS sebenarnya umumnya menyatakan ini pada meteran. Meteran yang merespon nilai rata-rata umumnya lebih murah dan tidak menyatakan bahwa itu adalah meteran RMS. Sebuah ammeter tipe penjepit yang merespon arus RMS yang sebenarnya ditunjukkan pada Gambar 20-5.



**GAMBAR 20-5** Ammeter RMS Sejati.

Meter yang merespon nilai rata-rata menggunakan penyearah untuk mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah. Nilai ini harus ditingkatkan dengan faktor 1,111 untuk mengubah pembacaan rata-rata menjadi nilai RMS untuk arus gelombang sinus. Pengukur respons RMS sejati menghitung efek pemanasan arus. Bagan pada Gambar 20-6 menunjukkan beberapa perbedaan antara meter penunjuk rata-rata dan meter RMS sebenarnya. Dalam bentuk gelombang yang terdistorsi, nilai arus RMS yang sebenarnya tidak akan lagi menjadi nilai rata-rata dikalikan dengan 1,111, Gambar 20-7. Bentuk gelombang yang terdistorsi umumnya menyebabkan nilai rata-rata sebesar 50% lebih kecil dari nilai RMS.

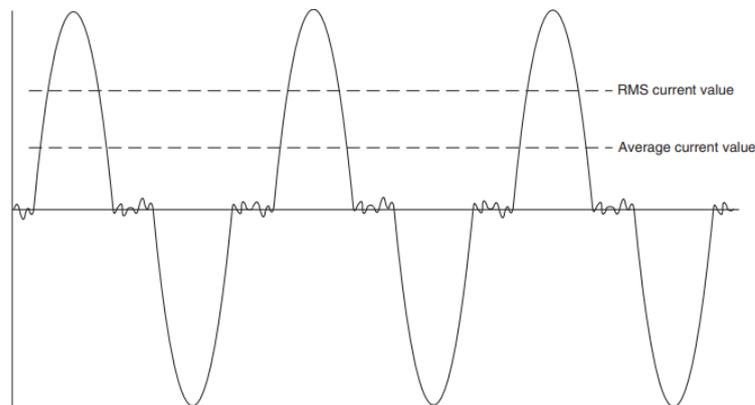
Metode lain untuk menentukan apakah ada masalah harmonik dalam sistem fase tunggal adalah dengan membuat dua pemeriksaan arus yang terpisah. Satu pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan amperemeter yang menunjukkan nilai RMS yang sebenarnya dan yang lainnya dilakukan dengan menggunakan meteran yang menunjukkan nilai rata-rata, Gambar 20-8. Dalam contoh ini, diasumsikan bahwa ammeter RMS yang sebenarnya menunjukkan nilai 36,8 ampere dan ammeter rata-rata menunjukkan nilai 24,8 ampere. Tentukan rasio kedua pengukuran dengan membagi nilai rata-rata dengan nilai RMS sebenarnya.

$$\begin{aligned} \text{Ratio} &= \frac{\text{Average}}{\text{RMS}} \\ &= \frac{24.8}{36.8} \\ &= 0.674 \end{aligned}$$

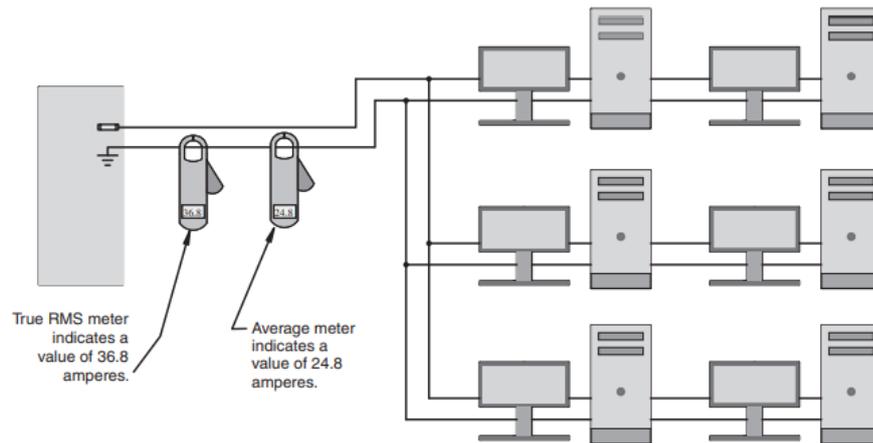
Rasio 1 akan menunjukkan tidak ada distorsi harmonik. Rasio 0,5 akan menunjukkan distorsi harmonik yang ekstrim. Metode ini tidak mengungkapkan nama atau urutan distorsi harmonik, tetapi memberikan indikasi bahwa ada masalah dengan harmonik. Metode yang paling akurat untuk menentukan apakah ada masalah harmonik adalah dengan menggunakan penganalisis harmonik. Penganalisis harmonik akan menentukan nama, urutan, dan jumlah distorsi harmonik yang ada dalam sistem. Alat analisa harmonik ditunjukkan pada Gambar 20-9.

Jenis ammeter	Respon gelombang sinus	Respon gelombang persegi	Respon gelombang terdistorsi
			
Rata-rata merespons	Benar	Kira-kira 10% tinggi	Sebesar 50% rendah
RMS sejati merespons	Benar	Benar	Benar

**GAMBAR 20-6** Perbandingan amperemeter respons rata-rata dan respons RMS sebenarnya.



**GAMBAR 20-7** Nilai arus rata-rata umumnya lebih besar dari nilai RMS sebenarnya dalam bentuk gelombang yang terdistorsi.



