



TEKNIK PEMANFAATAN TENAGA LISTRIK JILID 1

untuk SMK

Prih sumardjati, dkk.



JILID 1

Prih Sumardjati, dkk.

Teknik Pemanfaatan TENAGA LISTRIK

untuk
Sekolah Menengah Kejuruan



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Prih Sumardjati, dkk.

TEKNIK PEMANFAATAN TENAGA LISTIK JILID 1

SMK



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

TEKNIK PEMANFAATAN TENAGA LISTRIK JILID 1

Untuk SMK

Penulis Utama : Prih Sumardjati
Sofian Yahya
Ali Mashar
Editor : Miftahu Soleh
Perancang Kulit : Tim

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

SUM SUMARDJATI, Prih
t Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1 untuk SMK /oleh
Prih Sumardjati, Sofian Yahya, Ali Mashar ---- Jakarta : Direktorat
Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal
Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen
Pendidikan Nasional, 2008.
xxiv. 221 hlm
Daftar Pustaka : 222-224
ISBN : 978-979-060-094-2

Diterbitkan oleh
Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, 17 Agustus 2008
Direktur Pembinaan SMK

PENGANTAR

Sebagai jawaban terhadap kebutuhan dunia kerja, Pemerintah telah mengembangkan kurikulum Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) menjadi kurikulum berbasis kompetensi. Dengan kurikulum ini diharapkan SMK mampu menghasilkan lulusan-lulusan yang kompeten untuk menjadi tenaga kerja profesional di dunia kerja sehingga dapat meningkatkan taraf hidup sendiri maupun keluarga serta masyarakat dan bangsa Indonesia pada umumnya.

Kelompok Teknologi Bidang Teknik Listrik, yang merupakan salah satu bagian dari Kelompok Teknologi yang dikembangkan di lingkungan SMK, telah mengklasifikasikan lingkup kompetensinya menjadi empat Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP), yaitu: (1) KTSP Pembangkit Tenaga Listrik, (2) KTSP Transmisi Tenaga Listrik, (3) KTSP Distribusi Tenaga Listrik, dan (4) KTSP Pemanfaatan Tenaga Listrik.

KTSP Pembangkit Tenaga Listrik meliputi sumber energi dan proses konversinya sampai menjadi energi listrik, **KTSP Transmisi Tenaga Listrik** menitikberatkan pada aspek pengiriman daya listrik dari pusat pembangkit sampai ke gardu distribusi, **KTSP Distribusi Tenaga Listrik** meliputi pendistribusian tenaga listrik dari gardu distribusi ke pusat-pusat beban, dan **KTSP Pemanfaatan Tenaga Listrik** mencakup ranah bagaimana listrik dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan para pemakainya yang dampaknya dapat dirasakan secara langsung.

Buku Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik ini disusun berdasarkan profil kompetensi KTSP Pemanfaatan Tenaga Listrik. Oleh karena itu, buku ini akan sangat membantu para siswa SMK Teknik Listrik dalam mengenal dan memahami teknik pemanfaatan tenaga listrik di industri maupun dalam kehidupan sehari-hari. Dengan pemahaman yang dimiliki, diharapkan dapat menyokong profesionalitas kerja para lulusan yang akan memasuki dunia kerja. Bagi para guru SMK, buku ini dapat digunakan sebagai salah satu referensi sehingga dapat membantu dalam mengembangkan materi pembelajaran yang aktual dan tepat guna. Buku ini juga bisa digunakan para alumni SMK untuk memperluas pemahamannya di bidang pemanfaatan tenaga listrik terkait dengan bidang kerjanya masing-masing.

Buku ini dibagi menjadi enam bab, yaitu: (1) Bahaya Listrik dan Sistem Pengamanannya, (2) Instalasi Listrik, (3) Peralatan Listrik Rumah Tangga, (4) Sistem Pengendalian, (5) Mesin-mesin Listrik, dan (6) PLC. Bab-bab yang termuat di dalam buku ini mempunyai keterkaitan antara satu dan lainnya yang akan membentuk lingkup pemahaman pemanfaatan tenaga listrik secara komprehensif, yang dapat dianalogikan sebagai suatu sistem industri, dimana tercakup aspek penyaluran tenaga listrik secara spesifik ke sistem penerangan dan beban-beban lain (Instalasi Listrik), pemanfaatan tenaga listrik untuk keperluan rumah tangga (Peralatan Listrik Rumah Tangga), penyediaan dan pemanfaatan tenaga tenaga listrik untuk sistem permesinan industri (Mesin-mesin Listrik) dan saran pengendalian tenaga listrik yang dibutuhkan dalam proses produksi (Sistem Pengendalian dan PLC) serta pemahaman terhadap cara kerja yang aman di bidang kelistrikan (Bahaya Listrik dan Sistem Pengamanannya).

Jadi dengan buku ini diharapkan terbentuk pemahaman sistem pemanfaatan tenaga listrik secara komprehensif dan bisa menjadi sumber belajar bagi siswa SMK Teknik Listrik dan referensi bagi para guru pengampu KTSP Pemanfaatan Tenaga Listrik.

Terlepas dari itu semua, penulis menyadari bahwa dengan segala keterbatasan pada penulis, buku ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis harapkan kritik dan saran masukan dari para pengguna buku ini, terutama para siswa dan guru SMK yang menjadi sasaran utamanya, untuk digunakan dalam perbaikannya pada waktu mendatang.

Penulis mengucapkan terima kasih dan menyampaikan rasa hormat kepada Direktur Pembinaan SMK, Kasubdit Pembelajaran, beserta staf atas kepercayaan dan kerjasamanya dalam penulisan buku ini serta semua pihak yang telah memberi dorongan semangat dan bantuannya baik langsung maupun tidak langsung atas tersusunnya buku ini. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dengan pahala yang berlipat ganda.

Semoga buku ini bermanfaat bagi banyak pihak dan menjadi bagian amal jariah bagi para penulis dan pihak-pihak yang terlibat dalam proses penyusunan buku ini.
Amin

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xxiii
1. BAHAYA LISTRIK DAN SISTEM PENGAMANANNYA	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Bahaya Listrik	1
1.3. Bahaya Listrik bagi Manusia	2
1.3.1. Dampak sengatan listrik bagi manusia	2
1.3.2. Tiga faktor penentu tingkat bahaya listrik	2
1.3.3. Proses Terjadinya Sengatan Listrik	4
1.3.4. Tiga faktor penentu keseriusan akibat sengatan listrik	4
1.3.5. Kondisi-kondisi Berbahaya	6
1.3.6. Sistem Pengamanan terhadap Bahaya Listrik	7
1.3.7. Alat Proteksi Otomatis	10
1.3.8. Pengaman pada peralatan portabel	12
1.3.9. Prosedur Keselamatan Umum	13
1.3.10. Prosedur Keselamatan Khusus	15
1.4. Bahaya Kebakaran dan Peledakan	17
1.4.1. Penyebab Kebakaran dan Pengamanan	17
1.5. Sistem – IP berdasarkan DIN VDE 0470	20
2. INSTALASI LISTRIK	22
2.1. Pendahuluan	22
2.1.1. Sejarah Penyediaan Tenaga Listrik.....	23
2.1.2. Peranan Tenaga Listrik	24
2.1.3. Instalasi Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik	25
2.1.4. Jaringan Listrik	29
2.1.5. Alat Pengukur dan Pembatas (APP)	36
2.1.6. Panel Hubung Bagi (PHB)	43
2.1.7. Penghantar	49
2.1.8. Beban Listrik	52
2.1.9. Perhitungan Arus Beban	56
2.1.10. Bahan Kebutuhan Kerja Pemasangan Instalasi Listrik	57
2.2. Peraturan Instalasi Listrik	58
2.2.1. Sejarah Singkat	58
2.2.2. Maksud dan Tujuan PUIL-2000	58
2.2.3. Ruang Lingkup	58

2.2.4.	Garis Besar Isi PUIL-2000	58
2.2.5.	Peraturan Menteri	63
2.2.6.	Peraturan dan Undang-undang Lainnya	67
2.2.7.	Pemasangan Instalasi Listrik	69
2.3.	Macam-macam Instalasi	71
2.4.	Macam-macam Ruang Kerja Listrik	73
2.5.	Prinsip Dasar Instalasi Bangunan (IEC 364-1)	77
2.6.	Pencahayaan	79
2.6.1.	Sifat gelombang cahaya	79
2.6.2.	Pandangan Silau	80
2.6.3.	Satuan-satuan Teknik Pencahayaan	81
2.6.4.	Hukum Penerangan	83
2.6.5.	Penyebaran Cahaya	84
2.6.6.	Perancangan Penerangan Buatan	86
2.6.7.	Penggunaan Energi Untuk Pencahayaan Buatan.....	98
2.7.	Sejarah Perkembangan Sumber Cahaya	121
2.7.1.	Sumber Cahaya Dengan Lemak dan Minyak	121
2.7.2.	Sumber Cahaya Dengan Gas	123
2.7.3.	Lampu Busur	123
2.8.	Macam-macam Lampu Listrik	125
2.8.1.	Lampu Pijar	125
2.8.2.	Neon Sign (Lampu Tabung)	131
2.8.3.	Lampu Merkuri	137
2.8.4.	Lampu Sodium	141
2.9.	Kendali Lampu / Beban Lainnya	145
2.10.	Perancangan dan Pemasangan Pipa Pada Instalasi Listrik	155
2.10.1.	Pipa Union	155
2.10.2.	Pipa Paralon / PVC	156
2.10.3.	Pipa Fleksibel	156
2.10.4.	Tule / Selubung Pipa	156
2.10.5.	Klem / Sangkang	157
2.10.6.	Sambungan Pipa (Sock)	157
2.10.7.	Sambungan Siku	157
2.10.8.	Kotak Sambung	158
2.11.	Sistem Pentanahan	159
2.11.1.	Pendahuluan	159
2.11.2.	Pentanahan Netral Sistem	159
2.11.3.	Pentanahan Peralatan	162
2.11.4.	Elektroda Pentanahan dan Tahanan Pentanahan	167
2.11.5.	Jenis-Jenis Elektroda Pentanahan	167
2.11.6.	Tahanan Jenis Tanah	170
2.11.7.	Tahanan Pentanahan Berdasarkan Jenis dan Ukuran Elektroda	170
2.11.8.	Luas Penampang Elektroda Pentanahan	171
2.11.9.	Luas Penampang Hantaran Pengaman	172

2.12.	Pengujian Tahanan Pentanahan	174
2.12.1.	Pengukuran Tahanan Pentanahan (Earth Tester)	174
2.12.2.	Posisi Elektroda Bantu Dalam Pengukuran	176
2.12.3.	Pengukuran Tahanan Elektroda Pentanahan Menggunakan Metoda 62%	178
2.12.4.	Jarak Peletakan Elektroda Bantu	180
2.12.5.	Sistem Multi-Elektroda	181
2.12.6.	Metoda Pengukuran Dua-Titik (Metoda Penyederhanaan) ..	182
2.12.7.	Pengukuran Kontinuitas	183
2.12.8.	Petunjuk-petunjuk teknis pengukuran	183
2.13.	Membuat Laporan Pengoperasian	187
2.14.	Gangguan Listrik	190
2.14.1.	Gejala Umum Gangguan Listrik	190
2.14.2.	Penyebab Gangguan	190
2.14.3.	Diagnosis Gangguan	190
2.14.4.	Mencari / Menemukan Gangguan	190
2.15.	Pemeliharaan / Perawatan	191
2.15.1.	Pemeliharaan Rutin	191
2.15.2.	Pemeliharaan Tanpa Jadwal / Mendadak	191
2.15.3.	Objek Pemeriksaan	192
2.15.4.	Pemeliharaan PHB – TR (Tegangan Rendah)	192
2.15.5.	Pemeliharaan Tiang	195
2.15.6.	Pemeliharaan Pembumian	195
2.15.7.	Contoh Identifikasi Gangguan Pada Pembumian Netral Pengaman	196
2.15.8.	Contoh Pengukuran dalam Pengujian Kontinuitas Pengantar	198
2.16.	Simbol-simbol Gambar Listrik	200
2.16.1.	Lambang Huruf Untuk Instrumen Ukur	200
2.16.2.	Lambang Gambar Untuk Diagram	201
2.16.3.	Lambang Gambar Untuk Diagram Instalasi Pusat dan Gardu Listrik	206
2.16.4.	Lambang Gambar untuk Diagram Instalasi Bangunan	212
2.16.5.	Nomenklatur Kabel	218
2.17.	Latihan Soal	221

3. PERALATAN LISTRIK RUMAH TANGGA 222

3.1.	Alat-Alat Laundry	222
3.1.1.	Seterika Listrik	222
3.1.2.	Mesin Cuci Pakaian	228
3.1.3.	Mesin Pengering Pakaian	236
3.1.4.	Mesin Cuci Piring	241
3.1.5.	Mesin Pembersih Vakum	246

3.2.	Alat-Alat Memasak	251
3.2.1.	Toaster	251
3.2.2.	Kompor Listrik	255
3.2.3.	Microwave Oven	262
3.3.	Alat-Alat Pemanas & Pendingin	267
3.3.1.	Pengering Rambut	267
3.3.2.	Kulkas dan Freezer	271
3.3.3.	Alat Pendingin Ruangan	277
3.3.4.	Alat Pemanas Air	283
4.	SISTEM PENGENDALIAN	288
4.1.	Sistem Pengendali Elektronik	291
4.1.1.	Pendahuluan	291
4.1.2.	Pengendali Tidak Kontinyu	291
4.1.3.	Pengendali Dua-Posisi	291
4.1.4.	Pengendali Kontinyu	293
4.1.5.	Pengendali Campuran.....	297
4.1.6.	Pengendali Elektronik	299
4.2.	Sistem Pengendali Elektronika Daya	304
4.2.1.	Pendahuluan	304
4.2.2.	Komponen Semikonduktor Daya	305
4.2.3.	Penyearah	312
4.2.4.	Pengendali Tegangan AC	323
4.2.5.	Kontrol Kecepatan dan Daya Motor Induksi Fasa Tiga	324
4.2.6.	Persiapan, Pengoperasian, dan Pemeriksaan Pengendali Elektronika Daya	327
4.3.	Sistem Pengendalian Motor	331
4.3.1.	Kontaktor Magnit	333
4.3.2.	Kontak Utama dan Kontak Bantu	334
4.3.3.	Kontaktor Magnit dengan Timer	335
4.3.4.	Rele Pengaman Arus Lebih (Thermal Overload Relay)	336
4.3.5.	Mengoperasikan dan Memelihara Sistem Pengendali Elektromagnetik	337
4.4.	Elektro Pneumatik	343
4.4.1.	Pendahuluan	343
4.4.2.	Simbol-Simbol	343
4.4.3.	Sistem Komponen	349
5.	MESIN LISTRIK	353
5.1.	Transformator Satu Fasa	356
5.1.1.	Konstruksi dan Prinsip Kerja	356
5.1.2.	Transformator Ideal	358

5.1.3.	Transformator Berbeban	360
5.1.4.	Pengujian Transformator	364
5.1.5.	Paralel Transformator	367
5.2.	Transformator Tiga Fasa	369
5.2.1.	Konstruksi Transformator	369
5.2.2.	Hubungan Transformator Tiga Fasa	373
5.2.3.	Pengujian Transformator Tiga Fasa	377
5.3.	Transformator Khusus	381
5.3.1.	Autotransformator	381
5.3.2.	Transformator Pengukuran	382
5.4.	Generator Arus Searah	384
5.4.1.	Konstruksi Mesin Arus Searah	384
5.4.2.	Tegangan Induksi	392
5.4.3.	Reaksi Jangkar	393
5.4.4.	Hubungan Generator Arus Searah	394
5.4.5.	Efisiensi	396
5.4.6.	Karakteristik Generator	397
5.5.	Motor Arus Searah	402
5.5.1.	Prinsip Dasar	402
5.5.2.	Persamaan Tegangan dan Daya	402
5.5.3.	Torsi	403
5.5.4.	Rugi-rugi Daya dan Efisiensi	404
5.5.5.	Macam-macam Hubungan Motor Arus Searah	404
5.5.6.	Karakteristik Motor Arus Searah	406
5.6.	Motor Induksi Tiga Fasa	408
5.6.1.	Konstruksi dan Prinsip Kerja	408
5.6.2.	Frekuensi dan Slip Rotor	413
5.6.3.	Rangkaian Ekuivalen	414
5.6.4.	Torsi dan Daya	416
5.6.5.	Penentuan Parameter Motor Induksi	420
5.6.6.	Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa	422
5.6.7.	Pemilihan Motor	425
5.7.	Generator Sinkron	427
5.7.1.	Pendahuluan	427
5.7.2.	Konstruksi	427
5.7.3.	Prinsip Kerja	433
5.7.4.	Alternator Tanpa Beban	435
5.7.5.	Alternator Berbeban	436
5.7.6.	Menentukan Resistansi dan Reaktansi	437
5.7.7.	Pengaturan Tegangan	439
5.7.8.	Kerja Paralel Alternator	442
5.8.	Motor Sinkron	444
5.8.1.	Prinsip Kerja	444
5.8.2.	Motor Saat Berbeban	445

5.8.3.	Daya Dihilangkan Motor Sinkron	446
5.8.4.	Efisiensi Motor Sinkron	447
5.8.5.	Kurva V Motor Sinkron	448
5.8.6.	Pengasutan Motor Sinkron	449
5.9.	Motor Satu Fasa	451
5.9.1.	Pendahuluan	451
5.9.2.	Motor Induksi Satu Fasa	452
5.9.3.	Motor Seri Satu Fasa (Universal)	464
5.10.	Generator Set	465
5.10.1.	Pendahuluan	465
5.10.2.	Mesin Diesel	466
5.10.3.	Mengoperasikan Generator Set	468
5.11.	Memperbaiki Motor Listrik	477
5.11.1.	Pendahuluan	477
5.11.2.	Perbaikan Dasar Motor Induksi	478
5.11.3.	Membongkar Kumputan Motor	480
5.11.4.	Pelilitan Kumputan Motor	481
5.11.5.	Laporan Pelaksanaan Pekerjaan	486

6. PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER 487

6.1.	Pendahuluan	487
6.1.1.	Sejarah Perkembangan PLC.....	488
6.1.2.	Keuntungan Penggunaan PLC	489
6.1.3.	Penggunaan PLC di Industri	489
6.2.	Konsep Logika	491
6.2.1.	Fungsi Logika	491
6.2.2.	Rangkaian PLC dan Simbolik Kontak Logika	494
6.3.	Arsitektur PLC	495
6.3.1.	Perangkat Keras	495
6.3.2.	Arsitektur Internal	496
6.4.	Pemrograman PLC	498
6.4.1.	Bahasa Pemograman PLC	498
6.4.2.	Operasi Pembacaan	499
6.4.3.	Instruksi Dasar PLC	500
6.4.4.	Pemograman dengan CX Programmer	503
6.4.5.	Contoh Program	505

DAFTAR PUSTAKA

RIWAYAT PENULIS

DAFTAR GAMBAR

1.1	Bahaya Primer Listrik	1
1.2	Bahaya Sekunder Listrik	2
1.3	Segitiga tegangan, arus, dan tahanan	3
1.4	Tubuh manusia bagian dari rangkaian	3
1.5	Sistem tegangan rendah di Indonesia	3
1.6	Jenis Bahaya Listrik	4
1.7	Reaksi Tubuh terhadap Sengatan Listrik	6
1.8	Contoh-contoh penyebab bahaya listrik	7
1.9	Pengamanan dengan isolasi pengaman	7
1.10	Pengamanan dengan pemagaran	7
1.11	Kondisi tegangan sentuh pada mesin	8
1.12	Saluran pentanahan sebagai pengaman terhadap tegangan sentuh	9
1.13	Pengawatan kabel pentanahan	10
1.14	Contoh pengaman otomatis	11
1.15	RCD/ELCB Fasa-Tiga	11
1.16	Contoh klasifikasi peng-amanan alat portabel	12
1.17	Contoh penggunaan alat listrik	13
1.18	Penggunaan tangga di daerah instalasi listrik	13
1.19	Inspeksi kondisi peralatan	13
1.20	Pemisahan si korban dari aliran listrik	14
1.21	Tindakan pertolongan pertama	14
1.22	Titik pemutusan aliran listrik	15
1.23	Penandaan alat yang diperbaiki	15
1.24	Tanda pekerjaan selesai	16
1.25	Bahaya Kebakaran dan Peledakan	17
1.26	Ukuran kabel	17
1.27	Pemakaian stop-kontak yang salah	18
1.28	Koneksi yang kendor	18
1.29	Lingkungan sangat berbahaya	18
1.30	Jenis Arus Kesalahan	19
2.1	Saluran energi listrik dari pembangkit ke pemakai	22
2.2	Generator	23
2.3	Penyaluran energi listrik ke beban	24
2.4	Distribusi Tenaga Listrik ke Konsumen	25
2.5	Instalasi Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik	25
2.6	Saluran penghantar udara untuk bangunan-bangunan kecil (menggangu keindahan pandangan)	30
2.7	Saluran kabel bawah tanah pada suatu perumahan elit	30
2.8	Situasi	32
2.9	Denah rumah tipe T-125 lantai dasar	33
2.10	Instalasi rumah tipe T-125 lantai dasar	34
2.11	Diagram satu garis instalasi listrik pada bangunan /gedung Tegangan Rendah	35
2.12	Diagram satu garis instalasi listrik pada bangunan /gedung sistem Tegangan Menengah dan Tegangan Rendah	36

2.13	Diagram satu garis sambungan tenaga listrik tegangan menengah	37
2.14	Kwh meter satu fasa analog dan digital	38
2.15	Kwh meter tiga fasa analog dan digital	38
2.16	Kwh meter tiga fasa dan KVARh	39
2.17	Rangkaian Kwh satu fasa dengan trafo arus	41
2.18	Rangkaian Kwh dua fasa dengan sambungan tetap	41
2.19	Rangkaian Kwh tiga fasa dengan trafo arus dan trafo tegangan	42
2.20	Contoh cubicle di ruang praktek POLBAN	45
2.21	MCB (Miniatur Circuit Breaker)	46
2.22	Moulded Case Circuit Breaker	47
2.23	ACB (Air Circuit Breaker)	47
2.24	OCB (Oil Circuit Breaker)	48
2.25	VCB (Vakum Circuit Breaker)	48
2.26	SF6 CB (Sulfur Hexafluoride Circuit Breaker)	49
2.27	Kabel NYA	50
2.28	Kabel NYM	50
2.29	Kabel NYY	50
2.30	Kabel N2XY	51
2.31	Kabel N2XY	51
2.32	Diagram Transmisi dan Distribusi	52
2.33	Rangkaian macam-macam Beban Sistem 3 fasa, 4 kawat	53
2.34	Macam-macam Stop Kontak	54
2.35	Piranti-piranti menggunakan motor	55
2.36	Diagram satu garis	56
2.37	Saluran instalasi bawah trotoar	71
2.38	Kelompok Gelombang Elektromagnetik	79
2.39	Warna-warna Spektrum	79
2.40	Energi – Panjang Gelombang – Lampu Pijar 500W	79
2.41	Grafik Kepekaan Mata	80
2.42	Pandangan Silau	80
2.43	Mata Manusia	80
2.44	Radian	81
2.45	Steradian	81
2.46	Lilin yang menyinari buku	81
2.47	Fluks Cahaya	82
2.48	Illuminansi	82
2.49	Hukum kebalikan kuadrat iluminasi	83
2.50	Kurva Cosinus	83
2.51	Jenis pantulan dan armatur	85
2.52	Sumber Cahaya diatas bidang kerja	90
2.53	Diagram Polar Intensitas Cahaya Lampu Pijar	90
2.54	Armatur Lampu Pijar	90
2.55	Diagram perhitungan dan optimasi daya listrik pada sistem pencahayaan buatan	111
2.56	Prosedur perencanaan teknis pencahayaan buatan	116
2.57	Membuat Api dari Gesekan Batu	121
2.58	Penerangan dengan Api	121
2.59	Api Lilin	122

2.60	Lampu Minyak	122
2.61	Lampu Minyak dengan Tekanan	122
2.62	Lampu Gas	123
2.63	Lampu Busur	123
2.64	Joseph Swan dan lampu percobaannya	126
2.65	Edison dan lampu percobaannya	126
2.66	Bohlam Bening	127
2.67	Bohlam Buram	128
2.68	Bohlam Lilin	128
2.69	Argenta	128
2.70	Superlux	129
2.71	Luster Bulat	129
2.72	Halogen	129
2.73	Halogen dengan reflektor	130
2.74	Lampu Tabung	131
2.75	Tahapan kerja lampu fluoresen	133
2.76	Gerakan elektron gas	133
2.77	Bentuk lampu hemat energi	134
2.78	Contoh Lampu Reklame	136
2.79	Lampu Merkuri	137
2.80	Rangkaian dasar lampu merkuri tekanan tinggi	138
2.81	Merkuri Reflector	139
2.82	Merkuri Blended	140
2.83	Lampu Metal Halide	140
2.84	Lampu SOX	141
2.85	Rangkaian dasar lampu sodium tekanan rendah	142
2.86	Lampu SON	143
2.87	Rangkaian dasar lampu sodium tekanan tinggi	144
2.88	Pemasangan saklar kutub tunggal dan sebuah stop kontak	146
2.89	Rangkaian saklar kutub ganda	147
2.90	Rangkaian saklar kutub tiga	148
2.91	Rangkaian Saklar Seri	149
2.92	Pemasangan Saklar kelompok	150
2.93	Pemasangan Sepasang Saklar Tukar	151
2.94	Pemasangan Sepasang Saklar Tukar dengan Penghantar Kabel	152
2.95	Pemasangan Saklar Silang dengan sepasang saklar tukar	153
2.96	Macam-macam Saklar Lampu	154
2.97	Pipa Union	155
2.98	Pipa Paralon / PVC	156
2.99	Pipa Fleksibel	156
2.100	Tule	156
2.101	Klem	157
2.102	Sambungan Pipa	157
2.103	Sambungan Siku	157
2.104	Kotak Sambung	158
2.105	Saluran Tanah dan Netral disatukan (TN-C)	160
2.106	Saluran Tanah dan Netral disatukan pada sebagian sistem (TN-C-S).....	161

2.107	Saluran Tanah dan Netral dipisah	161
2.108	Saluran Tanah Sistem dan Saluran Bagian Sistem Terpisah	162
2.109	Saluran tanah melalui impedansi	162
2.110	Tegangan sentuh tidak langsung	163
2.111	Tegangan sentuh dan tegangan langkah	164
2.112	Elektroda batang	168
2.113	Elektroda pita dalam beberapa konfigurasi	169
2.114	Elektroda Pelat	169
2.115	Pengukuran Metoda 3 Kutub	175
2.116	Pengukuran Metoda 2 Kutub	175
2.117	Prinsip pengukuran tahanan elektroda pengetanahan menggunakan metoda jatuh tegangan – 3 titik	176
2.118	Daerah resistansi efektif dari dua elektroda yang tumpang-tindih	177
2.119	Posisi elektroda Y di luar daerah resistansi efektif dari dua elektroda yang tidak tumpang-tindih	178
2.120	Pengukuran resistansi elektroda pengetanahan menggunakan Metoda 62%	178
2.121	Daerah resistansi efektif tumpang-tindih	179
2.122	Daerah pengukuran 62%	180
2.123	Sistem Multi-elektroda	181
2.124	Metoda pengukuran dua-titik	183
2.125	Pengukuran kontinuitas hantaran pengetanahan	183
2.126	Metoda pengukuran derau dalam sistem pengetanahan	184
2.127	Cara menetralkan noise dengan melilitkan kabel-kabel ukur secara bersama-sama	184
2.128	Cara menghindari noise dengan pengaturan rentangan kabel- kabel ukur	185
2.129	Pentralisiran noise menggunakan kabel perisai (shielded cables)	185
2.130	Cara mengatasi tahanan kontak antara elektroda dengan tanah sekitarnya	186
2.131	Penggunaan kawat kasa sebagai pengganti dari elektroda bantu.....	186
2.132	Kasus putusnya penghantar netral pada sistem PNP	196
2.133	Pengukuran resistansi kawat fasa, netral dan pembumian	199
2.134	Pengukuran resistansi kawat penghantar melingkar fasa dan netral	199
2.135	Pengukuran resistansi kawat penghantar melingkar fasa dan pembumian	199
3.1	Jenis-jenis seterika	222
3.2	Kabel daya	222
3.3	Jenis-jenis Elemen pemanas	223
3.4	Jenis-jenis alas seterika	223
3.5	Penutup dan pemberat	223
3.6	Knob dan pengatur suhu	224
3.7	Tangkai seterika	224
3.8	Ikhtisar bagian-bagian utama seterika	227
3.9	Mesin cuci pakaian	228
3.10	Motor dan beban pemberat	229

3.11	Sistem penyangga pulley	229
3.12	Sistem peredam getaran	230
3.13	Bagian belakang mesin dan katup solenoid	230
3.14	Piranti anti-siphon	231
3.15	Saluran masuk (inlet) air dan tempat limpahan air	231
3.16	Pompa dan saluran air	231
3.17	Pompa air	232
3.18	Saklar pemilih tipikal	232
3.19	Keadaan di dalam saklar	233
3.20	Mekanisme saklar pemilih	233
3.21	Saklar kontrol temperatur dan kecepatan	233
3.22	Gambaran saklar kontrol kecepatan dan temperatur	234
3.23	Kontrol ketinggian air	234
3.24	Mesin pengering pakaian	236
3.25	Sirkulasi udara di dalam mesin	237
3.26	Elemen pemanas	237
3.27	Lubang-lubang udara	237
3.28	Tumbler dan pintu	238
3.29	Lubang-lubang pada pintu dan slot besar	238
3.30	Screen kain dan saluran udara	238
3.31	Fan dan saluran buang	238
3.32	Flens	239
3.33	Bantalan	239
3.34	Saklar Siklus	239
3.35	Saklar siklus dilihat dari belakang	239
3.36	Motor saklar siklus	240
3.37	Panel kontrol panas	240
3.38	Sensor suhu	241
3.39	Mesin cuci piring	242
3.40	Mesin cuci piring dalam tatanan yang kompak	242
3.41	Saklar control tipikal	242
3.42	Tempat cuci piring konvensional	242
3.43	Mesin cuci tampak dalam	243
3.44	Contoh penyambungan ke kran sumber air	243
3.45	Sisi dalam mesin bagian atas	243
3.46	Bagian bawah mesin lengkap dengan rak	243
3.47	Bagian bawah mesinrak dilepas	244
3.48	Wadah garam	244
3.49	Proses di dalam mesin cuci	244
3.50	Pembersihan menggunakan pembersih vakum	246
3.51	Bagian-bagian utama mesin pembersih vakum	247
3.52	Jenis sikat putar	247
3.53	Contoh tas debu	248
3.54	Jenis-jenis perlengkapan pengisap	249
3.55	Pembersih vakum jenis berdiri	249
3.56	Prinsip kerja pembersih vakum basah/kering	249
3.57	Toaster	251
3.58	Elemen pemanas toaster	251

3.59	Slot tempat roti dilihat dari atas	252
3.60	Mekanisme penurunan toaster	252
3.61	Mekanisme penurun rak roti	252
3.62	Papan-papan rangkaian	253
3.63	Prinsip pemanasan pada kompor listrik	256
3.64	Kompor dengan elemen pemanas terbuka	257
3.65	Kompor listrik jenis dengan 4 piring panas (hot-plate)	258
3.66	Konstruksi hot plate	258
3.67	Kompor listrik jenis radiasi	258
3.68	Konfigurasi rangkaian elemen pemanas	259
3.69	Skema mekanisme kendali kompor listrik tipikal	259
3.70	Kompor induksi	260
3.71	Sistem kontrol	263
3.72	Daya masukan tegangan tinggi	263
3.73	Bagian tegangan tinggi	263
3.74	Microwave digital	264
3.75	Tombol-tombol fungsi microwave	264
3.76	Piring putar di ruang masak	265
3.77	Pemutar piring dan landasan putar	265
3.78	Elemen pemanas grill	265
3.79	Bagian dalam samping	265
3.80	Pengering rambut tipikal	267
3.81	Kipas angin pembangkit aliran udara	268
3.82	Saklar pengatur kecepatan motor	269
3.83	Elemen pemanas	269
3.84	Arah semburan udara melewati elemen pemanas	269
3.85	Isolasi dan penghalang protektif	270
3.86	Kulkas tipikal	272
3.87	Bagan kelengkapan kulkas	272
3.88	Siklus refrigerasi	274
3.89	Proses pendinginan	274
3.90	Freezer dan pengatur suhu	275
3.91	Koil kondensor	275
3.92	Ventilasi udara ruang kompresor	275
3.93	Ruang pendingin	276
3.94	Lubang pembuangan limbah air	276
3.95	Diagram pengkondisi udara (AC)	278
3.96	AC Jendela	279
3.97	AC jendela tampak dalam	279
3.98	Prinsip unit AC-Split	280
3.99	Unit kondensasi	280
3.100	Prinsip AC-chiller	281
3.101	Menara pendingin (cooling tower) tipikal	282
3.102	Alat pemanas air dengan tangki terbuka dan tangki tertutup	284
3.103	Bagian dalam tangki air	285
3.104	Alat pemanas air tunggal	286
4.1	Diagram kotak sistem kendali	288

4.2	Automatic Voltage Regulator (AVR) generator	290
4.3	Bilah-bimetal sebagai pengendali on-off	291
4.4	Zona netral	292
4.5	Aksi pengendali tiga posisi	292
4.6	Tanggapan step pengendali P	293
4.7	Diagram kotak pengendali P	293
4.8	Hubungan keluaran dan masukan pengendali Proporsional	294
4.9	Offset pengendali P	294
4.10	Diagram kotak pengendali I	295
4.11	Tanggapan pengendali I terhadap error step tetap	296
4.12	Laju perubahan keluaran terhadap error	296
4.13	Keluaran pengendali fungsi perubahan error	297
4.14	Diagram kotak pengendali D	297
4.15	Tanggapan step pengendali PI	298
4.16	Diagram kotak pengendali PI	298
4.17	Tanggapan step dan diagram kotak pengendali PID	298
4.18	Realisasi pengendali dua-posisi	299
4.19	Realisasi pengendali P	300
4.20	Realisasi pengendali I	300
2.21	Realisasi pengendali Diferensial	301
4.22	Realisasi pengendali PI	301
4.23	Realisasi pengendali PD	302
4.24	Implementasi pengendali PID	303
4.25	Ruang lingkup elektronika daya	304
4.26	Simbol dan konstruksi dioda	306
4.27	Karakteristik dioda	306
4.28	Simbol dan konstruksi thyristor	308
4.29	Karakteristik thyristor	308
4.30	Proteksi dari arus beban lebih: proteksi fasa dan proteksi cabang	310
4.31	Proteksi terhadap tegangan lebih	310
4.32	Dua komponen 4-lapis dihubungkan secara berlawanan	311
4.33	Komponen semikonduktor lima-lapis	311
4.34	Simbol dan karakteristik diac	311
4.35	Contoh diac	311
4.36	Simbol dan karakteristik Triac	312
4.37	Contoh spesifikasi triac	312
4.38	Ikhtisar penyearah dan simbol-simbolnya	313
4.39	Penyearah E1U	313
4.40	Penyearah B2U	315
4.41	Jenis tampilan rangkaian jembatan	315
4.42	Rangkaian penyearah M3U	316
4.43	Bentuk tegangan keluaran penyearah M3U	316
4.44	Penyearah B6U	317
4.45	Bentuk gelombang tegangan dan dioda-dioda yang konduksi	317
4.46	Penyearah E1C	319
4.47	Bentuk gelombang arus dan tegangan keluaran pada E1C	320
4.48	Dioda free-wheeling	320
4.49	Karakteristik pengaturan E1C	320

4.50	Penyearah B2C	321
4.51	Penyearah M3C	322
4.52	Penyearah B6C	322
4.53	Bentuk dasar pengendali tegangan AC	323
4.54	Skema kontrol kecepatan motor induksi dengan catu daya DC tegangan tetap	325
4.55	Skema kontrol kecepatan motor induksi dengan catu daya DC dan inverter PWM	325
4.56	Skema kontrol kecepatan motor induksi dengan catu daya AC dan inverter frekuensi variabel	325
4.57	Skema kontrol kecepatan motor induksi dengan catu daya AC dan inverter PWM	326
4.58	Diagram kotak sistem kontrol kecepatan motor induksi fasa tiga	326
4.59	Kendali motor manual	331
4.60	Kendali motor Semi otomatis	332
4.61	Kendali motor Semi otomatis	332
4.62	Kontaktor magnet	333
4.63	Simbol kontaktor magnet	333
4.64	Kontak Utama dan TOR	334
4.65	Kontak-kontak Bantu	334
4.66	Kontaktor Magnet dan Timer	335
4.67	Timer on Delay	335
4.68	Timer Off Delay	335
4.69	Kontaktor magnet dengan waktu tunda kombinasi hidup-mati	336
4.70	Kontaktor magnet dengan waktu tunda hidup-mati kontinyu	336
4.71	Konstruksi TOR	336
4.72	Permukaan TOR	336
4.73	Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor langsung (Direct on line)	338
4.74	Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor langsung dengan TOR	339
4.75	Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor putar kanan-kiri	340
4.76	Diagram kontrol dan diagram daya pengendali starter motor dengan pengasutan Y – Δ	341
4.77	Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali starter motor rotor lilit dengan pengasutan resistor	342
4.78	Contoh pemakaian 1	348
4.79	Contoh pemakaian 2	348
4.80	Contoh pemakaian 3	349
4.81	Instalasi komponen Pneumatik	349
4.82	Instalasi Komponen Elektrik	350
4.83	Elemen-elemen Elektro-pneumatik	350
4.84	Pemrosesan sinyal	350
4.85	Rantai kontrol	350
4.86	Rangkaian komponen pneumatik 1	351
4.87	Instalasi komponen pneumatik 2	352
4.88	Instalasi komponen pneumatik 3	352

5.1	Pembangkit Tenaga Listrik	353
5.2	Mesin CNC	353
5.3	Mesin Cuci	353
5.4	Alternator Mobil	354
5.5	Mesin Printer	354
5.6	Mesin ATM	354
5.7	Penggunaan Transformator pada Bidang Tenaga Listrik	355
5.8	Transformator Daya	355
5.9	Transformator Distribusi Tipe Tiang	355
5.10	Transformator pada Peralatan Elektronik	356
5.11	Percobaan Arus Induksi	356
5.12	Percobaan Induksi	356
5.13	Fluks Magnet Transformator	357
5.14	Transformator Tipe Inti	358
5.15	Tranformator Tipe Cangkang	358
5.16	Laminasi Inti Transformator	358
5.17	Transformator Tanpa Beban	359
5.18	Arus Tanpa Beban	359
5.19	Kurva B – H	360
5.20	Transformator Ideal	360
5.21	Transformator Berbeban	360
5.22	Rangkaian Ekuivalen Transformator	361
5.23	Rangkaian Ekuivalen dengan Acuan Sisi Primer	361
5.24	Rangkaian Ekuivalen dengan Acuan Sisi Primer disederhanakan	362
5.25	Rangkaian Ekuivalen dengan Acuan Sisi Sekunder	362
5.26	Transformator Faktor Daya "Lagging"	363
2.27	Transformator Faktor Daya "Leading"	363
2.28	Transformator Faktor Daya "Unity"	363
5.29	Rangkaian Percobaan Beban Nol	365
5.30	Rangkaian Ekuivalen Hasil Percobaan Beban Nol	365
5.31	Rangkaian Percobaan Hubung Singkat	366
5.32	Rangkaian Ekuivalen Hasil Percobaan Hubung Singkat	366
5.32	Penentuan Polaritas Transformator	366
5.33	Rangkaian Paralel Transformator Satu Fasa	367
5.34	Rangkaian Ekuivalen Paralel Transformator Satu Fasa	367
5.35	Diagram Vektor Paralel Transformator Satu Fasa	367
5.36	Rangkaian Paralel Transformator Satu Fasa Teg Sama	367
5.37	Rangkaian Ekuivalen Paralel Transformator Tegangan Sama	368
5.38	Diagram Vektor Paralel Transformator Tegangan Sama	368
5.39	Konstruksi Tranformator Tiga Fasa	369
5.40	Transformator Tipe Inti	369
5.41	Transformator Tipe Cangkang	370
5.42	Bushing Transformator	371
5.43	Alat Pernafasan	371
5.44	Tap Changer	371
5.45	Indikator Level Minyak	372
5.46	Indikator Temperatur	372