**GAMBAR 20-8** Menentukan masalah harmonik menggunakan dua amperemeter.



**GAMBAR 20-9** Alat analisa harmonik.

### 20.5 Menentukan Masalah Harmonik Pada Sistem 3 Fasa

Menentukan apakah ada masalah dengan harmonik dalam sistem 3 fase mirip dengan menentukan masalah dalam sistem satu fase. Karena masalah harmonik dalam sistem 3 fase umumnya terjadi pada sistem 4-kawat terhubung-wye, contoh ini akan mengasumsikan primer terhubung-delta dan sekunder terhubung-wye dengan netral tap-pusat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 20 -3. Untuk menguji distorsi harmonik dalam sistem 3-fase, 4-kawat, ukur semua arus fasa dan arus netral dengan ammeter penunjuk RMS sejati dan ammeter penunjuk rata-rata. Diasumsikan bahwa sistem 3 fasa yang diuji disuplai oleh transformator 200 kVA, dan nilai arus yang ditunjukkan pada Tabel 20-2 dicatat. Nilai saat ini menunjukkan bahwa masalah dengan harmonik memang ada dalam sistem. Perhatikan pengukuran arus yang lebih tinggi yang dilakukan dengan ammeter penunjuk RMS yang sebenarnya, dan juga fakta bahwa arus netral lebih tinggi daripada arus fase mana pun.

**TABEL 20-2** Mengukur fase dan arus netral dalam sistem 3-fase, 4-kawat terhubung-wye.

CONDUCTOR	TRUE RMS RESPONDING AMMETER	AVERAGE RESPONDING AMMETER
Phase 1	365	292
Phase 2	396	308
Phase 3	387	316
Neutral	488	478

## 20.6 Menangani Masalah Harmonik

Setelah ditentukan bahwa masalah harmonik ada, sesuatu harus dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut. Umumnya tidak praktis untuk melepas peralatan yang menyebabkan distorsi harmonik, sehingga metode lain harus digunakan. Sebaiknya konsultasikan dengan ahli kualitas daya untuk menentukan sifat pasti dan jumlah distorsi harmonik yang ada. Beberapa prosedur umum untuk menangani harmonik adalah sebagai berikut:

1. Dalam sistem 3-fase, 4-kawat, kurangi bagian 60-hertz dari arus netral dengan menyeimbangkan arus pada konduktor fasa. Jika semua fase memiliki arus yang sama, arus netral akan menjadi nol.
2. Jika terdapat harmonik rangkap tiga pada penghantar netral, tambahkan filter harmonik pada beban. Filter ini dapat membantu mengurangi jumlah harmonik pada saluran.
3. Tarik konduktor netral ekstra. Situasi yang ideal adalah menggunakan netral terpisah untuk setiap fase daripada menggunakan netral bersama.
4. Pasang konduktor netral yang lebih besar. Jika tidak praktis untuk mensuplai konduktor netral terpisah untuk setiap fase, tambah ukuran netral bersama.
5. Turunkan atau kurangi besaran beban pada trafo. Masalah harmonik umumnya melibatkan panas berlebih pada transformator. Dalam banyak kasus, transformator perlu diturunkan ke titik yang dapat menangani arus ekstra yang disebabkan oleh distorsi harmonik. Ketika hal ini dilakukan, biasanya perlu menambahkan trafo kedua dan membagi beban di antara keduanya.

## 20.7 Menentukan Faktor Penurunan Harmonik Trafo

Mungkin metode yang paling praktis dan langsung untuk menentukan faktor penurunan transformator direkomendasikan oleh Computer & Business Equipment Manufacturers Association. Untuk menggunakan metode ini, pengukuran dua ampere harus dilakukan. Salah satunya adalah arus RMS fase yang sebenarnya, dan yang kedua adalah arus fase puncak sesaat. Arus puncak sesaat dapat ditentukan dengan osiloskop yang terhubung ke probe arus atau dengan ammeter yang mampu mengukur nilai puncak. Banyak dari amperemeter penjepit digital mampu mengukur rata-rata, RMS sebenarnya dan nilai puncak arus. Untuk contoh ini, akan diasumsikan bahwa nilai arus puncak diukur untuk transformator

200 kVA yang dibahas sebelumnya. Nilai-nilai ini ditambahkan ke data sebelumnya yang diperoleh dengan amperemeter penunjuk RMS dan rata-rata yang sebenarnya, Tabel 20-3. Rumus untuk menentukan faktor penurunan harmonik transformator (THDF) adalah

$$\text{THDF} = \frac{(1.414)(\text{RMS phase current})}{\text{Instantaneous peak phase current}}$$

**TABEL 20-3** Arus puncak ditambahkan ke grafik.

CONDUCTOR	TRUE RMS RESPONDING AMMETER	AVERAGE RESPONDING AMMETER	INSTAN- TANEOUS PEAK CURRENT
Phase 1	365	292	716
Phase 2	396	308	794
Phase 3	387	316	737
Neutral	488	478	957

Rumus ini akan menghasilkan faktor penurunan di suatu tempat antara 0 dan 1,0. Karena nilai puncak sesaat arus sama dengan nilai RMS dikalikan 1,414, jika bentuk gelombang arus sinusoidal (tidak ada distorsi harmonik), rumus akan menghasilkan faktor penurunan sebesar 1,0. Setelah faktor penurunan ditentukan, kalikan faktor penurunan dengan kapasitas kVA transformator. Produk akan menjadi beban maksimum yang harus ditempatkan pada transformator. Jika arus fasa tidak sama, cari nilai rata-rata dengan menjumlahkan arus dan membaginya dengan 3.

$$\text{Phase (RMS)} = \frac{365 + 396 + 387}{3}$$

$$= 382.7$$

$$\text{Phase (peak)} = \frac{716 + 794 + 737}{3}$$

$$= 749$$

$$\text{THDF} = \frac{(1.414)(382.7)}{749}$$

$$= 0.722$$

Trafo 200 kVA dalam contoh ini harus diturunkan menjadi 144,4 kVA (200 kVA dikalikan 0,722).

## 20.8 Pertanyaan

Semua jawaban harus ditulis dalam kalimat lengkap. Perhitungan harus ditunjukkan secara rinci, dan referensi Kode harus dikutip bila perlu.

1. Berapa frekuensi harmonik kedua?

2. Manakah dari berikut ini yang termasuk harmonik rangkap tiga: ke-3, ke-6, ke-9, ke-12, ke-15, dan ke-18?
3. Apakah harmonik berputar positif atau harmonik berputar negatif lebih berbahaya bagi motor induksi? Jelaskan jawabanmu.
4. Instrumen apa yang harus digunakan untuk menentukan harmonik apa yang ada dalam sistem tenaga?
5. Trafo fase tunggal 22,5 kVA diuji dengan ammeter RMS sejati dan ammeter yang menunjukkan nilai puncak. Pembacaan RMS sebenarnya adalah 94 ampere. Pembacaan puncak adalah 204 ampere. Haruskah transformator ini diturunkan dan jika demikian berapa banyak?

## **BAB 21**

### **SPESIFIKASI LISTRIK**

Kontraktor listrik harus menyediakan dan memasang semua bahan listrik, peralatan, dan kabel listrik sesuai dengan rencana dan spesifikasi. Semua pekerjaan harus dilakukan dengan cara yang rapi dan seperti pekerja, dan harus sesuai dengan fitur arsitektural struktur dengan cara yang memuaskan. Selanjutnya disyaratkan bahwa semua pekerjaan kelistrikan, termasuk pemasangan peralatan, harus dilakukan sesuai dengan standar dan ketentuan NEC dan praktik perdagangan modern.

#### **21.1 Bahan**

Semua bahan listrik harus baru dan dari merek, jenis, dan deskripsi yang ditentukan. Semua instalasi listrik, sirkuit, kontrol, dan peralatan harus dalam kondisi operasi yang benar sebelum kontrak dianggap selesai.

#### **21.2 Petir**

Semua sirkuit penerangan yang terletak di dalam struktur harus diberi nilai 120 volt. Sirkuit ini harus dijalankan dari kotak panel daya seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana dan dijelaskan lebih lanjut dalam spesifikasi. Semua sirkuit penerangan harus diberi nilai 20 ampere kecuali untuk penerangan di area manufaktur. Pencahayaan ini akan memiliki nilai 50 ampere per sirkuit dan akan dihentikan dari troli busway 50 ampere sebagaimana ditentukan di tempat lain.

#### **21.3 Wadah Dan Saklar**

Semua stopkontak yang terletak di seluruh struktur harus diberi tegangan 125 volt dan disuplai dari kotak panel penerangan seperti yang ditunjukkan. Sirkuit stopkontak harus diberi nilai 20 ampere, dan stopkontak harus dari jenis pentanahan. Wadah tujuan khusus harus dipasang seperti yang ditunjukkan dan seperti yang dijelaskan lebih lanjut dalam spesifikasi. Semua sakelar dinding harus sakelar jepret penggunaan umum AC.

#### **21.4 Saluran**

Saluran yang lebih kecil dari ukuran 3/4 (21) tidak boleh dipasang di gedung.

#### **21.5 Konduktor**

Semua konduktor yang digunakan di dalam gedung yang lebih besar dari 12 AWG harus terdampar. Konduktor yang lebih kecil dari 12 AWG tidak boleh digunakan kecuali untuk perkawatan lumener. Kabel ini dapat terdiri dari 14 konduktor AWG atau 16 AWG. Penerangan dan konduktor sirkuit stopkontak harus memiliki insulasi tipe TW atau lebih tinggi. Konduktor yang digunakan untuk pengumpan dan tujuan lain dapat berupa jenis TW, THW, atau THWN, kecuali ditentukan lain.

### **21.6 Troli Busway Berjalan Untuk Pencahayaan**

Semua penerangan di dalam area manufaktur harus dihentikan dari busway troli 50-ampere, 2-kawat, 300 volt. Busway harus digantung dari kabel messenger yang dipasang di sepanjang bagian bawah pekerjaan rangka atap. Busway harus dipasok dari feed-in box seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana. Satu troli tipe terminal, dengan kotak outlet dan tali arde dan dilengkapi dengan roda logam, harus dilengkapi untuk menggantung setiap luminer. Dua penopang beban tugas berat harus disediakan untuk setiap unit penerangan. Lintasan harus ditopang oleh kabel pembawa pesan, dipasang pada batang-gantungan dan digantung dengan gantungan klip baja untuk setiap bagian busway 10 kaki (3 m). Jalur yang dipasang harus dibangun secara kaku dari bagian busway standar yang dihubungkan secara elektrik dan mekanis dengan kopling tipe teleskop yang mengunci sendiri. Persimpangan kopling harus memungkinkan lewatnya troli pengumpul arus tanpa hambatan. Perangkat tapoff saat ini harus berisi sarana untuk memberi makan beban listrik dan juga sarana untuk menghubungkan konduktor pembumian peralatan.

### **21.7 Troli Busway Berjalan Untuk Alat Listrik**

Jalur perakitan seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana harus dilengkapi dengan busway troli tipe industri 100 ampere, 208 volt, 3-fase, 3-kawat, yang digantung dengan batang atau gantungan tipe tali dari struktur atas pada ketinggian 8 kaki (2,5 m) dari lantai. Rakitan akhir harus kaku dalam konstruksi dan rapi dan simetris dalam penampilan. Gantungan harus ditempatkan pada jarak tidak lebih dari 5 kaki (1,5 m) di sepanjang lintasan. Adaptor feed-in harus dilengkapi untuk setiap putaran individu, dan perakitan harus dilengkapi dengan konektor bus untuk menyambungkan bus bar secara elektrik dan mekanis. Pelat ujung dengan lampiran bumper harus digunakan untuk menghentikan aliran saluran dan untuk mencegah kerusakan pada troli. Perangkat drop-out troli harus disediakan di bagian jalur standar seperti yang ditunjukkan pada rencana. Perangkat drop-out harus memiliki ketentuan untuk mengunci dalam posisi tertutup dan dibuat sedemikian rupa sehingga troli mudah diakses untuk dimasukkan atau dilepas. Troli harus dilengkapi dengan roda logam dan dengan ketentuan untuk membumikan peralatan. Satu troli harus dilengkapi untuk setiap 15 kaki (4,5 m), atau sebagian kecilnya, dari troli busway. Troli harus berupa gantungan alat tipe kotak dengan penarikan sekering 30 ampere, stopkontak pembumian, dan penjepit kabel.

### **21.8 Papan Pencahayaan Dan Daya**

Penerangan dan kotak panel daya harus ditempatkan seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana. Kotak panel ini harus diumpankan dari transformator tipe kering yang ditempatkan seperti yang ditunjukkan dan memiliki peringkat tegangan dan kilovolt-ampere seperti yang ditunjukkan pada bagian selanjutnya dari spesifikasi ini.