5.47	Relai Buchholz	372
5.48	Hubungan Bintang- bintang	373
5.49	Hubungan Segitiga – Segitiga	373
5.50	Hubungan Bintang – Segitiga	374
5.51	Hubungan Segitiga- Bintang	374
5.52	Transformator Tiga Fasa Hubung Zig-zag	375
5.53	Hubungan V-V atau Open □	376
5.54	Hubungan Open Y - Open □	376
5.55	Hubungan Scott atau T-T	377
5.56	Kelompok Hubungan Dy5	379
5.57	Rangkaian Autotransformator	381
5.58	Transformator Arus	382
5.59	Transformator Tegangan	383
5.60	Konstruksi Mesin Arus Searah	384
5.61	Konstruksi Sikat Komutator	385
5.62	Proses Terbentuknya Ggl pada Sisi Kumparan Generator	386
5.63	Proses Penyearahan Tegangan pada Generator Arus Searah	387
5.64	Jangkar Generator Arus Searah	387
5.65	Lilitan Jangkar	388
5.66	Letak Sisi-sisi Kumparan dalam Alur	388
5.67	Prinsip Lilitan Gelung	389
5.68	Lilitan Gelung Tunggal	390
5.69	Prinsip Lilitan Gelombang	390
5.70	Lilitan Gelombang Tunggal	391
5.71	Fluks Medan Utama	393
5.72	Fluks Medan Jangkar	393
5.73	Reaksi Jangkar	393
5.74	Generator Penguat Terpisah	394
5.75	Generator Shunt	395
5.76	Generator Seri	395
5.77	Generator Kompon Panjang	396
5.78	Generator Kompon Pendek	396
5.79	Diagram Aliran Daya pada Generator Arus Searah	397
5.80	Rangkaian Generator Beban Nol	397
5.81	Rangkaian Generator Berbeban	398
5.82	Kurva Generator Arus Searah saat Dibebani	398
5.83	Percobaan Beban Nol Generator Penguat Sendiri	399
5.84	Resistansi Kritis Generator Shunt	399
5.85	Karakteristik Beban Nol pada Kecepatan Berbeda	400
5.86	Kurva Kecepatan Kritis	400
5.87	Contoh Karakteristik Beban Nol	400
5.88	Generator Arus Searah Shunt Berbeban	401
5.89	Prinsip Kerja Motor Arus Searah	402
5.90	Rangkaian Motor Arus Searah Penguat Terpisah	405
5.91	Rangkaian Motor Arus Searah Penguat Sendiri Shunt	405
5.92	Rangkaian Motor Arus Searah Penguat Sendiri Seri	405
5.93	Rangkaian Motor Arus Searah Kompon Panjang	405
5.94	Rangkaian Motor Arus Searah Kompon Pendek	406

5.95	Penampang Motor Induksi Tiga Fasa	408
5.96	Lilitan Motor Induksi	409
5.97	Rotor Sangkar	409
5.98	Rotor lilit	410
5.99	Nilai Arus Sesaat dan Posisi Flux	410
5.100	Proses Terjadinya Medan	412
5.101	Terjadinya Putaran pada Motor Induksi	413
5.102	Rangkaian Ekuivalen Rotor	414
5.103	Rangkaian Ekuivalen Motor	415
5.104	Rangkaian Ekuivalen dengan Refrensi Primer	415
5.105	Karakteristik Slip Vs Torsi	417
5.106	Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Rotor Lilit	417
5.107	Diagram Aliran Daya Motor Induksi Tiga Fasa	418
5.108	Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi	419
5.109	Rangkaian Ekuivalen dengan Refrensi Stator	420
5.110	Tes Tanpa Beban	421
5.111	Tes Hubung Singkat	422
5.112	Mengubah Jumlah Kutub	423
5.113	Pengaturan Tahanan Rotor Motor	424
5.114	Pengaturan Tegangan	424
5.115	Skema Pengaturan Frekuensi	425
5.116	Generator Sinkron Tiga Fasa dengan Penguatan Generator DC "Pilot Exciter"	428
5.117	Generator Sinkron Tiga Fasa dengan Sistem Penguatan "Brushless Exciter System"	428
5.118	Bentuk Rotor	429
5.119	Inti Stator dan Alur pada Stator	429
5.120	Belitan Satu Lapis Generator Sinkron Tiga Fasa	430
5.121	Urutan Fasa ABC	430
5.122	Belitan Berlapis Ganda Generator Sinkron Tiga Fasa	431
5.123	Diagram Phasor dari Tegangan Induksi Lilitan	432
5.124	Total Ggl Et dari Tiga Ggl Sinusoidal	432
5.125	Kisar Kumparan	432
5.126	Vektor Tegangan Lilitan	433
5.127	Diagram Generator AC Satu Fasa Dua Kutub	434
5.128	Diagram Generator AC Tiga Fasa Dua Kutub	435
5.129	Kurva dan Rangkaian Ekuivalen Alternator Tanpa Beban	436
5.130	Kondisi Reaksi Jangkar	436
5.131	Vektor Diagram dari Beban Alternator	437
5.132	Rangkaian Test Alternator Tanpa Beban	438
5.133	Rangkaian Test Alternator di Hubung Singkat	438
5.134	Karakteristik Tanpa Beban dan Hubung Singkat sebuah Alternator	438
5.135	Pengukuran Resistansi DC	439
5.136	Vektor Diagram Pf "Lagging"	439
5.137	Vektor Arus Medan	440
5.138	Karakteristik Beban Nol, Hubung Singkat, dan Vektor Arus Medan	440
5.139	Diagram Potier	441
5.140	Vektor Diagram Potier	442

5.141	Rangkaian Paralel Alternator	443
5.142	Rangkaian Lampu Berputar	443
5.143	Sychroscope	444
5.144	Motor Sinkron dua Kutub	444
5.145	Pengaruh Beban pada Kutub Rotor Motor Sinkron	445
5.146	Pengaruh Kenaikan Beban Pada Arus Jangkar	445
5.147	Vektor Diagram untuk Menentukan Daya Motor	446
5.148	Diagram Aliran Daya pada Sebuah Motor Sinkron	447
5.149	Diagram Vektor dalam Keadaan Beban Tetap, dengan Faktor Daya Berbeda	448
5.150	Kurva V Motor Sinkron	449
5.151	Food Processor	451
5.152	Mixer	451
5.153	Pod Coffee Makers Induksi Satu Fasa	451
5.154	Letak Kumparan Motor	452
5.155	Putaran Fluksi	453
5.156	Bentuk Gelombang Fluksi	454
5.157	Lengkung Torsi Motor Induksi Satu Fasa	455
5.158	Kumparan Bantu Motor Induksi Satu Fasa	455
5.159	Rangkaian Pengganti tanpa Rugi Inti	456
5.160	Rangkaian Pengganti dengan Rugi Inti (rc Paralel)	456
5.161	Rangkaian Pengganti dengan Rugi Inti (rc Seri)	457
5.162	Motor Split Phase	458
5.163	Motor Kapasitor	459
5.164	Motor Capacitor-Start	460
5.165	Motor Capacitor-Run	461
5.166	Motor Capacitor-Start Capacitor-Run	462
5.167	Motor Shaded-Pole	462
5.168	Konstruksi Motor Universal	464
5.169	Jangkar Motor Universal	464
5.170	Contoh Generator Set	465
5.171	Prinsip Kerja Mesin Diesel	466
5.172	Bagian-bagian Utama Generator Set	468
5.173	Fuel Filters (Wire-element Type)	471
5.174	Fuel Filters (Paper Element Type)	471
5.175	Pompa Injeksi Bahan Bakar	471
5.176	Pemeriksaan Minyak Pelumas	472
5.177	Pemeriksaan Sistem Pendingin	472
5.178	Pemeriksaan Baterai	473
5.179	Menguji Poros Motor	478
5.180	Pengujian Belitan Stator Dengan AVO Meter	479
5.181	Melepas Mur Tutup Rangka Motor	479
5.182	Melepas Penutup Motor dengan Treker	479
5.183	Melepas Penutup Motor dengan Palu	479
5.184	Memisahkan Bagian Rotor dari Rangka Motor	480
5.185	Pemeriksaan Belitan Stator dengan Megger	480
5.186	Pemotongan Kawat Kumparan	481
5.187	Hubungan Kumparan	482

5.188	Hubungan Kumparan 4 (Empat) Kutub	483
5.189	Bentangan Kumparan Motor Induksi 3 Fasa, 4 Kutub	483
5.190	Penyekatan Alur	484
5.191	Melilit Kumparan Langsung	484
5.192	Contoh Mal untuk Melilit Kumparan	484
5.193	Cara Lilitan Pental	485
5.194	Memasang Kumparan pada Alur	485
6.1	Ilustrasi Konseptual Aplikasi PLC	487
6.2	Contoh PLC	487
6.3	Standardisasi Bahasa Pemrograman PLC	488
6.4	Gerbang AND	491
6.5	Gerbang AND dengan 2 Masukan dan Tabel Kebenaran	491
6.6	Contoh Aplikasi Gerbang AND	491
6.7	Gerbang OR	492
6.8	Gerbang OR dengan 2 Masukan dan Tabel Kebenaran	492
6.9	Contoh Aplikasi Gerbang OR	492
6.10	Gerbang OR dan Tabel Kebenaran	492
6.11	Contoh Aplikasi Gerbang NOT	493
6.12	Contoh Aplikasi Gerbang NOT	493
6.13	Gerbang NAND	494
6.14	Gerbang NOR	494
6.15	Contoh Rangkaian dengan Logika Hardwired dan Diagram Tangga PLC	494
6.16	Sistem PLC	495
6.17	Arsitektur PLC	496
6.18	Komponen Utama CPU	497
6.19	Bahasa Pemrograman Menurut Standar IEC	499
6.20	Operasi Pembacaan	499
6.21	Ilustrasi Proses Beberapa Eksekusi Relai pada Diagram Tangga	500
6.22	Simbol Load (LD)	500
6.23	Simbol Load Not (LDNOT)	500
6.24	Simbol And	501
6.25	Simbol OR	501
6.26	Simbol OR NOT	501
6.27	Simbol OUT	501
6.28	Instruksi Out Not	501
6.29	Instruksi Timer	501
6.30	Instruksi Counter	502
6.31	Instruksi Move	502
6.32	Instruksi Compare	502
6.33	Instruksi Less Than	502
6.34	Instruksi Greater Than	502
6.35	Instruksi End	502
6.36	Menu Utama CX-Programmer	503
6.37	CX-Programmer New Project	504
6.38	Select Serial Port	505
6.39	Pengisian dan Pengosongan Tangki Air	505

6.40	Diagram Tangga Pengisian dan Pengosongan Tangki Air	506
6.41	Pengepakan Buah Apel	507
6.42	Diagram Tangga Pengepakan Buah Apel	508

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 2.1 Daya Tersambung Pada Tegangan Menengah</i>	26
<i>Tabel 2.2 Golongan Pelanggan PT. PLN</i>	27
<i>Tabel 2.3 Standarisasi Daya Pelanggan TM Dengan Pembatas Pelabur TM</i>	28
<i>Tabel 2.4 Standarisasi Daya Pelanggan TM Dengan Pembatas Pelabur TR</i>	28
<i>Tabel 2.5 Golongan Tarif</i>	29
<i>Tabel 2.6 Standar Daya PLN</i>	43
<i>Tabel 2.7 Daftar bahan untuk pemasangan instalasi listrik rumah tinggal</i>	57
<i>Tabel 2.8 Panjang Gelombang</i>	79
<i>Tabel 2.9 Daftar Efikasi Lampu</i>	83
<i>Tabel 2.10 Perhitungan Intensitas Penerangan</i>	83
<i>Tabel 2.11 Tingkat Pencahayaan</i>	86
<i>Tabel 2.12 Tingkat Pencahayaan Minimum Yang Direkomendasikan dan Renderasi Warna</i>	87
<i>Tabel 2.13 Efisiensi Armatur Penerangan Langsung</i>	92
<i>Tabel 2.14 Efisiensi Armatur Penerangan Sebagian Besar Langsung</i>	93
<i>Tabel 2.15 Efisiensi Armatur Langsung Tak Langsung</i>	94
<i>Tabel 2.16 Efisiensi Armatur</i>	95
<i>Tabel 2.17 Efisiensi Armatur Penerangan Tak Langsung</i>	96
<i>Tabel 2.18 Intensitas Penerangan</i>	98
<i>Tabel 2.19 Konsumsi Daya Listrik Lampu</i>	99
<i>Tabel 2.20 Temperatur Warna Yang Direkomendasikan Untuk Berbagai Fungsi/Jenis Ruang</i>	101
<i>Tabel 2.21 Fluks Cahaya dan Efikasi Lampu</i>	103
<i>Tabel 2.22 Contoh Jenis Lampu Yang Dianjurkan Untuk Berbagai Fungsi/Jenis Bangunan</i>	105
<i>Tabel 2.23 Daya Listrik Maksimum untuk Pencahayaan yang Dijijinkan</i>	108
<i>Tabel 2.24 Daya Pencahayaan Maksimum Untuk Tempat Di Luar Lokasi Bangunan Gedung</i>	109
<i>Tabel 2.25 Daya Pencahayaan Maksimum Untuk Jalan dan Lapangan</i>	109
<i>Tabel 2.26 Tingkat Pencahayaan Minimum Yang Direkomendasikan dan Renderasi Warna</i>	111
<i>Tabel 2.27 Ikhtisar Illuminasi Untuk Beberapa Jenis Gedung</i>	117
<i>Tabel 2.28 Karakteristik Lampu Halogen</i>	130
<i>Tabel 2.29 Warna Cahaya Lampu Tabung</i>	131
<i>Tabel 2.30 Kemampuan tabung dialiri arus listrik</i>	135

<i>Tabel 2.31 Jenis Lampu Merkuri</i>	<i>138</i>
<i>Tabel 2.32 Karakteristik Lampu Merkuri Tekanan Tinggi</i>	<i>138</i>
<i>Tabel 2.33 Data Lampu Merkuri Flouresen</i>	<i>139</i>
<i>Tabel 2.34 Daya Lampu Merkuri Blended</i>	<i>140</i>
<i>Tabel 2.35 Karakteristik Lampu Sodium Tekanan Rendah</i>	<i>142</i>
<i>Tabel 2.36 Karakteristik Lampu Sodium Tekanan Tinggi</i>	<i>143</i>
<i>Tabel 2.37 Kondisi Lampu Saklar Seri</i>	<i>149</i>
<i>Tabel 2.38 Kondisi Lampu Saklar Kelompok</i>	<i>150</i>
<i>Tabel 2.39 Kondisi Lampu Saklar Tukar I</i>	<i>151</i>
<i>Tabel 2.40 Kondisi Lampu Saklar Tukar II</i>	<i>152</i>
<i>Tabel 2.41 Kondisi Lampu Saklar Silang</i>	<i>153</i>
<i>Tabel 2.42 Besar Tegangan Sentuh dan Waktu Pemutusan Maksimum</i>	<i>165</i>
<i>Tabel 2.43 Tegangan Langkah dan Waktu Pemutusan Gangguan Maksimum Yang Diizinkan</i>	<i>166</i>
<i>Tabel 2.44 Tahanan Jenis Tanah</i>	<i>170</i>
<i>Tabel 2.45 Tahanan Pengetanahan Pada Jenis Tanah Dengan Tahanan Jenis P1=100 Ohm-Meter</i>	<i>171</i>
<i>Tabel 2.46 Luas Penampang Minimum Elektroda Pengetanahan</i>	<i>171</i>
<i>Tabel 2.47 Luas Penampang Minimum Hantaran Pengaman</i>	<i>172</i>
<i>Tabel 2.48 Jarak Elektroda-Elektroda Bantu Menggunakan Metoda 62% (Ft)</i>	<i>180</i>
<i>Tabel 2.49 Sistem Multi-Elektroda</i>	<i>182</i>
<i>Tabel 2.50 Contoh Identifikasi Jenis Gangguan Peralatan Instalasi Listrik TR Pada Gedung</i>	<i>193</i>
<i>Tabel 2.51 Contoh Identifikasi Jenis Gangguan Peralatan Instalasi Listrik TM Pada Gedung</i>	<i>194</i>
<i>Tabel 2.52 Contoh Pengukuran Dalam Pengujian Kontinuitas Penghantar</i>	<i>198</i>
<i>Tabel 3.1 Daya Kumpor Listrik</i>	<i>258</i>
<i>Tabel 4.1 Ikhtisar Penyearah</i>	<i>318</i>
<i>Tabel 5.1 Parameter Pengujian Beban Nol</i>	<i>378</i>
<i>Tabel 5.2 Parameter Pengujian Hub Singkat</i>	<i>378</i>
<i>Tabel 5.3 Kelompok Hubungan Menurut Standar Vde 0532</i>	<i>380</i>
<i>Tabel 5.4 Hubungan Sisi Kumparan Dengan Lamel Lilitan Gelung</i>	<i>389</i>
<i>Tabel 5.5 Hubungan Sisi Kumparan dengan Lamel Lilitan Gelombang</i>	<i>391</i>
<i>Tabel 5.6 Karakteristik Torsi Motor Induksi</i>	<i>426</i>
<i>Tabel 5.7 Klasifikasi Isolasi Motor</i>	<i>426</i>
<i>Tabel 5.8 Karakteristik dan Penggunaan Motor Induksi Satu Fasa</i>	<i>463</i>
<i>Tabel 5.9 Pelacakan Gangguan pada Genset</i>	<i>476</i>
<i>Tabel 6.1 Bagian dan Fungsi CX – Programmer</i>	<i>504</i>

1. BAHAYA LISTRIK DAN SISTEM PENGAMANANNYA

Contoh bahaya sekunder antara lain adalah tubuh/bagian tubuh terbakar baik langsung maupun tidak langsung, jatuh dari suatu ketinggian, dan lain-lain (Gambar 1.2)

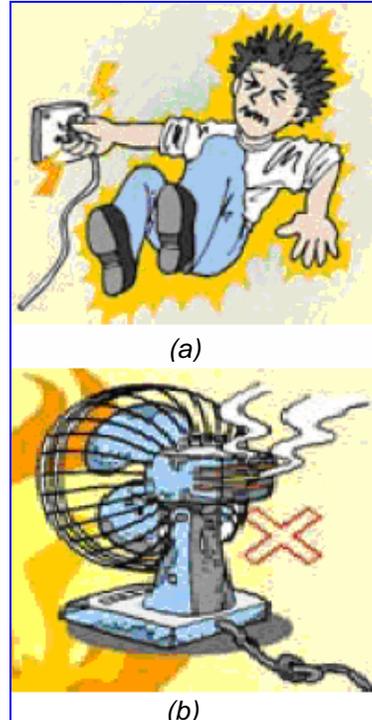
1.1 Pendahuluan

Pada satu sisi, dalam menjalankan aktivitas sehari-hari, kita sangat membutuhkan daya listrik, namun pada sisi lain, listrik sangat membahayakan keselamatan kita kalau tidak dikelola dengan baik. Sebagian besar orang pernah mengalami / merasakan sengatan listrik, dari yang hanya merasa terkejut saja sampai dengan yang merasa sangat menderita. Oleh karena itu, untuk mencegah dari hal-hal yang tidak diinginkan, kita perlu meningkatkan kewaspadaan terhadap bahaya listrik dan jalan yang terbaik adalah melalui peningkatan pemahaman terhadap sifat dasar kelistrikan yang kita gunakan.

1.2 Bahaya Listrik

Bahaya listrik dibedakan menjadi dua, yaitu bahaya **primer** dan bahaya **sekunder**. Bahaya primer adalah bahaya-bahaya yang disebabkan oleh listrik secara langsung, seperti bahaya sengatan listrik dan bahaya kebakaran atau ledakan (Gambar 1.1).

Sedangkan bahaya sekunder adalah bahaya-bahaya yang diakibatkan listrik secara tidak langsung. Namun bukan berarti bahwa akibat yang ditimbulkannya lebih ringan dari yang primer.

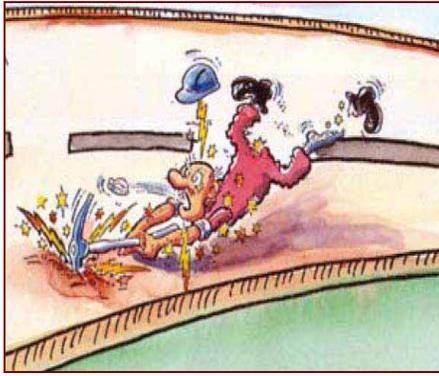


(a) sengatan listrik
(b) kebakaran dan peledakan

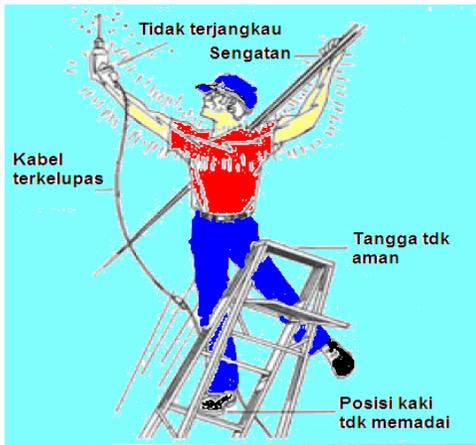
Gambar 1.1 Bahaya Primer Listrik



(a) luka terbakar karena kontak langsung



(b) Luka terbakar akibat percikan api



(c) Jatuh

Gambar 1.2 Bahaya Sekunder Listrik

1.3 Bahaya Listrik bagi Manusia

1.3.1 Dampak sengatan listrik bagi manusia

Dampak sengatan listrik antara lain adalah:

- Gagal kerja jantung (Ventricular Fibrillation), yaitu berhentinya denyut jantung atau denyutan yang sangat lemah sehingga tidak mampu mensirkulasikan darah dengan baik.

Untuk mengembalikannya perlu bantuan dari luar;

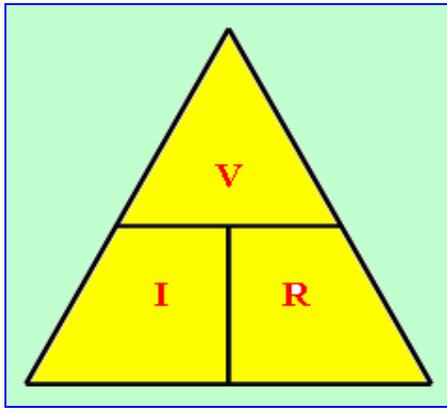
- Gangguan pernafasan akibat kontraksi hebat (suffocation) yang dialami oleh paru-paru
- Kerusakan sel tubuh akibat energi listrik yang mengalir di dalam tubuh,
- Terbakar akibat efek panas dari listrik.

1.3.2 Tiga faktor penentu tingkat bahaya listrik

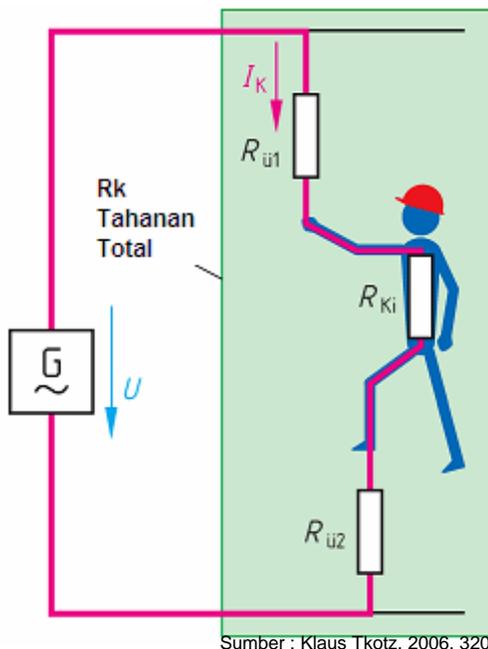
Ada tiga faktor yang menentukan tingkat bahaya listrik bagi manusia, yaitu **tegangan (V)**, **arus (I)** dan **tahanan (R)**. Ketiga faktor tersebut saling mempengaruhi antara satu dan lainnya yang ditunjukkan dalam hukum Ohm, pada Gambar 1.3.

Tegangan (V) dalam satuan volt (V) merupakan tegangan sistem jaringan listrik atau sistem tegangan pada peralatan. Arus (I) dalam satuan ampere (A) atau mili ampere (mA) adalah arus yang mengalir dalam rangkaian, dan tahanan (R) dalam satuan Ohm, kilo Ohm atau mega Ohm adalah nilai tahanan atau resistansi total saluran yang tersambung pada sumber tegangan listrik. Sehingga berlaku:

$$I = \frac{V}{R}; \quad R = \frac{V}{I}; \quad V = I \times R$$



Gambar 1.3 Segitiga tegangan, arus, dan tahanan



Sumber : Klaus Tkotz, 2006, 320

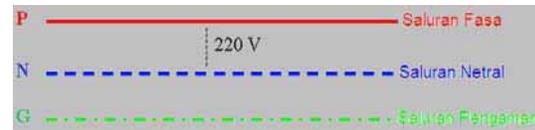
- R_{u1} = Tahanan penghantar
- R_{ki} = Tahanan tubuh
- R_{u2} = Tahanan penghantar
- R_k = Tahanan total
- $R_k = R_{u1} + R_{ki} + R_{u2}$

Gambar 1.4 Tubuh manusia bagian dari rangkaian

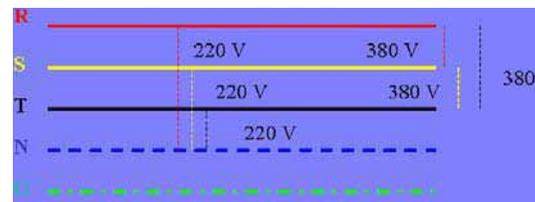
Bila dalam hal ini, titik perhatiannya pada unsur manusia, maka selain kabel (penghantar), sistem pentanahan, dan

bagian dari peralatan lain, tubuh kita termasuk bagian dari tahanan rangkaian tersebut (Gambar 1.4).

Tingkat bahaya listrik bagi manusia, salah satu faktornya ditentukan oleh tinggi rendah arus listrik yang mengalir ke dalam tubuh kita. Sedangkan kuantitas arus akan ditentukan oleh tegangan dan tahanan tubuh manusia serta tahanan lain yang menjadi bagian dari saluran. Berarti peristiwa bahaya listrik berawal dari sistem tegangan yang digunakan untuk mengoperasikan alat. Semakin tinggi sistem tegangan yang digunakan, semakin tinggi pula tingkat bahayanya. Jaringan listrik tegangan rendah di Indonesia mempunyai tegangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.5. dan sistem tegangan yang digunakan di Indonesia adalah: fasa-tunggal 220 V, dan fasa-tiga 220/380 V dengan frekuensi 50 Hz. Sistem tegangan ini sungguh sangat berbahaya bagi keselamatan manusia.



(a) Fasa-Tunggal

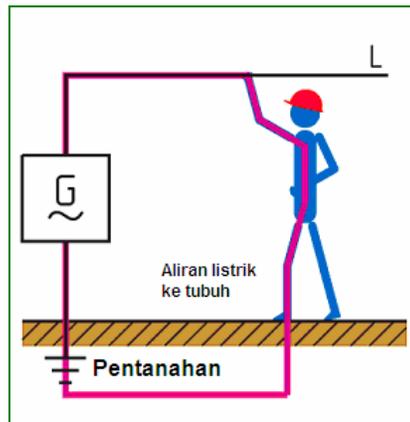


(b) Fasa-Tiga

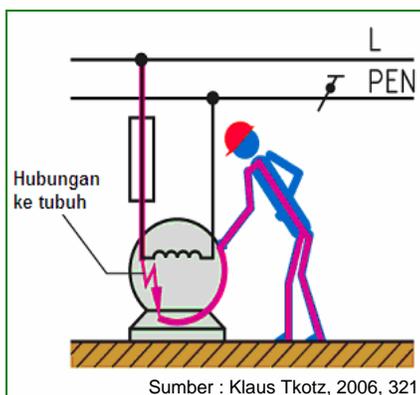
Gambar 1.5 Sistem tegangan rendah di Indonesia

1.3.3 Proses Terjadinya Sengatan Listrik

Ada dua cara listrik bisa menyengat tubuh kita, yaitu melalui sentuhan langsung dan tidak langsung. Bahaya sentuhan langsung merupakan akibat dari anggota tubuh bersentuhan langsung dengan bagian yang bertegangan sedangkan bahaya sentuhan tidak langsung merupakan akibat dari adanya tegangan liar yang terhubung ke bodi atau selungkup alat yang terbuat dari logam (bukan bagian yang bertegangan) sehingga bila tersentuh akan mengakibatkan sengatan listrik. Gambar 1.6 memberikan ilustrasi tentang kedua bahaya ini.



(a) Sentuhan Langsung



(b) Sentuhan Tak Langsung

Gambar 1.6 Jenis Bahaya Listrik

1.3.4 Tiga faktor penentu keseriusan akibat sengatan listrik

Ada tiga faktor yang menentukan keseriusan sengatan listrik pada tubuh manusia, yaitu: **besar arus**, **lintasan aliran**, dan **lama sengatan** pada tubuh.

Besar arus listrik

Besar **arus** yang mengalir dalam tubuh akan ditentukan oleh **tegangan** dan **tahanan** tubuh. Tegangan tergantung sistem tegangan yang digunakan (Gambar 1.5), sedangkan tahanan tubuh manusia bervariasi tergantung pada jenis, kelembaban/moistur kulit dan faktor-faktor lain seperti ukuran tubuh, berat badan, dan lain sebagainya. Tahanan **kontak kulit** bervariasi dari **1000 k Ω** (kulit kering) sampai **100 Ω** (kulit basah). Tahanan dalam (internal) tubuh sendiri antara 100 – 500 Ω .

Contoh:

Jika tegangan sistem yang digunakan adalah 220 V, berapakah kemungkinan arus yang mengalir ke dalam tubuh manusia?

- Kondisi terjelek:
 - Tahanan tubuh adalah tahanan kontak kulit di tambah tahanan internal tubuh, $(R_k) = 100\Omega + 100\Omega = 200\Omega$
 - Arus yang mengalir ke tubuh: $I = V/R = 220\text{ V}/200\Omega = 1,1\text{ A}$
- Kondisi terbaik:
 - Tahanan Tubuh $R_k = 1000\text{ k}\Omega$
 - $I = 220\text{ V}/1000\text{ k}\Omega = 0,22\text{ mA}$.

Lintasan aliran arus dalam tubuh

Lintasan arus listrik dalam tubuh juga akan sangat menentukan tingkat akibat sengatan listrik. Lintasan yang sangat berbahaya adalah yang melewati jantung, dan pusat saraf (otak). Untuk menghindari kemungkinan tersebut adalah apabila kita bekerja pada sistem kelistrikan, khususnya yang bersifat ON-LINE adalah sebagai berikut:

- gunakan topi isolasi untuk menghindari kepala dari sentuhan listrik,
- gunakan sepatu yang berisolasi baik agar kalau terjadi hubungan listrik dari anggota tubuh yang lain tidak mengalir ke kaki agar jantung tidak dilalui arus listrik,
- gunakan sarung tangan isolasi minimal untuk satu tangan untuk menghindari lintasan aliran ke jantung bila terjadi sentuhan listrik melalui kedua tangan. Bila tidak, satu tangan untuk bekerja sedangkan tangan yang satunya dimasukkan ke dalam saku.

Lama waktu sengatan

Lama waktu sengatan listrik ternyata sangat menentukan kefatalan akibat sengatan listrik. Penemuan faktor ini menjadi petunjuk yang sangat berharga bagi pengembangan teknologi proteksi dan keselamatan listrik. Semakin lama waktu tubuh dalam sengatan semakin fatal pengaruh yang diakibatkannya. Oleh karena itu, yang menjadi ekspektasi dalam pengembangan teknologi adalah bagaimana bisa membatasi sengatan agar dalam waktu sependek mungkin.

Untuk mengetahui lebih lanjut tentang pengaruh besar dan lama waktu arus sengatan terhadap tubuh, ditunjukkan pada Gambar 1.7.

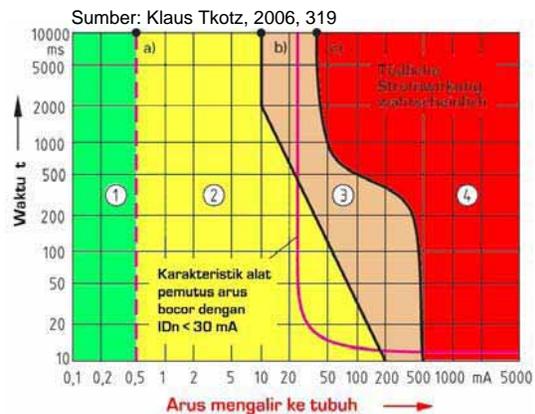
Dalam gambar ini diperlihatkan bagaimana pengaruh sengatan listrik terhadap tubuh, khususnya yang terkait

dengan dua faktor, yaitu **besar** dan **lama** arus listrik mengalir dalam tubuh. Arus sengatan pada daerah 1 (sampai 0,5 mA) merupakan daerah aman dan belum terasakan oleh tubuh (arus mulai terasa 1-8 mA).

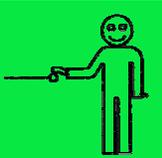
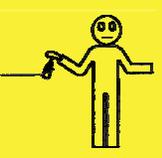
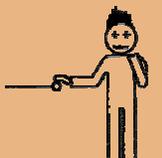
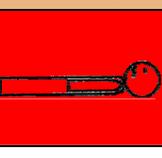
Daerah 2, merupakan daerah yang masih aman walaupun sudah memberikan dampak rasa pada tubuh dari ringan sampai sedang walaupun masih belum menyebabkan gangguan kesehatan.

Daerah 3 sudah berbahaya bagi manusia karena akan menimbulkan kejang-kejang/kontraksi otot dan paru-paru sehingga menimbulkan gangguan pernafasan.

Daerah 4 merupakan daerah yang sangat memungkinkan menimbulkan kematian si penderita.



Dalam gambar tersebut juga ditunjukkan karakteristik salah satu pengaman terhadap bahaya sengatan listrik, di mana ada batasan kurang dari 30 mA dan waktu kurang dari 25 ms. Ini akan dibahas lebih lanjut pada bagian proteksi.

Daerah	Reaksi Tubuh	
1		Tidak terasa
2		Belum menyebabkan gangguan kesehatan
3		Kejang otot, gangguan pernafasan
4		Kegagalan detak jantung, kematian

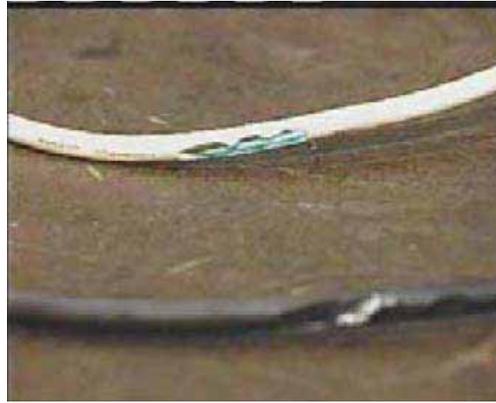
Gambar 1.7 Reaksi Tubuh terhadap Sengatan Listrik

1.3.5 Kondisi-kondisi berbahaya

Banyak penyebab bahaya listrik yang ada dan terjadi di sekitar kita, di antaranya adalah isolasi kabel rusak, bagian penghantar terbuka, sambungan terminal yang tidak kencang.

Isolasi kabel yang rusak merupakan akibat dari sudah terlalu tuanya kabel dipakai atau karena sebab-sebab lain (teriris, terpuntir, tergecet oleh benda berat dll), sehingga ada bagian yang terbuka dan kelihatan penghantarnya atau bahkan ada serabut hantaran yang menjuntai. Ini akan sangat berbahaya bagi yang secara tidak sengaja menyentuhnya atau bila terkena ceceran air atau kotoran-kotoran lain bisa menimbulkan kebakaran.

Penghantar yang terbuka biasa terjadi pada daerah titik-titik sambungan terminal dan akan sangat membahayakan bagi yang bekerja pada daerah tersebut, khususnya dari bahaya sentuhan langsung.

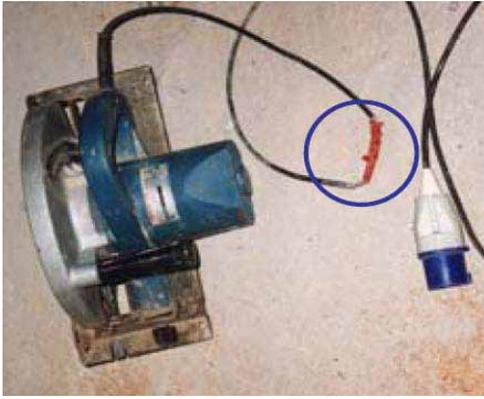


(a) Kabel terkelupas



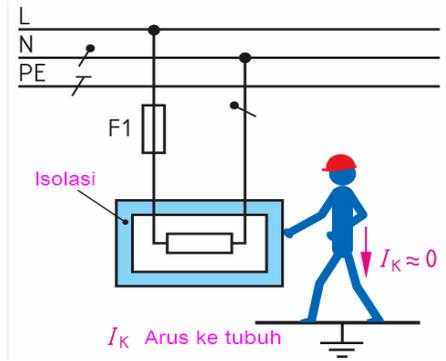
(b) Konduktor yang terbuka

Sambungan listrik yang kendur atau tidak kencang, walaupun biasanya tidak membahayakan terhadap sentuhan, namun akan menimbulkan efek pengelasan bila terjadi gerakan atau goyangan sedikit. Ini kalau dibiarkan akan merusak bagian sambungan dan sangat memungkinkan menimbulkan potensi kebakaran.



(c) isolasi kabel yang sudah pecah

Gambar 1.8 Contoh-contoh penyebab bahaya listrik



Sumber : Klaus Tkotz, 2006, 328

Gambar 1.9 Pengamanan dengan isolasi

1.3.6 Sistem Pengamanan terhadap Bahaya Listrik

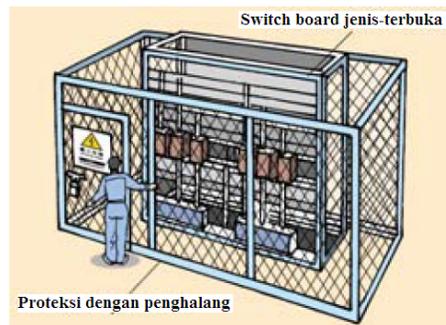
Sistem pengamanan listrik dimaksudkan untuk mencegah orang bersentuhan baik langsung maupun tidak langsung dengan bagian yang beraliran listrik.

- Menghalangi akses atau kontak langsung menggunakan enklosur, pembatas, penghalang

1.3.6.1 Pengamanan terhadap sentuhan langsung

Ada banyak cara / metoda pengamanan dari sentuhan langsung seperti yang akan dijelaskan berikut ini.

- Isolasi pengaman yang memadai. Pastikan bahwa kualitas isolasi pengaman baik, dan dilakukan pemeriksaan dan pemeliharaan dengan baik. Memasang kabel sesuai dengan peraturan dan standard yang berlaku.



Sumber : Klaus Tkotz, 2006, 328

Gambar 1.10 Pengamanan dengan pemagaran

- Menggunakan peralatan *INTER-LOCKING*. Peralatan ini biasa di pasang pada pintu-pintu. Ruangan yang di dalamnya terdapat peralatan yang berbahaya. Jika pintu dibuka, semua aliran listrik ke peralatan terputus (*door switch*).

1.3.6.2 Pengamanan terhadap tegangan sentuh (tidak langsung)

Pentanahan (*Grounding/Earthing*)

Pentanahan merupakan salah satu cara konvensional untuk mengatasi bahaya tegangan sentuh tidak langsung yang dimungkinkan terjadi pada bagian peralatan yang terbuat dari logam. Untuk peralatan yang mempunyai selungkup / rumah tidak terbuat dari logam tidak memerlukan sistem ini. Agar sistem ini dapat bekerja secara efektif maka baik dalam pembuatannya maupun hasil yang dicapai harus sesuai dengan standard.

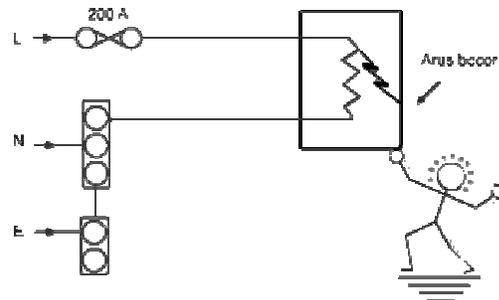
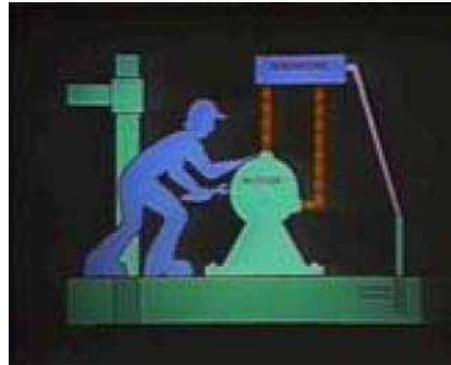
Ada 2 hal yang dilakukan oleh sistem pentanahan, yaitu (1) menyalurkan arus dari bagian-bagian logam peralatan yang teraliri arus listrik liar ke tanah melalui saluran pentanahan, dan (2) menghilangkan beda potensial antara bagian logam peralatan dan tanah sehingga tidak membahayakan bagi yang menyentuhnya.

Berikut ini contoh potensi bahaya tegangan sentuh tidak langsung dan pengamanannya.