### **21.9 Kotak Outlet Dan Perlengkapannya**

Semua kotak outlet dan alat kelengkapan saluran harus dari jenis dan ukuran yang disyaratkan oleh NEC.

### **21.10 Transformer Jenis Kering**

Semua kotak panel harus diumpankan dari transformator tipe kering. Trafo harus 3 fasa dengan primer 480 volt dan sekunder 3 fasa, 4 kawat dengan nilai 208Y/120 volt. Titik netral dari semua sekunder transformator distribusi harus diardekan secara efektif pada transformator. Trafo harus dipasang di sepanjang dinding area pembuatan instalasi seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana dan harus memasok daya ke kotak panel melalui saluran saluran yang berisi konduktor dengan ukuran dan jenis yang ditentukan. Namun, transformator 75- dan 175-kVA yang terdaftar harus dipasang di lantai. Transformator harus disuplai dengan daya dari busway penyulang berventilasi yang ditunjuk sebagai Penyulang No. 1, seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana dan dijelaskan lebih lanjut dalam spesifikasi ini. Transformator tipe kering harus dilengkapi dengan insulasi Kelas B atau Kelas H dan harus dipasang sesuai dengan Pasal 450 NEC. Trafo harus memiliki peringkat seperti yang tercantum.

Kotak kabel tap dan aksesorisnya harus digunakan untuk menyediakan tap-off yang diperlukan dari feeder busway No. 1 untuk memasok primer transformator. Sakelar pemutus pelepasan tertutup yang sesuai harus dipasang di antara kotak keran kabel dan transformator.

### **21.11 Busway Pengumpan Berventilasi No. 1**

Sistem busway pengumpan berventilasi harus dipasang seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana. Saluran harus dinilai pada 1000 ampere dan harus dipasang dengan cara edgewise. Saluran harus dilengkapi dengan penutup ujung, siku tepi, dan tee jika diperlukan untuk membelokkan sudut dan untuk melengkapi sistem seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana. Busway pengumpan ini harus dipasang dengan panjang standar 10 kaki (3 m) jika memungkinkan. Busway harus terdaftar oleh UL, dan semua bagian busway harus diberi label demikian. Kotak keran kabel dan sakelar pemutus fusi dengan ukuran dan peringkat yang sesuai harus dipasang di setiap lokasi transformator. Saluran dan perlengkapan yang diperlukan harus disuplai untuk menghubungkan transformator melalui kotak kabel ke sakelar pengaman.

### **21.12 Pengumpan Busway No. 2**

Sistem kedua dari feeder busway berventilasi harus dipasang seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana dan akan dikenal sebagai Feeder No. 2. Sistem ini harus dipasang secara datar dan harus memiliki rating arus 1600 ampere. Sistem ini harus dimulai pada bagian tegangan rendah dari unit gardu (akan dijelaskan kemudian dalam spesifikasi ini) dan akan meluas ke pusat perkiraan area manufaktur seperti yang ditunjukkan. Pada titik ini, bagian tee harus dipasang, dan feeder kemudian harus memanjang ke arah utara dan selatan ke titik di mana jalur busway plug-in paling utara dan selatan berada, seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana. Bilik pemutus arus yang berisi dua pemutus arus 225 ampere harus disediakan untuk menghubungkan dan melindungi busway plug-in yang ditunjukkan pada gambar rencana. Lima dari bilik pemutus sirkuit ganda harus disediakan dan dipasang di sisi lain dari busway pengumpan No. 2. Busway plug-in harus memanjang di kedua arah, timur dan barat, dari bilik ini.

### 21.13 Busway Terpasang (*Plug-in*)

Busway plug-in harus dipasang seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana. Busway harus memiliki daya dukung arus sebesar 225 ampere dan harus memuat tiga busbar. Seluruh sistem harus ditopang pada ketinggian 12 kaki (3,7 m) di atas lantai dengan gantungan klem standar dan harus memiliki kekuatan dan kekakuan maksimum.

**Tabel 21.1** Kotak Panel Listrik Untuk Gedung Industri

PANELBOARD NO.	LOCATION	MAINS	VOLTAGE RATING	NO. OF CIRCUITS	BREAKER RATINGS	POLES	PURPOSE
P-1	Basement N. Corridor	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	19 2 5	20 A 20 A 20 A	1 2 1	Lighting and Receptacles Spares
P-2	1st Floor N. Corridor	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	24 2 0	20 A 20 A	1 2	Lighting and Receptacles Spares
P-3	2nd Floor N. Corridor	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	24 2 0	20 A 20 A	1 2	Lighting and Receptacles Spares
P-4	Basement S. Corridor	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	24 2 0	20 A 20 A	1 2	Lighting and Receptacles Spares
P-5	1st Floor S. Corridor	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	23 2 1	20 A 20 A 20 A	1 2 1	Lighting and Receptacles Spares
P-6	2nd Floor S. Corridor	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	22 2 2	20 A 20 A 20 A	1 2 1	Lighting and Receptacles Spares
P-7	Mfg. Area N. Wall E.	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	5 7 2	50 A 20 A 20 A	1 1 1	Lighting and Receptacles Spares
P-8	Mfg. Area N. Wall W.	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	5 7 2	50 A 20 A 20 A	1 1 1	Lighting and Receptacles Spares
P-9	Mfg. Area S. Wall E.	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	5 7 2	50 A 20 A 20 A	1 1 1	Lighting and Receptacles Spares
P-10	Mfg. Area S. Wall W.	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	5 7 2	50 A 20 A 20 A	1 1 1	Lighting and Receptacles Spares
P-11	Mfg. Area East Wall	Lugs only 225 A	208 V 3 $\phi$ , 3 W	6	20 A	3	Blowers and Ventilators
P-12	Boiler Room	Breaker 100 A	208/120 V 3 $\phi$ , 4 W	10 4	20 A 20 A	1 1	Lighting and Receptacles Spares
P-13	Boiler Room	Lugs only 225 A	208 V 3 $\phi$ , 3 W	6	20 A	3	Oil Burners and Pumps
P-14	Mfg. Area East Wall	Lugs only 400 A	208 V 3 $\phi$ , 3 W	3 2 1	175 A 70 A 40 A	3 3 3	Chillers Fan Coil Units Fan Coil Units
P-15	Mfg. Area West Wall	Lugs only 600 A	208 V 3 $\phi$ , 3 W	5	100 A	3	Trolley Busway and Elevator

Busbar harus dibuat dari tembaga murni dengan konduktivitas 98 persen dan harus berlapis perak sepanjang panjangnya untuk memastikan kontak listrik yang baik di setiap titik sambungan dan di setiap titik plug-in. Bukaan plug-in lepas landas harus ditempatkan pada interval yang nyaman di sepanjang kedua sisi busway. Bukaan plug-in ini harus dibagi rata dan bergantian di kedua sisi busway. Jalur busway plug-in harus dilengkapi dengan penutup ujung di ujung jalur. Satu unit plug-in dengan ukuran dan peringkat yang tepat harus dilengkapi untuk setiap titik lepas landas untuk mengoperasikan mesin individu seperti yang dijelaskan lebih lanjut dalam spesifikasi ini.

### 21.14 Sirkuit Cabang Motor Dan Pengumpan

Sirkuit cabang motor dan pengumpan harus dipasang seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana. Sirkuit dan pengumpan ini harus terdiri dari steker peleburan yang dimasukkan ke dalam sistem busway dan karet fleksibel tipe SJ tugas berat, kabel 4-kawat yang mengalir ke masing-masing mesin. Kabel karet harus memiliki konduktor 3 fase dan satu konduktor pembumian peralatan hijau.

Kabel senur harus ditopang di bawah tegangan baik secara horizontal maupun vertikal dengan pelepas regangan dan pegangan kabel dan aksesoris. Satu pegas pengaman seberat 80 pon harus digunakan pada setiap steker bus untuk memulai jalur kabel horizontal. Dua pegangan kabel harus digunakan pada titik di mana kabel berubah dari penurunan horizontal ke vertikal ke mesin. Satu pegas pengaman seberat 80 pon harus digunakan sehubungan dengan dua pegangan ini. Satu pegangan kabel harus disediakan di ujung bawah jalur kabel vertikal serta satu pegangan. Setiap tali karet harus rata dan montok dan harus menampilkan penampilan yang rapi dan simetris.

### 21.15 Motor Dan Pengontrol

Mesin dan peralatan mesin yang ditunjukkan untuk tata letak mesin di area produksi pabrik harus dipasang oleh kontraktor lain. Motor dan pengontrol yang digunakan untuk menggerakkan dan mengendalikan mesin ini, bagaimanapun, harus dihubungkan ke sirkuit cabang motor dan pengumpan dengan kabel karet jatuh, dan harus diuji untuk operasi listrik yang memuaskan oleh kontraktor ini. Semua mesin yang terdaftar untuk pabrik harus memiliki drive dan kontrol built-in dan ditata seperti yang ditunjukkan pada Lembar E-2 dari rencana dan seperti yang dijelaskan dalam spesifikasi ini.

**Tabel 21.2** Transformer Tipe Kering 3 Fasa

TRANSFORMER NO.	kVA RATING	PRIMARY VOLTAGE	SECONDARY VOLTAGE	SUPPLIES PANELBOARD NO.
T-A	50	480	208/120Y	P-1
				P-2
				P-3
T-B	50	480	208/120Y	P-4
				P-5
				P-6
T-C	50	480	208/120Y	P-7
				P-8
T-D	50	480	208/120Y	P-9
				P-10
T-E	100	480	208/120Y	P-14
T-F	75	480	208/120Y	P-11
				P-12
				P-13
T-G	175	480	208/120Y	P-15

### 21.16 Unit Presipitasi

Unit presipitasi harus dilengkapi dan dipasang di bagian belakang setiap penggilingan vertikal, mesin bubut turret, dan gerinda silindris. Semua perkawatan dan sambungan yang diperlukan untuk menyelesaikan pemasangan harus dilengkapi, dan pekerjaan yang terlibat harus dilakukan oleh kontraktor listrik. Pekerjaan ini harus mencakup pengadaan dan

pemasangan transformator yang diperlukan untuk menyediakan 230 dan/atau 115 volt yang dibutuhkan untuk unit pengendalian.

### 21.17 Kondensor Sinkron

Dua kondensor sinkron dengan nilai 350 kVAR, 480 volt, 60 hertz, dan 600 RPM, dengan eksitator yang terhubung langsung dan kotak panel kontrol otomatis, harus dilengkapi dan dipasang seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana. Kondensor sinkron dan peralatan bantu harus dipasang dan dihubungkan ke busway pengumpulan No. 2 melalui kotak kabel tap dan saluran saluran ke setiap kotak panel kontrol. Dua kabel secara paralel akan membentuk masing-masing dari tiga fase yang diperlukan. Semua pekerjaan pengkabelan dan pemasangan listrik yang berhubungan dengan kotak panel kendali, pembangkit listrik, dan kondensor sinkron harus dilakukan oleh kontraktor listrik. Mesin harus diuji dan ditempatkan dalam kondisi operasi yang memuaskan.