Tegangan sentuh (tidak langsung)

Peralatan yang digunakan menggunakan sistem tegangan fasa-satu, dengan tegangan antara saluran fasa (L) dan netral (N) 220 V. Alat tersebut menggunakan sekering 200 A. Bila terjadi arus bocor pada selungkup/

rumah mesin, maka tegangan/beda potensial antara selungkup mesin dan tanah sebesar 220 V. Tegangan sentuh ini sangat berbahaya bagi manusia. Bila selungkup yang bertegangan ini tersentuh oleh orang maka akan ada arus yang mengalir ke tubuh orang tersebut sebagaimana telah diilustrasikan pada **bagian 1.3.3**

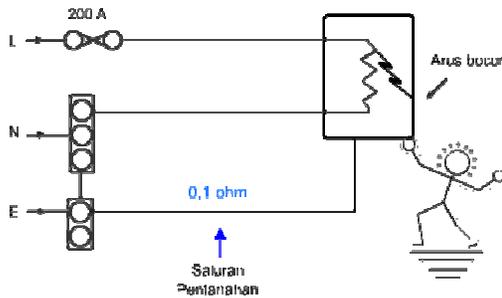


Gambar 1.11 Kondisi tegangan sentuh pada mesin

Cara pengamanan tegangan sentuh

Pengamanan dari tegangan sentuh dilakukan dengan membuat saluran pentanahan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.12. Saluran pentanahan ini harus memenuhi standard keselamatan, yakni mempunyai tahanan pentanahan tidak lebih dari 0,1 Ω . Jika tahanan saluran pentanahan sebesar 0,1 Ω , dan arus kesalahan 200 A, maka kondisi tegangan sentuh akan berubah menjadi:

$$\begin{aligned}
 V &= I \cdot R \\
 &= 200 \cdot 0,1 \\
 &= 20 \text{ V}
 \end{aligned}$$



Gambar 1.12 Saluran pentanahan sebagai pengaman terhadap tegangan sentuh

Bila tegangan ini tersentuh oleh orang maka akan mengalir arus ke tubuh orang tersebut maksimum sebesar:

$$\begin{aligned}
 I &= V / R_k \\
 \text{- Kondisi terjelek, } R_k \text{ min} &= 200 \Omega, \text{ maka} \\
 I &= 20/200 \\
 &= 0,1 \text{ A atau } 100 \text{ mA} \\
 \text{- Kondisi terbaik, } R_k \text{ maks} &= 1000 \text{ k}\Omega \\
 \text{maka} \\
 I &= 20 / 1.000.000 \\
 &= 0,00002 \text{ A atau } 0,02 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

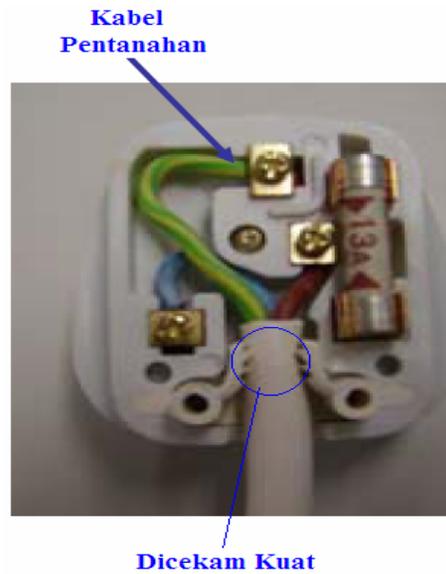
Berdasarkan hasil perhitungan ini terlihat demikian berbedanya tingkat bahaya tegangan sentuh antara yang tanpa pentanahan dan dengan pentanahan. Dengan saluran pentanahan peralatan jauh lebih aman. Karena itu pulalah, saluran pentanahan ini juga disebut **SALURAN PENGAMAN**.

Walaupun begitu, untuk menjamin keefektifan saluran pentanahan, perlu

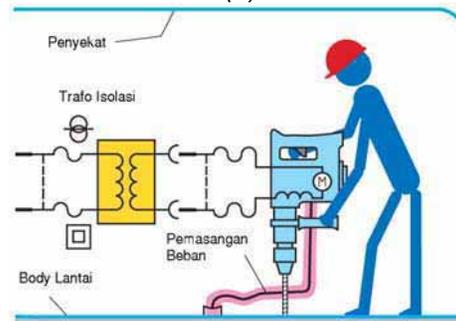
diperhatikan bahwa sambungan-sambungan harus dilakukan secara sempurna (Gambar 1.13 (a)).

- Setiap sambungan harus disekrup secara kuat agar hubungan kelistrikannya bagus guna memberikan proteksi yang baik;
- Kabel dicekam kuat agar tidak mudah tertarik sehingga kabel dan sambungan tidak mudah bergerak

Dengan kondisi sambungan yang baik menjamin koneksi pentanahan akan baik pula dan bisa memberikan jaminan keselamatan bagi orang-orang yang mengoperasikan peralatan yang sudah ditanahkan (Gambar 1.13 (b) dan (c)).

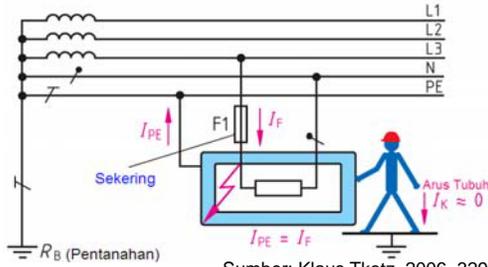


(a)



(b)

Sumber: Klaus Tkotz, 2006, 337



Sumber: Klaus Tkotz, 2006, 329

(c)

- (a) koneksi
- (b) hubungan alat dan pengguna
- (c) aliran arus

Gambar 1.13 Pengawatan kabel pentanahan

1.3.7 Alat Proteksi Otomatis

Pada saat ini sudah banyak dijumpai alat-alat proteksi otomatis terhadap tegangan sentuh. Peralatan ini tidak terbatas pada pengamanan manusia dari sengatan listrik, namun berkembang lebih luas untuk pengamanan dari bahaya kebakaran.

1.3.7.1 Jenis-jenis alat proteksi otomatis

Jenis-jenis alat proteksi yang banyak dipakai, antara lain adalah: Residual Current Device (RCD), Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB) dan Ground Fault Circuit Interruptor (GFCI). Walaupun berbeda-beda namun secara prinsip adalah sama. Yakni, alat ini akan bekerja/aktif bila mendeteksi adanya arus bocor ke tanah. Karena kemampuan itulah, arus bocor ini dianalogikan dengan arus sengatan listrik yang mengalir pada tubuh manusia.

1.3.7.2 Prinsip kerja alat pengaman otomatis

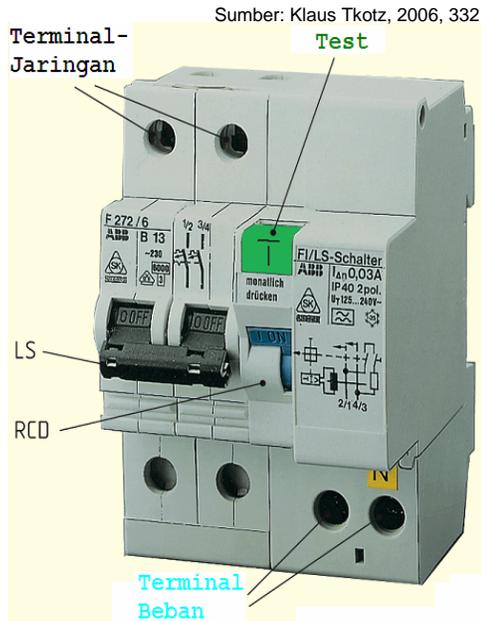
Gambar 1.14 menunjukkan gambaran fisik sebuah RCD untuk sistem fasa-tunggal dan diagram skemanya. Prinsip kerja RCD dapat dijelaskan sebagai berikut.

Perhatikan gambar diagram skematik Gambar 1.14 b.

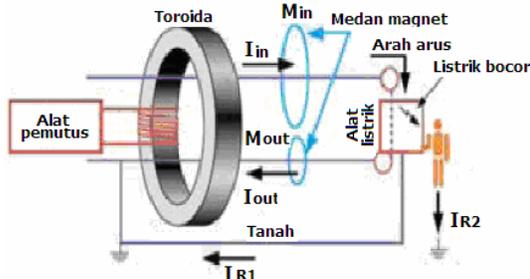
- I_{in} : arus masuk
- I_{out} : arus keluar
- I_{R1} : arus residual yang mengalir ke tubuh
- I_{R2} : arus residual yang mengalir ke tanah
- M_{in} : medan magnet yang dibangkitkan oleh arus masuk
- M_{out} : medan magnet yang dibangkitkan oleh arus keluar.

Dalam keadaan terjadi arus bocor :

- arus keluar lebih kecil dari arus masuk, $I_{out} < I_{in}$;
- arus residu mengalir keluar setelah melalui tubuh manusia atau tanah;
- karena $I_{in} > I_{out}$ maka $M_{in} > M_{out}$
- akibatnya, akan timbul ggl induksi pada koil yang dibelitkan pada toroida;
- ggl induksi mengaktifkan peralatan pemutus rangkaian



(a)

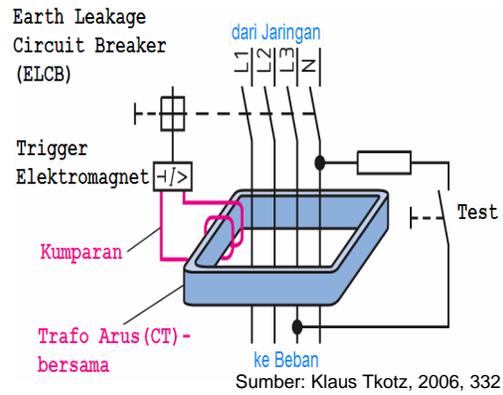


(b)

(a) Gambaran fisik RCD
(b) diagram skematik RCD

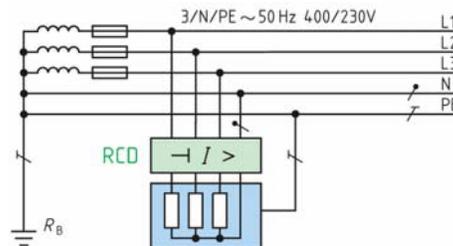
Gambar 1.14 Contoh pengaman otomatis

Skema diagram untuk sistem fasa tiga ditunjukkan pada Gambar 1.15. Prinsip kerja pengaman otomatis untuk sistem fasa tiga ditunjukkan pada Gambar 1.15 (a). Bila tidak ada arus bocor (ke tanah atau tubuh manusia) maka jumlah resultant arus yang mengalir dalam keempat penghantar sama dengan nol. Sehingga trafo arus (CT) tidak mengalami induksi dan trigger elektromagnet tidak aktif. Dalam hal ini tidak terjadi apa-apa dalam sistem.



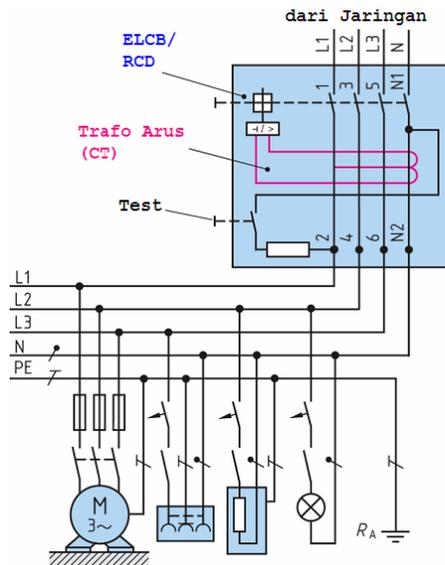
Sumber: Klaus Tkotz, 2006, 332

(a)



Sumber: Klaus Tkotz, 2006, 333

(b)



Sumber: Klaus Tkotz, 2006, 332

(c)

(a) Diagram rangkaian
(b) Pemasangan pada beban (lokal)
(c) Pemasangan Terpusat

Gambar 1.15 RCD/ELCB Fasa-Tiga

Namun sebaliknya bila ada arus bocor, maka jumlah resultant arus tidak sama dengan nol, CT menginduksikan tegangan dan mengaktifkan trigger sehingga alat pemutus daya ini bekerja memutuskan beban dari sumber (jaringan).

Gambar 1.15 b dan c memperlihatkan pemakaian CRD/ELCB. Bila pengamanan untuk satu jenis beban saja maka RCD dipasang pada saluran masukan alat saja. Sedangkan bila pengamanan untuk semua alat/beban dan saluran, maka alat pengaman dipasang pada sisi masukan/sumber semua beban. Mana yang terbaik, tergantung dari apa yang diinginkan. Kalau keinginan pengamanan untuk semua rangkaian, Gambar 1.15 c yang dipilih. Namun perlu dipertimbangkan aspek ekonomisnya, karena semakin besar kapasitas arus yang harus dilayani maka harga alat akan semakin mahal pula walaupun dengan batas arus keamanan (bocor) yang sama.

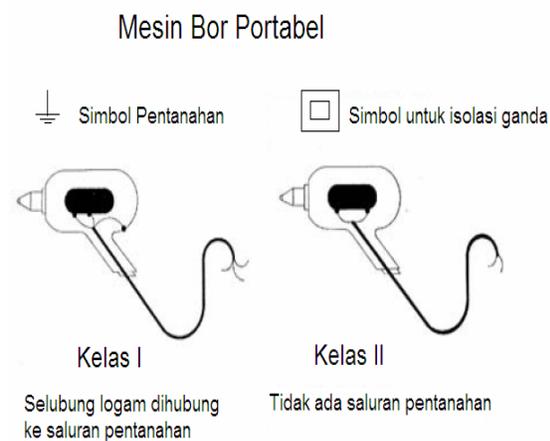
Untuk alat-alat yang dipasang di meja, cukup dengan arus pengamanan $\Delta I_n = 30 \text{ mA}$. Untuk alat-alat yang pemakaiannya menempel ke tubuh (bath tube, sauna, alat pemotong jenggot, dll) digunakan alat pengaman dengan arus lebih rendah, yaitu $\Delta I_n = 10 \text{ mA}$. Untuk pengamanan terhadap kebakaran (pemasangan terpusat) dipasang dengan $\Delta I_n = 500 \text{ mA}$.

1.3.8 Pengaman pada peralatan portabel

Metode pengamanan peralatan listrik portabel dibedakan menjadi 2 kelas, yaitu Alat Kelas I dan Kelas II. Sedangkan untuk alat-alat mainan dikategorikan Alat Kelas III.

Alat **Kelas I** adalah alat listrik yang pengamanan terhadap sengatan listrik menggunakan saluran pentanahan (grounding). Alat ini mempunyai selungkup (casing) yang terbuat dari logam.

Alat **Kelas II** adalah alat listrik yang mempunyai isolasi ganda, di mana selungkup atau bagian-bagian yang tersentuh dalam pemakaiannya terbuat dari bahan isolasi. Pada alat kelas ini tidak diperlukan saluran pentanahan. Berikut ini adalah contoh alat yang termasuk Kelas I dan Kelas II.



Gambar 1.16. Contoh klasifikasi pengamanan alat portabel

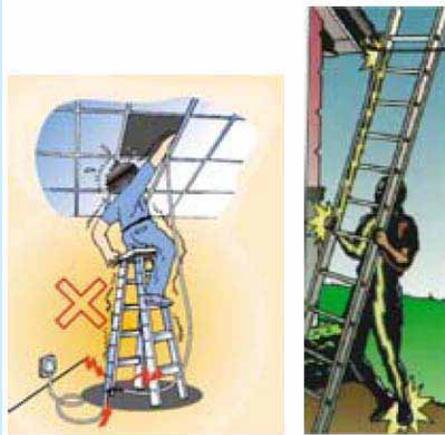
1.3.9 Prosedur Keselamatan Umum

- Hanya orang-orang yang berwenang, dan berkompeten yang diperbolehkan bekerja pada atau di sekitar peralatan listrik
- Menggunakan peralatan listrik sesuai dengan prosedur (jangan merusak atau membuat tidak berfungsi alat pengaman)



Gambar 1.17 Contoh penggunaan alat listrik

- Jangan menggunakan tangga logam untuk bekerja di daerah instalasi listrik



Gambar 1.18 Penggunaan tangga di daerah instalasi listrik

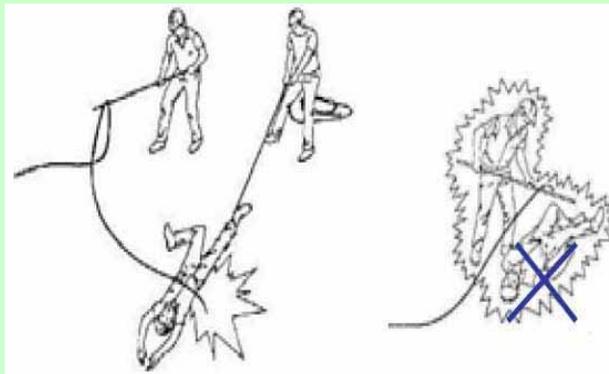
- Pelihara alat dan sistem dengan baik



Gambar 1.19 Inspeksi kondisi peralatan

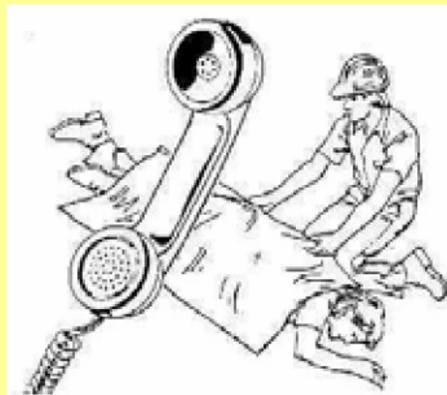
- Menyiapkan langkah-langkah tindakan darurat ketika terjadi kecelakaan
 - Prosedur shut-down : tombol pemutus aliran listrik (*emergency off*) harus mudah diraih.
 - Pertolongan pertama

- Pertolongan pertama pada orang yang tersengat listrik
 - Korban harus dipisahkan dari aliran listrik dengan cara yang aman sebelum dilakukan pertolongan pertama



Gambar 1.20 Pemisahan si korban dari aliran listrik

- Hubungi bagian yang berwenang untuk melakukan pertolongan pertama pada kecelakaan. Pertolongan pertama harus dilakukan oleh orang yang berkompeten



Gambar 1.21 Tindakan pertolongan pertama

1.3.10 Prosedur Keselamatan Khusus

Prosedur Lockout/Tagout

Prosedur ini merupakan prosedur keselamatan khusus yang diperlukan ketika bekerja untuk melakukan pemeliharaan/perbaikan pada sistem peralatan listrik secara aman.

Tujuan:

- mencegah adanya release baik secara elektrik maupun mekanik yang tidak disengaja yang membahayakan orang yang sedang melakukan pekerjaan pemeliharaan dan atau perbaikan.
- memisahkan/memutuskan dari aliran listrik.

Langkah-langkah prosedur ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Buat rencana lockout/tagout
- Beritahu operator dan pengguna lainnya rencana pemutusan aliran listrik
- Putuskan aliran pada titik yang tepat



Gambar 1.22 Titik pemutusan aliran listrik

- Periksa apakah tim/pekerja telah menggantungkan padlocksnya pada titik lockout
- Letakkan tulisan "perhatian" pada titik lockout
- Lepaskan energi sisa/tersimpan (baterai kapasitor, per)
- Pastikan bahwa peralatan/sistem tidak beraliran listrik



Gambar 1.23 Penandaan alat yang diperbaiki

- Semua anggota tim/pekerja mengambil padlocknya kembali setelah pekerjaan selesai



Gambar 1.24 Tanda pekerjaan selesai

1.4 Bahaya Kebakaran dan Peledakan

Banyak peristiwa kebakaran dan peledakan sebagai akibat dari kesalahan listrik. Peristiwa ini memberikan akibat yang jauh lebih fatal dari pada peristiwa sengatan listrik karena akibat yang ditimbulkannya biasanya jauh lebih hebat.

Akibat ini tidak terbatas pada jiwa namun juga pada harta benda. Lebih-lebih lagi bila melibatkan zat-zat berbahaya, maka tingkat bahayanya juga akan merusak lingkungan. Oleh karena itu, peristiwa semacam ini harus dicegah.



Gambar 1.25
Bahaya Kebakaran dan Peledakan

1.4.1 Penyebab Kebakaran dan Pengamanan

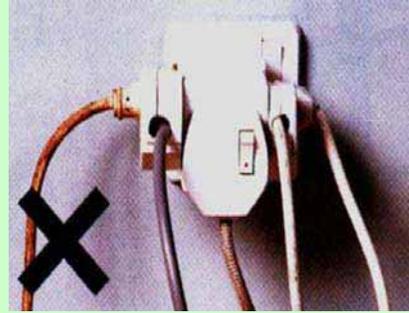
- Ukuran kabel yang tidak memadai
Salah satu faktor yang menentukan ukuran kabel atau penghantar adalah besar arus nominal yang akan dialirkan melalui kabel/ penghantar tersebut sesuai dengan lingkungan pemasangannya, terbuka atau tertutup. Dasar pertimbangannya adalah efek pemanasan yang dialami oleh penghantar tersebut jangan melampaui batas. Bila kapasitas arus terlampaui maka akan menimbulkan efek panas yang berkepanjangan yang akhirnya bisa merusak isolasi dan atau membakar benda-benda sekitarnya.

Agar terhindar dari peristiwa kapasitas lebih semacam ini maka ukuran kabel harus disesuaikan dengan peraturan instalasi listrik.



Gambar 1.26 Ukuran kabel

- Penggunaan adaptor atau stop kontak yang salah. Yang dimaksudkan di sini adalah penyambungan beban yang berlebihan sehingga melampaui kapasitas stop-kontak atau kabel yang mencatu dayanya.



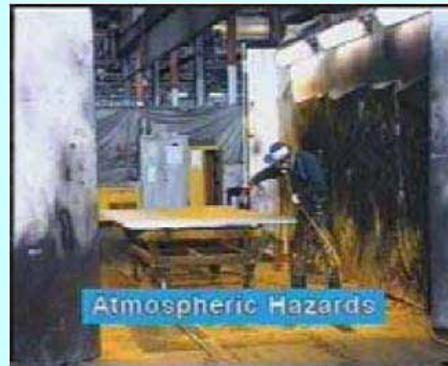
Gambar 1.27 Pemakaian stop-kontak yang salah

- Instalasi kontak yang jelek



Gambar 1.28 Koneksi yang kendur

- Percikan bunga api pada peralatan listrik atau ketika memasukkan dan mengeluarkan soket ke stop-kontak pada lingkungan kerja yang berbahaya di mana terdapat cairan, gas atau debu yang mudah terbakar.
- Untuk daerah-daerah seperti ini harus digunakan peralatan anti percikan api.

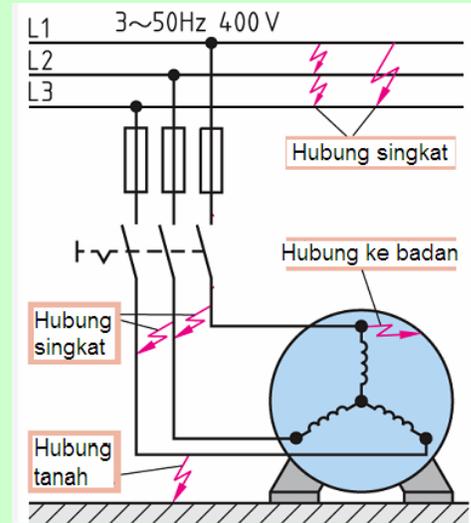


Gambar 1.29 Lingkungan sangat berbahaya

Kondisi abnormal sistem kelistrikan

Gambar 1.30 mengilustrasikan arus kesalahan (abnormal) yang sangat ekstrim yang bisa jadi menimbulkan kebakaran dan atau peledakan, yaitu:

- Terjadinya hubung singkat antar saluran aktif L1, L2, dan L3,
 - Hubung singkat ke tanah (hubung tanah) antara saluran aktif L1, L2, L3 dengan tanah
 - Bila ada kawat netral bisa terjadi hubung singkat antara saluran aktif L1, L2, L3 dengan saluran netral,
- Untuk mencegah potensi bahaya yang disebabkan oleh kondisi abnormal semacam ini adalah pemasangan alat proteksi yang tepat, seperti sekering, CB, MCB, ELCB, dll.

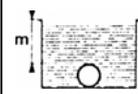


Gambar 1.30 Jenis Arus Kesalahan

1.5 Sistem – IP berdasarkan DIN VDE 0470

Tabel 1a Simbol-simbol yang digunakan untuk berbagai jenis proteksi menurut EN 60529.

Digit kesatu : Proteksi terhadap benda padat			Digit kedua : Proteksi terhadap zat cair			Digit ketiga : Proteksi terhadap benturan mekanis		
IP	Test		IP	Test		IP	Test	
0		Tanpa proteksi	0		Tanpa proteksi	0		Tanpa proteksi
1		Proteksi terhadap benda padat lebih besar 50 mm (contoh, kontak dengan tangan)	1		Proteksi terhadap air yang jatuh ke bawah / vertikal (kondurasi)	1		Proteksi terhadap benturan dengan energi 0,225 joule
2		Proteksi terhadap benda padat lebih besar 12 mm (contoh jari tangan)	2		Proteksi terhadap air sampai dengan 15° dari vertikal	2		Proteksi terhadap benturan dengan energi 0,375 joule
3		Proteksi terhadap benda padat lebih besar 2,5 mm (contoh penghantar kabel)	3		Proteksi terhadap jatuhnya hujan sampai 60° dari vertical	3		Proteksi terhadap benturan dengan energi 0,5 joule
4		Proteksi terhadap benda padat lebih besar 1 mm (contoh alat kabel kecil)	4		Proteksi terhadap semprotan air dari segala arah	5		Proteksi terhadap benturan dengan energi 2 joule
5		Proteksi terhadap debu (tidak ada lapisan/enda pan yang membahayakan)	5		Proteksi terhadap semprotan air yang kuat dari segala arah	7		Proteksi terhadap benturan dengan energi 6 joule
6		Proteksi terhadap debu secara keseluruhan	6		Proteksi terhadap semprotan air bertekanan berat	9		Proteksi terhadap benturan dengan energi 20 joule
			7		Proteksi terhadap pengaruh dari pencelupan			

Digit kesatu : Proteksi terhadap benda padat			Digit kedua : Proteksi terhadap zat cair			Digit ketiga : Proteksi terhadap benturan mekanis		
IP	Test		IP	Test		IP	Test	
			8		Proteksi terhadap pengaruh dari pencelupan di bawah tekanan			

2. INSTALASI LISTRIK

2.1 Pendahuluan

Dari masa ke masa seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan kemajuan teknologi, manusia menghendaki kehidupan yang lebih nyaman. Bagi masyarakat modern, energi listrik merupakan kebutuhan primer. Hal ini bisa kita lihat dalam kehidupan sehari-hari energi listrik bermanfaat untuk kebutuhan rumah tangga, antara lain penerangan lampu, pompa air, pendingin lemari es / freezer, pengkondisi udara dingin, kompor listrik, mesin kopi panas, dispenser, setrika listrik, TV, dan sebagainya.

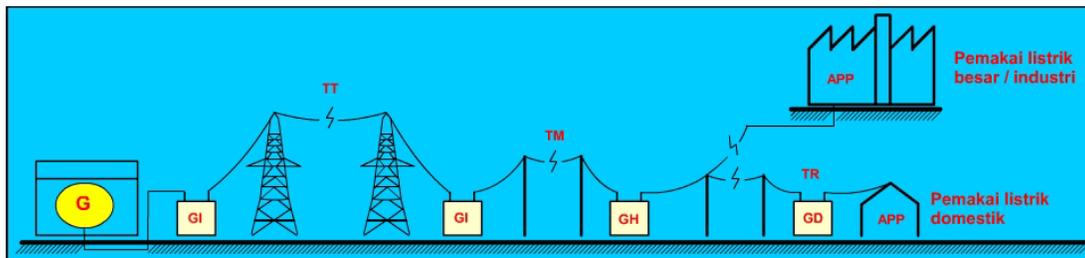
Hampir setiap bangunan membutuhkan energi listrik seperti sekolah / kampus, perkantoran, rumah sakit, hotel, restoran, mall, supermarket, terminal, stasiun, pelabuhan, bandara, stadion, Industri, dan sebagainya. Namun, akibat listrik juga dapat membahayakan manusia maupun lingkungannya seperti tersengat listrik atau kebakaran karena

listrik. Di Indonesia, penyedia energi listrik dikelola pengusaha ketenagalistrikan (PT. PLN), dan pelaksana instalasinya dikerjakan oleh instalatir.

Energi listrik dari pembangkit sampai ke pemakai / konsumen listrik disalurkan melalui saluran transmisi dan distribusi yang disebut instalasi penyedia listrik. Sedangkan saluran dari alat pembatas dan pengukur (APP) sampai ke beban disebut instalasi pemanfaatan tenaga listrik.

Agar pemakai / konsumen listrik dapat memanfaatkan energi listrik dengan aman, nyaman dan kontinu, maka diperlukan instalasi listrik yang perencanaan maupun pelaksanaannya memenuhi standar berdasarkan peraturan yang berlaku.

Buku ini akan membahas lebih lanjut tentang instalasi pemanfaatan tenaga listrik.



Gambar 2.1 Saluran energi listrik dari pembangkit ke pemakai

Keterangan :

G : Generator
GI : Gardu Induk
GH : Gardu Hubung
GD : Gardu Distribusi

TT : Jaringan tegangan tinggi
TM : Jaringan tegangan menengah
TR : Jaringan tegangan rendah
APP : Alat pembatas dan pengukur

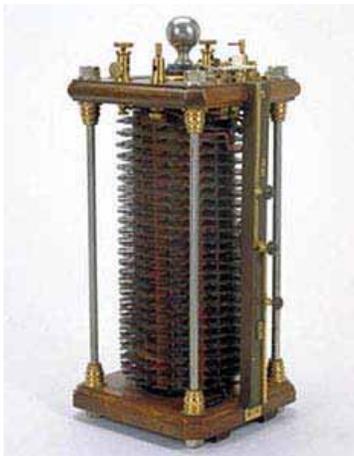
2.1.1 Sejarah Penyediaan Tenaga Listrik

Energi listrik adalah salah satu bentuk energi yang dapat berubah ke bentuk energi lainnya. Sejarah tenaga listrik berawal pada Januari 1882, ketika beroperasinya pusat tenaga listrik yang pertama di London Inggris. Kemudian pada tahun yang sama, bulan September juga beroperasi pusat tenaga listrik di New York City, Amerika. Keduanya menggunakan arus searah tegangan rendah, sehingga belum dapat mencukupi kebutuhan kedua kota besar tersebut, dan dicari sistem yang lebih memadai.

Pada tahun 1885 seorang Prancis bernama *Lucian Gaulard* dan *John Gibbs* dari Inggris menjual hak paten generator arus bolak-balik kepada seorang pengusaha bernama *George Westinghouse*. Selanjutnya dikembangkan generator arus bolak-balik dengan tegangan tetap, pembuatan transformator dan akhirnya diperoleh sistem jaringan arus bolak-balik sebagai transmisi dari pembangkit ke beban/pemakai. Sejarah penyediaan tenaga listrik di Indonesia dimulai dengan selesai

dibangunnya pusat tenaga listrik di Gambir, Jakarta (Mei 1897), kemudian di Medan (1899), Surakarta (1902), Bandung (1906), Surabaya (1912), dan Banjarmasin (1922).

Pusat-pusat tenaga listrik ini pada awalnya menggunakan tenaga termis. Kemudian disusul dengan pembuatan pusat-pusat listrik tenaga air: PLTA Giringan di Madiun (1917), PLTA Tes di Bengkulu (1920), PLTA Plengan di Priangan (1922), PLTA Bengkok dan PLTA Dago di Bandung (1923). Sebelum perang dunia ke-2, pada umumnya perusahaan listrik di Indonesia diolah oleh perusahaan-perusahaan swasta, diantaranya yang terbesar adalah NIGEM (*Nederlands Indische Gas en Electriciteits Maatschappij*) yang kemudian menjelma menjadi OGEM (*Overzee Gas en Electriciteits Maatschappij*), ANIEM (*Algemene Nederlands Indische Electriciteits Maatschappij*), dan GEBEO (*Gemeen Schappelijk Electriciteits Bedrijf Bandung en Omsheken*).



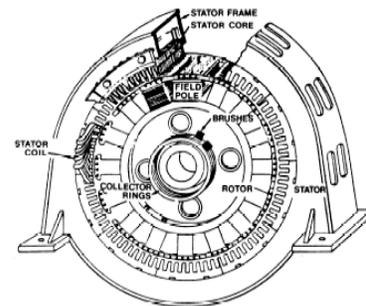
Sumber : www.ien.it

a. Generator Gaulard dan Gibbs



Sumber : inventors.about.com

b. Generator Westinghouse



Sumber : peswiki.com

c. Generator secara umum

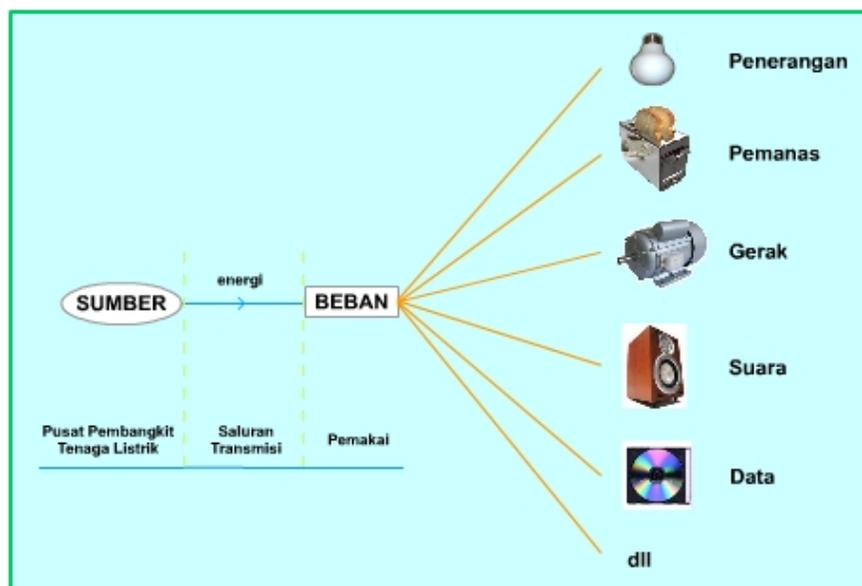
Gambar 2.2 Generator

Sedangkan Jawatan Tenaga Air (*s'Lands Waterkroct Bedrijren*, disingkat LWB) membangun dan mengusahakan sebagian besar pusat-pusat listrik tenaga air di Jawa Barat. Pada tahun 1958 pengelolaannya dialihkan ke negara pada Perusahaan Umum Listrik Negara.

2.1.2 Peranan Tenaga Listrik

Di pusat pembangkit tenaga listrik, generator digerakan oleh turbin dari bentuk energi lainnya antara lain : dari Air - PLTA; Gas - PLTG; Uap - PLTU; Diesel - PLTD; Panas Bumi - PLTP; Nuklir - PLTN.

Energi listrik dari pusat pembangkitnya disalurkan melalui jaringan transmisi yang jaraknya relatif jauh ke pemakai listrik/konsumen.



Gambar 2.3 Penyaluran energi listrik ke beban

Konsumen listrik di Indonesia dengan sumber dari PLN atau Perusahaan swasta lainnya dapat dibedakan sebagai berikut :

1. Konsumen Rumah Tangga

Kebutuhan daya listrik untuk rumah tangga antara 450VA s.d. 4400VA, secara umum menggunakan sistem 1 fasa dengan tegangan rendah 220V / 380V dan jumlahnya sangat banyak.

2. Penerangan Jalan Umum (PJU)

Pada kota-kota besar penerangan jalan umum sangat diperlukan oleh karena bebannya berupa lampu dengan masing-masing daya tiap lampu/tiang antara 50VA s.d. 250VA bergantung pada jenis jalan yang diterangi, maka sistem yang digunakan 1 fasa dengan tegangan rendah 220V / 380V.

3. Konsumen Pabrik

Jumlahnya tidak sebanyak konsumen rumah tangga, tetapi masing-masing pabrik dayanya dalam orde kVA. Penggunaannya untuk pabrik yang kecil masih menggunakan sistem 1 fasa tegangan rendah (220V / 380V), namun untuk pabrik-pabrik yang besar menggunakan sistem 3 fasa dan saluran masuknya dengan jaringan tegangan menengah 20kV.

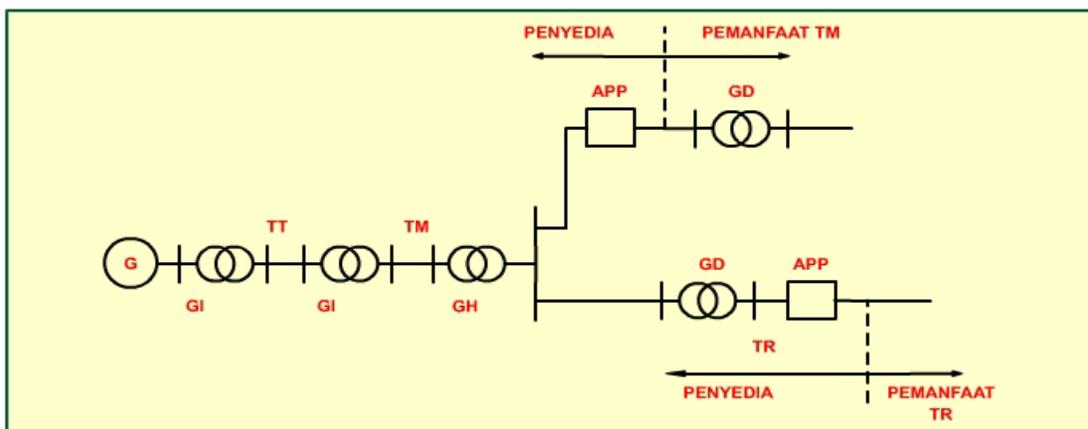
4. Konsumen Komersial

Yang dimaksud konsumen komersial antara lain stasiun, terminal, KRL (Kereta Rel Listrik), hotel-hotel berbintang, rumah sakit besar, kampus, stadion olahraga, mall, hypermarket, apartemen. Rata-rata menggunakan sistem 3 fasa, untuk yang kapasitasnya kecil dengan tegangan rendah, sedangkan yang berkapasitas besar dengan tegangan menengah.



Gambar 2.4 Distribusi Tenaga Listrik ke Konsumen

2.1.3 Instalasi Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik



Gambar 2.5 Instalasi Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik

Keterangan :

- G = Generator / Pembangkit Tenaga Listrik
- GI = Gardu Induk
- GH = Gardu Hubung
- GD = Gardu Distribusi
- TT = Jaringan Tegangan Tinggi
- TM = Jaringan Tegangan Menengah
- TR = Jaringan Tegangan Rendah
- APP = Alat Pembatas/Pengukur

Instalasi dari pembangkitan sampai dengan alat pembatas/pengukur (APP) disebut **Instalasi Penyediaan Tenaga Listrik.**

Dari mulai APP sampai titik akhir beban disebut **Instalasi Pemanfaatan Tenaga Listrik.**

Standarisasi daya tersambung yang disediakan oleh pengusaha ketenagalistrikan (PT. PLN) berupa daftar penyeragaman pembatasan dan pengukuran dengan daya tersedia untuk tarif S-2, S-3, R-1, R-2, R-4, U-1, U-2, G-1, I-1, I-2, I-3, H-1 dan H-2 pada jaringan distribusi tegangan rendah.

Sedangkan daya tersambung pada tegangan menengah, dengan pembatas untuk tarif S-4, SS-4, I-4, U-3, H-3 dan G-2 adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Daya Tersambung Pada Tegangan Menengah

Arus Nominal (Ampere)	Daya Tersambung (kVA) pada Tegangan			
	6 kV	12 kV	15 kV	20 kV
-	*)	*)	*)	210**)
-	-	-	-	235***)
6,3	-	-	-	240
10	-	210	260	345
16	-	335	415	555
20	210	415	520	690
25	260	520	650	865
32	335	665	830	1.110
40	415	830	1.040	1.385
50	520	1.040	1.300	1.730
63	655	1.310	1.635	2.180
80	830	1.660	2.080	2.770
100	1.040	2.880	2.600	3.465
125	1.300	2.600	3.250	4.330
160	1.660	3.325	4.155	5.540
200	2.080	4.155	5.195	6.930
250	2.600	5.195	6.495	8.660

Sumber : PT. PLN Jabar, 2002

Keterangan :

- *) Secara bertahap disesuaikan menjadi 20 kV
- **) Pengukuran tegangan menengah tetapi dengan pembatasan pada sisi tegangan rendah dengan pembatas arus 3 x 355 Ampere tegangan 220/380 Volt.
- ***) Pengukuran tegangan menengah tetapi dengan pembatasan pada sisi tegangan rendah dengan pembatas arus 3 x 630 Ampere tegangan 127/220 Volt.