**Tabel 21.3** Jadwal Mesin Yang Dihubungkan Dari Sistem Busway Di Wilayah Manufaktur

CODE NO.	TYPE OF MACHINE	NO USED	TYPE AND NUMBER OF MOTORS	TYPE OF CONTROL	Hp	AMPERES FULL LOAD	PLUG-IN FUSIBLE SWITCH RATING	TIMBERLY FUSE SIZE
MA	Engine Lathes	20	1 Squirrel Cage	Line Starter For. and Rev.	5.0	7.6	30	15
MB	Turret Lathes	10	1 Squirrel Cage	Line Starter	7.5	11.0	30	20
MC	Vertical Drills	12	1 Squirrel Cage	Line Starter	1.0	1.8	30	15
MD	Multispindle Drills	8	1 Four Speed, Two Winding	Reduced Voltage and Cam. Sw.	10.0	14.0	30	30
ME	Milling Machines	6	3 Squirrel Cage	Primary Resistor	10.0 1.0 1.0	14.0 1.8 1.8	30	30
MF	Shapers	6	1 Squirrel Cage	Line Starter	7.5	11.0	30	20
MG	Vertical Boring Mills	5	1 DC Shunt 3 Squirrel Cage	Electronic Control Line Starters	25.0 3.0 3.0 3.0	34.0 4.8 4.8 4.8	100	90
MH	Planers	3	1 DC Shunt	Electronic Control	25.0	34.0	60	60
MI	Power Hacksaws	6	1 Squirrel Cage	Line Starter	3.0	4.8	30	15
MJ	Band Saws	4	1 Squirrel Cage	Line Starter	5.0	7.6	30	15
MK	Surface Grinders	6	1 Squirrel Cage	Line Starter	10.0	14.0	30	30
ML	Cylindrical Grinders	10	1 Squirrel Cage	Line Starter	7.5	11.0	30	20
MN	Punch Presses	10	1 Wound Rotor	Secondary Resistor	10.0	14.0	30	30
MO	Special Machines	5	1 Squirrel Cage	Line Starter	5.0	7.6	30	15

**Tabel 21.4** Jadwal Outlet Receptacle

PANELBOARD NO.	NO. DUPLEX GROUNDING RECEPTACLES	NO. 208 V RECEPTACLES 2-POLE AND GR.	TOTAL NO. CIRCUITS IN PANELBOARD	NO. CIRCUITS RESERVED FOR LIGHT	NO. CIRCUITS RESERVED FOR RECEPTACLES	SPARE CIRCUITS LEFT IN PANELBOARD
P-1	15	2	28	16	3	5
P-2	24	2	28	16	8	0
P-3	24	2	28	16	8	0
P-4	15	2	28	19	5	0
P-5	24	2	28	17	6	1
P-6	24	2	28	14	8	2
P-7	15		14	5	7	2
P-8	15		14	5	7	2
P-9	15		14	5	7	2
P-10	15		14	5	7	2
P-12	12		14	6	4	4

Copyright © 2010 Cengage Learning.

### 21.18 Blower Atap

Empat blower ventilasi harus dipasang di atap struktur pabrik. Blower ini harus dihubungkan ke panelboard No. P-11. Dua blower ventilasi tambahan harus dipasang di atap struktur kantor seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana. Konduit dan konduktor untuk blower ini juga harus dipasang dan dihubungkan ke kotak panel No. P-11. Semua blower harus dikendalikan oleh starter saluran dengan kontrol tombol tekan. Kontraktor listrik harus memasang, di kedua sisi kotak panel No. P-11, bagian busway atau wireway 6 inci (150 mm), dari mana starter saluran akan dihubungkan oleh puting saluran yang diperlukan dan perlengkapan yang diperlukan untuk memberi makan enam sirkuit blower.

### 21.19 Catu Daya Elevator

Pemasangan elevator tidak boleh dilakukan oleh kontraktor listrik. Namun, sirkuit suplai untuk operasi elevator harus dipasang. Sirkuit ini harus berupa sirkuit 3 fase, 208 volt dan harus dipasang dari kotak panel No. P-15. Sirkuit harus dijalankan ke penthouse lift.

### 21.20 Peralatan AC

Semua peralatan AC harus disuplai dengan daya dari kotak panel No. P-14 seperti yang dijelaskan di bagian lain dalam spesifikasi. Kontraktor listrik harus menyediakan dan memasang tiga pendingin cair seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana. Pendingin ini harus dihubungkan dengan saluran ke kotak panel P-14. Sepuluh unit koil kipas harus dipasang oleh kontraktor listrik dan harus dihubungkan dengan saluran ke kotak panel No. P-14. Instalasi harus diatur untuk terdiri dari tiga sirkuit, dua di antaranya harus memiliki empat unit koil kipas yang terhubung ke setiap sirkuit. Dua unit koil kipas yang dipasang untuk mendinginkan struktur kantor harus dihubungkan bersama pada satu sirkuit. Semua pemipaan antara liquid chiller dan unit fan coil harus dilakukan oleh kontraktor lain.

### 21.21 Sistem Paging

Sistem *paging* harus dipasang seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana. Ini harus dilengkapi dengan empat sinyal lonceng industri yang dapat didengar di struktur kantor. Dua dari sinyal paging yang ditempatkan di instalasi harus berupa lonceng takar tunggal. Unit dua puluh panggilan harus dipasang di papan sambungan telepon di dekat meja penerima tamu.

### **21.22 Sistem Jam Dan Program**

Sistem jam harus dipasang di bagian kantor gedung. Jam harus dikendalikan oleh kotak panel kontrol yang dipasang rata dan disetel ulang secara otomatis yang terletak di belakang meja penerima tamu. Instrumen program dua sirkuit harus dipasang di lokasi yang sama dan harus bekerja bersama dengan sistem jam. Semua detail pemasangan harus sesuai dengan petunjuk pemasangan yang diberikan oleh pabrikan. Dua 8-in. (200-mm) jam pilot harus dilengkapi dan dipasang.

### **21.23 Sistem Alarm Kebakaran**

Sistem kotak alarm kebakaran dan sirene (klakson) harus dipasang di gedung. Sistem harus diawasi, sirkuit tertutup, sistem kota-terhubung dirancang untuk operasi kode. Sistem harus dipasang sesuai dengan petunjuk pemasangan yang diberikan oleh pabrikan. Delapan kotak stasiun dan tujuh sirene (klakson) kebakaran harus dilengkapi dan dipasang di pabrik pada titik-titik yang ditunjukkan pada rencana. Kotak panel kontrol yang dipasang di permukaan harus dipasang di kamar petugas kebersihan. Stasiun-stasiun dalam struktur kantor harus dipasang rata. Stasiun harus dipasang di permukaan di pabrik. Sirene kebakaran harus dipasang di bagian kantor, dengan klakson megafon dipasang di tempat lain.

### **21.24 Unit Gardu Induk**

Sebuah unit gardu harus dipasang seperti yang ditunjukkan pada gambar rencana. Gardu induk harus terdiri dari seksi tegangan tinggi, transformator berpendingin udara, dan seksi tegangan rendah. Sebuah pothead pada bagian tegangan tinggi harus dilengkapi dan dihubungkan ke daya masuk. Bagian tegangan tinggi harus dilengkapi dengan pemutus beban, sakelar pemutus udara dan juga harus dapat mengakomodasi transformator arus tegangan tinggi dan potensial untuk keperluan pengukuran. Saluran harus disediakan untuk membawa sekunder tegangan rendah dari transformator instrumen ke lokasi yang ditunjukkan. Blok uji dan trim meter yang sesuai harus dilengkapi untuk mengakomodasi meter watt-jam.

Bagian transformator harus dilengkapi dengan transformator 3 fase tipe kering dengan nilai 1500 kVA dengan primer 4160 volt dan sekunder 480 volt. Trafo harus berpendingin udara dan memiliki insulasi kelas B. Bagian tegangan rendah dari unit gardu induk harus dilengkapi dengan dua pemutus sirkuit tipe draw-out dengan nilai 1000 dan 1600 ampere pada 480 volt. Ruang harus disediakan untuk satu pemutus masa depan. Pemutus 1000 ampere harus terhubung ke feeder busway No. 1, dan pemutus 1600 ampere harus terhubung ke feeder busway No. 2.

### **21.25 Fasilitas Pengukuran Tegangan Tinggi**

Kontraktor listrik harus memasang fasilitas untuk pengukuran tegangan tinggi dari daya yang digunakan dalam bangunan industri. Dua saluran ukuran 3/4 (21) harus dijalankan dari bagian tegangan tinggi dari unit gardu ke titik yang ditunjukkan pada dinding samping ceruk platform pemuatan di ujung timur atau belakang bangunan. Sebuah lemari baja dengan kunci dan kunci harus dipasang pada titik di mana kedua saluran berakhir. Kabinet harus berukuran 30 inci kali 30 inci (750 mm kali 750 mm) dan harus memiliki kedalaman 20 inci

(525 mm). Tempat soket meter ganda harus dipasang langsung di atas kabinet dan harus dihubungkan ke kabinet dengan menggunakan puting saluran ukuran 1 (27). Soket meteran sebelah kiri harus disambungkan untuk menerima meter watt-jam dua elemen standar.

Meteran ini akan dipasang oleh karyawan perusahaan listrik. Soket meteran sebelah kanan harus disambungkan untuk menerima meteran kilovolt-ampere-jam standar dua elemen reaktif. Meteran ini akan dipasang oleh kontraktor listrik. Semua perkawatan di saluran mengalir dari transformator arus dan potensial yang terletak di bagian tegangan tinggi gardu induk unit ke kabinet meteran, dan soket meteran harus disambungkan dengan 12 konduktor AWG. Sebuah autotransformator yang dirancang untuk digunakan dengan meter kilovolt-ampere-jam reaktif harus dipasang di kabinet dan semua sambungan yang diperlukan dibuat. Trafo arus dan potensial yang terletak di kompartemen tegangan tinggi harus dilengkapi sebagai bagian integral dari unit gardu induk.

### 21.26 Raceway Telepon

Sistem jalur telepon harus dipasang sesuai dengan jadwal berikut. Kotak lantai atau kotak dinding harus disediakan seperti yang terdaftar dan seperti yang ditunjukkan pada rencana. Setelah selesai, kabel ikan yang ditandai harus ditinggalkan di semua saluran untuk memudahkan pemasangan kabel oleh perusahaan telepon. Sebuah persimpangan atau kotak tarik harus disediakan di kamar petugas kebersihan di pintu masuk saluran yang mengalir dari tiang telepon. Sebuah lubang lubang, berdiameter 3/8 inci, harus dibor pada titik terendah di siku pada tiang dan sumur kering yang dibangun untuk menerima drainase apapun. Kotak tarik kedua harus ditempatkan di saluran yang mengalir dari ruang ketel ke outlet telepon kafeteria. Tidak ada lari telepon individu yang panjangnya lebih dari 150 kaki (45 m), juga tidak boleh ada lintasan yang mengandung lebih dari setara dengan dua perempat tikungan.

**Tabel 21.5** Jadwal Menjalankan Peralatan Telephone

FROM TERMINAL CABINET TO	PHONE OUTLETS ON RUN	FLOOR BOX	WALL BOX	CONDUIT SIZES	
Outside Pole	—	—	—	3	(78)
PBX Board	—	—	—	1½	(41)
Dial Switch Unit	—	—	—	1½	(41)
Rectifier	—	—	—	1½	(41)
Drafting and Engineering	3	—	3	1	(27)
General Offices and Engineering	3	2	1	1	(27)
Exec. Suite No. 1	3	3	—	1	(27)
Exec. Suite No. 2 and No. 6	3	3	—	1	(27)
Exec. Suite No. 3	3	2	1	1	(27)
Exec. Suite No. 4 and Receptionist	3	2	1	1	(27)
Exec. Suite No. 5	3	3	—	1	(27)
Public Phones	2	—	1	1	(27)
Cafeteria, Custodian, Boiler Room	3	—	3	1	(27)
Shipping Dept. and Manufacturing Area	3	—	3	1	(27)
Receiving Dept. and Manufacturing Area	3	—	3	1	(27)