Pengguna listrik yang dilayani oleh PT. PLN dapat dibedakan menjadi beberapa golongan yang ditunjukkan tabel berikut ini :

Tabel 2.2 Golongan Pelanggan PT. PLN

Arus Primer (A)	Daya Tersambung (kVA)	Arus Primer (A)	Daya Tersambung (kVA)
6	210	67,5	2335
7	245	70	2425
8	275	75	2595
9	310	80	2770
10	345	82,5	2855
11	380	87,5	3030
12	415	90	3115
14	485	100	3465
15	520	105	3635
16	555	110	3805
17,5	605	112,5	3895
18	625	120	4150
20	690	122,5	4240
21	725	125	4330
22	760	135	4670
22,5	780	140	4845
24	830	150	5190
25	865	157,5	5450
27	935	160	5540
27,5	950	165	5710
28	970	175	6055
30	1040	180	6230
32	1110	192,5	6660
33	1140	200	6930
35	1210	210	7265
36	1245	220	7615
40	1385	225	7785
42	1455	240	8305
44	1525	250	8660
45	1560	270	9345
48	1660	275	9515

Sumber : PT. PLN Jabar. 2002

Arus Primer (A)	Daya Tersambung (kVA)
50	1730
52,5	1815
54	1870
55	1905
60	2075
66	2285

Sumber : PT. PLN Jabar, 2002

Arus Primer (A)	Daya Tersambung (kVA)
280	9690
300	10380
315	10900
330	11420
350	12110
385	13320

Daya yang disarankan untuk pelanggan TM 20 kV (Pengukuran pada sisi TM dengan relai sekunder)

Pelanggan TM yang dibatasi dengan pelebur TM, standarisasi dayanya seperti tabel berikut :

Tabel 2.3 Standarisasi Daya Pelanggan TM dengan pembatas pelebur TM

Arus Nominal TM (Ampere)	Daya Tersambung (kVA)
6,3	240
10	345
16	555
20	690
25	865
32	1.110
40	1.385
50	1.730

Sumber : PT. PLN Jabar, 2002

Arus Nominal TM (Ampere)	Daya Tersambung (kVA)
50	1.730
63	2.180
80	2.770
100	3.465
125	4.330
160	5.540
200	6.930
250	8.660

Pelanggan TM yang dibatasi dengan pelebur TR, standarisasi dayanya seperti tabel berikut :

Tabel 2.4 Standarisasi Daya Pelanggan TM dengan pembatas pelebur TR

Arus Nominal TR (Ampere)	Daya Tersambung (kVA)
3 x 355	233
3 x 425	279
3 x 500	329

Sumber : PT. PLN Jabar, 2002

Arus Nominal TR (Ampere)	Daya Tersambung (kVA)
3 x 630	414
3 x 800	526
3 x 1000	630

Pengguna listrik yang dilayani oleh PT. PLN dapat dibedakan menjadi beberapa golongan yang ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 2.5 Golongan Tarif

No	Golongan Tarif	Penjelasan	Sistem Tegangan	Batas Daya
1.	S – 1	Pemakai sangat kecil	TR	s/d 200 VA
2.	S – 2	Badan sosial kecil	TR	250 VA s/d 2200VA
3.	S – 3	Badan sosial sedang	TR	2201 VA s/d 200 kVA
4.	S – 4	Badan sosial besar	TM	201 Kva KEATAS
5.	SS – 4	Badan sosial besar dikelola swasta untuk komersial	TM	201 Kva KEATAS
6.	R – 1	Rumah tangga kecil	TR	250 VA s/d 500 VA
7.	R – 2	Rumah tangga sedang	TR	501 VA s/d 2200 VA
8.	R – 3	Rumah tangga menengah	TR	2201 VA s/d 6600 VA
9.	R – 4	Rumah tangga besar	TR	6601 VA KEATAS
10.	U – 1	Usaha Kecil	TR	250 VA s/d 2200 VA
11.	U – 2	Usaha Sedang	TR	2201 VA s/d 200 kVA
12.	U – 3	Usaha Besar	TM	201 kVA keatas
13.	U – 4	Sambungan Sementara	TR	
14.	H – 1	Perhotelan Kecil	TR	250 VA s/d 99 kVA
15.	H – 2	Perhotelan Sedang	TR	100 kVA s/d 200 kVA
16.	H – 3	Perhotelan Besar	TM	201 kVA keatas
17.	I – 1	Industri Rumah Tangga	TR	450 VA s/d 2200 VA
18.	I – 2	Industri Kecil	TR	2201 VA s/d 13,9 kVA
19.	I – 3	Industri Sedang	TR	14 kVA s/d 200 kVA
20.	I – 4	Industri Menengah	TM	201 Kva KEATAS
21.	I – 5	Industri Besar	TT	30.000 kVA keatas
22.	G – 1	Gedung Pemerintahan kecil/sedang	TR	250 VA s/d 200 kVA
23.	G – 2	Gedung Pemerintahan Besar	TM	201 Kva KEATAS
24.	J	Penerangan Umum	TR	

Sumber : PT. PLN Jabar, 2002

2.1.4 Jaringan Listrik

Pusat tenaga listrik pada umumnya terletak jauh dari pusat bebannya. Energi listrik disalurkan melalui jaringan transmisi. Karena tegangan generator pembangkit umumnya relatif rendah (6kV-24kV). Maka tegangan ini dinaikan dengan transformator daya ke tegangan yang lebih tinggi antara 30kV-500kV. Tujuan peningkatan tegangan ini, selain memperbesar daya hantar dari saluran (berbanding lurus dengan kwadrat tegangan), juga untuk memperkecil rugi daya dan susut tegangan pada saluran.

Penurunan tegangan dari jaringan tegangan tinggi / ekstra tinggi sebelum ke konsumen dilakukan dua kali. Yang pertama dilakukan di gardu induk (GI), menurunkan tegangan dari 500kV ke 150kV atau dari 150kV ke 70kV. Yang kedua dilakukan pada gardu distribusi dari 150 kV ke 20 kV, atau dari 70kV ke 20 kV.

Saluran listrik dari sumber pembangkit tenaga listrik sampai transformator terakhir, sering disebut juga sebagai saluran transmisi, sedangkan dari transformator terakhir sampai konsumen disebut saluran distribusi atau saluran primer.

Ada dua macam saluran transmisi / distribusi PLN yaitu saluran udara (*overhead lines*) dan saluran kabel bawah tanah (*underground cable*).

Kedua cara penyaluran tersebut masing-masing mempunyai keuntungan dan kerugian. Dari segi keindahan, saluran bawah tanah lebih disukai dan juga tidak mudah terganggu oleh cuaca buruk : hujan, petir angin dan sebagainya.

Namun saluran bawah tanah jauh lebih mahal dibanding saluran udara, tidak cocok untuk daerah banjir karena bila terjadi gangguan / kerusakan, perbaikannya lebih sulit.



Gambar 2.6 Saluran penghantar udara untuk bangunan-bangunan kecil (mengganggu keindahan pandangan)



Gambar 2.7 Saluran kabel bawah tanah pada suatu perumahan mewah

Secara rinci keuntungan pemasangan saluran udara antara lain :

+ Biaya investasi untuk membangun suatu saluran udara jauh lebih murah dibandingkan untuk saluran dibawah tanah.

+ Untuk daerah-daerah

+ Saluran bawah tanah relatif tidak terganggu oleh pengaruh-pengaruh cuaca : hujan, angin, petir, salju, sabotase, pencurian kabel lebih sulit, gangguan layang-layang.

+ Saluran bawah tanah tidak mengganggu keindahan pandangan, tidak semerawut seperti saluran udara.

Pemasangan saluran bawah tanah antara lain :

• Pemasangan saluran kabel bawah tanah relatif murah.

Dari pertimbangan diatas, bahwa saluran udara lebih cocok di gunakan pada :

- saluran transmisi tegangan tinggi,
- daerah luar kota, misalnya di pegunungan atau daerah jarang penduduknya.

Sedangkan untuk saluran bawah tanah akan cocok digunakan pada :

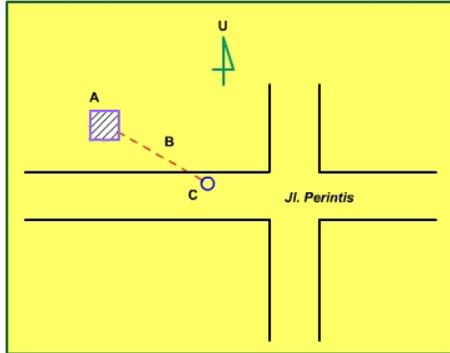
- saluran transmisi tegangan rendah,
- kota-kota besar yang banyak penduduknya.

Akhir / ujung dari saluran transmisi, adalah merupakan saluran masuk pelayanan ke dalam suatu gedung / bangunan, sebagai pengguna energi listrik Adapun komponen/peralatan utama kelistrikan pada gedung/bangunan

Dalam perencanaan instalasi listrik pada suatu gedung / bangunan, berkas rancangan instalasi listrik terdiri dari :

1. Gambar Situasi
2. Gambar Instalasi
3. Diagram Garis Tunggal
4. Gambar Rinci

1. Gambar Situasi



Gambar 2.8 Situasi

Yang menunjukkan gambar posisi gedung / bangunan yang akan dipasang instalasi listriknya terhadap saluran / jaringan listrik terdekat. Data yang perlu ditulis pada gambar situasi ini adalah alamat lengkap, jarak terhadap sumber listrik terdekat (tiang listrik / bangunan yang sudah berlistrik) untuk daerah yang sudah ada jaringan listriknya. Bila belum ada jaringan listriknya, perlu digambarkan rencana pemasangan tiang-tiang listrik.

Keterangan :

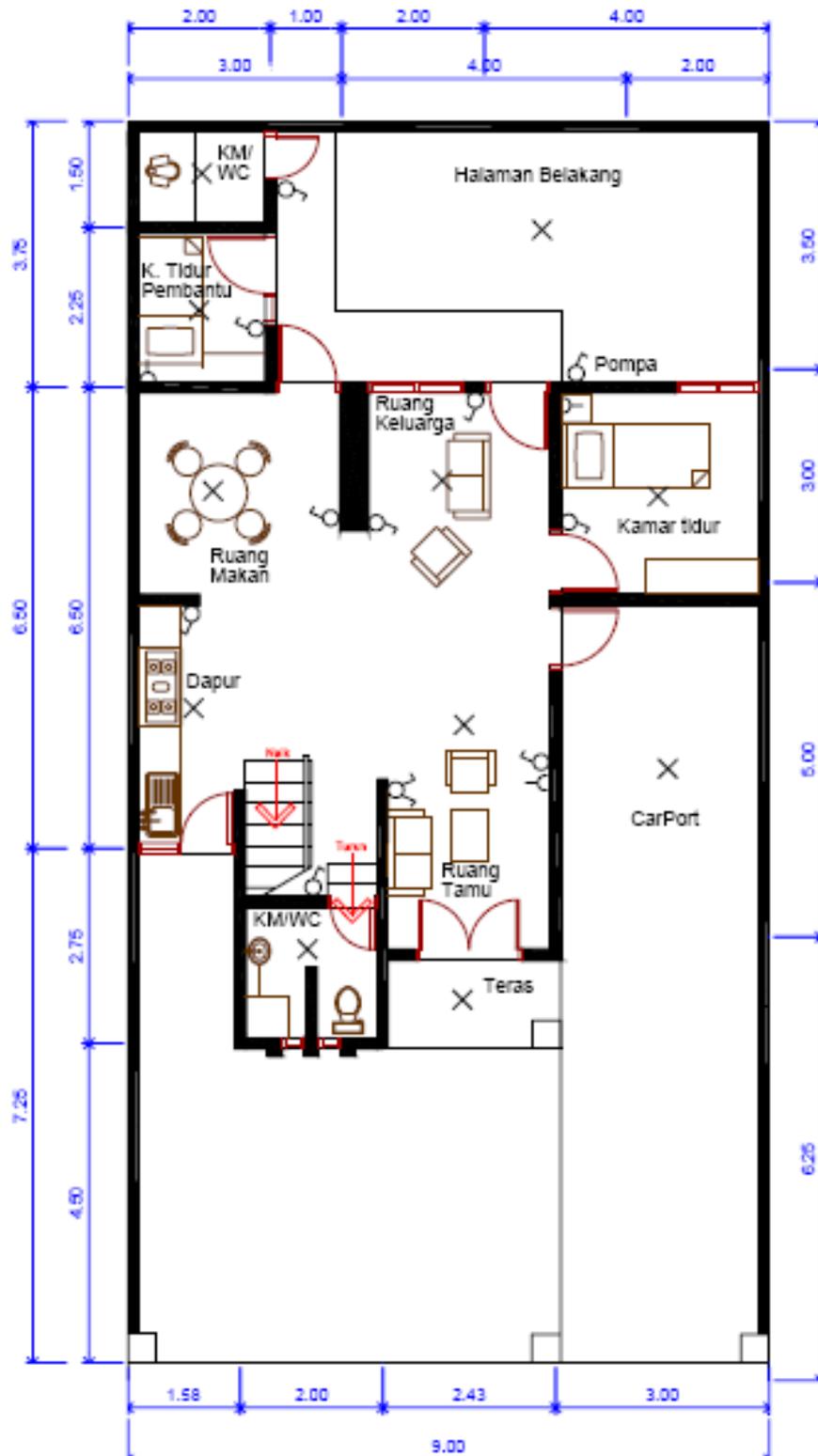
- A : Lokasi bangunan
- B : Jarak bangunan ke tiang
- C : kode tiang / transformator
- U : menunjukkan arah utara

2. Gambar Instalasi

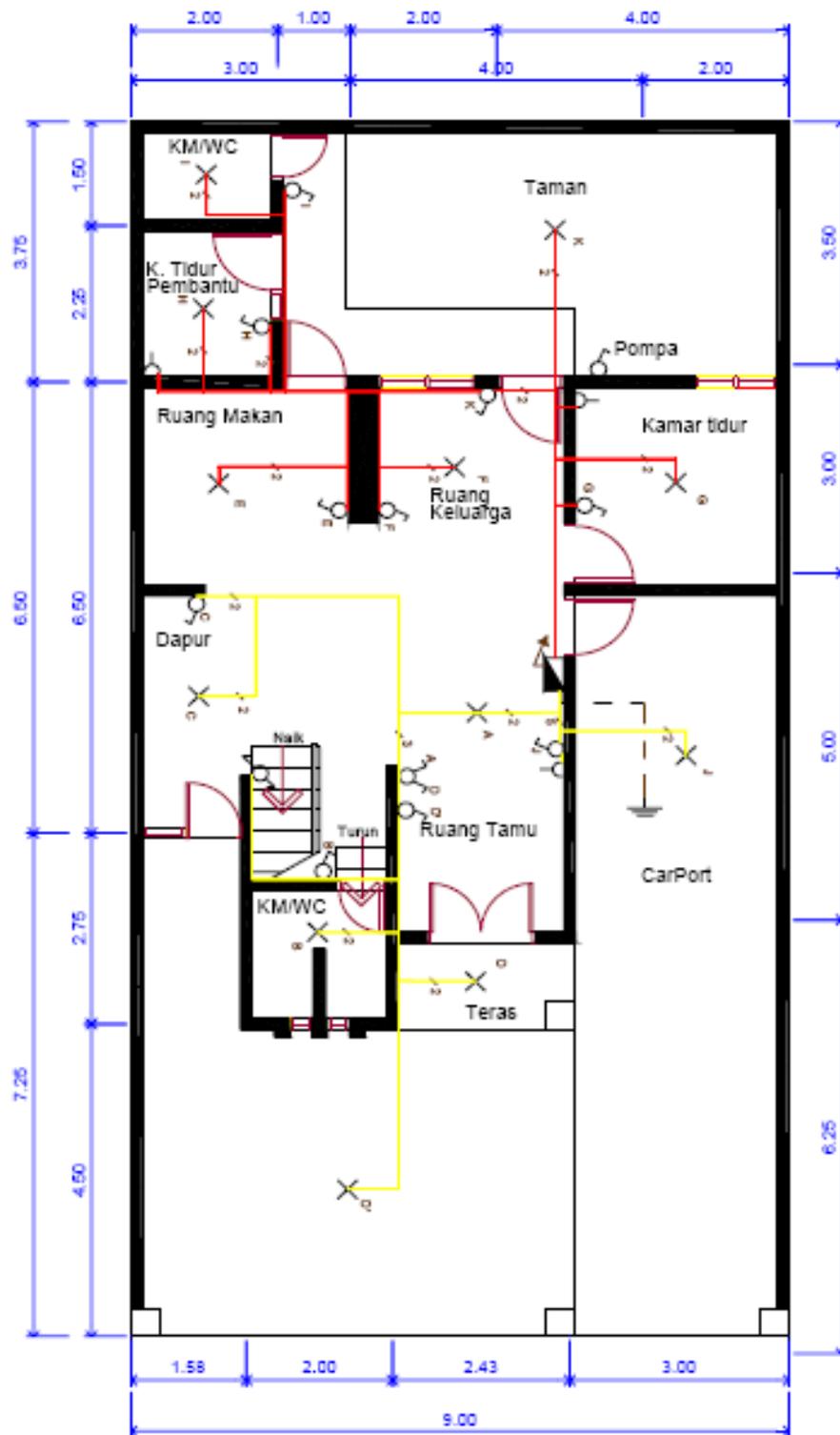
Yang menunjukkan gambar denah bangunan (pandangan atas) dengan rencana tata letak perlengkapan listrik dan rencana hubungan perlengkapan listriknya.

Saluran masuk langsung ke APP yang biasanya terletak didepan / bagian yang mudah dilihat dari luar. Dari APP ke PHB utama melalui kabel toefoer, yang biasanya berjarak pendek, dan posisinya ada didalam bangunan. Pada PHB ini energi listrik didistribusikan ke beban menjadi beberapa group / kelompok :

- Untuk konsumen domestik / bangunan kecil, dari PHB dibagi menjadi beberapa group dan langsung ke beban. Biasanya dengan sistem satu fasa.
- Untuk konsumen industri karena areanya luas, sehingga jarak ke beban jauh dari PHB utama dibagi menjadi beberapa group cabang / *Sub Distribution Panel* baru disalurkan ke beban.



Gambar 2.9 Denah rumah tipe T-125 lantai dasar

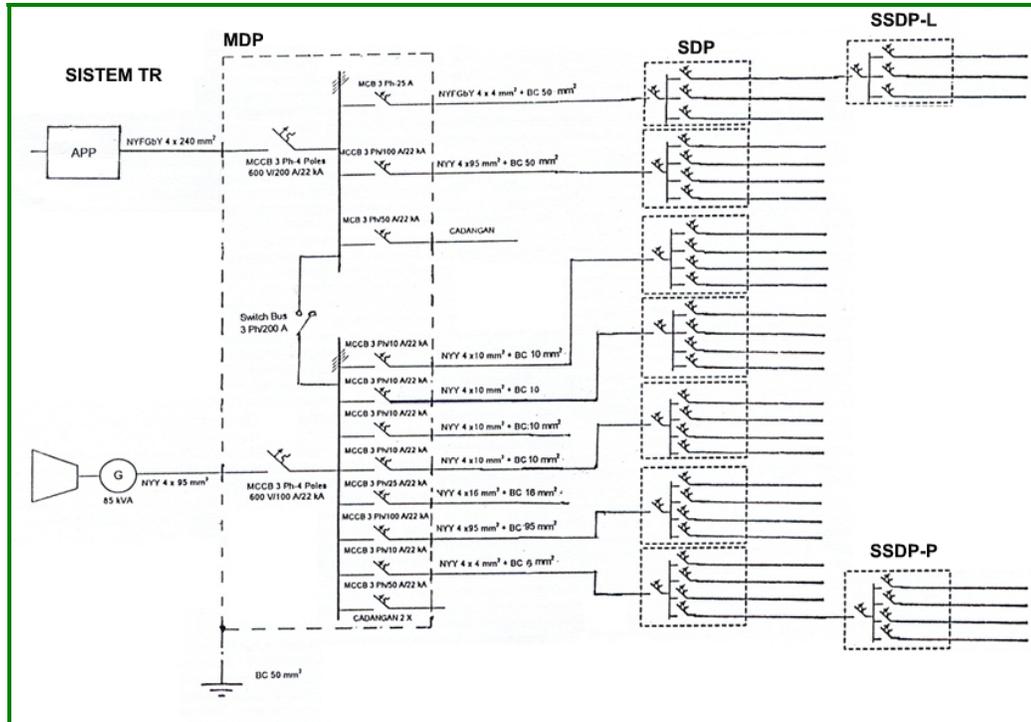


Gambar 2.10 Instalasi rumah tipe T-125 lantai dasar

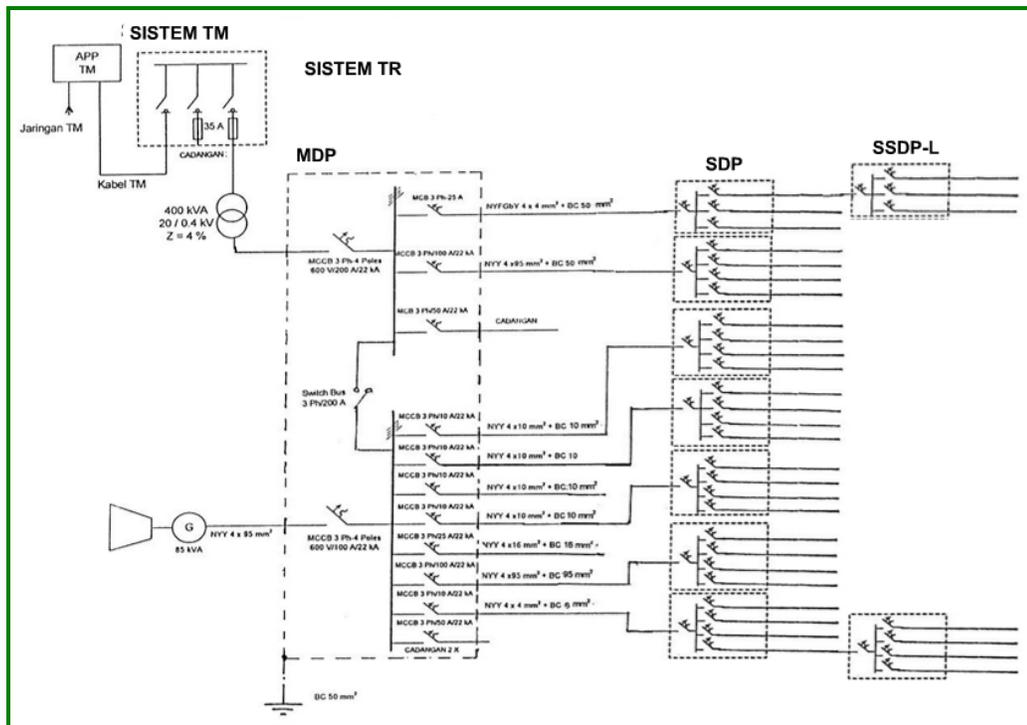
3. Diagram Garis Tunggal

Yang menunjukkan gambar satu garis dari APP ke PHB utama yang di distribusikan ke beberapa group langsung ke beban (untuk bangunan berkapasitas kecil) dan melalui panel cabang (SDP) maupun sub panel cabang (SSDP) baru ke beban.

Pada diagram garis tunggal ini selain pembagian group pada PHB utama / cabang / sub cabang juga menginformasikan jenis beban, ukuran dan jenis penghantar, ukuran dan jenis pengaman arusnya, dan sistem pembumian / pertanahannya.



Gambar 2.11 Diagram satu garis instalasi listrik pada bangunan / gedung Tegangan Rendah



Gambar 2.12 Diagram satu garis instalasi listrik pada bangunan / gedung sistem Tegangan Menengah dan Tegangan Rendah

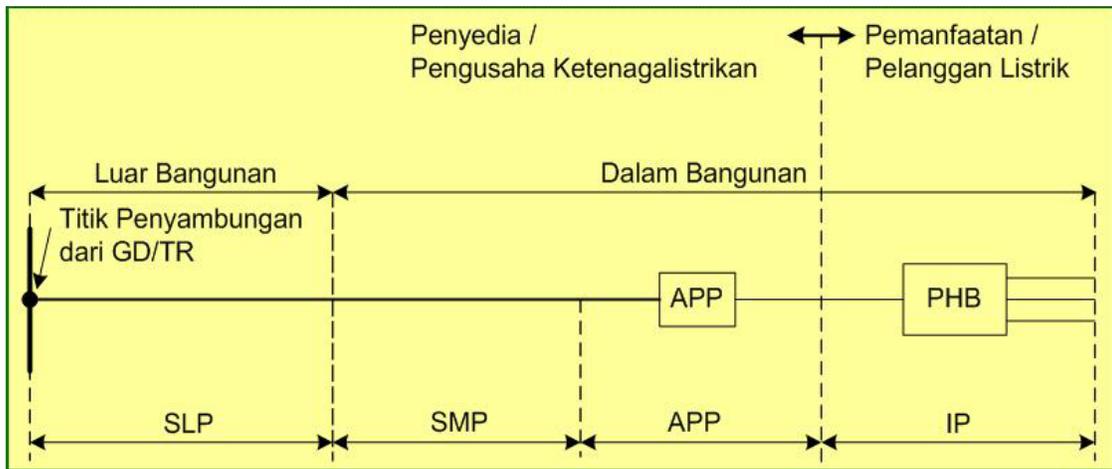
4. Gambar rinci meliputi :

- ukuran fisik PHB
- cara pemasangan perlengkapan listrik
- cara pemasangan kabel / penghantar
- cara kerja rangkaian kendali
- dan lain-lain informasi / data yang diperlukan sebagai pelengkap.

2.1.5 Alat Pengukur dan Pembatas (APP)

Untuk mengetahui besarnya tenaga listrik yang digunakan oleh pemakai / pelanggan listrik (untuk keperluan rumah tangga, sosial, usaha/bangunan komersial, gedung pemerintah dan instansi), maka perlu dilakukan pengukuran dan pembatasan daya listrik.

APP merupakan bagian dari pekerjaan dan tanggung jawab pengusaha ketenagalistrikan (PT. PLN), sebagai dasar dalam pembuatan rekening listrik. Pada sambungan tenaga listrik tegangan rendah, letak penempatan APP dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.13 Diagram satu garis sambungan tenaga listrik tegangan menengah

Keterangan:

- GD : Gardu Distribusi
- TR : Jaringan tegangan Rendah
- SLP : Sambungan Luar Pelayanan
- SMP : Sambungan Masuk Pelayanan
- SLTR : Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah
- APP : Alat Pengukur dan Pembatas
- PHB : Papan Hubung Bagi
- IP : Instalasi Pelanggan

SLTR yang menghubungkan antara listrik penyambungan pada GD / TR merupakan penghantar dibawah atau diatas tanah.

Seperti telah dijelaskan dimuka bahwa pengukuran yang dimaksud adalah untuk menentukan besarnya pemakaian daya dan energi listrik. Adapun alat ukur / instrumen yang digunakan adalah alat pengukur : Kwh, KVARh, KVA maksimum, arus listrik dan tegangan listrik.

Sistem pengukurannya ada dua macam, yaitu :

- Pengukuran primer atau juga disebut pengukuran langsung, terdiri dari pengukuran primer satu fasa untuk pelanggan dengan daya dibawah 6.600VA pada tegangan 220V / 380V, dan pengukuran primer tiga fasa untuk pelanggan dengan daya diatas 6.600VA sampai dengan 33.000VA pada tegangan 220V / 380V.
- Pengukuran sekunder tiga fasa atau disebut juga pengukuran tak langsung (menggunakan trafo arus) digunakan pada pelanggan dengan daya 53KVA sampai dengan 197KVA.

Sedangkan yang dimaksud dengan pembatasan adalah pembatasan untuk menentukan batas pemakaian daya sesuai dengan daya tersambung. Alat pembatas yang digunakan adalah :

- Pada sistem tegangan rendah sampai dengan 100A digunakan MCB dan diatas 100A digunakan MCCB; pelebur tegangan rendah; NFB yang bisa disetel.
- Pada sistem tegangan menengah biasanya digunakan pelebur tegangan menengah atau rele.

Berikut ini adalah contoh gambar alat ukur Kwh dan KVARh.



Sumber : www.indiansources.com



Gambar 2.14 Kwh meter satu fasa analog dan digital



Sumber : imsmeters.com



Gambar 2.15 Kwh meter tiga fasa analog dan digital



Gambar 2.16 Kwh meter tiga fasa dan KVARh

Sesuai dengan DIN 43 856 cara penyambungan alat pengukur atau penghubung daya dinotasikan dengan kode berupa angka 4 digit yang diikuti dengan angka 2 digit yang menunjukkan penomoran sambungan.

- Digit pertama menunjukkan macam-macam penghitung
- Digit kedua menunjukkan bagian tambahan
- Digit ketiga menunjukkan sambungan luar
- Digit keempat menunjukkan penyambungan bagian tambahan

Sedangkan 2 digit berikutnya menunjukkan penomoran sambungan untuk tarif jam atau untuk pengendalian piringan.

Berikut ini diuraikan arti dari masing-masing angka tersebut.

1. Digit pertama menunjukkan macam-macam penghitung
 - 1 : Penghitung daya nyata arus bolak-balik satu fasa.
 - 2 : Penghitung daya nyata arus bolak-balik dua fasa.
 - 3 : Penghitung daya nyata arus bolak-balik tiga fasa, tiga kawat
 - 4 : Penghitung daya nyata arus bolak-balik tiga fasa, empat kawat
 - 5 : Penghitung daya nyata arus bolak-balik tiga fasa, tiga kawat dengan beda fasa 60°

- 6 : Penghitung daya nyata arus bolak-balik tiga fasa, tiga kawat dengan beda fasa 90°
 - 7 : Penghitung daya nyata arus bolak-balik tiga fasa, empat kawat dengan beda fasa 90°
2. Digit kedua menunjukkan bagian tambahan
 - 0 : tanpa bagian tambahan
 - 1 : dengan bagian tambahan dobel tarif
 - 2 : dengan bagian tambahan daya maksimum
 - 3 : dengan bagian tambahan dobel tarif atau daya maksimum
 - 4 : dengan bagian tambahan daya maksimum atau saklar reset
 - 5 : dengan bagian tambahan dobel tarif dan daya maksimum dan saklar reset
 3. Digit ketiga menunjukkan sambungan luar
 - 0 : untuk sambungan tetap
 - 1 : untuk sambungan dengan trafo arus
 - 2 : untuk sambungan dengan trafo arus dan tegangan
 4. Digit keempat menunjukkan penyambungan bagian tambahan
 - 0 : tanpa bagian tambahan pada penghitung daya maksimum dengan piringan putar.
 - 1 : satu kutub / fasa sambungan dalam
 - 2 : sambungan luar
 - 3 : satu kutub / fasa sambungan dalam dengan sambungan terbuka
 - 4 : satu kutub / fasa sambungan dalam dengan sambungan hubung singkat
 - 5 : sambungan luar dengan sambungan terbuka
 - 6 : sambungan luar dengan sambungan hubung singkat

Sedangkan dua digit berikutnya adalah:

5. Penomoran sambungan untuk tarif jam
 - 00 : Tanpa dengan sambungan
 - 01 : dengan saklar harian
 - 02 : dengan saklar maksimum
 - 03 : dengan saklar harian dan maksimum
 - 04 : dengan saklar harian dan mingguan
 - 05 : dengan saklar harian, maksimum dan mingguan
 - 06 : dengan saklar mingguan
6. Penomoran sambungan untuk pengendali piringan
 - 11 : dengan sebuah saklar pemindah
 - 12 : dengan dua saklar pemindah
 - 13 : dengan tiga saklar pemindah
 - 14 : dengan empat saklar pemindah

Berikut ini adalah keterangan dari huruf / simbol pada gambar cara penyambungan alat pengukur daya.

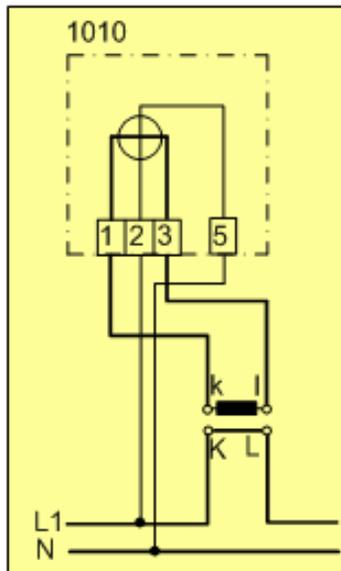
Z : saklar / pemutus dobel tarif

d : saklar harian yang digerakkan oleh pemutus dobel tarif
 w : saklar mingguan
 M : pemutus maksimum
 ML : putaran maksimum
 MR : maksimum reset
 mo : pemutus maksimum dengan sambungan terbuka
 mk : pemutus maksimum dengan sambungan hubung singkat

(M): motor penggerak

(E): penampang pengendali putar

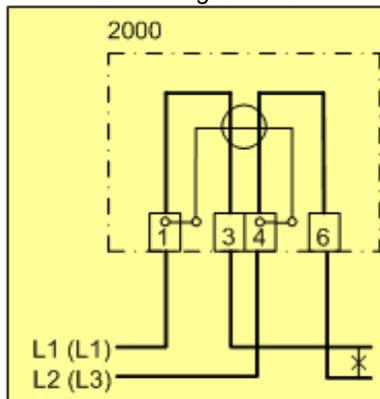
Beberapa contoh kode dan cara penyambungan alat pengukur atau penghitung sebagai berikut :



Penyambungan dengan Code 1010 atau 1010-00 berarti :

- (1) : penghitung dengan daya nyata arus bolak-balik satu fasa
- (2) : tanpa bagian tambahan
- (3) : untuk sambungan dengan trafo arus
- (4) : tanpa bagian tambahan pada penghitung daya maksimum dengan piringan putar

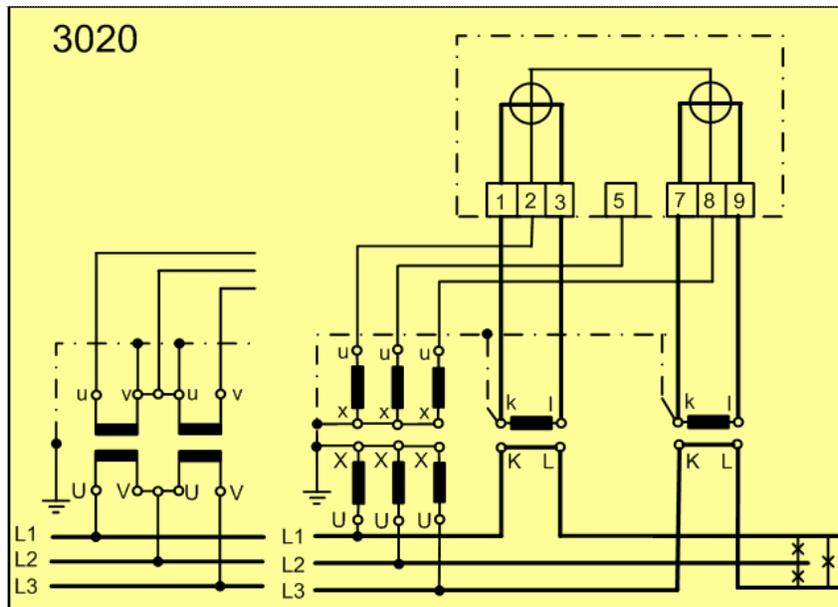
Gambar 2.17 Rangkaian Kwh satu fasa dengan trafo arus



Penyambungan dengan Code 2000 atau 2000-00 berarti :

- (2) : penghitung daya nyata arus bolak-balik dua fasa
- (0) : tanpa bagian tambahan
- (0) : untuk sambungan tetap
- (0) : tanpa bagian tambahan pada penghitung daya maksimum dengan piringan putar

Gambar 2.18 Rangkaian Kwh dua fasa dengan sambungan tetap



Gambar 2.19 Rangkaian Kwh tiga fasa dengan trafo arus dan trafo tegangan

Penyambungan dengan Code 3020 atau 3020-00 berarti :

- (3) : penghitung daya nyata arus bolak-balik tiga fasa
- (0) : tanpa bagian tambahan
- (2) : untuk sambungan dengan trafo arus dan trafo tegangan
- (0) : tanpa bagian tambahan pada penghitung daya maksimum dengan piringan putar

Tabel 2.6 Standar Daya PLN

Langganan tegangan rendah sistem 220V/380V 220 Volt satu fasa 380 Volt tiga fasa			
Daya Tersambung (VA)	Pembatas Arus (A)	Pengukuran	
450	1 x 2	Alat ukur kwh meter satu fasa 220V dua kawat	
900	1 x 4		
1.300	1 x 6		
2.200	1 x 10		
3.500	1 x 16		
4.400	1 x 20		
3.900	3 x 6		
6.600	3 x 10		
10.600	3 x 16		
13.200	3 x 20		
16.500	3 x 25	Alat ukur kwh meter tiga fasa 380V empat kawat	
23.000	3 x 35		
33.000	3 x 50		
41.500	3 x 63		
53.000	3 x 80		
66.000	3 x 100		
82.000	3 x 125		
105.000	3 x 160		
131.000	3 x 200		
147.000	3 x 225		
164.000	3 x 250	Alat ukur kwh meter tiga fasa 380V empat kawat dengan trafo arus tegangan rendah	
197.000	3 x 300		
233.000	3 x 353		
279.000	3 x 425		
329.000	3 x 500		
414.000	3 x 630		
526.000	3 x 800		
630.000	3 x 1.000		
			Tarif tegangan rendah diatas 200kVA hanya disediakan untuk tarif R-4

Sumber : PT. PLN Jabar, 2002

2.1.6 Panel Hubung Bagi (PHB)

PHB adalah panel hubung bagi / papan hubung bagi / panel berbentuk lemari (*cubicle*), yang dapat dibedakan sebagai :

- Panel Utama / MDP : *Main Distribution Panel*
- Panel Cabang / SDP : *Sub Distribution Panel*
- Panel Beban / SSDP : *Sub-sub Distribution Panel*

Untuk PHB sistem tegangan rendah, hantaran utamanya merupakan kabel *feeder* dan biasanya menggunakan NYFGBY.

Di dalam panel biasanya busbar / rel dibagi menjadi dua segmen yang saling berhubungan dengan saklar pemisah, yang satu mendapat saluran masuk dari APP (pengusaha ketenagalistrikan) dan satunya lagi dari sumber listrik sendiri (genset).

Dari kedua busbar didistribusikan ke beban secara langsung atau melalui SDP dan atau SSDP. Tujuan busbar dibagi menjadi dua segmen ini adalah jika sumber listrik dari PLN mati akibat gangguan ataupun karena pemeliharaan, maka suplai ke beban tidak akan terganggu dengan adanya sumber listrik sendiri (genset) sebagai cadangan.

Peralatan pengaman arus listrik untuk penghubung dan pemutus terdiri dari :

- *Circuit Breaker (CB)*
 - MCB (Miniaturn Circuit Breaker)
 - MCCB (Mold Case Circuit Breaker)
 - NFB (No Fuse Circuit Breaker)
 - ACB (Air Circuit Breaker)
 - OCB (Oil Circuit Breaker)
 - VCB (Vacuum Circuit Breaker)
 - SF6CB (Sulfur Circuit Breaker)

- *Sekering dan pemisah*
Switch dan Disconnecting Switch (DS)

Peralatan tambahan dalam PHB antara lain :

- Rele proteksi
- trafo tegangan, trafo arus
- alat-alat ukur besaran listrik : amperemeter, voltmeter, frekuensi meter, $\cos \phi$ meter
- lampu-lampu tanda
- dll

Contoh gambar diagram satu garisnya bisa dilihat pada gambar 2.11.

Untuk PHB sistem tegangan menengah, terdiri dari tiga cubicle yaitu satu cubicle incoming dan cubicle outgoing.

Hantaran masuk merupakan kabel tegangan menengah dan biasanya dengan kabel XLPE atau NZXSBY. Saluran daya tegangan menengah ditransfer melalui trafo distribusi ke LVMDP (Low Voltage Main Distribution Panel). Pengaman arus listriknya terdiri dari sekering dan LBS (Load Break Switch).

Peralatan dan rangkaian dari busbar sampai ke beban seperti pada PHB sistem tegangan rendah. Contoh gambar diagram satu garisnya bisa dilihat pada gambar 2.12.

Berikut ini adalah salah satu contoh *cubicle* yang ada di ruang praktek di POLBAN.



Gambar 2.20 Contoh cubicle di ruang praktek POLBAN

2.1.6.1 MCB (Miniatur Circuit Breaker)

MCB adalah suatu rangkaian pengaman yang dilengkapi dengan komponen termis (bimetal) untuk pengaman beban lebih dan juga dilengkapi relay elektromagnetik untuk pengaman hubung singkat.

MCB banyak digunakan untuk pengaman sirkit satu fasa dan tiga fasa. Keuntungan menggunakan MCB, yaitu :

1. Dapat memutuskan rangkaian tiga fasa walaupun terjadi hubung singkat pada salah satu fasanya.
2. Dapat digunakan kembali setelah rangkaian diperbaiki akibat hubung singkat atau beban lebih.
3. Mempunyai respon yang baik apabila terjadi hubung singkat atau beban lebih.

Pada MCB terdapat dua jenis pengaman yaitu secara termis dan elektromagnetis, pengaman termis berfungsi untuk mengamankan arus beban lebih sedangkan pengaman elektromagnetis berfungsi untuk mengamankan jika terjadi hubung singkat.