Copyright © 2015 Cengage Learning®.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bergeron, R., (2006)., Power Quality Measurement Protocol: CEA Guide to Performing Power Quality Surveys, CEA Report 220 D 771
- Bollen, M.H.J., (1997). Characterization of voltage sags experienced by three-phase adjustable-speed drives, *IEEE Trans. on Power Delivery*, 12, 4, 1666–1671.
- Bollen, M.H.J., (1995). The influence of motor reacceleration on voltage sags, *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, 31, 4, 667–674.
- Bollen, M.H.J., (1998). Method of critical distances for stochastic assessment of voltage sags, *IEE Proceedings—Generation, Transmission and Distribution*, 145, 1, 70–76.
- Bollen, M.H.J., (1999). *Solving Power Quality Problems, Voltage Sags and Interruptions*, IEEE Press,
- Bollen, M.H.J., Wang, P., Jenkins, N., (1996). Analysis and consequences of the phase jump associated with a voltage sag, in *Power Systems Computation Conference*, Dresden, Germany.
- Bollen, M.H.J., Zhang, L.D., (2000). Analysis of voltage tolerance of adjustable-speed drives for three-phase balanced and unbalanced sags, in *IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference*, Sparks, Nevada, May 1999. Scheduled to appear in *IEEE Transactions on Industry Applications*.
- Brian Scaddan, (2019), 18th Edition IET Wiring Regulations: Design and Verification of Electrical Installations, 9th ed, 978-1-138-60600-5
- Brian Scaddan, (2019), 18th Edition IET Wiring Regulations: Explained and Illustrated, 11th ed, 978-1-138-60605-0
- Brian Scaddan, (2019), 18th Edition IET Wiring Regulations: Electric Wiring for Domestic Installers, 16th ed, 978-1-138-60602-9
- Brian Scaddan, (2019), 18th Edition IET Wiring Regulations: Inspection, Testing and Certification, 9th ed, 978-1-138-60607-4
- Brian Scaddan, (2019), *Electrical Installation Work*, 8th ed, 978-1-138-84927-3
- Brian Scaddan, (2019), *PAT: Portable Appliance Testing*, 4th ed, 978-1-138-84929-7
- Brian Scaddan, (2019), *The Dictionary of Electrical Installation Work*, 978-0-08-096937-4
- Carunaiselvane, C., Chelliah, T.R. (2017), Present trends and future prospects of asynchronous machines in renewable energy systems, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 74 1028e1041.

- Conrad, L., Little, K., Grigg, C., (1991). Predicting and preventing problems associated with remote faultclearing voltage dips, *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, 27, 1, 167–172.
- Fan, P., Ouyang, Basnou, Z. Pino, C., Park, J., Chen, H. J. (2017) Nature-based solutions for urban landscapes under post-industrialization and globalization: Barcelona versus Shanghai, *Environ. Res.* 156 272e283.
- IEC 1000-3-3, (1994). Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 3: Limits — Part 3: Limitation of Voltage Fluctuations and Flicker in Low-Voltage Supply Systems for Equipment with Rated Current. Taylor & Francis Group, LLC.
- IEC 1000-3-5, (2006), Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 3: Limits — Part 5: Limitation of Voltage Fluctuations and Flicker in Low-Voltage Supply Systems for Equipment with Rated Current, Taylor & Francis Group, LLC.
- IEEE (1992). Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment, IEEE Std. 1100
- IEEE (1997). Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems (The Gold Book), IEEE Std. 493
- IEEE (1998). Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility with Electronic Process Equipment, IEEE Std. 1346
- Key, T.S., (1979). Diagnosing power-quality related computer problems, *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, 15, 4, 381–393.
- Kirke, B.K. Paillard, B. (2017) Predicted and measured performance of a vertical axis wind turbine with passive variable pitch compared to fixed pitch, *Wind Eng.* 41 (1) 74e90.
- McGranaghan, M.F., Mueller, D.R., Samotej, M.J., (1993). Voltage sags in industrial power systems, *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, 29, 2, 397–403.
- Pillai, R., Narayanan, S., Swindale, G. (2016). Benefits and Challenges of a Grid Coupled Wound Rotor Synchronous Generator in a Wind Turbine Application, Technical Information from Cummins Generator Technologies, Issue number: WP102.
- Rioual, P., Pouliquen, H., Louis, J.-P., (1996.) Regulation of a PWM rectifier in the unbalanced network state using a generalized model, *IEEE Trans. on Power Electronics*, 11, 3, 495–502.
- Sakulin, M. and Key, T.S., (1997). UIE=IEC Flicker Standard for Use in North America: Measuring Techniques and Practical Applications, in *Proceedings of PQA'97*.
- Schwartzenberg, J.W., DeDoncker, R.W., (1995)., 15 kV medium voltage transfer switch, *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, Orlando, FL, 2515–2520.
- Seebald, R.C., Buch, J.F., and Ward, D.J., (1985). Flicker Limitations of Electric Utilities, *IEEE Trans. on Power Appar. Syst.*, PAS-104, 9.

- Smith, R.K., Slade, P.G., Sarkozi, M., Stacey, E.J., Bonk, J.J., Mehta, H., (1993). Solid state distribution current limiter and circuit breaker: application requirements and control strategies, IEEE Trans. on Power Delivery, 8, 3, 1155–1164.
- Strangas, E.G., Wagner, V.E., Unruh, T.D., (1996), Variable speed drives evaluation test, IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, San Diego, CA, 2239–2243.
- UIE (1999). WG on Disturbances, Guide to Quality of Electrical Supply for Industrial Installations, Part 5: Flicker and Voltage Fluctuations.
- van Zyl, A., Enslin, J.H.R., Spe´e, R., (1996). Converter-based solution to power quality problems on radial distribution lines, IEEE Trans. on Ind. Appl., 32, 6, 1323–1330.
- Wang, P., Jenkins, N., Bollen, M.H.J., (1998). Experimental investigation of voltage sag mitigation by an advanced static VAr compensator, IEEE Trans. on Power Delivery, 13, 4, 1461–1467.
- Woodley, N., Sarkozi, M., Lopez, F., Tahiliani, V., Malkin, P., (1994)., Solid-state 13-kV distribution class circuit breaker: planning, development and demonstration, IEE Conf on Trends in Distribution Switchgear, London, U.K., 163–167.
- Woodley, N.H., Morgan, L., Sundaram, A., (1999). Experience with an inverter-based dynamic voltage restorer, IEEE Trans. on Power Delivery, 14, 3, 1181–1186.
- Yalcinkaya, G., Bollen, M.H.J., Crossley, P.A., (1998). Characterisation of voltage sags in industrial distribution systems, IEEE Trans. on Ind. Appl., 34, 4, 682–688.
- Youinou, G.J. (2016) Powering sustainable low-carbon economies: some facts and figures, Renew. Sustain. Energy Rev. 53 1626e1633.