Pengaman termis pada MCB memiliki prinsip yang sama dengan thermal overload yaitu menggunakan dua buah logam yang digabungkan (bimetal), pengamanan secara termis memiliki kelambatan, ini bergantung pada besarnya arus yang harus

diamankan, sedangkan pengaman elektromagnetik menggunakan sebuah kumparan yang dapat menarik sebuah angker dari besi lunak.

MCB dibuat hanya memiliki satu kutub untuk pengaman satu fasa, sedangkan untuk pengaman tiga fasa biasanya memiliki tiga kutub dengan tuas yang disatukan, sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu kutub maka kutub yang lainnya juga akan ikut terputus.

Berdasarkan penggunaan dan daerah kerjanya, MCB dapat digolongkan menjadi 5 jenis ciri yaitu :

- Tipe Z (rating dan breaking capacity kecil)
Digunakan untuk pengaman rangkaian semikonduktor dan trafo-trafo yang sensitif terhadap tegangan.
- Tipe K (rating dan breaking capacity kecil)
Digunakan untuk mengamankan alat-alat rumah tangga.
- Tipe G (rating besar) untuk pengaman motor.
- Tipe L (rating besar) untuk pengaman kabel atau jaringan.
- Tipe H untuk pengaman instalasi penerangan bangunan



sumber : www.a-electric.net

(a) MCB 1 fasa



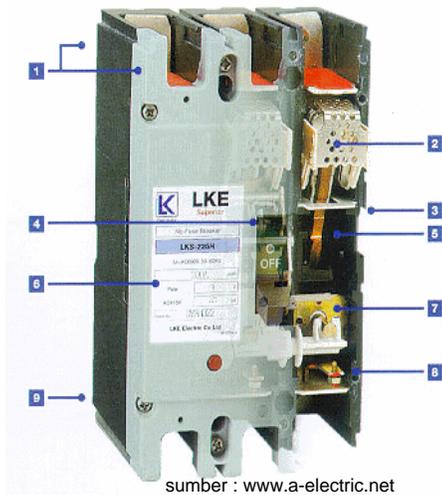
(b) MCB 3 fasa

Gambar 2.21 MCB (Miniatur Circuit Breaker)

2.1.6.2 MCCB (Moulded Case Circuit Breaker)

MCCB merupakan salah satu alat pengaman yang dalam proses operasinya mempunyai dua fungsi yaitu sebagai pengaman dan sebagai alat untuk penghubung.

Jika dilihat dari segi pengaman, maka MCCB dapat berfungsi sebagai pengaman gangguan arus hubung singkat dan arus beban lebih. Pada jenis tertentu pengaman ini, mempunyai kemampuan pemutusan yang dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan.



sumber : www.a-electric.net

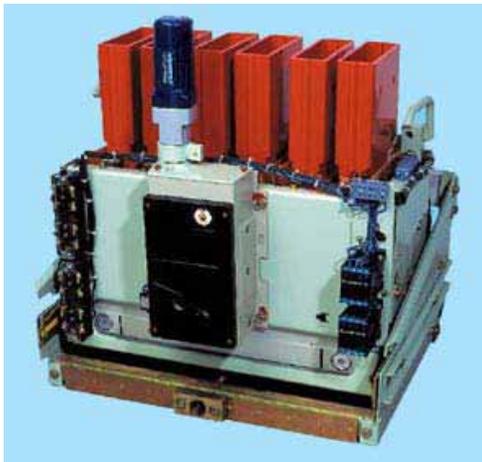
Gambar 2.22 Moulded Case Circuit Breaker

Keterangan :

1. Bahan BMC untuk bodi dan tutup
2. Peredam busur api
3. Blok sambungan untuk pemasangan ST dan UVT
4. Penggerak lepas-sambung
5. Kontak bergerak
6. Data kelistrikan dan pabrik pembuat
7. Unit magnetik trip

2.1.6.3 ACB (Air Circuit Breaker)

ACB (*Air Circuit Breaker*) merupakan jenis *circuit breaker* dengan sarana pemadam busur api berupa udara. ACB dapat digunakan pada tegangan rendah dan tegangan menengah. Udara pada tekanan ruang atmosfer digunakan sebagai peredam busur api yang timbul akibat proses *switching* maupun gangguan.



sumber : www.global-b2b-network.com

Gambar 2.23 ACB (Air Circuit Breaker)

- **LV-ACB:**

$U_e = 250V$ dan $660V$

$I_e = 800A-6300A$

$I_{cn} = 45kA-170kA$

- **LV-ACB:**

$U_e = 7,2kV$ dan $24kV$

$I_e = 800A-7000A$

$I_{cn} = 12,5kA-72kA$

Air Circuit Breaker dapat digunakan pada tegangan rendah dan tegangan menengah. Rating standar *Air Circuit Breaker* (ACB) yang dapat dijumpai dipasaran seperti ditunjukkan pada data diatas. Pengoperasian pada bagian mekanik ACB dapat dilakukan dengan bantuan solenoid motor ataupun pneumatik. Perlengkapan lain yang sering diintegrasikan dalam ACB adalah :

- *Over Current Relay* (OCR)
- *Under Voltage Relay* (UVR)

2.1.6.4 OCB (Oil Circuit Breaker)

Sumber : www.toshiba.co.jp



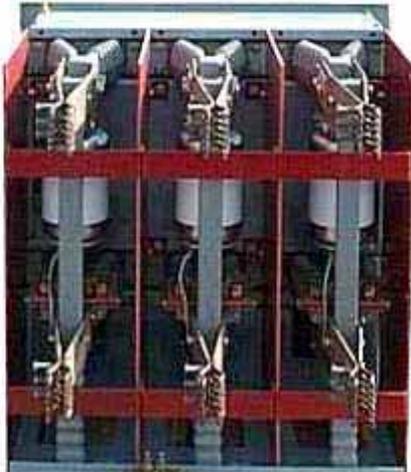
Oil Circuit Breaker adalah jenis CB yang menggunakan minyak sebagai sarana pemadam busur api yang timbul saat terjadi gangguan. Bila terjadi busur api dalam minyak, maka minyak yang dekat busur api akan berubah menjadi uap minyak dan busur api akan dikelilingi oleh gelembung-gelembung uap minyak dan gas.

Gas yang terbentuk tersebut mempunyai sifat *thermal conductivity* yang baik dengan tegangan ionisasi tinggi sehingga baik sekali digunakan sebagai bahan media pemadam loncatan bunga api.

Gambar 2.24 OCB (Oil Circuit Breaker)

2.1.6.5 VCB (Vacuum Circuit Breaker)

Vacuum circuit breaker memiliki ruang hampa udara untuk memadamkan busur api, pada saat circuit breaker terbuka (*open*), sehingga dapat mengisolir hubungan setelah bunga api terjadi, akibat gangguan atau sengaja dilepas. Salah satu tipe dari circuit breaker adalah *recloser*. *Recloser* hampa udara dibuat untuk memutuskan dan menyambung kembali arus bolak-balik pada rangkaian secara otomatis. Pada saat melakukan pengesetan besaran waktu sebelumnya atau pada saat *recloser* dalam keadaan terputus yang kesekian kalinya, maka *recloser* akan terkunci (*lock out*), sehingga *recloser* harus dikembalikan pada posisi semula secara manual.



Sumber : www.osha.gov

(a) tampak dalam



(b) tampak luar

Gambar 2.25 VCB (Vacuum Circuit Breaker)

2.1.6.6 SF6 CB (Sulfur Hexafluoride Circuit Breaker)



SF6 CB adalah pemutus rangkaian yang menggunakan gas SF6 sebagai sarana pemadam busur api. Gas SF6 merupakan gas berat yang mempunyai sifat dielektrik dan sifat memadamkan busur api yang baik sekali.

Prinsip pemadaman busur apinya adalah Gas SF6 ditiupkan sepanjang busur api, gas ini akan mengambil panas dari busur api tersebut dan akhirnya padam. Rating tegangan CB adalah antara 3.6 KV – 760 KV.

Sumber : www.zxgydq.com.cn

Circuit Breaker)

Gambar 2.26 SF6 CB (Sulfur Hexafluoride

2.1.7 Penghantar

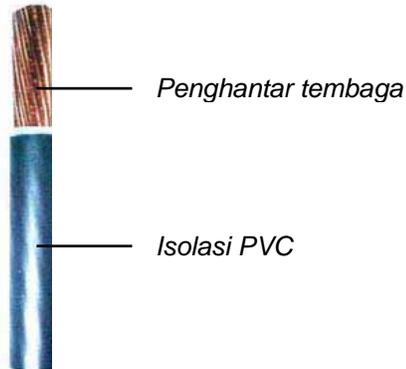
Untuk instalasi listrik, penyaluran arus listriknya dari panel ke beban maupun sebagai pengaman (penyalur arus bocor ke tanah) digunakan penghantar listrik yang sesuai dengan penggunaannya.

Ada dua macam penghantar listrik yaitu :

- **Kawat**
penghantar tanpa isolasi (telanjang) yang dibuat dari Cu, AL sebagai contoh BC, BCC, A2C, A3C, ACSR.
- **Kabel**
penghantar yang terbungkus isolasi, ada yang berinti tunggal atau banyak, ada yang kaku atau berserabut, ada yang dipasang di udara atau di dalam tanah, dan masing-masing digunakan sesuai dengan kondisi pemasangannya.

Kabel instalasi yang biasa digunakan pada instalasi penerangan, jenis kabel yang banyak digunakan dalam instalasi rumah tinggal untuk pemasangan tetap ialah NYA dan NYM. Pada penggunaannya kabel NYA menggunakan pipa untuk melindungi secara mekanis ataupun melindungi dari air dan kelembaban yang dapat merusak kabel tersebut.

Penghantar NYA



Kabel NYA hanya memiliki satu penghantar berbentuk pejal, kabel ini pada umumnya digunakan pada instalasi rumah tinggal.

Dalam pemakaiannya pada instalasi listrik harus menggunakan pelindung dari pipa union atau paralon / PVC ataupun pipa fleksibel.

Gambar 2.27 Kabel NYA

Penghantar NYM

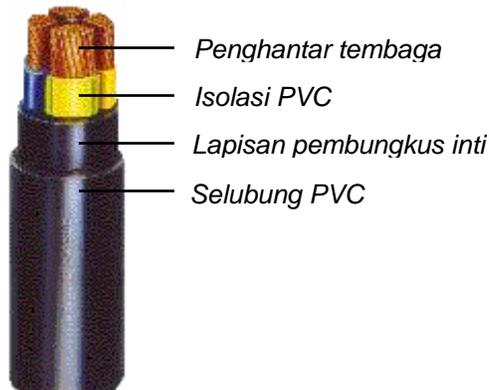


Sedangkan kabel NYM adalah kabel yang memiliki beberapa penghantar dan memiliki isolasi luar sebagai pelindung. Konstruksi dari kabel NYM terlihat pada gambar.

Penghantar dalam pemasangan pada instalasi listrik, boleh tidak menggunakan pelindung pipa. Namun untuk memudahkan saat pergantian kabel / revisi, sebaliknya pada pemasangan dalam dinding / beton menggunakan selongsong pipa.

Gambar 2.28 Kabel NYM

Penghantar NYY



Kabel tanah thermoplastik tanpa perisai seperti NYY, biasanya digunakan untuk kabel tenaga pada industri. Kabel ini juga dapat ditanam dalam tanah, dengan syarat diberikan perlindungan terhadap kemungkinan kerusakan mekanis. Perlindungannya bisa berupa pipa atau pasir dan di atasnya diberi batu.

Gambar 2.29 Kabel NYY

Pada prinsipnya susunan NYY ini sama dengan susunan NYM. Hanya tebal isolasi dan selubung luarnya serta jenis PVC yang digunakan berbeda. Warna selubung luarnya hitam. Untuk kabel tegangan rendah tegangan nominalnya 0,6/1 kV dimana maksudnya yaitu :

- 0,6 kV : *Tegangan nominal terhadap tanah.*
- 1,0 kV : *Tegangan nominal antar penghantar.*

Penggunaan utama NYY sebagai kabel tenaga adalah untuk instalasi industri di dalam gedung maupun di alam terbuka, di saluran kabel dan dalam lemari hubung bagi, apabila diperkirakan tidak akan ada gangguan mekanis. NYY dapat juga ditanam di dalam tanah asalkan diberi perlindungan secukupnya terhadap kemungkinan terjadinya kerusakan mekanis.

Penghantar N2XY



Kabel tanah thermoplastik tanpa perisai yang di pakai di PT. Pupuk Kujang ialah N2XY, kabel N2XY intinya terdiri dari penghantar tembaga, dengan isolasi XLPE, berpelindung bebat tembaga serta berselubung PVC dengan tegangan pengenal 0,6/1 kV (1,2 kV) yang dipasang sejajar pada suatu sistem fase tiga.

Gambar 2.30 Kabel N2XY

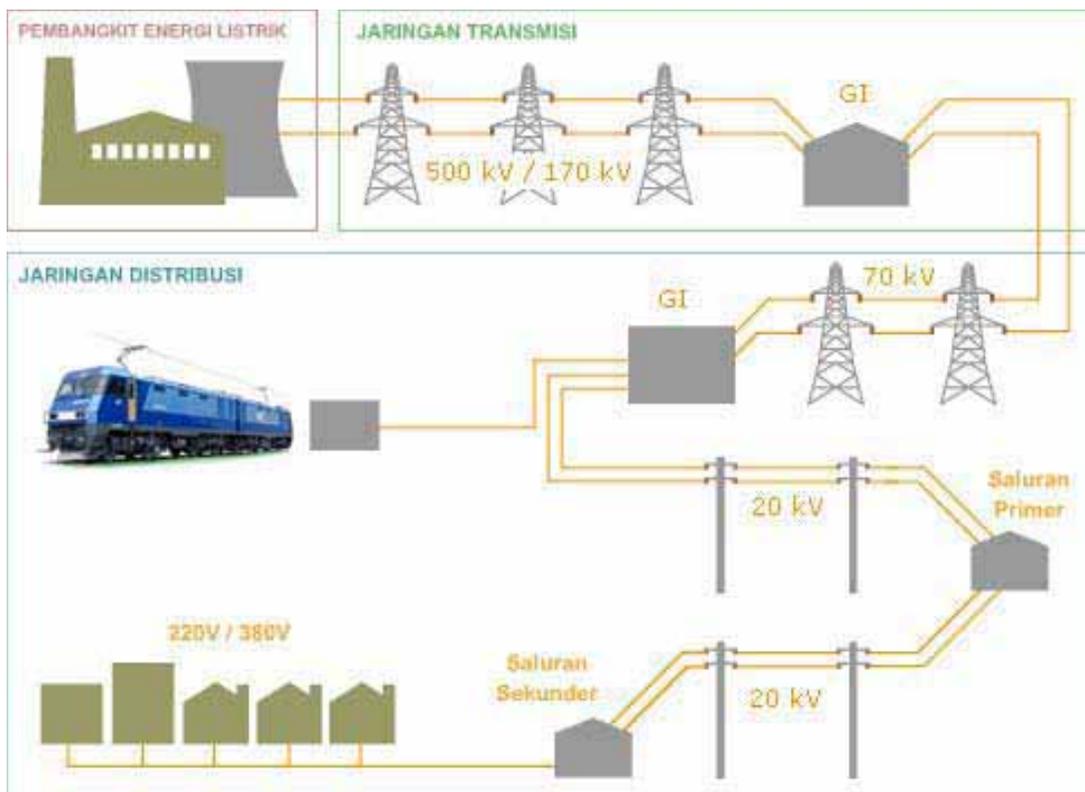
Penghantar NYFGbY



Kabel tanah thermoplastik berperisai seperti NYFGbY, biasanya digunakan apabila ada kemungkinan terjadi gangguan kabel secara mekanis, kabel NYFGbY intinya terdiri dari penghantar tembaga, dengan isolasi PVC, penggabungan dua atau lebih inti dilengkapi selubung atau pelindung yang terdiri dari karet dan perisai kawat baja bulat. Perisai dan pembungkus diikat dengan spiral pita baja, untuk menghindari korosi pada pita baja, maka kabel di selubungi pelindung PVC warna hitam.

Gambar 2.31 Kabel N2XY

Berikut ini adalah gambar diagram satu garis untuk konsumen tegangan rendah dan konsumen tegangan tinggi.



Gambar 2.32 Diagram Transmisi dan Distribusi

2.1.8 Beban Listrik

Menurut sifatnya, beban listrik terdiri dari :

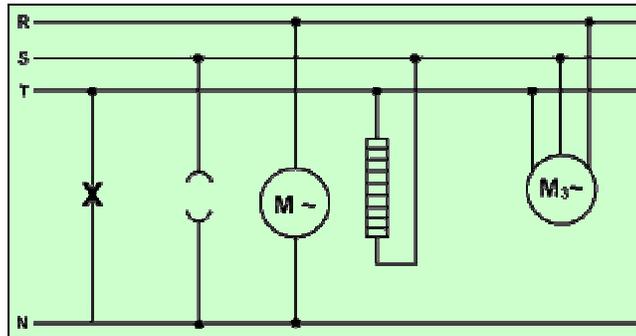
- Resistor (R) yang bersifat resistif
- Induktor (L) yang bersifat induktif
- Capasitor (C) yang bersifat kapasitif

Beban listrik adalah piranti / peralatan yang menggunakan / mengkonsumsi energi listrik. Jenis beban listrik yang akan di bahas secara garis besar adalah sebagai berikut :

- Untuk penerangan dengan lampu-lampu pijar, pemanas listrik yang bersifat resistif.
- Untuk peralatan yang menggunakan motor-motor listrik (pompa air, alat pendingin/AC/Freezer/kulkas, peralatan laboratorium), penerangan dengan lampu tabung yang menggunakan balast/trafo bersifat induktif (lampu TL, sodium, merkuri, komputer, TV, dll).

Jika beban resistif diaktifkan (dinyalakan), maka arus listrik pada beban ini segera mengalir dengan cepatnya sampai pada nilai tertentu (sebesar nilai arus nominal beban) dan dengan nilai yang tetap hingga tidak diaktifkan (dimatikan).

Lain halnya dengan beban induktif, misalnya pada motor listrik. Begitu motor diaktifkan (digerakkan), maka saat awal (start) menarik arus listrik yang besar (3 sampai 5 kali nilai arus nominal), kemudian turun kembali ke arus nominal.



Gambar 2.33 Rangkaian macam-macam Beban Sistem 3 fasa, 4 kawat

Jenis beban listrik dalam gedung/bangunan dapat dikelompokkan menjadi :

1. Penerangan (lighting)
2. Stop kontak
3. Motor-motor listrik

2.1.8.1 Penerangan (Lighting)

Penerangan gedung merupakan penggunaan yang dominan, karena dibutuhkan oleh semua gedung dan juga waktu penggunaannya yang panjang. Jumlah lampu yang digunakan akan mempengaruhi pembagian group dari panel penerangan; penampang penghantarnya dan pengamannya (sekring atau MCB) serta saklar kendalinya.

Pada rumah tinggal, penerangan listrik digunakan untuk ruang tamu, ruang keluarga, mushola, kamar tidur, dapur, kamar mandi / WC, garasi, gudang, teras dan taman. Masing-masing menggunakan lampu yang cocok / sesuai.

Pada bangunan besar seperti perkantoran, sekolah, hotel, rumah sakit, pabrik, mal, gedung olah raga, stadion, dan sebagainya, juga memerlukan penerangan untuk ruang kerja, kelas, lab, bengkel, ruang lobi, ruang pertemuan, ruang pasien, ruang operasi, ruang mesin pada pabrik, toko, tempat olah raga dan sebagainya.

Untuk diluar bangunan, penerangan yang diperlukan adalah PJU (Penerangan Jalan Umum), lampu reklame, dekorasi, dan sebagainya.

2.1.8.2 Stop Kontak



Sumber : www.a-electric.net

Gambar 2.34 Macam-macam Stop Kontak

Stop Kontak adalah istilah populer yang biasa digunakan sehari-hari. Dalam PUIL 2000, stop kontak ini dinamakan KKB (Kotak Kontak Biasa) dan KKK (Kotak Kontak Khusus) KKB adalah kotak kontak yang dipasang untuk digunakan sewaktu-waktu (tidak secara tetap) bagi piranti listrik jenis apapun yang memerlukannya, asalkan penggunaannya tidak melebihi batas kemampuannya.

KKK adalah kotak kontak yang dipasang khusus untuk digunakan secara tetap bagi suatu jenis piranti listrik tertentu yang diketahui daya maupun tegangannya.

Dengan demikian, KKK mempunyai tempat/lokasi tertentu dengan beban tetap, dan dihubungkan langsung ke panel sebagai group tersendiri. Sedangkan KKB tersebar diseluruh bangunan dengan beban tidak tetap, dan biasanya jadi satu dengan group untuk penerangan.

2.1.8.3 Motor-motor Listrik

Motor-motor listrik merupakan beban kedua terbanyak sesudah penerangan, motor listrik digunakan untuk menggerakkan pompa, kipas angin, kompresor yang merupakan bagian penting dari sistem pendingin udara, dan juga sebagai penggerak mesin-mesin industri, elevator, escalator dan sebagainya. Motor dikategorikan sebagai motor fraksional (kurang dari 1 HP), integral (diatas 1 HP), dan motor kelas medium sampai besar (diatas 5 HP).

Motor-motor juga dapat dikelompokkan berdasarkan jenis arus yang digunakan, yaitu:

- Motor arus searah
- Motor arus bolak-balik satu fasa
- Motor arus bolak-balik tiga fasa

Masing-masing penggunaannya sebagian akan dibahas pada bab 5.

Berikut ini adalah gambar berbagai piranti yang menggunakan motor.



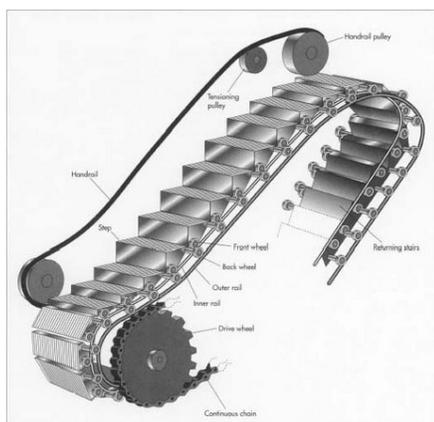
a. kompresor



b. generator



c. air conditioner



d. elevator



e. lemari pendingin



f. pompa air



g. kipas angin



h. bor listrik

Gambar 2.35 Piranti-piranti menggunakan motor

2.1.9 Perhitungan Arus Beban

Sebagai contoh perhitungan, mari kita lihat gambar 2.10, instalasi rumah tipe T-125 lantai dasar saja pada halaman 2-13. dari gambar perencanaan instalasi dapat dirinci sebagai berikut :

- Beban dibagi menjadi 3 group, yaitu 2 group untuk lantai dasar dan 1 group sebagai cadangan.
- Group 1 terdiri dari 1 x 15 W; 2 x 25 W; 3 x 40 W dan 4 x 200 VA. Oleh karena beban lampu pijar bersifat resistif, maka faktor dayanya sama dengan 1, sehingga 15 W = 15 VA; 25 W = 25 VA dan 40 W = 40 VA.
- Group 2 sama dengan group 1.
- Group 3 sebagai cadangan untuk lantai atas.

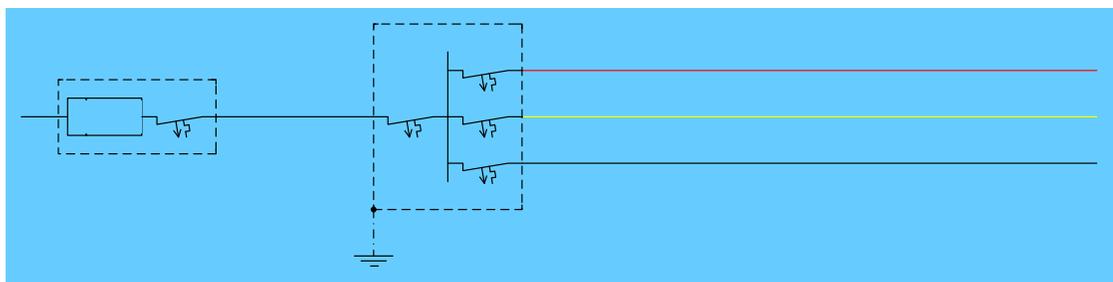
Jika beban lampu nyala semua dan semua stop kontak diberi beban penuh, maka :

- Arus nominal group 1 : $\frac{(1 \times 15) + (2 \times 25) + (3 \times 40) + (4 \times 200)}{220} = 4,5 \text{ A}$
- Arus nominal group 2 : $\frac{(1 \times 15) + (2 \times 25) + (3 \times 40) + (4 \times 200)}{220} = 4,5 \text{ A}$
- Arus utamanya : $4,5 + 4,5 = 9 \text{ A}$.

Jika faktor pemakaiannya dimisalkan 80%, maka arus totalnya = $80\% \times 9 = 7,2 \text{ A}$.

Dengan demikian penggunaan pengaman arusnya adalah sebagai berikut :

- $I_1 = 80\% \times 4,5 = 3,6 \text{ A}$, maka MCB yang digunakan 6A.
- $I_2 = 80\% \times 4,5 = 3,6 \text{ A}$, maka MCB yang digunakan 6A.
- $I = 80\% \times 9 = 7,2 \text{ A}$, maka MCB yang digunakan 10A.



Gambar 2.36 Diagram satu garis

2.1.10 Bahan Kebutuhan Kerja Pemasangan Instalasi Listrik

Sebagai contoh rumah tipe T-125 gambar 2.10 halaman 2-13, dengan teknik pemasangan pipa dalam dinding dan pembagian beban dalam 3 group, seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 2.7 Daftar bahan untuk pemasangan instalasi listrik rumah tinggal

No	Bahan / Komponen	Spesifikasi	Satuan Jumlah	Keterangan
1	PHB dari PVC	1 utama / 3 group	1 set	dalam dinding
2	MCB	10A / 250V; 6kA	1 buah	
3	MCB	6A / 250V; 6kA	2 buah	
4	Elektroda pentanahan	gasped Ø2,5"; 2,75m	1 set	
5	BC	6 mm ²	6 m	
6	NYM	3 x 4 mm ²	4 m	toefoer
7	NYM	3 x 2,5 mm ²	30 m	
8	NYM	2 x 1,5 mm ²	20 m	
9	NYA	2,5 mm ²	30 m	
10	NYA	1,5 mm ²	20 m	
11	Kabel Snur	1,5 mm ²	10 m	lampu gantung
12	Pipa Union/PVC	5/8"	10 batang	
13	Tule	5/8"	30 buah	
14	Sambungan lengkung	5/8"	20 buah	
15	Sock (sambungan)	5/8"	20 buah	
16	Kotak sambung 2 cabang	5/8"	10 buah	
17	Kotak sambung 3 cabang	5/8"	10 buah	
18	Kotak sambung 4 cabang	5/8"	10 buah	
19	kotak saklar/stop kontak	5/8"	8 buah	
20	Saklar tunggal	6A / 250V	9 buah	
21	Saklar seri	6A / 250V	1 buah	
22	Stop kontak	6A / 250V	8 buah	dengan arde
23	Fitting duduk	6A / 250V	5 buah	
24	Fitting gantung	6A / 250V	5 buah	
25	Fitting WD	6A / 250V	2 buah	
26	Roset kayu	5/8"	12 buah	
27	sangkang	5/8"	40 buah	
28	lasdop	3 x 2,5 mm ²	60 buah	
29	paku	4 mm	50 buah	

2.2 Peraturan Instalasi Listrik

2.2.1 Sejarah Singkat

- Peraturan Instalasi listrik ditulis pada tahun 1924-1937 pada zaman Belanda dengan nama *Algemene Voolschriften voor elechische sterkstroom instalaties* (AVE).
- Tahun 1956 diterjemahkan ke bahasa Indonesia menjadi Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL-64) oleh Yayasan Dana Normalisasi Indonesia yang selesai tahun 1964.
- Pada tahun 1977 PUIL-64 direvisi menjadi PUIL-77.
- Sepuluh tahun kemudian direvisi lagi menjadi PUIL-87 dan diterbitkan sebagai SNI No : 225-1987.
- Pada tahun 2000, Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL-87) diubah menjadi Persyaratan Umum Instalasi Listrik. Disingkat PUIL-2000 yang berorientasi untuk instalasi tegangan rendah dan menengah di dalam bangunan, serta memuat sistem pengamanan bagi keselamatan manusia secara teliti.

2.2.2 Maksud dan Tujuan PUIL-2000

Agar pengusahaan instalasi listrik dapat terselenggara baik bagi keselamatan isinya dari kebakaran akibat listrik dan perlindungan lingkungan.

2.2.3 Ruang Lingkup

Untuk Perencanaan, Pemasangan, Pemeriksaan dan pengujian, pelayanan, pemeliharaan, maupun pengawasan instalasi listrik tegangan arus bolak-balik sampai dengan 1000 volt dan tegangan arus searah sampai dengan 1500 volt terdiri dari 9 bab.

2.2.4 Garis Besar Isi PUIL-2000

2.2.4.1 Bab 1 Pendahuluan

- Memuat hal umum yang berhubungan dengan aspek legal, administratif non teknis dari PUIL.
- Perbedaan dengan PUIL-87, dalam PUIL-2000
 - Memuat perlindungan lingkungan (pasal 1.1)
 - Berlaku juga untuk TM sampai dengan 35 kV (pasal 1.2)
 - Memuat ketentuan/peraturan yang terbaru (pasal 1.3)
 - Penamaan PUIL menjadi : Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (ayat 1.4.1)
 - Panitia PUIL diganti menjadi panitia tetap PUIL (ayat 1.5.1.3, 1.5.2 dan pasal 1.8).

- Definisi mengacu pada : IEC, IEEE Dictionary, SA Wiring Rules, IEC MED, IEC MDE, istilah resmi dan Kamus Bahasa Indonesia.

2.2.4.2 Bab 2 Persyaratan Dasar

- Untuk menjamin keselamatan manusia, ternak dan keamanan harta benda dari bahaya dan kerusakan yang timbul dari instalasi listrik seperti antara lain : arus kejut, suhu berlebih.
- Memuat pasal antara lain : proteksi untuk keselamatan, proteksi perlengkapan dan instalasi listrik, perancangan, pemilihan dan perlengkapan listrik, pemasangan dan verifikasi awal instalasi listrik, pemeliharaan.
- Perbedaan dengan PUIL-87, dalam PUIL-2000
 - Pengelompokan ketentuan-ketentuan berbeda.
 - Jumlah pasal semula 15 menjadi 6 pasal.

2.2.4.3 Bab 3 Proteksi Untuk Keselamatan

- Menentukan persyaratan terpenting untuk melindungi manusia, ternak dan harta benda.
- Proteksi untuk keselamatan meliputi antara lain : proteksi kejut listrik, proteksi efek termal, proteksi arus lebih, proteksi tegangan lebih (khusus akibat petir), proteksi tegangan kurang, (akan dimasukkan dalam suplemen PUIL), pemisahan dan penyaklaran (belum dijelaskan)
- Diterapkan pada seluruh atau sebagian instalasi/perlengkapan.
- Harus diambil tindakan tambahan dengan penggabungan proteksi jika sistem proteksi tidak memuaskan dalam kondisi tertentu.
- Perbedaan dengan PUIL-87, dalam PUIL-2000
 - Memuat pasal baru antara lain : pendahuluan (pasal 3.1), Proteksi dari kejut listrik (pasal 3.2), proteksi dengan pemutusan suplai secara otomatis (pasal 3.7), proteksi dengan ikatan ekipotensial lokal bebas bumi, luas penampang penghantar proteksi dan penghantar netral (pasal 3.16), rekomendasi untuk sistem TT, TN dan IT (pasal 3.17), proteksi dari efek termal (pasal 3.23), proteksi dari arus lebih (pasal 3.24)
 - Memuat hasil perluasan dan revisi antara lain : proteksi dari sentuh langsung maupun tak langsung (pasal 3.3), proteksi dari sentuh langsung (pasal 3.4), proteksi dengan menggunakan perlengkapan kelas II atau dengan isolasi ekuivalen (pasal 3.8), proteksi dengan lokasi tidak konduktif(pasal 3.9), sistem TN atau sistem pembumi netral pengaman (pasal 3.13), sistem IT atau sistem penghantar pengaman (pasal 3.14), penggunaan gawai proteksi arus sisa (pasal 3.15).

2.2.4.4 Bab 4 Perancangan Instalasi Listrik

- Memuat ketentuan yang berkaitan dengan perancangan instalasi listrik, baik administratif-legal non teknis maupun ketentuan teknis.

- Terdiri atas 13 pasal antara lain : persyaratan umum, susunan umum, kendali proteksi, cara perhitungan kebutuhan maksimum disirkuit utama konsumen dan sirkuit cabang dan sirkuit akhir, penghantar netral bersama, pengendalian sirkuit yang netralnya dibumikan langsung, pengamananan sirkuit yang netral nya dibumikan langsung, pengendalian dan pengamananan sirkuit yang netral nya dibumikan tidak langsung, perlengkapan dan pengendalian api dan asap kebakaran, perlengkapan evakuasi darurat dan lift, saklar dan pemutus sirkuit, lokasi dan pencapaian PHB.
- Perbedaan dengan PUIL-87, dalam PUIL-2000
 - Mengacu SA Wiring rules edisi 1995.
 - Memuat pasal baru antara lain : susunan umum, kendali dan proteksi (pasal 4.2), lokasi dan pencapaian PHB (pasal 4.13)
 - Sebagian besar berubah antara lain : cara perhitungan kebutuhan maksimum disirkuit utama konsumen dan sirkuit cabang, jumlah titik beban dalam tiap sirkuit akhir, perlengkapan pengendalian api dan asap kebakaran, perlengkapan evakuasi darurat dan lift.

2.2.4.5 Bab 5 Perlengkapan Listrik

- Harus dirancang memenuhi persyaratan standar, memenuhi kinerja, keselamatan dan kesehatan serta dipasang sesuai dengan lingkungannya.
- Dalam pemasangannya disyaratkan : mudah dalam pelayanan, pemeliharaan dan pemeriksaan, diproteksi terhadap lingkungan antara lain lembab, mudah terbakar, pengaruh mekanis.
- Bagian perlengkapan listrik yang mengandung logam dan bertegangan diatas 50V harus dibumikan dan diberi pengaman tegangan sentuh.
- Bab 5 terdiri terbagi atas 17 pasal, yaitu:
 - Ketentuan umum
 - Pengawatan perlengkapan listrik
 - Armatur penerangan, fitting lampu, lampu dan roset
 - Tusuk kontak dan kotak kontak
 - Motor, sirkuit dan kontrol
 - Generator
 - Piranti rendah
 - Transformator dan gardu tranformator
 - Resistor dan reaktor
- Perbedaan dengan PUIL-87, dalam PUIL-2000
 - Penambahan persyaratan mengenai pemanfaat dengan penggerak elektro mekanis (pasal 5.14), proteksi terhadap tegangan lebih (ayat 5.1.6), katagori perlengkapan I s/d IV (ayat 5.1.6.1. s/d 5.1.6.3), pemanfaat untuk digunakan pada manusia (ayat 15.14.1.3), pemanfaat untuk tujuan lain (ayat 15.14.1.4).
 - Yang hilang atau tdk ada seperti : perlengkapan listrik harus dipasang dst. (pasal 500.A.2), perlengkapan penyearah (pasal 560.A.8.1).
 - Pergantian istilah seperti : pengaman menjadi proteksi, pekawatan menjadi pengawatan, sensor menjadi pengindra, kontak tusuk menjadi kotak kontak dan tusuk kontak.

2.2.4.6 Bab 6 Perlengkapan hubung hubung bagi dan kendali (PHB)

- Mengatur persyaratan meliputi pemasangan, sirkit, ruang pelayanan dan penandaan untuk semua perlengkapan yang termasuk katagori PHB, baik tertutup, terbuka, pasangan dalam, maupun pasangan luar.
- PHB adalah perlengkapan yang berfungsi untuk membagi tenaga listrik dan / atau mengendalikan dan melindungi sirkit dan pemanfaat listrik, mencakup sakelar pemutus tenaga, papan hubung bagi tegangan rendah dan sejenisnya.
- Terdiri atas 6 pasal antara lain : ruang lingkup, ketentuan umum, perlengkapan hubung bagi dan kendali tertutup, perlengkapan hubung bagi dan kendali terbuka, lemari hubung bagi, komponen yang di pasang pada perlengkapan hubung bagi dan kendali.
- Perbedaan dengan PUIL-87, dalam PUIL-2000
 - Terdapat Penambahan persyaratan seperti : penggunaan pemutus daya mini MCB (ayat 6.2.4.1 dan ayat 6.2.7.2), gawai pemisah (ayat 6.2.8.1 s/d ayat 6.2.8.2.4), gawai pemutus untuk pemeliharaan mekanik (ayat 6.2.8.3. s/d 6.2.8.3.4). alat ukur dan indikator (ayat 6.6.3.2 s/d 6.6.3.4).

2.2.4.7 Penghantar dan Pemasangannya

- Mengatur ketentuan mengenai penghantar, pembebanan penghantar dan proteksinya, lengkapan penghantar dan penyambungan, penghubungan dan pemasangan penghantar.
- Terdiri atas 17 pasal, yaitu : umum, identifikasi, penghantar dengan warna, pembebanan penghantar, pembebanan penghantar dalam keadaan khusus, pengamanan arus lebih, pengaman penghantar terhadap kerusakan karena suhu yang sangat tinggi, pengamanan sirkit listrik, isolator, pipa instalasi dan lengkapannya, jalur penghantar, syarat umum pemasangan penghantar, sambungan dan hubungan, instalasi dalam bangunan, pemasangan penghantar dalam pipa instalasi, penghantar seret dan penghantar kontak, pemasangan kabel tanah, pemasangan penghantar udara disekitar bangunan, pemasangan penghantar khusus.
- Perbedaan dengan PUIL-87, dalam PUIL-2000
 - Pasal 760F PUIL-87 mengenai jarak antara penghantar dan bumi pada SUTT dan SUTET dihapus.
 - Penghantar udara telanjang untuk tegangan tinggi dan jenis kabel tegangan tinggi dihapuskan, tetapi ada penambahan jenis kabel.
 - Ada penambahan penampang untuk penghantar bulat terdiri dari sektor-sektor 800 mm², 1000 mm² dan 1200 mm².
 - Pengubahan cara penulisan tegangan pengenalan kabel instalasi dan beban tegangan kerja maksimum yang diperkenankan, misalnya 0,6/1 kV (PUIL-87) menjadi 0,6/kV (1,2 kV), tegangan dalam kurung menyatakan tegangan tertinggi peralatan.
 - Pengelompokan tegangan menjadi 2 kelompok, yaitu kabel tegangan rendah dan tegangan menengah.

- Pengkoreksian kesalahan-kesalahan dalam PUIL-87, misalnya KHA kabel, faktor koreksi KHA dll.

2.2.4.8 Ketentuan Untuk Berbagai Ruang dan Instalasi Khusus

- Memuat berbagai ketentuan untuk lokasi maupun instalasi yang penggunaannya mempunyai sifat khusus.
- Ruang khusus adalah ruang dengan sifat dan keadaan tertentu seperti ruang lembab, berdebu, bahaya kebakaran dll.
- Instalasi khusus adalah instalasi dengan karakteristik tertentu sehingga penyelenggaraannya memerlukan ketentuan tersendiri misal instalasi derek, instalasi lampu penerangan tanda dll.
- Terdiri atas 23 pasal, yaitu :ruang listrik, ruang dengan bahaya gas yang dapat meledak, ruang lembab, ruang pendingin, ruang berdebu, ruang dengan gas dan atau debu korosif, ruang radiasi, perusahaan kasar, pekerjaan dalam ketel, tangki dan sejenisnya, pekerjaan pada galangan kapal, derek, instalasi rumah dan gedung khusus, instalasi dalam gedung pertunjukan, pasar dan tempat umum lainnya, instalasi rumah desa, instalasi sementara, instalasi semi permanen, instalasi dalam pekerjaan pembangunan, instalasi generator dan penerangan darurat, instalasi dalam kamar mandi, instalasi dalam kolam renang dan air mancur, penerangan tanda dan bentuk, instalasi fasilitas kesehatan dan jenis ruang khusus.
- Perbedaan dengan PUIL-87, dalam PUIL-2000
 - Ruang dengan bahaya kebakaran dan ledakan, dirubah total disesuaikan dengan publikasi IEC.
 - Ditambahkan instalasi listrik pada kolam renang dan instalasi listrik didalam kamar mandi, dengan pembagian zone seperti di IEC.

2.2.4.9 Pengusahaan Instalasi Listrik

- Berisi ketentuan-ketentuan mengenai perencanaan, pembangunan, pemasangan, pelayanan, pemeliharaan, dan pengujian instalasi listrik serta pengamanannya.
- Setiap orang/badan perencana, pemasang, pemeriksa dan penguji instalasi listrik harus mendapat ijin kerja dari instansi berwenang.
- Setiap instalasi listrik harus dilengkapi dengan rancana instalasi yang dibuat oleh perencana yang mendapat ijin kerja dari instansi berwenang.
- Terdiri atas 13 pasal, yaitu : ruang lingkup, izin, pelaporan, proteksi pemasangan instalasi listrik, pemasangan instalasi listrik, peraturan instalasi listrik bangunan bertingkat, pemasangan kabel tanah, pemasangan penghantar udara TR dan TM, keselamatan dalam pekerjaan, pelayanan instalasi listrik, hal yang tidak dibenarkan dalam pelayanan, pemeliharaan, pemeliharaan ruang.
- Perbedaan dengan PUIL-87, dalam PUIL-2000
Perubahan redaksional : izin (pasal 9.2) ditambahkan kata-kata "dibuat oleh perencana yang mendapat ijin kerja dari instansi yang berwenang" pelaporan (pasal 9.3) kata "memberitahukan" menjadi "melaporkan", ayat 9.4.1.1 ada

tambahan kata "bila menggunakan GPAS lihat 3.15, ayat lainnya yang mengalami perubahan ayat 9.4.5.5, 9.4.6.4, 9.5.2.3, 9.5.3.1, 9.5.3.2, 9.5.3.3, 9.5.4.2, 9.5.4.3, 9.5.5.1, 9.5.6.3, 9.9.3.1.b) dan c), tabel 9.9-1, ayat 9.10.5.2, 9.10.6.c), 9.10.7.a), 9.12.2, 9.13.1.a).

2.2.5 Peraturan Menteri

Disamping Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL-200) yang merupakan Standar Nasional Indonesia SNI 04-0225-2000 terbitan yayasan PUIL ada rambu-rambu perlistrikan lainnya yang diatur oleh menteri.

Sebagai tindak lanjut undang-undang No. 15 tahun 1985, tentang ketenagalistrikan baik dengan PUIL-2000 maupun peraturan menteri (PERMEN) diharapkan dapat melengkapi aturan dalam bidang ketenagalistrikan, terutama menyangkut segi keselamatan dan bahaya kebakaran.

Pada tanggal 23 maret 1978 Menteri Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik mengeluarkan 2 surat Keputusan :

1. No : 23/PRT/78 tentang Peraturan Instalasi Listrik (PIL)
2. No : 24/PRT/78 tentang Syarat-syarat Pengembangan Listrik (SPL)

PIL ditinjau kembali dengan terbitnya peraturan menteri Pertambangan dan Energi No : 01/P/40M.PE/1990 tentang instalasi ketenagalistrikan yang direvisi lagi dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No: 0045 tahun 2005 tentang instalasi ketenagalistrikan serta perubahannya dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No: 0046 tahun 2006.

Sedangkan SPL telah mengalami revisi dua kali yaitu Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi No. 02 P/400/M.PE/1984 tentang Syarat-syarat Pengembangan Listrik, dan yang terakhir Peraturan Menteri Pertambangan dan Energi No: 03P/451/M.PE/1991 tentang Persyaratan Penyambungan Tenaga Listrik.

2.2.5.1 Instalasi Ketenagalistrikan

Beberapa hal penting yang ditetapkan berdasarkan PERMEN-ESDM No: 0046 tahun 2006 antara lain :

- Instalasi Ketenagalistrikan yang selanjutnya disebut instalasi adalah bangunan-bangunan sipil dan elektromekanik, mesin-mesin peralatan, saluran-saluran dan perlengkapannya yang digunakan untuk pembangkitan, konversi, transformasi, penyaluran, distribusi dan pemanfaatan tenaga listrik.
- Konsumen adalah setiap orang atau badan usaha/atau Badan/Lembaga lainnya yang menggunakan tenaga listrik dari instalasi milik pengusaha berdasarkan atas hak yang sah.

- Penyediaan Tenaga Listrik adalah pengadaan tenaga listrik mulai dari titik pembangkitan sampai dengan titik pemakaian.
- Pemanfaatan Tenaga Listrik adalah penggunaan tenaga listrik mulai dari titik pemakaian.
- Tenaga Listrik adalah salah satu bentuk energi sekunder yang dibangkitkan, ditransmisikan dan didistribusikan untuk segala macam keperluan, dan bukan listrik yang dipakai untuk komunikasi atau isyarat.
- Perencanaan adalah suatu kegiatan membuat rancangan yang berupa suatu berkas gambar instalasi atau uraian teknik.
- Pengamanan adalah segala kegiatan, sistem dan perlengkapannya, untuk mencegah bahaya terhadap keamanan instalasi, keselamatan kerja dan keselamatan umum, baik yang diakibatkan oleh instalasi maupun oleh lingkungan.
- Pemeriksaan adalah segala kegiatan untuk mengadakan penilaian terhadap suatu instalasi dengan cara mencocokkan terhadap persyaratan dan spesifikasi teknis yang ditentukan.
- Pengujian adalah segala kegiatan yang bertujuan untuk mengukur dan menilai unjuk kerja suatu instalasi.
- Pengoperasian adalah suatu kegiatan usaha untuk mengendalikan dan mengkoordinasikan antar sistem pada instalasi.
- Pemeliharaan adalah segala kegiatan yang meliputi program pemeriksaan, perawatan, perbaikan dan uji ulang, agar instalasi selalu dalam keadaan baik dan bersih, penggunaannya aman, dan gangguan serta kerusakan mudah diketahui, dicegah atau diperkecil.
- Rekondisi adalah kegiatan untuk memperbaiki kemampuan instalasi penyediaan tenaga listrik menjadi seperti kondisi semula.
- Keselamatan Ketenagalistrikan adalah suatu keadaan yang terwujud apabila terpenuhi persyaratan kondisi andal bagi instalasi dan kondisi aman bagi instalasi dan manusia, baik pekerja maupun masyarakat umum, serta kondisi akrab lingkungan dalam arti tidak merusak lingkungan hidup di sekitar instalasi ketenagalistrikan serta peralatan dan pemanfaat tenaga listrik yang memenuhi standar.
- Instalasi terdiri atas instalasi penyediaan tenaga listrik dan instalasi pemanfaatan tenaga listrik.

- Tahapan pekerjaan instalasi penyediaan tenaga listrik dan instalasi pemanfaatan tenaga listrik terdiri atas perencanaan, pembangunan dan pemasangan, pemeriksaan dan pengujian, pengoperasian dan pemeliharaan, serta pengamanan sesuai standar yang berlaku.
- Perencanaan instalasi penyediaan tenaga listrik dan instalasi pemanfaatan tenaga listrik konsumen tegangan tinggi dan tegangan menengah terdiri atas :
 - gambar situasi/tata letak;
 - gambar instalasi;
 - diagram garis tunggal instalasi;
 - gambar rinci;
 - perhitungan teknik;
 - daftar bahan instalasi; dan
 - uraian dan spesifik tehnik.
- Perancangan instalasi pemanfaatan tenaga listrik konsumen tegangan rendah terdiri atas :
 - gambar situasi/tata letak;
 - diagram garis tunggal instalasi; dan
 - uraian dan spesifikasi tehnik.
- Instalasi penyediaan tenaga listrik yang selesai dibangun dan dipasang, direkondisi, dilakukan perubahan kapasitas, atau direlokasi wajib dilakukan pemeriksaan dan pengujian terhadap kesesuaian dengan ketentuan standar yang berlaku.
- Instalasi pemanfaatan tenaga listrik yang telah selesai dibangun dan dipasang wajib dilakukan pemeriksaan dan pengujian terhadap kesesuaian dengan standar yang berlaku.
- Pengamanan instalasi penyediaan tenaga listrik dan instalasi pemanfaatan tenaga listrik dilakukan berdasarkan persyaratan tehnik yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia di bidang ketenagalistrikan, standar internasional, atau standar negara lain yang tidak bertentangan dengan standar ISO/IEC.

2.2.5.2 Peraturan Penyambungan Tenaga Listrik

Beberapa hal penting yang ditetapkan berdasarkan PERMEN-TAMBEN No: 03P/451/M.PE/1991 antara lain :

- Pemakai tenaga listrik adalah setiap orang atau Badan Usaha atau Badan/Lembaga lain yang memakai tenaga listrik dari instalasi pengusaha;
- Jaringan tenaga listrik adalah sistem penyaluran/pendistribusian tenaga listrik yang dapat dioperasikan dengan tegangan rendah, tegangan menengah, tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi;
- Sambungan tenaga listrik – selanjutnya disingkat "SL" – adalah penghantar dibawah atau diatas tanah, termasuk peralatannya sebagai bagian instalasi

pengusaha yang merupakan sambungan antara jaringan tenaga listrik milik pengusaha dengan instalasi pelanggan untuk menyalurkan tenaga listrik dengan tegangan rendah atau menengah atau tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi;

- Tegangan ekstra tinggi adalah tegangan sistem diatas 245.000 (dua ratus empat puluh lima ribu) volt sesuai Standar Listrik Indonesia
- Tegangan tinggi adalah tegangan sistem diatas 35.000(tiga puluh lima ribu) volt sampai dengan 245.000 (dua ratus empat puluh lima ribu) volt sesuai Standar Listrik Indonesia;
- Tegangan menengah adalah tegangan sistem diatas 1.000 (seribu) volt sampai dengan 35.000(tiga puluh lima ribu) volt sesuai Standar Listrik Indonesia;
 - Tegangan rendah adalah tegangan sistem diatas 100 (seratus) volt sampai dengan 1.000 (seribu) volt sesuai Standar Listrik Indonesia;
- Alat pembatas adalah alat milik pengusaha yang merupakan pembatasan daya atau tenaga listrik yang dipakai pelanggan;
- Alat pengukur adalah alat milik pengusaha yang merupakan bagian SL tegangan rendah atau tegangan menengah atau tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi untuk pengukuran daya atau tegangan listrik dan energi yang digunakan pelanggan;
- Instalasi pengusaha adalah instalasi ketenagalistrikan milik atau yang dikuasai pelanggan sesudah alat pembatas dan atau alat pengukur;
- Instalasi pelanggan adalah instalasi ketenagalistrikan milik atau yang dikuasai pelanggan sesudah alat pembatas dan atau alat pengukur;
- Mutu Tenaga Listrik yang disalurkan pengusaha harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :
 - Tenaga listrik arus bolak balik yang disalurkan baik fase tunggal, maupun fase tiga dengan frekuensi 50 (lima puluh) Hertz.
 - Pada jaringan Tegangan Rendah untuk fase tunggal dengan tegangan Nominal antara fase dengan penghantar nol adalah 230 (Dua ratus tiga puluh) volt dan untuk fase tiga tegangan antar fase adalah 400 (Empat ratus) volt.
 - Pada jaringan tegangan menengah dengan tegangan nominal 6.000 (Enam ribu) volt tiga fase tiga kawat 20.000 (Dua puluh ribu) volt tiga fase kawat atau empat kawat dan 35.000 (Tiga puluh lima ribu) volt tiga fase tiga kawat atau fase empat kawat antar fase.
 - Variasi tegangan yang diperbolehkan maksimum 5% (lima perseratus) diatas dan 10% (sepuluh perseratus) dibawah tegangan nominal sebagaimana termaksud pada huruf b dan huruf c diatas;
 - Pada jaringan tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi, maka tegangan nominal adalah sesuai standar yang berlaku;
- Pekerjaan penyambungan dan pemasangan instalasi hanya dapat dilakukan apabila telah dipenuhi persyaratan teknis dalam peraturan menteri Pertambangan dan Energi tentang Instalasi Ketenagalistrikan dan persyaratan penyambungan tenaga listrik dalam peraturan menteri ini.

2.2.6 Peraturan dan Undang-undang Lainnya

Pekerjaan instalasi listrik dalam suatu bangunan melibatkan berbagai instansi terkait, sehingga pelaksanaannya diatur berdasarkan peraturan dan perundangan yang berlaku di Indonesia.

2.2.6.1 Peraturan dan Undang-undang

2.2.6.1.1 Peraturan mengenai bangunan gedung dan menyangkut sarana/fasilitasnya adalah sebagai berikut :

- Keputusan Menteri P.0 No. 441/KPTS/1998 "Persyaratan Teknis Bangunan Gedung".
- Keputusan Menteri P.0 No. 468/KPTS/1998 "Persyaratan Teknis Aksesibilitas pada Bangunan Umum".
- Keputusan Menteri Negara P.U No. 10/KPTS/2000. "Ketentuan Teknis Pengamanan terhadap Bahaya Kebakaran pada Bangunan Gedung dan Lingkungan".
- Peraturan Menteri Nakertrans No.03/MEN/1999 "Syarat-syarat Keselamatan dan Kesehatan kerja lif untuk pengangkutan Orang dan Barang".
- Peraturan Menteri Nakertrans No.05/MEN/1996 "Sistem Manajemen Keselamatan kerja".
- Peraturan Menteri Nakertrans No.02/MEN/1992 "Tata cara penunjukan Ahli K3"
- Keputusan Menteri Nakertrans No.186/MEN/1999.
- "Unit Penanggulangan Kebakaran di Tempat kerja".
- Surat Direktur Utama PT PLN No: 02075/161/DIRUT/2007, tentang "Syarat Penyambungan Listrik".

2.2.6.1.2 Perundang-undangan

- Undang-undang RI No.15/1985, tentang "Ketenagalistrikan"
- Undang-undang RI No.18/1999, tentang "Jasa Konstruksi"
- Undang-undang RI No.28/2002, tentang "Bangunan Gedung"
- Undang-undang RI No.18/1995 , tentang "Ketenagalistrikan"
- Undang-undang RI No.8/1999 , tentang "Perlindungan Konsumen"
- Peraturan Pemerintah No. 102 Tahun 2000, tentang "Standardisasi Nasional"
- Peraturan Pemerintah No. 3 Tahun 2005 (16 Januari 2005) tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik.

Pasal 21 ayat (1)

Setiap Usaha penyediaan tenaga listrik wajib memenuhi ketentuan mengenai keselamatan ketenagalistrikan.

Pasal 22 ayat (2)

Setiap instalasi ketenagalistrikan sebelum dioperasikan wajib memiliki sertifikat laik operasi.

Pasal 21 ayat (7)

Pemeriksaan instalasi pemanfaatan tenaga listrik konsumen tegangan rendah

dilaksanakan oleh suatu lembaga inspeksi independen yang sifat usahanya nirlaba dan ditetapkan oleh menteri.

2.2.6.2 Pedoman-pedoman dan standar terkait

2.2.6.2.1 Mengenai proteksi kebakaran dalam bangunan gedung

1.	SNI.03-3987-1995	Tata cara perencanaan dan pemasangan api ringan.
2.	SNI.03-3985-2000	Tata cara perencanaan dan pemasangan sistem deteksi dan alarm kebakaran.
3.	SNI.03-3989-2000	Tata cara perencanaan dan pemasangan sistem springkler otomatis.
4.	SNI.03-1745-2000	Tata cara perencanaan dan pemasangan sistem pipa tegak dan slang.
5.	SNI.03-1736-2000	Tata cara perencanaan sistem proteksi aktif untuk pencegahan bahaya kebakaran.
6.	SNI.03-1746-2000	Tata cara perencanaan dan pemasangan sarana jalan keluar penyelamatan terhadap bahaya kebakaran.
7.	SNI.03-1735-2000	Tata cara perencanaan akses bangunan dan akses lingkungan untuk pencegahan bahaya kebakaran.
8.	SNI.03-1739-1989	Metode pengujian jalar api
9.	SNI.03-1714-1989	Metode pengujian tahan api komponen struktur bangunan

2.2.6.2.2 Mengenai : Proteksi terhadap Petir

SNI.03-3990-1995	Tata cara instalasi penangkal petir untuk bangunan
------------------	--

2.2.6.2.3 Mengenai : Pengkondisian udara

SNI.03-6572-2001	Tata cara perancangan sistem Ventilasi dan pengkondisian udara.
------------------	---

2.2.6.2.4 Mengenai : Transportasi Vertikal

1.	SNI.05-2189-1999	Definisi dan istilah
2.	SNI.03-2190-1999	Syarat-syarat umum konstruksi lif penumpang yang dijalankan dengan motor traksi.
3.	SNI.03-2190.1-2000	Syarat-syarat umum konstruksi lif yang dijalankan dengan transmisi hidrolis.
4.	SNI.03-2190.2-2000	Syarat-syarat umum konstruksi lif pelayan (dumbwaiter) yang dijalankan dengan tenaga listrik.
5.	SNI.03-6247.1-2000	Syarat-syarat umum konstruksi lif pasien.
6.	SNI.03-6247.2-2000	Syarat-syarat umum konstruksi lif penumpang khusus untuk perumahan
7.	SNI.03-6248-2000	Syarat-syarat umum konstruksi eskalator yang dijalankan dengan tenaga listrik.
8.	SNI.03-6573-2000	Tata cara perancangan sistem transportasi vertikal dalam gedung
9.	SNI.03-7017-2004	Pemeriksaan dan pengujian pesawat lif traksi

2.2.7 Pemasangan Instalasi Listrik

Berdasarkan PUIL 2000 pekerjaan perencanaan, pemasangan dan pemeriksaan / pengujian instalasi listrik di dalam atau di luar bangunan harus memenuhi ketentuan yang berlaku, sehingga instalasi tersebut aman untuk digunakan sesuai dengan maksud dan tujuan penggunaannya, mudah pelayanannya dan mudah pemeliharannya.

Pelaksanaannya wajib memenuhi ketentuan keselamatan dan kesehatan bagi tenaga kerjanya, sesuai dengan peraturan perundangan keselamatan dan kesehatan kerja yang berlaku.

2.2.7.1 Tenaga Kerja

Tenaga kerja yang diberi tanggung jawab atas semua pekerjaan : perancangan, pemasangan, dan pemeriksaan / pengujian instalasi listrik harus ahli di bidang kelistrikan sesuai dengan ketentuan yang berlaku, antara lain :

- Yang bersangkutan harus sehat jasmani dan rohani
- Memahami peraturan ketenagalistrikan
- Memahami ketentuan keselamatan dan kesehatan kerja
- Menguasai pengetahuan dan keterampilan pekerjaannya dalam bidang instalasi listrik.
- Dan memiliki ijin bekerja dari instansi yang berwenang.

2.2.7.2 Tempat Kerja

Untuk pekerjaan perancangan bisa dilakukan di kantor, setelah mendapatkan data-data alamat, gambar denah beserta ukuran-ukuran ruangnya. Namun untuk jenis pekerjaan pemasangan dan pemeriksaan instalasi listrik dikerjakan di tempat bangunan yang dipasang instalasi listrik tersebut. Tempat kerja pemasangan instalasi listrik harus memenuhi keselamatan dan kesehatan kerja sesuai dengan peraturan dan perundangan yang berlaku.

Disamping itu harus tersedia perkakas kerja, perlengkapan keselamatan, perlengkapan pemadam api, perlengkapan Pertolongan Pertama Pada Kecelakaan (P3K), rambu-rambu kerja dan perlengkapan lainnya yang diperlukan. Bila menggunakan perlengkapan peralatan yang dapat menimbulkan kecelakaan atau kebakaran, wajib dilakukan pengamanan yang optimal. Di tempat kerja pemasangan instalasi listrik harus ada pengawas yang ahli di bidang ketenagalistrikan. Untuk tempat kerja yang dapat mengganggu ketertiban umum, harus dipasang rambu bahaya dan papan pemberitahuan yang menyebutkan dengan jelas pekerjaan pekerjaan yang sedang berlangsung, serta bahaya yang mungkin timbul, dan harus dilingkupi pagar dan diterangi lampu pada tempat yang pencahayaannya kurang.

2.2.7.3 Pemeriksaan dan Pengujian Instalasi Listrik

Bila pekerjaan pemasangan instalasi listrik telah selesai, maka pelaksana pekerjaan pemasangan instalasi tersebut secara tertulis melaporkan kepada instansi yang berwenang bahwa pekerjaan telah selesai dikerjakan dengan baik. Memenuhi syarat proteksi dengan aturan yang berlaku dan siap untuk diperiksa / diuji.

Hasil pemeriksaan dan pengujian instalasi yang telah memenuhi standar juga dibuat secara tertulis oleh pemeriksa / penguji instalasi listrik jika hasilnya belum memenuhi standar yang berlaku, maka dilakukan perbaikan-perbaikan sehingga sampai memenuhi standar.

Pada waktu uji coba, semua peralatan listrik yang terpasang dan akan digunakan terus dijalankan baik secara sendiri-sendiri ataupun serempak sesuai dengan rencananya dan tujuan penggunaannya.

2.2.7.4 Wewenang dan Tanggung Jawab

- Perancang suatu instalasi listrik bertanggung jawab terhadap ruangan instalasi yang dibuatnya.
- Pelaksana instalasi listrik bertanggung jawab atas pemasangan instalasi listrik sesuai dengan rancangan instalasi listrik yang telah disetujui oleh instansi yang berwenang.
- Jika terjadi kecelakaan yang diakibatkan oleh karena instalasi tersebut dirubah atau ditambah oleh pemakai listrik (konsumen/user), atau pemasangan instalasi lain, maka pelaksana pemasangan instalasi listrik yang terdahulu dibebaskan dari tanggung jawab.

- Setiap pemakai listrik bertanggung jawab atas penggunaan yang aman, sesuai dengan maksud dan tujuan penggunaan instalasi tersebut.
- Instansi yang berwenang berhak memerintahkan penghentian seketika penggunaan instalasi listrik yang dapat membahayakan keselamatan umum atau keselamatan kerja. Perintah tersebut harus dibuat secara tertulis disertai dengan alasannya.

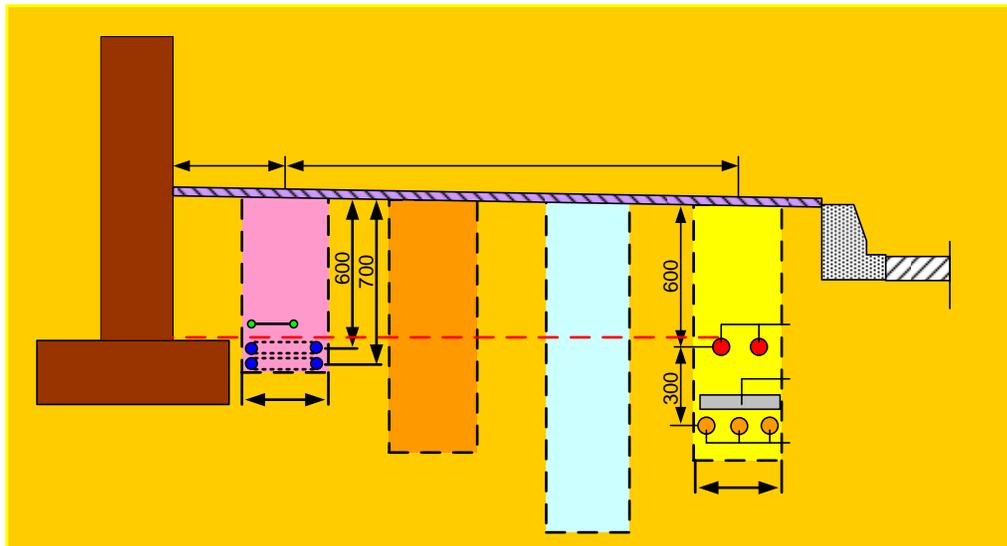
2.3 Macam-macam Instalasi

Untuk melayani kebutuhan rumah tangga, industri maupun bangunan komersil, pekerjaan instalasi dapat dibedakan antara lain :

- Instalasi listrik
- Instalasi air
- Instalasi gas
- Instalasi telepon
- Instalasi TV

Dulu karena alasan keamanan instalasi air dan gas dilakukan pada saluran bawah tanah, sedangkan untuk instalasi listrik, telepon, dan TV diatas permukaan tanah (saluran udara). Tapi kini dengan perkembangan teknologi pengolahan bahan material konduktor dan isolasi, instalasi saluran udara dapat dipindahkan pada saluran bawah tanah, sehingga kesemrawutan instalasi pada saluran udara dapat ditiadakan.

Di Indonesia, pembangunan sarana instalasi listrik, telepon, dan TV yang tadinya melalui saluran udara, kini sudah banyak dibangun melalui saluran bawah tanah, walaupun masih terbatas pada kawasan elite. Berikut contoh saluran bawah tanah / trotoar dari negara Belanda.



Gambar 2.37 Saluran instalasi bawah trotoar

Untuk selanjutnya buku ini hanya membahas instalasi listrik saja, sedangkan instalasi-instalasi lainnya akan dibahas pada buku lainnya.

Berdasarkan pemakaian tenaga listrik dan tegangannya, macam-macam instalasi listrik adalah :

1. Menurut arus listrik yang disalurkan :

a. *Instalasi arus searah*

Instalasi ini pada umumnya bekerja pada tegangan 110V; 220V; atau 440V.

Di Indonesia penggunaannya adalah industri yang bekerja berdasarkan elektronika, PT. Kereta Api Indonesia pada pelayanan KRL (Kereta Api Listrik).

b. *Instalasi arus bolak-balik*

Instalasi ini pada umumnya bekerja pada tegangan : 125V; 220V; 330V; 500V; 1000V; 3000V; 5000V; 6000V; 10.000V; 15.000V.

Di Indonesia jaringan dari PT. PLN tegangan yang digunakan adalah 220V; 380V; 6.000V; dan 20.000V. Instalasi arus bolak-balik banyak dipakai untuk rumah tangga, industri maupun bangunan komersil.

2. Menurut tegangan yang digunakan

a. *Instalasi tegangan tinggi*

Dipergunakan pada saluran transmisi, karena mengalirkan daya yang besar pada tegangan tinggi selama arus baliknya kecil, sebagai muatan transmisinya tenaganya kecil.

b. *Instalasi tegangan menengah*

Dipergunakan pada pusat pembangkit listrik arus bolak-balik pada saluran distribusi, instalasi tenaga pada induk.

c. *Instalasi tegangan rendah*

Dipergunakan pada saluran distribusi, instalasi penerangan rumah tangga, PJU (Penerangan Jalan Umum), komersil.

3. Menurut pemakaian tenaga listrik

a. *Instalasi penerangan / instalasi cahaya*

PT.PLN menggunakan arus bolak-balik 127 Volt (sistem lama) dan mulai tahun 1980-an dengan sistem 220 Volt.

b. *Instalasi tenaga*

Sistem lama PT.PLN menggunakan arus bolak-balik 127 Volt dan sistem baru dengan tegangan 350 Volt instalasi tenaga ini biasa dipakai bersama untuk penerangan maupun tenaga.

4. Instalasi listrik khusus

Dipergunakan pemakaian alat-alat, atau pada induksi-induksi yang memerlukan tenaga listrik untuk keperluan saluran seperti pada ;

- Instalasi listrik pada kereta api, mobil, kapal laut, pesawat terbang
- Instalasi listrik pada pemancar radio, TV telepon, telegram, radar
- Instalasi listrik pada industri pertambangan dan lain-lain

2.4 Macam-macam Ruang Kerja Listrik

Untuk memilih peralatan atau perlengkapan listrik, harus disesuaikan dengan keadaan ruang kerja listrik.

Berdasarkan penggunaannya, ada beberapa beberapa macam ruang kerja listrik antara lain :

1. *Ruang kerja listrik pada rumah tangga*
Biasanya terdiri dari ruang tamu, ruang keluarga, kamar tidur, dapur, kamar mandi/WC, luar, balkon, gerasi, taman.
2. *Ruang kerja listrik untuk industri biasa*
Pada umumnya terdiri dari ruang tamu/lobi, ruang kerja administrasi, toilet, ruang produksi, tempat parkir, jalan.
3. *Ruang berdebu*
Industri yang bekerjanya menyebabkan debu antara lain : pabrik pemecah batu, kapur, semen, pabrik tepung dan sebagainya. Peralatan listrik yang digunakan harus tahan terhadap debu. Perlengkapan yang akan digunakan dalam ruang yang berdebu ditandai dengan penandaan untuk kelas A sebagai berikut :
 - DIP (*Dust Ignition Protection*), diikuti dengan A untuk kelas A, kemudian diikuti dengan 21 dan 22 untuk menyatakan Zona dimana perlengkapan boleh ditempatkan.
 - Untuk perlengkapan kelas B digunakan penandaan yang sama, hanya dengan mengganti tanda A dengan B.
 - Untuk semua perlengkapan, maka suhu maksimum yang diijinkan dicantumkan pada selungkup.
 - Semua perlengkapan yang ditempatkan dalam Zona 21 dan 22 harus memenuhi ketentuan dalam publikasi IEC.

Suhu maksimum permukaan yang diijinkan adalah suhu tertinggi pada permukaan perlengkapan listrik yang boleh dicapai dalam penggunaan untuk menghindari penyalaan.

Zona 21 adalah suatu ruang dimana terdapat atau mungkin terdapat debu yang mudah terbakar berupa kabut, selama proses normal, pengerjaan, atau operasional pembersihan, dalam jumlah yang cukup untuk dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi yang dapat meledak dari debu yang mudah terbakar atau menyala jika bercampur dengan udara.

Zona 22 adalah suatu ruang yang tidak diklasifikasikan sebagai Zona 21, dimana kabut debu mungkin terjadi tidak terus menerus, dan muncul hanya dalam waktu singkat, atau dimana terdapat pengumpulan atau penumpukan debu yang mudah terbakar dalam kondisi abnormal, dan menimbulkan peningkatan campuran debu yang dapat menyala di udara.

*Perlengkapan kedap debu kelas A
Selungkup harus memenuhi syarat IP 6X*

*Perlengkapan yang dilindungi terhadap debu kelas A
Selungkup harus memenuhi persyaratan untuk IP 5X*

*Perlengkapan kedap debu kelas B
Perlengkapan harus sesuai dengan persyaratan IEC*

*Perlengkapan kedap debu kelas B
Perlengkapan harus sesuai dengan persyaratan IEC*

4. *Ruang kerja listrik untuk industri yang mengandung gas, bahan atau debu yang korosif*

Industri yang bekerjanya menggunakan gas dan rawan terhadap bahaya kebakaran dan ledakan antara lain : pabrik penyulingan minyak, pabrik pengolahan bahan bakar minyak dan sebagainya.

Selain itu, mesin, pesawat, dan penghantar listrik serta pelindung yang bersangkutan harus didesain, dilindungi, dipasang dan dihubungkan sedemikian rupa sehingga tahan terhadap pengaruh yang rusak dari bahan, debu, atau gas yang korosif itu.

5. *Ruang Kerja Listrik Terkunci*

- Dalam Ruang kerja listrik terkunci tidak boleh dipasang mesin, pesawat, instrumen ukur dan perlengkapan lain, yang setiap hari berulang kali secara teratur dilayani, diamati, atau diperiksa ditempat.
- Bila ada penerangan lampu, lampu itu harus dipasang sedemikian rupa sehingga dapat dinyalakan dari tempat yang berdekatan dengan jalan masuk utama dan harus memberi penerangan yang cukup.
- Pintu jalan masuk ke ruang kerja listrik terkunci, harus diatur sedemikian rupa sehingga memenuhi syarat sebagai berikut :
 - a) Semua pintu harus membuka keluar.
 - b) Semua pintu harus dapat dibuka dari luar dengan menggunakan anak kunci.
 - c) Semua pintu harus dapat dibuka dari dalam tanpa menggunakan anak kunci

6. *Ruang Uji Bahan Listrik dan Laboratorium Listrik*

- Ruang uji bahan listrik dan laboratorium listrik seperti pada ruang kerja listrik

- Untuk instalasi pasangan tetap berlaku juga ketentuan yang disyaratkan untuk instalasi dalam ruang kerja listrik pada umumnya.
- Ruang uji bahan listrik dan laboratorium listrik tidak boleh berdebu, harus bebas bahaya kebakaran atau ledakan, serta tidak boleh lembab.
- Dalam pabrik dan bengkel, ruang uji bahan listrik dan laboratorium listrik harus dipisahkan dari instalasi lain pabrik atau bengkel dengan baik dan tepat.
- Pada pintu masuk harus dipasang papan tanda peringatan larangan masuk bagi orang yang tidak berwenang.
- Harus dicegah orang yang tidak berwenang masuk kedalam ruang instalasi listrik tegangan menengah.

7. Ruang Sangat Panas

- Untuk instalasi listrik dalam ruang sangat panas berlaku ketentuan (Ruang lembab) kecuali jika ditetapkan lain.
- Pada tempat yang bersuhu demikian tingginya sehingga ada kemungkinan bahan isolasi dan pelindung penghantar pasangan normal akan terbakar, meleleh, atau lumer, harus diperhatikan ketentuan berikut :
 - a) Hanya armatur penerangan, pesawat pemanas, dan alat perlengkapan lainnya beserta penghantar yang bersangkutan itu saja yang boleh dipasang ditempat itu.
 - b) Sebagai penghantar dapat dipakai penghantar regang pada isolator dengan jarak titik tumpu maksimum 1 meter, atau kabel jenis tahan panas yang sesuai untuk suhu ruang itu.
 - c) Pada tempat dengan bahaya kerusakan mekanis, penghantar telanjang harus seluruhnya dilindungi dengan selungkup logam yang kuat, atau dengan alat yang sama mutunya, untuk mencegah bahaya sentuhan.

8. Ruang Radiasi

- *Ruang Sinar X*
 - Seluruh permukaan lantai tempat perlengkapan sinar X berdiri harus dilapisi bahan isolasi (sesuai dengan IEC)
 - Pada seluruh bagian logam yang tidak bertegangan dari perlengkapan sinar X harus dipasang penghantar proteksi yang baik.
 - Sakelar harus mudah dicapai dan dikenal dengan jelas.
 - Kabel fleksibel yang digunakan harus dari jenis pemakaian kasar dan berat atau dari jenis berselubung logam yang fleksibel.

Catatan : khusus untuk penggunaan pada fasilitas pelayanan kesehatan agar merujuk ke publikasi IEC 336, 407, 522, 526, 601-2-8, 601-2-15, 601-2-32, 627 dan 806

- *Ruang Radiasi Tinggi*
 - Semua instalasi perlengkapan panel pengatur harus dipasang diluar ruang beradiasi.
 - Untuk instalasi berlaku persyaratan dalam

Catatan : khusus untuk penggunaan pada fasilitas pelayanan kesehatan agar merujuk ke publikasi IEC 336, 407, 522, 526, 601-2-8, 601-2-15, 601-2-32, 627 dan 806

- *Ruang Mikroskop Elektron*
 - Peraturan mengenai instalasi dalam ruang mikroskop elektron akan ditetapkan oleh instansi yang berwenang.

- *Sel Radioaktif*

Sel radioaktif ialah suatu ruang untuk menyimpan, mengolah, membentuk, atau memproses, bahan radioaktif.

 - Semua lampu dalam sel radioaktif harus dipasang dalam jarak jangkauan dari manifoldor.
 - Semua lampu sedapat mungkin harus tertanam didinding dan ditutup dengan tutup yang tembus cahaya, sedemikian rupa sehingga mudah dilepas hanya dengan menggunakan manifoldor yang ada.
 - Semua lampu harus diletakan sedemikian rupa sehingga dapat dilihat dari jendela pelindung.
 - Semua kabel harus dipasang dalam pipa dan ditanam dalam tembok (dinding sel) minimum sedalam 1 cm dari permukaan dinding.
 - Semua lampu harus adapat dilayani dari luar sel.
 - Semua kotak kontak yang ada didalamnya harus dapat dilihat dari jendela pelindung.
 - Dalam ruang didaerah panas sekitar sel radioaktif yang mengandung udara radioaktif, semua pipa instalasi listrik sedapat mungkin harus ditanam dalam tembok. Kabel yang ada dilangit-langit supaya ditunjang dengan baik dengan ketinggian minimum 3meter.
 - Semua permukaan sakelar, tusuk kontak, dan kotak kontak harus terdiri dari bahan yang tidak mudah terbakar, harus licin, kuat dan tanpa lekukan yang tajam. Pemasangan dalam dinding harus rata dalam satu bidang.

- *Ruang Gamma*

Ruang gamma ialah suatau daerah radiasi untuk penelitian dan proses dengan menggunakan sinar gamma.

 - Semua alat pelayanan instalasi listrik dan operatornya harus berada dalam ruang tersendiri, diluar daerah ruang gamma.
 - Penghantar yang digunakan harus tahan terhadap radiasi (proses radiasi X-link).
 - Pemasangan dalam dinding harus berbelok-belok sehingga sinar gamma tidak mudah tembus.
 - Lampu penerangan harus tahan terhadap sinar gamma, misalnya lampu halogen.

Catatan : khusus untuk penggunaan pada fasilitas pelayanan kesehatan agar merujuk ke publikasi IEC 601-2-11 part 2, 601-2-17 part 2 dan 798

- *Ruang Linac (linear accelerator)*
Linac ialah alat guna mempercepat partikel secara linier.
 - Semua instalasi listrik yang dipasang dalam ruang linac harus memenuhi persyaratan untuk ruang lembab.

Catatan :

- Hal yang belum diatur disini akan diatur kemudian*
- khusus untuk penggunaan pada fasilitas pelayanan kesehatan agar merujuk ke publikasi IEC 601-2-11 part 2, 601-2-17 part 2,798*

- *Ruang Neutron*
 - Semua perlengkapan listrik yang dipasang dalam ruang neutron harus memenuhi syarat untuk ruang ini.
 - Kabel yang digunakan harus dari jenis yang tahan terhadap pengaruh sinar neutron.

2.5 Prinsip Dasar Instalasi Bangunan (IEC 364-1)

- Proteksi untuk keselamatan.*
- Perancangan sesuai dengan maksud penggunaannya.*
- Pemilihan*

Prinsip-prinsip Dasar Instalasi Listrik

Agar instalasi listrik yang dipasang dapat digunakan secara optimum, maka ada beberapa prinsip dasar yang perlu sebagai bahan pertimbangan yaitu paling tidak memenuhi **5K+E** (Keamanan, Keandalan, Ketersediaan, Ketercapaian, Keindahan dan Ekonomis).

Keamanan Instalasi harus dibuat

Standar adalah spesifikasi teknis atau sesuatu yang dibakukan, disusun berdasarkan konsensus semua pihak yang terkait dengan memperhatikan syarat-syarat kesehatan, keselamatan, lingkungan, pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta berdasarkan pengalaman, perkembangan masa kini dan masa yang akan datang untuk memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya.

sedemikian rupa, sehingga tidak menimbulkan kecelakaan. Aman dalam hal ini berarti tidak membahayakan jiwa manusia dan terjaminnya per-alatan listrik dan benda-benda disekitarnya dari suatu kerusakan akibat adanya gangguan-gangguan seperti hubung singkat, arus lebih, tegangan lebih dan sebagainya. Oleh karena itu pemilihan peralatan yang digunakan harus memenuhi standar dan teknik pemasangannya sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Keandalan

Keandalan atau kelangsungan kerja dalam mensuplai arus listrik ke beban/ konsumen harus terjamin dengan baik. Untuk itu pemasangan instalasi listriknya harus dirancang sedemikian rupa, sehingga kemungkinan terputusnya aliran listrik akibat gangguan ataupun karena untuk pemeliharaan dapat dilakukan sekecil mungkin :

- diperbaiki dengan mudah dan cepat
 - diisolir pada daerah gangguan saja
- sehingga konsumen pengguna listrik tidak terganggu.

Ketersediaan

Artinya kesiapan suatu instalasi dalam melayani kebutuhan pemakaian listrik lebih berupa daya, peralatan maupun kemungkinan pengembangan / perluasan instalasi, apabila konsumen melakukan perluasan instalasi, tidak mengganggu sistem instalasi yang sudah ada, dan mudah menghubungkannya dengan sistem instalasi yang baru (tidak banyak merubah dan mengganti peralatan yang ada).

Ketercapaian

Penempatan dalam pemasangan peralatan instalasi listrik relatif mudah dijangkau oleh pengguna, mudah mengoprasikannya dan tidak rumit.

Keindahan

Pemasangan komponen atau peralatan instalasi listrik dapat ditata sedemikian rupa, selagi dapat terlihat rapi dan indah dan tidak menyalahi aturan yang berlaku.

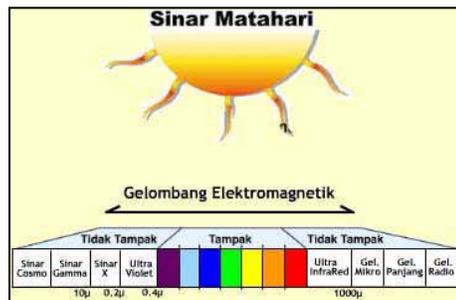
Ekonomis

Perencanaan instalasi listrik harus tepat sesuai dengan kebutuhan dengan menggunakan bahan dan peralatan seminim mungkin, mudah pemasangannya maupun pemeliharannya, segi-segi daya listriknya juga harus diperhitungkan sekecil mungkin. Dengan demikian hanya keseluruhan instalasi listrik tersebut baik untuk biaya pemasangan dan biaya pemeliharannya bisa dibuat semurah mungkin.

2.6 PENCAHAYAAN

2.6.1 Sifat Gelombang Cahaya

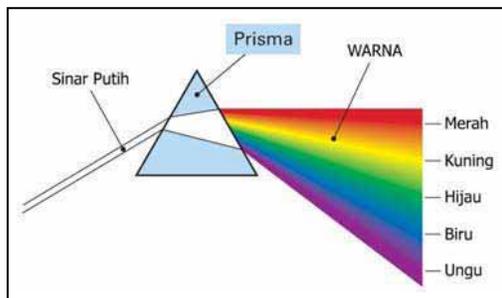
Sumber cahaya memancarkan energi dalam bentuk gelombang yang merupakan bagian dari kelompok gelombang elektromagnetik. Gambar 2.38 menunjukkan sumber cahaya alam dari matahari yang terdiri dari cahaya tidak tampak dan cahaya tampak.



Sumber : www.biofir.com

Gambar 2.38 Kelompok Gelombang Elektromagnetik

Dari hasil percobaan *Isaac Newton*, cahaya putih dari matahari dapat diuraikan dengan prisma kaca dan terdiri dari campuran spektrum dari semua cahaya pelangi.



Gambar 2.39 Warna-warna Spektrum

Pada gambar 2.39 dapat dilihat bahwa sinar-sinar cahaya yang meninggalkan prisma dibelokkan dari warna merah hingga ungu. Warna cahaya ditentukan oleh panjang gelombangnya.

Kecepatan rambat V gelombang elektromagnetik di ruang bebas = $3 \cdot 10^5$ km/det. Jika frekuensi energinya = f dan panjang gelombangnya λ (*lambda*), maka berlaku :

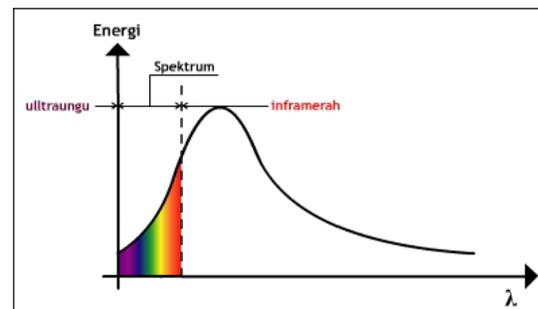
$$\lambda = \frac{V}{f}$$

Panjang gelombang tampak berukuran antara $380\mu\text{m}$ sampai dengan $780\mu\text{m}$ seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 2.8 Panjang Gelombang

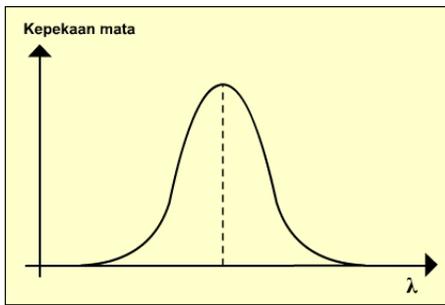
Warna	Panjang Gelombang (μm)
ungu	380 – 420
biru	420 – 495
hijau	495 – 566
kuning	566 – 589
jingga	589 – 627
merah	627 – 780

Gambar 2.40 menunjukkan gambar grafik energi – panjang gelombang sebuah lampu pijar 500W.



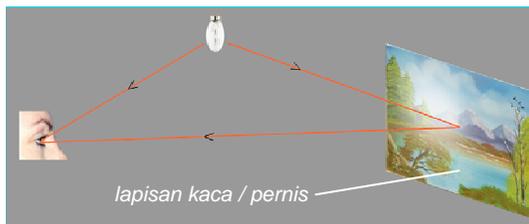
Gambar 2.40 Energi – Panjang Gelombang – Lampu Pijar 500W

Selain memiliki warna tertentu, setiap panjang gelombang yang memberi kesamaan intensitas tertentu, dari gambar 2.41 terlihat bahwa mata manusia paling peka terhadap cahaya dengan $\lambda = 555\mu\text{m}$ yang berwarna kuning – hijau.



Gambar 2.41 Grafik Kepekaan Mata

2.6.2 Pandangan Silau



Gambar 2.42 Pandangan Silau

Kalau posisi mata kita seperti gambar diatas, dapat kita rasakan bahwa kita merasakan pandangan yang menyilaukan karena mata kita mendapatkan :

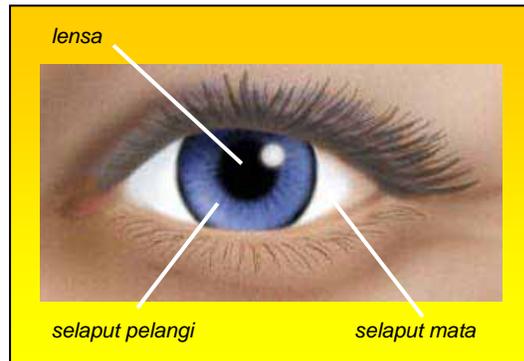
- cahaya langsung dari lampu listrik, dan
- cahaya tidak langsung / pantulan cahaya dari gambar yang kita lihat.

Dengan kondisi ini kita tidak dapat melihat sasaran objek gambar dengan nyaman. Pandangan silau dapat didefinisikan sebagai terang yang berlebihan pada mata kita karena cahaya langsung atau cahaya pantulan maupun keduanya.

Supaya mata kita bisa melihat sasaran objek dengan nyaman / jelas, maka diatur sedemikian rupa agar cahaya jatuh pada sasaran objek dan bukan pada mata kita.

Untuk memahami pandangan silau mempunyai gerakan penglihatan, kita

perlu mempelajari sedikit tentang bekerjanya mata manusia (gambar di bawah).



Gambar 2.43 Mata Manusia

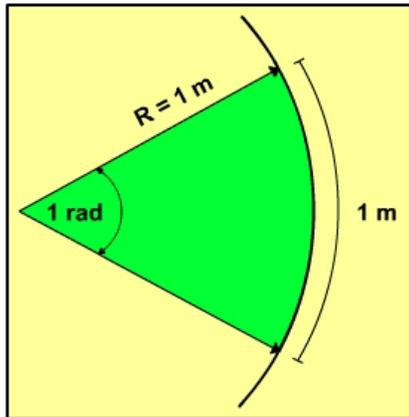
Selaput pelangi bekerja sebagai tirai / penutup untuk mengendalikan banyaknya cahaya yang masuk ke mata. Seperti kita lihat, bahwa cahaya adalah suatu bentuk energi radiasi yang lewat melalui lensa menuju lapisan saraf peka yang disebut retina di bagian belakang mata. Kemudian disampaikan oleh saraf optik ke otak yang menyebabkan perasaan cahaya. Melihat secara langsung pada sebuah sumber cahaya, menghasilkan suatu kesan yang kuat pada retina.

Untuk mencegah kerusakan pada bagian mata yang sensitif ini, secara otomatis pelangi berkontraksi. Kondisi ini mengurangi intensitas bayangan yang diterima. Dengan menutupnya selaput pelangi ini akan menurunkan banyaknya cahaya yang diterima. Jadi adanya cahaya terang yang kuat pada posisi yang salah, benar-benar akan membuat penglihatan tidak nyaman, dan juga akan menimbulkan efek kelelahan pada mata.

Untuk mencegah terjadinya pandangan silau diperlukan teknik pemasangan sumber cahaya maupun armaturnya dengan tepat.

2.6.3 Satuan-satuan Teknik Pencahayaan

2.6.3.1 Steradian

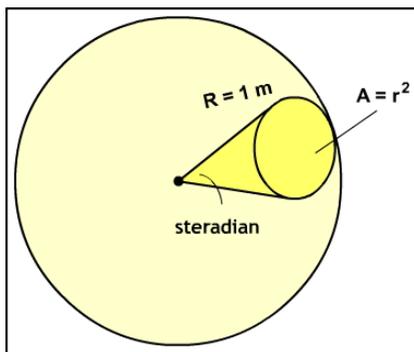


Gambar 2.44 Radian

Radian adalah sudut pada titik tengah lingkaran antara dua jari-jari dimana kedua ujung busurnya jaraknya sama dengan jari-jari tersebut (misal $R = 1\text{ m}$). oleh karena keliling lingkaran $= 2\pi R$, maka :

$$1 \text{ Radian} = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57,3^\circ$$

Sedangkan steradian adalah sudut ruang pada titik tengah bola antara jari-jari terhadap batas luar permukaan bola sebesar kuadrat jari-jarinya.



Gambar 2.45 Steradian

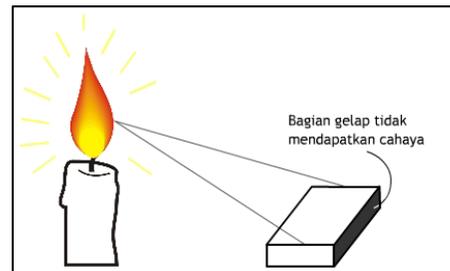
Karena luas permukaan bola $= 4\pi R^2$, maka di sekitar titik tengah bola terdapat 4π sudut ruang yang masing-masing $= 1$ steradian.

Jumlah steradian suatu sudut ruang dinyatakan dengan lambang ω (omega)

$$\omega = \frac{A}{R^2} \text{ (steradian)}$$

2.6.3.2 Intensitas Cahaya (Luminous Intensity)

Menurut sejarah, sumber cahaya buatan adalah lilin (candela). Candela dengan singkatan Cd ini merupakan satuan Intensitas Cahaya (I) dari sebuah sumber yang memancarkan energi cahaya ke segala arah.



Gambar 2.46 Lilin yang menyinari buku

$$I = \frac{F}{\omega} \text{ (cd)}$$

Keterangan :

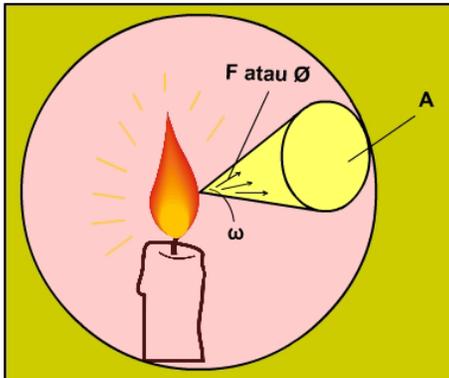
I = Intensitas Cahaya (cd)

F = Fluks cahaya (lumen)

ω = Sudut ruang (steradian)

2.6.3.3 Fluks Cahaya (Luminous Flux)

Adalah jumlah cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Lambang fluks cahaya adalah F atau Φ dan satuannya dalam lumen (lm). Satu lumen adalah fluks cahaya yang dipancarkan dalam 1 steradian dari sebuah sumber cahaya 1 cd pada permukaan bola dengan jari-jari $R = 1\text{m}$.



Gambar 2.47 Fluks Cahaya

Jika fluks cahaya dikaitkan dengan daya listrik maka:

Satu watt cahaya dengan panjang gelombang $555\text{m}\mu$ sama nilainya dengan 680 lumen.

Jadi dengan $\lambda = 555\text{m}\mu$, maka 1 watt cahaya = 680 lumen.

2.6.3.4 Luminasi (Luminance)

Adalah suatu ukuran terangnya suatu benda baik pada sumber cahaya maupun pada suatu permukaan.

Luminasi yang terlalu besar akan menyilaukan mata (contoh lampu pijar tanpa amatur).

Luminasi suatu sumber cahaya dan suatu permukaan yang memantulkan cahayanya adalah intensitasnya dibagi dengan luas semua permukaan. Sedangkan luas semua permukaan

adalah luas proyeksi sumber cahaya pada suatu bidang rata yang tegak lurus pada arah pandang, jadi bukan permukaan seluruhnya.

$$L = \frac{I}{A_s} \text{ (cd/m}^2\text{)}$$

Keterangan :

L = Luminasi (cd/m^2)

I = Intensitas (cd)

A_s = Luas semua permukaan (m^2)

2.6.3.5 Iluminasi (Illuminance)

Iluminasi sering di sebut juga intensitas penerangan atau kekuatan penerangan atau dalam BSN di sebut Tingkat Pencahayaan pada suatu bidang adalah fluks cahaya yang menyinari permukaan suatu bidang.

Lambang iluminasi adalah E dengan satuan lux (lx).

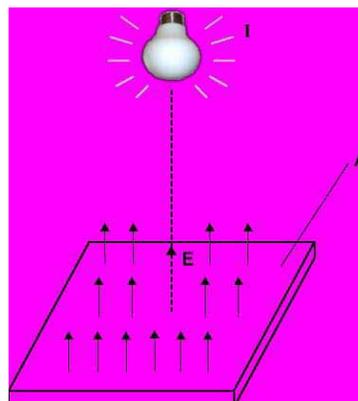
$$E = \frac{F}{A} \text{ (lux)}$$

Keterangan :

E = Iluminasi / Intensitas penerangan / kekuatan penerangan / tingkat pencahayaan (lux)

F = fluks cahaya (lumen)

A = luas permukaan bidang (m^2)



Gambar 2.48 Iluminasi

2.6.3.6 Efikasi

Adalah rentang angka perbandingan antara fluks cahaya (lumen) dengan daya listrik suatu sumber cahaya (watt), dalam satuan lumen/watt. Efikasi juga disebut fluks cahaya spesifik.

Tabel berikut ini menunjukkan efikasi dari macam-macam lampu. Efikasi ini biasanya didapat pada data katalog dari suatu produk lampu.

Tabel 2.9 Daftar Efikasi Lampu

Jenis Lampu	Efikasi (lumen/watt)
pijar	14
halogen	20
TL	45 – 60
Merkuri	38 – 56
Sodium SON	100 – 120
Sodium SOX	61 - 180

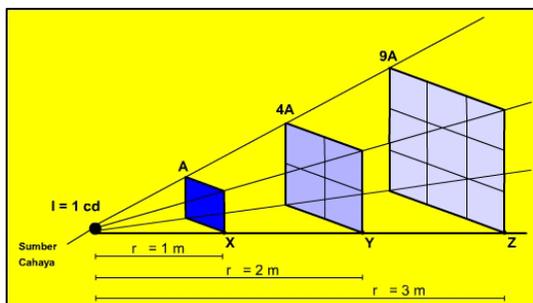
2.6.4 Hukum Penerangan

Satuan-satuan penting yang digunakan dalam teknik penerangan antara lain :

- Sudut ruang W Steradian (Sr)
- Intensitas cahaya I Candela (cd)
- Fluks cahaya $F(\emptyset)$ lumen (Lm)
- Luminasi L (cd/m²)
- Iluminasi E Lux (lx)

2.6.4.1 Hukum Kwadrat Terbalik

Pada umumnya bidang yang diterangi bukan permukaan bola, tetapi bidang datar.



Gambar 2.49 Hukum kebalikan kuadrat iluminasi

Tabel 2.10 Perhitungan Intensitas Penerangan

Bidang	I (cd)	F (lm)	A (m ²)	E (lux)
X	1	1	1	1
Y	1	1	4	1/4
Z	1	1	9	1/9

Cahaya dari sumber 1 cd yang menyinari bidang x (seluas 1 m²) yang berjarak 1 m akan mengiluminasi 1 lux. Jika kemudian jarak tersebut dikalikan dua (ke bidang Z), maka iluminasi 1 lux tadi akan menyinari bidang seluas 4 m². Jadi iluminasi dari suatu permukaan akan mengikuti hukum kebalikan kwadrat yaitu :

$$E = \frac{I}{r^2}$$

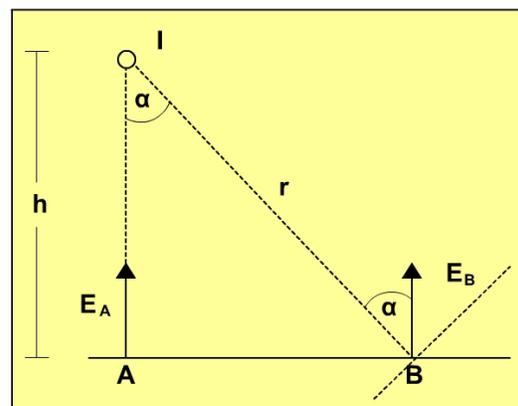
Keterangan :

E = Iluminasi (lux)

I = Intensitas penerangan (cd)

r = jarak dari sumber cahaya ke bidang (m)

2.6.4.2 Hukum Cosinus



Gambar 2.50 Kurva Cosinus

Sesuai dengan hukum kebalikan kuadrat iluminasi, maka :
pada titik A :

$$E_A = \frac{I}{h^2}$$

pada titik B :

$$E_B' = \frac{I}{r^2}$$

Jadi Iluminasi pada titik B :

$$E_B = E_B' \cdot \cos \alpha$$

$$E_B = \frac{I}{r^2} \cos \alpha$$

Jika letak titik sumber cahaya diatas bidang = h, maka

$$r = \frac{h}{\cos \alpha}$$

sehingga

$$E_B = \frac{I}{\left(\frac{h}{\cos \alpha}\right)^2} \cdot \cos^2 \alpha$$

dan secara umum dapat di tulis

$$E_B = \frac{I}{h^2} \cdot \cos^3 \alpha$$

2.6.5 Penyebaran Cahaya

Penyebaran Cahaya dari suatu cahaya bergantung pada konstruksi sumber cahaya itu sendiri dan armature yang digunakan. Sebagian besar cahaya yang direspon mata tidak langsung di sumber cahaya, tetapi setelah dipantulkan atau melalui benda yang tembus cahaya.

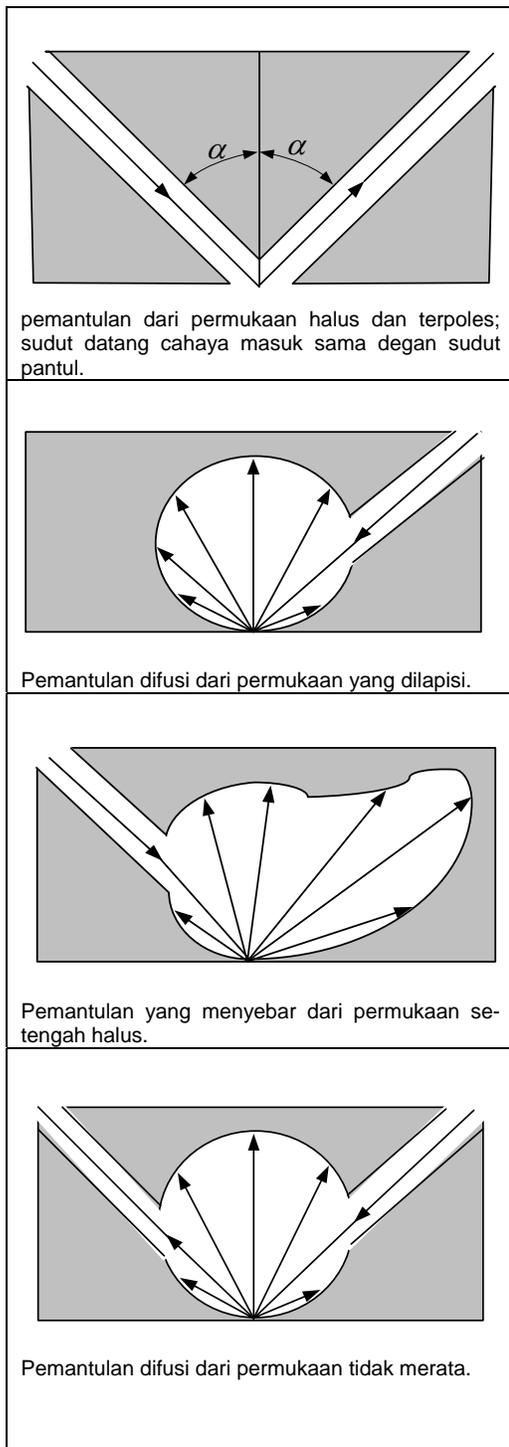
Untuk penerangan, secara garis besar penyebaran cahaya ada 3 macam yaitu penyebaran langsung, tidak langsung atau campuran.

- Penerangan Langsung
- Penerangan Tidak Langsung
- Penerangan Campuran

Jika kita berada dalam suatu ruang yang ada sumber cahaya dari sebuah lampu, maka ada dua sumber cahaya, yaitu sumber cahaya primer yang berasal dari lampu tersebut dan sumber cahaya sekunder yang merupakan pantulan dari fitting lampu tersebut.

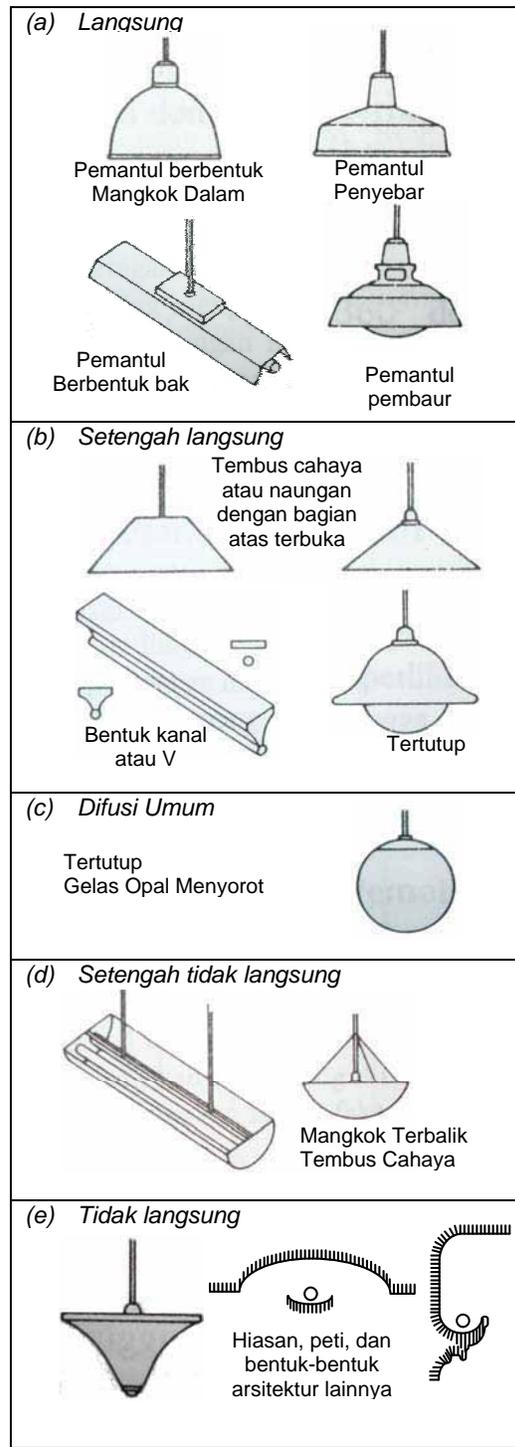
Dari dinding-dinding di sekitar ruangan, gambar 2.51 (a) menunjukkan empat jenis kemungkinan pemantulan yang dapat terjadi dari lapisan penutup armatur yang berbeda.

Sedangkan gambar 2.51 (b) menunjukkan berbagai macam armatur.



Sumber : Michael Neidle, 1999, 255

(a) Jenis pemantulan



(b) Berbagai bentuk armatur

Gambar 2.51 Jenis pantulan dan armatur

2.6.6 Perancangan Penerangan Buatan

Bila penerangan alami tidak dapat memenuhi persyaratan bagi penerangan ruang (dalam bangunan), maka penerangan buatan sangat diperlukan, hal ini disebabkan oleh :

- Ruang yang luas
- Lubang cahaya yang tidak efektif
- Cuaca diluar mendung / hujan
- Waktu malam hari, dan sebagainya

Perancangan penerangan buatan sebaiknya dilakukan sejak awal perancangan bangunan, untuk itu perlu diperhatikan :

- Apakah penerangan buatan digunakan tersendiri atau sebagai penunjang/ pelengkap penerangan alami.
- Berapa intensitas penerangan yang diperlukan.
- Distribusi dan variasi fluks cahaya yang diperlukan
- Arah cahaya yang diperlukan
- Warna-warna cahaya yang digunakan dalam gedung dan efek warna yang diinginkan
- Derajat kesilauan *brightness* dari keseluruhan lingkungan visual

Intensitas penerangan yang direkomendasikan tidak boleh kurang dari intensitas penerangan dalam tabel 2.11 yang diukur pada bidang kerja.

Tabel 2.11 Tingkat Pencahayaan

Macam Pekerjaan	Tingkat Pencahayaan (Lux)	Contoh Penggunaan
1. Pencahayaan untuk daerah yang tidak terus-menerus diperlukan.	20	Iluminasi minimum agar bisa membedakan barang-barang.
	50	Parkir dan daerah sirkulasi di dalam ruangan.
2. Pencahayaan untuk bekerja di dalam ruangan.	100	Kamar tidur hotel, memeriksa dan menghitung stok barang secara kasar, merakit barang besar.
	200	Membaca dan menulis yang tidak terus-menerus
3. Pencahayaan setempat untuk pekerjaan teliti.	350	Pencahayaan untuk perkantoran, per-tokoan, membaca, gudang, menulis.
	400	Ruang gambar
	750	Pembacaan untuk koreksi tulisan, merakit barang-barang kecil.
	1000	Gambar yang sangat teliti.
	2000	Pekerjaan secara rinci dan presisi.

Secara rinci intensitas penerangan yang direkomendasikan untuk berbagai jenis bangunan / peruntukan dapat dilihat pada tabel 2.12.

Tabel 2.12
Tingkat Pencahayaan Minimum yang direkomendasikan dan Renderasi Warna

Fungsi Ruang	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok Renderasi Warna	Keterangan
Rumah Tinggal :			
Teras	60	1 atau 2	
Ruang Tamu	120 ~ 250	1 atau 2	
Ruang Makan	120 ~ 250	1 atau 2	
Ruang Kerja	120 ~ 250	1	
Ruang Tidur	120 ~ 250	1 atau 2	
Ruang Mandi	250	1 atau 2	
Dapur	250	1 atau 2	
Garasi	60	3 atau 4	
Perkantoran :			
Ruang Direktur	350	1 atau 2	
Ruang Kerja	350	1 atau 2	
Ruang Komputer	350	1 atau 2	Gunakan armatur berkisi untuk mencegah silau akibat pantulan layar monitor
Ruang Rapat	300	1 atau 2	
Ruang Gambar	750	1 atau 2	Gunakan pencahayaan setempat pada meja gambar.
Gudang Arsip	150	3 atau 4	
Ruang Arsip Aktif	300	1 atau 2	
Lembaga Pendidikan :			
Ruang Kelas	250	1 atau 2	
Perpustakaan	300	1 atau 2	
Laboratorium	500	1	
Ruang Gambar	750	1	
Kantin	200	1	
Hotel & Restoran :			
Lobby & koridor	100	1	Pencahayaan pada bidang vertikal sangat penting untuk menciptakan suasana / kesan ruang yang baik.
Ballroom/ruang sidang	200	1	Sistem pencahayaan harus dirancang untuk menciptakan suasana sesuai sistem pengendalian "Switching" dan "dimming" dapat digunakan untuk memperoleh berbagai efek pencahayaan.

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok Renderasi Warna	Keterangan
Ruang Makan	250	1	
Cafeteria	250	1	
Kamar Tidur	150	1 atau 2	Diperlukan lampu tambahan pada bagian kepala tempat tidur dan cermin.
Dapur	300	1	
Rumah Sakit / Balai Pengobatan :			
Ruang Rawat Inap	250	1 atau 2	
Ruang Operasi, ruang bersalin	300	1	Gunakan pencahayaan setempat pada tempat yang diperlukan.
Laboratorium			
Ruang rekreasi & rehabilitasi			
Pertokoan/ruang pameran :			
Ruang pameran dengan obyek berukuran besar (misalnya mobil)	500	1	Tingkat pencahayaan ini harus dipenuhi pada lantai. Untuk beberapa produk tingkat pencahayaan pada bidang vertikal juga penting.
Toko Kue dan Makanan	250	1	
Toko buku dan alat tulis / gambar	300	1	
Toko perhiasan, arloji	500	1	
Barang Kulit dan Sepatu	500	1	
Toko Pakaian	500	1	
Pasar Swalayan	500	1 atau 2	Pencahayaan pada bidang vertikal pada rak barang.
Toko Alat listrik (TV, Radio, Cassette, mesin cuci, dll.)	250	1 atau 2	
Industri Umum :			
Gudang	100	3	
Pekerjaan Kasar	100 ~ 250	2 atau 3	
Pekerjaan Sedang	200 ~ 500	1 atau 2	
Pekerjaan Halus	500 ~ 1000	1	
Pekerjaan Amat Halus	1000 ~ 2000	1	
Pemeriksaan Warna	750	1	
Rumah Ibadah :			
Mesjid	200	1 atau 2	Untuk tempat-tempat yang membutuhkan tingkat pencahayaan yang lebih tinggi dapat digunakan pencahayaan setempat
Gereja	200	1 atau 2	Untuk tempat-tempat yang

Fungsi Ruang	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok Renderasi Warna	Keterangan
			membutuhkan tingkat pencahayaan yang lebih tinggi dapat digunakan pencahayaan setempat
Vihara	200	1 atau 2	Untuk tempat-tempat yang membutuhkan tingkat pencahayaan yang lebih tinggi dapat digunakan pencahayaan setempat

Ada 3 tipe sistem penerangan buatan, yaitu :

a. Sistem penerangan merata

Memberikan intensitas penerangan yang seragam pada seluruh ruangan, penggunaannya pada ruang-ruang yang tidak memerlukan tempat untuk mengerjakan pekerjaan visual khusus.

b. Sistem penerangan terarah

Cahaya diarahkan kejurusan tertentu dalam ruangan, digunakan untuk menerangi suatu objek tertentu agar kelihatan menonjol, misal pada panggung atau pada ruangan untuk pameran. Pada sistem ini dapat menggunakan lampu dan reflektor yang diarahkan atau "spotlight" dengan reflektor bersudut lebar.

c. Sistem penerangan setempat

Cahaya dikonsentrasikan pada tempat mengerjakan pekerjaan visual khusus. Sistem ini digunakan untuk :

- pekerjaan visual yang presisi
- pengamatan bentuk / susunan benda dari arah tertentu.
- melengkapi penerangan umum yang mungkin terhalang.
- membantu menambah daya lihat.
- menunjang pekerjaan visual yang mungkin pada awalnya tidak terencana pada suatu ruangan.

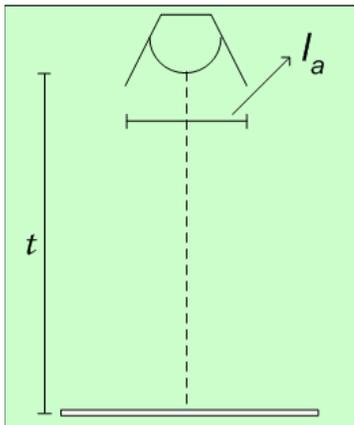
Perancangan penerangan buatan secara kuantitas dapat dilakukan perhitungan dengan 2 metode yaitu :

- a. Metode titik demi titik (*point by point method*)
- b. Metode lumen

2.6.6.1 Metode Titik Demi Titik

Metode ini hanya berlaku untuk cahaya langsung, tidak memperhitungkan cahaya pantulan, dan sumber cahaya dianggap satu titik, serta mempunyai syarat sebagai berikut :

- a) Dimensi sumber cahaya dibanding dengan jarak sumber cahaya ke bidang kerja tidak boleh lebih besar dari 1 dibanding 5.



Keterangan :

l_a = lebar armatur

t = tinggi / jarak antara armatur ke bidang kerja

$$l_a \leq \frac{1}{5} t$$

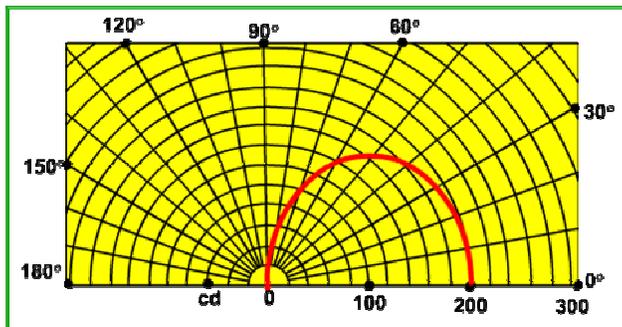
Gambar 2.52 Sumber Cahaya diatas bidang kerja

- b) Berdasarkan diagram pola intensitas cahaya.

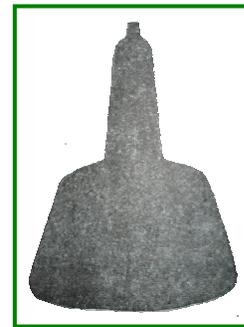
Panjang jari-jari dari 0 ke suatu titik dari grafik menyatakan intensitas cahaya kearah itu dalam suatu candela.

Setiap gambar biasanya dilengkapi dengan data yang menunjukkan nilai dalam lumen / cd. (misal 500 lumen / cd ; 1000 lumen / cd ; 2000 lumen /cd dan seterusnya).

Diagram penyebaran intensitas cahaya ini ada yang berbentuk simetris dan tidak simetris. Untuk yang simetris biasanya hanya digambarkan setengahnya saja. Diagram yang menunjukkan karakteristik-karakteristik lampu dan armatur ini, dapat diperoleh pada buku katalog dari pabrik yang memproduksinya.



Gambar 2.53 Diagram Polar Intensitas Cahaya Lampu Pijar



Gambar 2.54 Armatur Lampu Pijar

Intensitas cahaya sebuah lampu sebanding dengan fluks cahaya lain, nilai-nilai yang diberikan dalam diagram masih harus dikalikan dengan jumlah lumen lampu tersebut.

Dalam gambar diatas intensitas cahayanya = 1000 lumen, jika pada armaturnya diberi lampu 1.500 lumen, maka pada sudut 60° intensitas cahayanya :

$$1.500/1.000 \times 140 \text{ cd} = 210 \text{ cd}$$

- c) Hanya ada satu sumber cahaya yang akan diperhitungkan pada saat itu.
- d) Bidang kerja yang diberi penerangan harus berdimensi kecil.
- e) Daerah yang sumber cahaya dan bidang kerjanya bebas dari permukaan yang memantulkan cahaya (refleksi cahaya tidak diperhitungkan).

Untuk setiap titik yang berjarak sama dari sumber cahaya (dengan arah cahaya pada sudut normal), maka besar intensitas penerangannya akan selalu sama dan membentuk diagram melingkar. Jika ada dua titik lampu dengan jarak sama ke suatu target, maka total intensitas penerangannya sekitar dua kalinya.

2.6.6.2 Metode Lumen

Metode lumen adalah menghitung intensitas penerangan rata-rata pada bidang kerja. Fluks cahaya diukur pada bidang kerja, yang secara umum mempunyai tinggi antara 75 – 90 cm diatas lantai.

Besarnya intensitas penerangan (E) bergantung dari jumlah fluks cahaya dari luas bidang kerja yang dinyatakan dalam lux (lx).

Keterangan :

E : Intensitas penerangan (lux)

F : Fluks cahaya (luman)

A : Luas bidang kerja (m²)

$$E = \frac{F}{A}$$

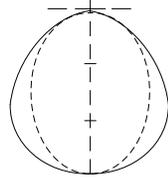
Tidak semua cahaya dari lampu mencapai bidang kerja, karena ada yang dipantulkan (faktor refleksi = r), dan diserap (faktor absorpsi = a) oleh dinding, plafon dan lantai. Faktor refleksi dinding (r_w) dan faktor refleksi plafon (r_p) merupakan bagian cahaya yang dipantulkan oleh dinding dan langit-langit / plafon yang kemudian mencapai bidang kerja.

Faktor refleksi bidang kerja (r_m) ditentukan oleh refleksi lantai dan refleksi dinding antara bidang kerja dan lantai secara umum, nilai r_m = 0,10 (jika r_m tidak diketahui, maka diambil nilai r_m 0,10)

Faktor refleksi dinding / langit-langit untuk warna :

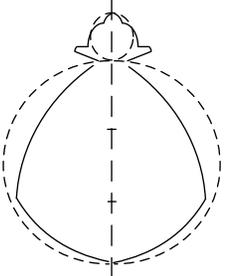
- Warna Putih = 0,80
- Warna sangat muda = 0.70
- Warna muda = 0,50
- Warna sedang = 0.30
- Warna gelap = 0,10

Tabel 2.13 Efisiensi armatur penerangan langsung

Armatur penerangan langsung	v %	k	r _w	Efisiensi penerangan untuk keadaan baru									Faktor depresiasi untuk masa pemeliharaan			
				r _p	0,7	0,5	0,3	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	1 tahun	2 tahun	3 tahun
TBS 15	0,5	0,28	0,23	0,19	0,27	0,23	0,19	0,27	0,22	0,19						
TCS 15	0,6	0,33	0,28	0,24	0,32	0,28	0,24	0,32	0,27	0,24						
4 x TL 40 W	0,8	0,42	0,36	0,33	0,41	0,36	0,32	0,40	0,36	0,32						
Kisi lamel 	1	0,48	0,43	0,40	0,47	0,43	0,39	0,46	0,42	0,39						
	1,2	0,52	0,48	0,44	0,51	0,47	0,44	0,50	0,46	0,43						
	1,5	0,56	0,52	0,49	0,55	0,52	0,49	0,54	0,51	0,48						
	0	2	0,61	0,58	0,55	0,60	0,57	0,54	0,59	0,56						
	↑ 2,5	0,64	0,61	0,59	0,63	0,60	0,58	0,62	0,59	0,57						
	72 3	0,66	0,64	0,61	0,65	0,63	0,61	0,64	0,62	0,60						
	↓ 4	0,69	0,67	0,65	0,68	0,66	0,64	0,66	0,65	0,63						
	72 5	0,71	0,69	0,67	0,69	0,68	0,66	0,68	0,66	0,65						

Sumber : P. Van Harten, 2002, 43

Tabel 2.14 Efisiensi Armatur penerangan sebagian besar langsung

Armatur penerangan sebagian besar langsung	v	Efisiensi penerangan untuk keadaan baru										Faktor depresiasi untuk masa pemeliharaan			
		k	r _w	r _p 0,7			0,5			0,3			1 tahun	2 tahun	3 tahun
				0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1			
%			r _m	0,1		0,1									
GCB	0,5		0,32	0,26	0,22	0,29	0,24	0,21	0,27	0,23	0,20				
2 x TLF 65 W	0,6		0,37	0,31	0,27	0,35	0,30	0,26	0,32	0,28	0,25				
	0,8		0,46	0,41	0,36	0,43	0,38	0,35	0,40	0,36	0,33	Pengotoran ringan	0,90	0,80	0,75
	1		0,53	0,48	0,44	0,49	0,45	0,42	0,46	0,42	0,39				
	1,2		0,58	0,52	0,48	0,54	0,49	0,46	0,50	0,46	0,43	Pengotoran sedang			
	1,5		0,62	0,58	0,54	0,58	0,54	0,51	0,54	0,51	0,48	0,80	0,75	0,70	
	22	2	0,68	0,64	0,60	0,63	0,59	0,57	0,58	0,55	0,53				
	↑	2,5	0,71	0,67	0,64	0,66	0,63	0,60	0,61	0,59	0,57	Pengotoran berat			
	87	3	0,73	0,70	0,67	0,68	0,65	0,63	0,63	0,61	0,59	X	X	X	
	↓	4	0,76	0,74	0,71	0,71	0,69	0,67	0,65	0,64	0,62				
	65	5	0,78	0,76	0,74	0,72	0,71	0,69	0,67	0,65	0,64				

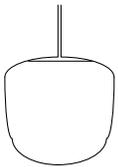
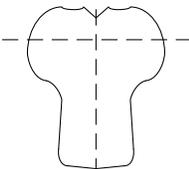
Sumber : P. Van Harten, 2002, 44

Tabel 2.15 Efisiensi armatur langsung tak langsung

Armatur langsung tak langsung	Efisiensi penerangan untuk keadaan baru											Faktor depresiasi untuk masa pemeliharaan				
	v	k	r_w	r_p 0,7			0,5			0,3			1 tahun	2 tahun	3 tahun	
	%			0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1				
GCB	0,5	0,26	0,20	0,17	0,22	0,18	0,15	0,19	0,16	0,14						
2 x TLF 65 W	0,6	0,30	0,25	0,21	0,26	0,22	0,19	0,23	0,19	0,17						
roster sejajar	0,8	0,38	0,32	0,28	0,33	0,29	0,25	0,28	0,25	0,23						
	1	0,43	0,38	0,34	0,38	0,34	0,30	0,32	0,29	0,27						
	1,2	0,47	0,42	0,38	0,41	0,37	0,34	0,35	0,32	0,30						
	1,5	0,51	0,47	0,43	0,45	0,41	0,38	0,38	0,36	0,33						
	38	2	0,56	0,52	0,49	0,49	0,46	0,43	0,42	0,40						
	↑	2,5	0,59	0,56	0,52	0,52	0,49	0,46	0,44	0,40						
	81	3	0,61	0,58	0,55	0,54	0,51	0,49	0,46	0,42						
	↓	4	0,64	0,62	0,59	0,56	0,54	0,52	0,48	0,45						
	43	5	0,66	0,64	0,62	0,58	0,56	0,54	0,50	0,47						

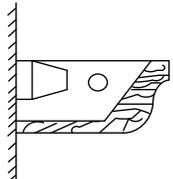
Sumber : P. Van Harten, 2002, 45

Tabel 2.16 Efisiensi armatur

armatur	Efisiensi penerangan untuk keadaan baru											Faktor depresiasi untuk masa pemeliharaan				
	v	k	r_w	r_p	0,7	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	1 tahun	2 tahun	3 tahun
	%			r_m	0,1			0,1			0,1					
NB 64	0,5			0,23	0,18	0,14		0,20	0,16	0,12	0,18	0,14	0,11			
dengan lampu pijar 300W	0,6			0,27	0,21	0,17		0,24	0,19	0,15	0,20	0,16	0,13			
	0,8			0,34	0,28	0,23		0,29	0,24	0,20	0,25	0,21	0,18	Pengotoran ringan 0,85	0,80	X
	1			0,39	0,33	0,28		0,34	0,29	0,25	0,29	0,25	0,21			
	1,2			0,43	0,37	0,32		0,37	0,32	0,28	0,31	0,27	0,24	Pengotoran sedang 0,80	0,70	X
	1,5			0,47	0,41	0,36		0,41	0,36	0,32	0,35	0,31	0,28			
	38	2		0,52	0,47	0,42		0,45	0,41	0,37	0,39	0,35	0,32			
	↑ 2,5			0,56	0,51	0,47		0,48	0,44	0,41	0,41	0,38	0,35	Pengotoran berat X	X	X
	81	3		0,59	0,54	0,50		0,51	0,47	0,44	0,43	0,41	0,38			
	↓ 4			0,62	0,58	0,55		0,54	0,51	0,48	0,46	0,44	0,42			
	43	5		0,65	0,61	0,58		0,56	0,54	0,51	0,48	0,46	0,44			

Sumber : P. Van Harten, 2002, 46

Tabel 2.17 Efisiensi armatur penerangan tak langsung

Efisiensi penerangan untuk keadaan baru												Faktor depresiasi untuk masa pemeliharaan	
Armatur penerangan tak langsung	v	r_p		0,7			0,5			0,3		6 bulan	1 tahun
	k	r_w	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1		
	%	r_m	0,1			0,1			0,1				
Alur dengan TL 	0,5	0,13	0,10	0,08	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	Pengotoran ringan 0,58 0,80		
	0,6	0,14	0,11	0,09	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04			
	0,8	0,18	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,06	0,05	0,05			
	1	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0,07	0,06	0,06	Pengotoran sedang X X		
	1,2	0,22	0,19	0,17	0,14	0,13	0,11	0,08	0,07	0,06			
	1,5	0,24	0,21	0,19	0,16	0,14	0,13	0,09	0,08	0,07			
	70	2	0,27	0,24	0,21	0,18	0,16	0,14	0,10	0,09	0,08	Pengotoran berat X X	
	↑	2,5	0,28	0,26	0,24	0,18	0,17	0,16	0,10	0,09	0,09		
	70	3	0,30	0,27	0,25	0,19	0,18	0,17	0,11	0,10	0,09		
	↓	4	0,31	0,29	0,27	0,20	0,19	0,17	0,11	0,11	0,10		
0	5	0,33	0,30	0,28	0,21	0,20	0,18	0,12	0,11	0,10			

Sumber : P. Van Harten, 2002, 47

- Indeks ruang (K)

$$K = \frac{p \cdot l}{t_b (p + l)}$$

Keterangan :

p = Panjang ruangan (m)

l = lebar ruangan (m)

t_b = tinggi sumber cahaya diatas bidang kerja (m).

Indeks ruang dihitung berdasarkan dimensi ruangan yang akan diberi penerangan cahaya lampu. Nilai k hasil perhitungan digunakan untuk menentukan nilai efisiensi penerangan lampu. Bila nilai k angkanya tidak ada (tidak tepat) pada tabel, maka untuk menghitung efisiensi (k_p) dengan interpolasi:

$$K_p = K_{p1} + \frac{K - K_1}{K_2 - K_1} (K_{p1} - K_{p2})$$

Bila nilai k lebih besar s, maka nilai k_p yang diambil adalah K = s, sebab nilai K diatas s, nilai k_p -nya hampir tak berubah lagi.

Faktor penyusutan/faktor depresiasi (K_d) menentukan hasil perhitungan intensitas penerangan. Hal ini disebabkan karena umur lampu; kotoran/debu; dinding yang sudah lama; adanya pengaruh akibat susut tegangan.

$$K_d = \frac{E \text{ dalam keadaan dipakai}}{E \text{ dalam keadaan baru}}$$

Untuk memperoleh efisiensi penerangan dalam keadaan dipakai, nilai yang didapat dari tabel, masih harus dikalikan dengan d.

Faktor depresiasi ini dibagi menjadi tiga golongan utama yaitu :

- Pengotoran ringan (daerah yang hampir tidak berdebu)
- Pengotoran biasa
- Pengotoran berat (daerah banyak debu)

Oleh karena pengaruh efisiensi lampu (K_p) dan pengaruh faktor depresiasi (K_d), maka besarnya fluks cahaya yang sampai pada bidang kerja adalah

$$F' = F \cdot K_p \cdot K_d$$

Maka besarnya intensitas penerangan menjadi :

$$E = \frac{F \cdot K_p}{K_d \cdot A}$$

Besarnya fluks (F) total merupakan perkalian antara jumlah armatur atau lampu dengan fluks cahaya tiap armatur atau lampu.

$$\text{Jadi } F = n_a \cdot F_a \text{ atau } F = n_L \cdot F_L$$

Keterangan :

F = Fluks cahaya total (lumen)

F_a = Fluks cahaya tiap armatur

F_L = Fluks cahaya tiap lampu

n_a = Jumlah armatur

n_L = Jumlah lampu

dengan demikian untuk menentukan jumlah armatur atau jumlah lampu dari suatu ruangan yang akan diberi penerangan buatan dapat dihitung dengan rumus :

$$n_a = \frac{E \cdot p \cdot l}{F_a \cdot K_p \cdot K_d} \text{ atau } n_l = \frac{E \cdot p \cdot l}{F_L \cdot k_p \cdot k_d}$$

Keterangan :

E = intensitas penerangan (lumen /m² atau lux)

p = Panjang ruangan (m)

l = lebar ruangan (m)

F_a = Fluks cahaya tiap armatur (lumen)

F_L = Fluks cahaya tiap lampu (lumen)

K_p = Efisiensi Penerangan

K_d = faktor depresiasi

n_a = jumlah armatur

n_L = jumlah lampu

2.6.7 Penggunaan Energi Untuk Pencahayaan Buatan

Penggunaan energi untuk pencahayaan buatan dapat diperkecil dengan mengurangi daya dengan melalui pemilihan lampu yang berefikasi tinggi, serta balast dan armatur yang lebih efisien. Berdasarkan petunjuk teknis konservasi energi bidang sistem pencahayaan ditunjukkan pada tabel 2.18.

Tabel 2.18 Intensitas Penerangan

Macam Pekerjaan	Intensitas Penerangan (Lux)	Contoh Penggunaan
1. Pencahayaan untuk daerah yang tidak terus-menerus diperlukan.	20	Iluminasi minimum agar bisa membedakan barang-barang.
	50	Parkir dan daerah sirkulasi di dalam ruangan.
2. Pencahayaan untuk bekerja di dalam ruangan.	100	Kamar tidur hotel, memeriksa dan menghitung stok barang secara kasar, merakit barang besar.
	200	Membaca dan menulis yang tidak terus-menerus

Macam Pekerjaan	Intensitas Penerangan (Lux)	Contoh Penggunaan
3. Pencahayaan setempat untuk pekerjaan teliti.	350	Pencahayaan untuk perkantoran, pertokoan, membaca, gudang, menulis.
	400	Ruang gambar
	750	Pembacaan untuk koreksi tulisan, merakit barang-barang kecil.
	1000	Gambar yang sangat teliti.
	2000	Pekerjaan secara rinci dan presisi.

Sumber : SNI, BSN, 2000

Tabel 2.19 Konsumsi Daya Listrik Lampu

Jenis Lampu	Konsumsi Daya			
	Daya (W)	Konvensional Ballast (W)	Low Lost Ballast (W)	Electronic Ballast (W)
Tabung Fluoresen	10	20		
	15	24		
	18	28	24	20
	20	30	26	
	22	32	28	
	32	42	38	
	36	46	42	40
	40	50	46	
	58	72	67	64
Dua Tabung Fluoresen kompak 2 pin/4 pin <i>Non Integrated</i>	5	10		6,5
	7	12		8
	9	14		10
	11	16		14,5
	18	24		20
	28	31		28
	36	46		40
Empat Tabung Fluoresen kompak <i>Electronic Integrated</i>	9			9
	11			11
	15			15
	20			20
	23			23
Dua Tabung Fluoresen kompak <i>Integrated</i>	9	9 W		
	13	13 W		
	18	18 W		
	25	25 W		

Jenis Lampu	Konsumsi Daya			
	Daya (W)	Konvensional Ballast (W)	Low Lost Ballast (W)	Electronic Ballast (W)
<i>Halogen Double Ended</i> 220 V	200	200 W		
	300	300 W		
	500	500 W		
	750	750 W		
	1000	1000 W		
	1500	1500 W		
	2000	2000 W		
Tungsten Halogen 12V	20	25 W		
	50	58 W		
	75	85 W		
Mercury tekanan tinggi	50	57 W		
	80	90 W		
	125	139 W		
	250	268 W		
	400	424 W		
	1000	1040 W		
Metal Halide Single / Double Ended (daya rendah)	70	84		
	150	167		
	250	273		
Metal Halide Double / Single Ended Tabung (T) / ovoid (daya tinggi)	250	268		
	400	424		
	1000	1046		
	1800	1868		
	2000	2092		
Sodium tekanan tinggi Tabung (T) / ovoid	50	60		
	70	80		
	100	114		
	150	168		
	250	274		
	400	430		
	1000	1050		
Sodiun tekanan rendah	18	26		
	35	47		
	55	65		
	90	103		
	135	158		
	180	213		

Sumber : SNI, BSN, 2000

2.6.7.1 Pemilihan Lampu

Lampu Fluoresen dan lampu pelepasan gas lainnya yang mempunyai efikasi lebih tinggi, harus lebih banyak digunakan. Lampu pijar memiliki efikasi yang rendah, sehingga penggunaannya dibatasi.

2.6.7.2 Lampu Fluoresen

Lampu Fluoresen efikasinya cukup, sangat dianjurkan penggunaannya di dalam bangunan gedung karena hemat energi dan tahan lama. Durasi pemakaian lampunya mencapai 8000 jam, serta mempunyai temperatur warna dan renderasi yang bermacam-macam. Lampu fluoresen menurut jenis temperatur warnanya serta cara pemakaiannya dijelaskan sebagai berikut :

- *Warm White* (warna putih kekuning-kuningan) dengan temperatur warna 3300 K.
- *Cool White* (warna putih netral) dengan temperatur warna antara 3300 K sampai dengan 5300 K.
- *Daylight* (warna putih) dengan temperatur warna 5300 K.

Jenis temperature warna dari Lampu Fluoresen yang dianjurkan untuk digunakan pada berbagai fungsi ruang dalam bangunan gedung, rinciannya dapat dilihat pada tabel 2.20.

Tabel 2.20
Temperatur warna yang direkomendasikan untuk berbagai fungsi/jenis ruangan

Fungsi/Jenis Ruangan	Temperatur Warna		
	Warm White	Cool White	Day Light
Rumah Tinggal :			
Teras	❖	❖	
Ruang Tamu		❖	
Ruang Makan	❖		
Ruang Kerja		❖	❖
Ruang Tidur	❖	❖	❖
Ruang Mandi		❖	❖
Dapur	❖	❖	❖
Garasi		❖	❖
Perkantoran :			
Ruang Direktur		❖	❖
Ruang Kerja		❖	❖
Ruang Komputer		❖	❖
Ruang Rapat	❖	❖	
Ruang Gambar		❖	❖
Lembaga Pendidikan :			
Ruang Kelas		❖	❖
Perpustakaan		❖	❖
Laboratorium		❖	❖

Fungsi/Jenis Ruangan	Temperatur Warna		
	Warm White	Cool White	Day Light
Ruang Gambar		❖	❖
Kantin	❖		
Hotel & Restoran :			
Lobby, koridor	❖	❖	
Ballroom/ruang sidang	❖	❖	
Ruang Makan	❖		
Cafeteria	❖	❖	
Kamar Tidur	❖		
Dapur	❖	❖	
Pertokoan :			
Barang Antik/seni	❖	❖	
Toko Kue dan Makanan	❖	❖	
Toko Bunga	❖	❖	
Toko buku dan alat tulis / gambar	❖	❖	❖
Toko perhiasan, arloji	❖	❖	
Barang Kulit dan Sepatu	❖	❖	
Toko Pakaian	❖	❖	
Pasar Swalayan		❖	
Toko Mainan	❖	❖	
Toko Alat listrik (TV, Radio, Cassette, mesin cuci, dll.)		❖	❖
Toko Alat musik dan olahraga	❖	❖	
Industri Umum :			
Gudang		❖	❖
Ruang cuci, ruang mesin		❖	
Kantin	❖		
Laboratorium		❖	❖
Olahraga :			
Lapangan olahraga serbaguna		❖	❖
Jalur Bowling	❖		
Ruang bowling	❖		

Sumber : SNI, BSN, 2000

2.6.7.3 Rentang Efikasi

Pada tabel 2.21 ditunjukkan fluks cahaya dari beberapa jenis lampu serta efikasinya (lumen/watt).

Tabel 2.21 Fluks Cahaya dan Efikasi Lampu

No	Type dan Daya Lampu (W)	Fluks Cahaya (Lumen)	Efikasi (lumen/watt) Tanpa rugi-rugi balast	Efikasi (lumen/watt) dengan rugi-rugi balast (konvensional)
I	Fluoresen			
a.	Tabung Fluoresen Warna standar :			
	18	1050	58	38
	18	1150	64	42
	36	2500	69	54
	36	2800	78	61
	Warna Super (CRI 85) :			
	18	1350	75	48
	16	3300	92	72
b.	Kompak Fluoresen 2 pin – 2 tabung			
	5	250	50	24
	7	400	57	33
	9	600	67	43
	11	900	82	56
	4 Tabung – PL-C			
	10	600	60	38
	13	100	69	50
	18	1200	67	50
	26	1800	69	54
c.	2 Tabung/Fluoresen kompak			
	9	400		44
	13	600		46
	18	900		50
	25	1200		48
II	Mercuri Tekanan Tinggi			
	50	1800	36	30
	80	3700	46	41
	125	6200	50	45
	250	12700	51	47
	400	22000	55	52
III	Halide Metal			
	Daya Rendah			
	70	5100	73	60
	150	11000	73	66
	250	20500	82	75
	Daya Tinggi			
	250	17000	68	63

No	Type dan Daya Lampu (W)	Fluks Cahaya (Lumen)	Efikasi (lumen/watt) Tanpa rugi-rugi balast	Efikasi (lumen/watt) dengan rugi-rugi balast (konvensional)
	400	30500	76	72
	1000	81000	81	77
IV	Sodium Tekanan Tinggi			
	Standar			
	50	3500	70	58
	70	5600	80	67
	150	14500	97	86
	250	27000	108	99
	400	48000	120	112
	CRI-83			
	35	1300	37	32
	50	2300	46	48
	100	4800	48	42
V	Sodium Tekanan Rendah			
	18	1770	99	68
	35	4550	123	99
	55	7800	140	114
	90	13000	146	114
	135	20800	161	132
	180	32500	179	161

Sumber : SNI, BSN, 2000

2.6.7.4 Penggunaan Alat Pengendali Pada Lampu Fluoresen dan Lampu Pelepasan Gas

Pada instalasi listrik penerangan dibutuhkan peralatan yang disebut alat pengendali (*balast starter*) yang mempunyai fungsi :

- Membuat tegangan start yang lebih tinggi untuk menyalakan lampu
- Menstabilkan tegangan lampu supaya tetap menyala.
- Mengurangi gangguan gelombang radio (radio interferensi) yang mungkin dihasilkan oleh sistem pencahayaan (balast elektronik).

Di samping itu perkembangan sistem dalam teknik pencahayaan juga menuntut supaya alat pengendali mempunyai dimensi yang kompak, mempunyai tingkat kebisingan operasi yang rendah, daya tahan dan durasi pemakaian yang panjang, tidak memakai energi yang besar pada waktu dibebani dengan lampu dan mempunyai faktor daya ($\cos \phi$) yang tinggi.

2.6.7.5 Pemilihan Armatur

Dipilih armatur yang mempunyai karakteristik distribusi pencahayaan yang sesuai dengan penggunaannya, dan mempunyai efisiensi yang tinggi serta tidak mengakibatkan silau atau refleksi yang mengganggu pandangan mata. Panas yang timbul pada armatur dibuat sedemikian rupa, sehingga dapat dialirkan keluar ruangan.

2.6.7.6 Penggunaan Pencahayaan Setempat

Penggunaan pencahayaan setempat di samping pencahayaan umum dengan intensitas penerangan yang lebih rendah akan lebih efisien dibandingkan pencahayaan umum saja dengan intensitas penerangan.

2.6.7.7 Penggunaan Lampu pada Ruangan yang Tinggi

Pada ruangan yang tinggi, sebaiknya digunakan lampu pelepasan gas dengan armatur reflektor sebagai sumber pencahayaan utama seperti ditunjukkan pada tabel 2.22.

Tabel 2.22
Contoh Jenis Lampu yang Dianjurkan untuk Berbagai Fungsi/Jenis Bangunan

Fungsi / Jenis Bangunan	Lampu Pijar		Lampu Fluoresen		Mercuri	Sodium
	Standar	Halogen	Standar	Super		
Rumah Tinggal :						
Teras	√		√			
Ruang Tamu	√	√				
Ruang Makan	√		√			
Ruang Kerja			√			
Ruang Tidur	√					
Ruang Mandi	√					
Dapur	√		√			
Garasi			√			
Perkantoran :						
Ruang Direktur	√	√				
Ruang Kerja				√		
Ruang Komputer				√		
Ruang Rapat	√	√		√		
Ruang Gambar			√	√		
Lembaga Pendidikan :						
Ruang Kelas			√			
Perpustakaan			√			

Fungsi / Jenis Bangunan	Lampu Pijar		Lampu Fluoresen		Mercuri	Sodium
	Standar	Halogen	Standar	Super		
Laboratorium			√			
Ruang Gambar			√			
Kantin	√		√			
Hotel & Restoran :						
Lobby & koridor	√			√		
Ballroom/ruang sidang	√				√	
Ruang Makan	√					
Cafeteria	√			√		
Kamar Tidur	√	√				
Dapur			√			
Rumah Sakit / Balai Pengobatan :						
Ruang Rawat Inap				√		
Ruang Operasi, ruang bersalin				√		
Laboratorium				√		
Ruang rekreasi & rehabilitasi	√			√		
Pertokoan :						
Barang Antik/seni	√	√				
Toko Kue dan Makanan			√			
Toko Bunga	√	√		√		
Toko buku dan alat tulis / gambar			√			
Toko perhiasan, arloji	√	√				
Barang Kulit dan Sepatu	√	√		√		
Toko Pakaian	√	√		√		
Pasar Swalayan				√	√	
Toko Mainan	√			√		
Toko Alat listrik (TV, Radio, Cassette, mesin cuci, dll.)	√		√			
Toko Alat musik dan olahraga	√		√			
Industri Umum :						

Fungsi / Jenis Bangunan	Lampu Pijar		Lampu Fluoresen		Mercuri	Sodium
	Standar	Halogen	Standar	Super		
Gudang					√	√
Ruang cuci, ruang mesin					√	
Kantin	√		√			
Laboratorium			√			
Industri Khusus :						
Pabrik Elektronik			√			
Industri Kayu			√			
Industri Keramik			√		√	
Industri Makanan				√	√	
Industri Kertas					√	√
Olahraga :						
Lapangan olahraga serbaguna				√	√	
Jalur Bowling	√			√		
Ruang bowling	√			√		
Lain – Lain :						
Bengkel besar					√	√
Industri Berat		√			√	√
Ruang Pamer					√	

Sumber : SNI, BSN, 2000

2.6.7.8 Ketentuan Daya Listrik Maksimum untuk Pencahayaan Ruang

- Daya listrik maksimum yang diijinkan untuk sistem pencahayaan di dalam bangunan gedung/ruangan per meter persegi tidak boleh melebihi nilai maksimum untuk masing-masing jenis ruangan sebagaimana tercantum pada tabel 2.23.
- Daya pencahayaan untuk tempat di luar lokasi bangunan gedung tidak boleh melebihi nilai yang tercantum pada tabel 2.24.
- Pengecualian dari tabel 2.23, tabel 2.24, dan tabel 2.25 :
 - Pencahayaan untuk bioskop, siaran TV, presentasi audio visual dan semua fasilitas hiburan (panggung dalam ruang serbaguna hotel, kelab malam, disko) dimana pencahayaan merupakan elemen teknologi yang utama untuk pelaksanaan fungsinya.
 - Pencahayaan khusus untuk bidang kedokteran.
 - Fasilitas olah raga dalam ruangan (*indoor*).
 - Pencahayaan yang diperlukan untuk pameran di galeri, museum, dan monumen.

- Pencahayaan luar untuk monumen.
- Pencahayaan khusus untuk penelitian di laboratorium.
- Pencahayaan darurat (*emergency lighting*).
- Daerah yang diidentifikasi sebagai daerah yang mempunyai tingkat keamanan dengan resiko tinggi yang dinyatakan oleh peraturan atau yang oleh petugas keamanan dianggap memerlukan pencahayaan tambahan.
- Ruang kelas dengan rancangan khusus untuk orang yang mempunyai penglihatan yang kurang, atau untuk orang lanjut usia.
- Pencahayaan untuk lampu tanda arah dalam bangunan gedung.
- Jendela peraga pada toko-toko.
- Kegiatan lain seperti agro industri (rumah kaca), fasilitas pemrosesan dan lain-lain.

Tabel 2.23
 Daya Listrik Maksimum untuk Pencahayaan yang Dijinkan

Jenis Ruangan Bangunan	Daya Pencahayaan (Watt/m ²) (termasuk rugi-rugi balast)
Ruang kantor	15
Auditorium	25
Pasar Swalayan	20
Hotel :	
- Kamar tamu	17
- Daerah umum	20
Rumah sakit :	
- Ruang pasien	15
Gudang	5
Cafeteria	10
Garasi	2
Restoran	25
Lobby	10
Tangga	10
Ruang parkir	5
Ruang perkumpulan	20
Industri	20

Sumber : SNI, BSN, 2000

Tabel 2.24
 Daya Pencahayaan Maksimum untuk tempat di luar lokasi bangunan gedung

Lokasi	Daya Pencahayaan (Watt/m ²) (termasuk rugi-rugi ballast)
Pintu masuk dengan kanopi :	
- Lalu lintas sibuk seperti hotel, bandara, dan teater.	30
- Lalu lintas sedang seperti rumah sakit, kantor dan sekolah.	15

Sumber : SNI, BSN, 2000

Tabel 2.25
 Daya Pencahayaan Maksimum untuk jalan dan lapangan

Lokasi	Daya Pencahayaan W/m ² (termasuk rugi-rugi balast)
Tempat penimbunan atau tempat kerja	2,0
Tempat untuk santai seperti taman, tempat rekreasi, dan tempat piknik	1,0
Jalan untuk kendaraan dan pejalan kaki	1,5
Tempat parkir	2,0

Sumber : SNI, BSN, 2000

2.6.7.9 Prosedur Perhitungan dan Optimasi Pemakaian Daya Listrik untuk Pencahayaan

- Intensitas penerangan dalam suatu gedung perkantoran maupun bangunan komersial akan menentukan kenyamanan visual penghuninya, dan akhirnya akan mempengaruhi produktivitas kerjanya.
- Kebutuhan pencahayaan dalam suatu gedung perkantoran dapat diperoleh melalui sistem pencahayaan buatan dan melalui sistem pencahayaan alami (pengaturan sinar matahari) atau kombinasi keduanya.
- Berdasarkan kenyataan yang ada, besarnya energi yang digunakan untuk pencahayaan buatan di dalam suatu gedung perkantoran maupun bangunan komersial merupakan bagian yang cukup besar dari seluruh konsumsi energi yang digunakan di dalam gedung tersebut. Oleh karena itu perlu diketahui prosedur perhitungan daya terpasang per meter persegi konsumsi listrik untuk sistem pencahayaan, untuk mencari upaya penghematan konsumsi energi listrik pada tahap perencanaan maupun tahap renovasi.
- Prosedur umum perhitungan besarnya pemakaian daya listrik untuk sistem pencahayaan buatan diberikan pada gambar 2.55.

2.6.7.10 Kualitas Cahaya Warna

Kualitas Cahaya Warna dibedakan menjadi :

- *Warna Cahaya Lampu (Correlated Colour Temperature/CCT)*
Warnanya sendiri tidak merupakan indikasi tentang efeknya terhadap warna obyek, tetapi lebih kepada memberi suasana. Dua lampu yang saling mirip warna cahayanya dapat berbeda komposisi distribusi spektralnya sehingga akan berbeda juga efeknya kepada warna obyek yang diterangi.

Warna cahaya lampu dikelompokkan menjadi :

- Warna putih kekuning-kuningan (*warm white*), kelompok 1 (< 3300 K).
- Warna putih netral (*Cool White*), kelompok 2 (3300 K sampai dengan 5300 K).
- Warna putih (*Daylight*), kelompok 3 (> 5300 K).

Pemilihan warna lampu bergantung pada tingkat iluminansi yang diperlukan agar diperoleh pencahayaan yang nyaman. Makin tinggi tingkat iluminansi yang diperlukan, maka warna lampu yang digunakan adalah jenis lampu dengan CCT sekitar >5000 K (*daylight*) sehingga tercipta pencahayaan yang nyaman. Sedangkan untuk kebutuhan tingkat iluminansi yang tidak terlalu tinggi, maka warna lampu yang digunakan <3300 K (*warm white*).

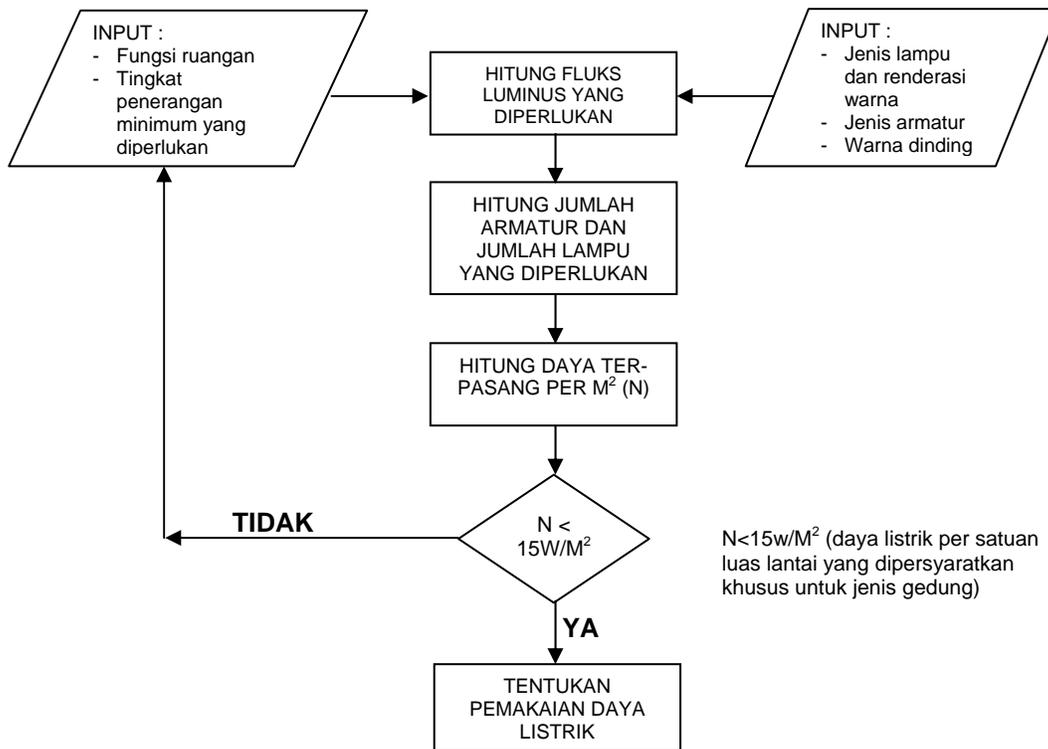
- *Renderasi Warna*

Di samping warna cahaya lampu, perlu diketahui efek suatu lampu kepada warna obyek, untuk itu dipergunakan suatu indeks yang menyatakan apakah warna obyek tampak alamiah apabila diberi cahaya lampu tersebut. Lampu-lampu diklarifikasikan dalam kelompok renderasi warna yang dinyatakan dengan Ra, sebagai berikut :

- Efek warna kelompok 1 : Ra indeks 80 ~ 100%
- Efek warna kelompok 2 : Ra indeks 60 ~ 80%
- Efek warna kelompok 3 : Ra indeks 40 ~ 60%
- Efek warna kelompok 4 : Ra indeks < 40%

Sebagai contoh, lampu pijar (*incandescent*) mempunyai indeks Ra mendekati 100, sedang lampu pelepasan gas jenis natrium tekanan tinggi (*High Pressure Sodium*) mempunyai indeks Ra = 20.

Penggunaan lampu dengan Ra tertentu ditunjukkan pada Tabel 2.26.



Gambar 2.55 Diagram perhitungan dan optimasi daya listrik pada sistem pencahayaan buatan

Tabel 2.26 Tingkat Pencahayaan Minimum yang direkomendasikan dan Renderasi Warna

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok Renderasi Warna	Keterangan
Rumah Tinggal :			
Teras	60	1 atau 2	
Ruang Tamu	120 ~ 250	1 atau 2	
Ruang Makan	120 ~ 250	1 atau 2	
Ruang Kerja	120 ~ 250	1	
Ruang Tidur	120 ~ 250	1 atau 2	
Ruang Mandi	250	1 atau 2	
Dapur	250	1 atau 2	
Garasi	60	3 atau 4	
Perkantoran :			
Ruang Direktur	350	1 atau 2	
Ruang Kerja	350	1 atau 2	

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok Renderasi Warna	Keterangan
Ruang Komputer	350	1 atau 2	Gunakan armatur berkisi untuk mencegah silau akibat pantulan layar monitor
Ruang Rapat	300	1 atau 2	
Ruang Gambar	750	1 atau 2	Gunakan pencahayaan setempat pada meja gambar.
Gudang Arsip	150	3 atau 4	
Ruang Arsip Aktif	300	1 atau 2	
Lembaga Pendidikan:			
Ruang Kelas	250	1 atau 2	
Perpustakaan	300	1 atau 2	
Laboratorium	500	1	
Ruang Gambar	750	1	
Kantin	200	1	
Hotel & Restoran :			
Lobby & koridor	100	1	Pencahayaan pada bidang vertikal sangat penting untuk menciptakan suasana / kesan ruang yang baik.
Ballroom/ruang sidang	200	1	Sistem pencahayaan harus dirancang untuk menciptakan suasana sesuai sistem pengendalian "Switching" dan "dimming" dapat digunakan untuk memperoleh berbagai efek pencahayaan.
Ruang Makan	250	1	
Cafeteria	250	1	
Kamar Tidur	150	1 atau 2	Diperlukan lampu tambahan pada bagian kepala

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok Renderasi Warna	Keterangan
			tempat tidur dan cermin.
Dapur	300	1	
Rumah Sakit / Balai Pengobatan :			
Ruang Rawat Inap	250	1 atau 2	
Ruang Operasi, ruang bersalin	300	1	Gunakan pencahayaan setempat pada tempat yang diperlukan.
Laboratorium			
Ruang rekreasi & rehabilitasi			
Pertokoan/ruang pameran :			
Ruang pameran dengan obyek berukuran besar (misalnya mobil)	500	1	Tingkat pencahayaan ini harus dipenuhi pada lantai. Untuk beberapa produk tingkat pencahayaan pada bidang vertikal juga penting.
Toko Kue dan Makanan	250	1	
Toko buku dan alat tulis / gambar	300	1	
Toko perhiasan, arloji	500	1	
Barang Kulit dan Sepatu	500	1	
Toko Pakaian	500	1	
Pasar Swalayan	500	1 atau 2	Pencahayaan pada bidang vertikal pada rak barang.
Toko Alat listrik (TV, Radio, Cassette, mesin cuci, dll.)	250	1 atau 2	
Industri Umum :			
Gudang	100	3	

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (lux)	Kelompok Renderasi Warna	Keterangan
Pekerjaan Kasar	100 ~ 250	2 atau 3	
Pekerjaan Sedang	200 ~ 500	1 atau 2	
Pekerjaan Halus	500 ~ 1000	1	
Pekerjaan Amat Halus	1000 ~ 2000	1	
Pemeriksaan Warna	750	1	
Rumah Ibadah :			
Mesjid	200	1 atau 2	Untuk tempat-tempat yang membutuhkan tingkat pencahayaan yang lebih tinggi dapat digunakan pencahayaan stempat
Gereja	200	1 atau 2	Idem
Vihara	200	1 atau 2	Idem

Sumber : SNI, BSN, 2000

2.6.7.11 Perancangan

Umum

Pada bagian ini akan dibahas hal-hal rinci yang menyangkut prosedur perhitungan tata pencahayaan berkait kepada pemakaian daya/energi listrik baik untuk sistem pencahayaan buatan maupun untuk pemanfaatan sistem pencahayaan alami.

Sistem tata cahaya harus dirancang sedemikian rupa sehingga didapatkan lingkungan visual yang nyaman, efektif dan fleksibel serta penggunaan daya listrik yang optimal.

Dalam melakukan perhitungan terhadap sistem pencahayaan dan pemakaian energi listrik, selain hal-hal yang telah disebutkan sebelum ini seperti :

- Tingkat pencahayaan (*illumination level*).
- Fluks luminous (Lumen) dari jenis lampu yang digunakan serta efisiensi lampu.
- Warna cahaya lampu yang digunakan (*Correlated Colour Temperature, CCT*).
- Renderasi warna kepada obyek (Indeks Ra/CRI).

Maka beberapa faktor atau pertimbangan lain perlu disertakan dan ikut diperhitungkan, yang dalam hal ini dapat disebutkan antara lain :

- Kontras ruangan (*Luminance Distribution*) dan faktor refleksi sebagai berikut:

- Plafon = 60% ~ 80%
- Dinding = 30% ~ 50%
- Meja = 20% ~ 50%
- Lantai = 15% ~ 25%
- Pemerataan distribusi cahaya (Uniformity).
- Sistem distribusi cahaya dari armatur yang digunakan.
- Intensitas pencahayaan yang konstan (menghindari flicker)
- Menghindari kesilauan

Dengan memperhitungkan faktor refleksi yang tinggi serta menggunakan lampu dengan fluks cahaya yang tinggi, dan lain-lain, maka hal tersebut di atas akan mengurangi pemakaian energi listrik untuk sistem pencahayaan, serta ikut mengurangi pembebanan termal dari sistem pengkondisian udara ruangan, yang pada akhirnya akan ikut mengurangi pemakaian energi listrik secara menyeluruh.

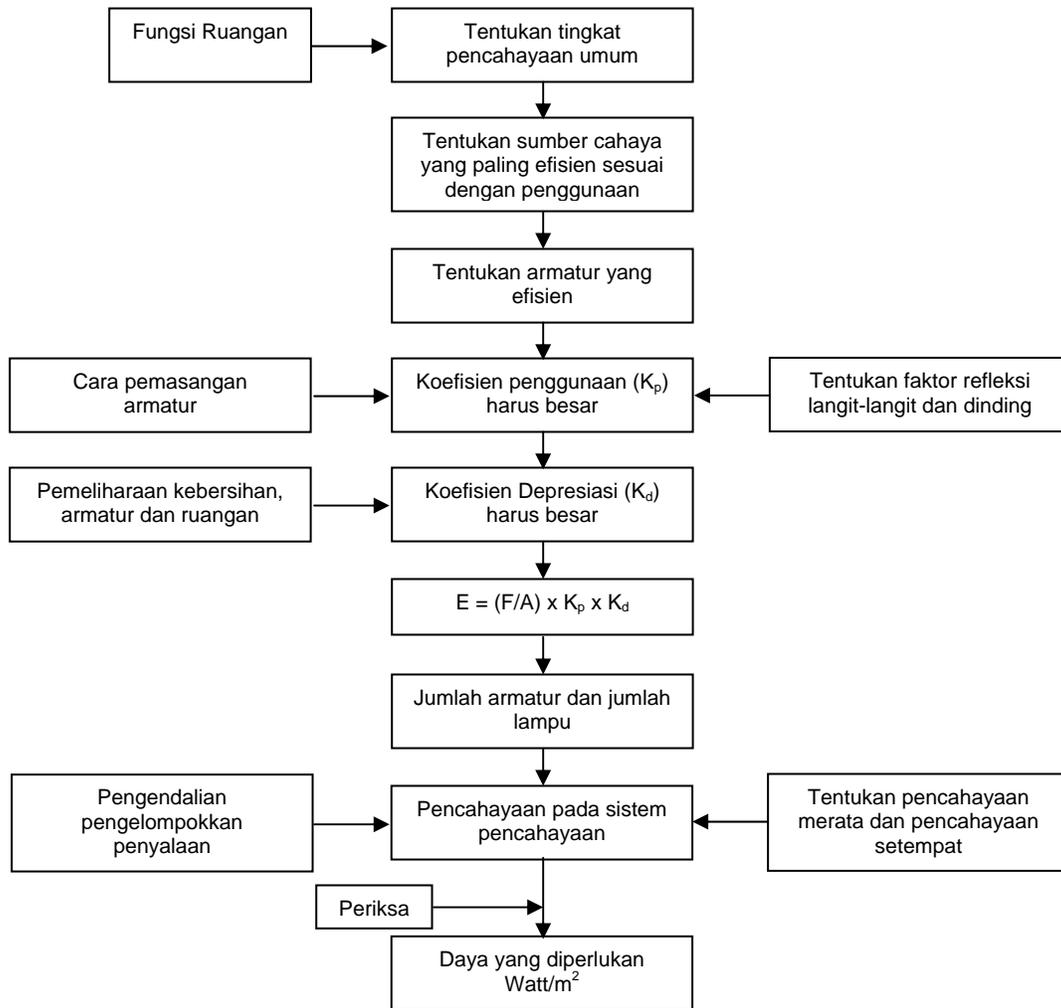
Intensitas Penerangan rata-rata diukur pada bidang kerja dalam hal ini pada bidang vertikal maupun pada bidang horisontal. Untuk bidang horisontal, pengukuran untuk bidang kerja biasanya dilakukan terhadap bidang pada ketinggian 70-90 cm di atas lantai.

2.6.7.12 Sistem Pencahayaan Buatan

Prosedur

- Tentukan Intensitas Penerangan minimum (lux) yang direkomendasikan sesuai dengan fungsi ruangan (tabel 2.27).
- Tentukan sumber cahaya (jenis lampu) yang paling efisien (efikasi tinggi) sesuai dengan penggunaan termasuk renderasi warnanya.
- Tentukan armatur yang efisien, yang menyerap cahaya minimal, mempunyai distribusi cahaya sesuai dengan rancangan yang dikehendaki dan yang memancarkan panas yang minimal ke dalam ruangan (gunakan Petunjuk Teknis Pencahayaan Buatan pada Bangunan Gedung, Direktorat Bina Teknik Departemen Pekerjaan Umum).
- Tentukan cara pemasangan armatur dan pemilihan jenis, bahan dan warna permukaan ruangan (dinding, lantai, langit-langit).
- Hitung jumlah fluks luminus (lux) yang diperlukan dan jumlah lampu.
- Tentukan jenis pencahayaan, pencahayaan merata atau setempat.
- Hitung jumlah daya terpasang dan periksa apakah daya terpasang per- m^2 tidak melampaui harga maksimum yang telah ditentukan.
- Rancang sistem pengelompokkan penyalaan sesuai dengan letak lubang cahaya yang dapat memasukkan cahaya alami.
- Rancang sistem pengendalian penyalaan yang dapat mengikuti atau memanfaatkan semaksimalnya pencahayaan alami yang masuk ke dalam ruangan.

Bagan daripada prosedur perhitungan sistem pencahayaan dalam hal ini perhitungan terhadap daya listrik yang digunakan, digambarkan pada gambar 2.56.



Gambar 2.56 Prosedur perencanaan teknis pencahayaan buatan

Tabel 2.27
Ikhtisar Illuminasi Untuk Beberapa Jenis Gedung

Jenis Gedung/Ruangan	Illuminasi (Lux)	Keterangan
PERUMAHAN, HOTEL dan FLAT Umum (Perumahan)	50 - 100	Warna cahaya "sedang" atau "Hangat"
Staircase, Koridor	30 - 50	
Portal Hotel	100	
Jalan mobil	10	
Dapur	200	Efek warna didapur sekurangnya 70
Kamar mandi	100	Idem untuk berhias sekurangnya 85
PERKANTORAN Umum	300 atau lebih	
Ruang gambar	500	
Ruang sidang	200	Warna cahaya "sedang" Efek warna sekurangnya 70
SEKOLAH Ruang belajar	200 - 300	
Papan tulis, panggung	500	Warna cahaya "sedang" atau "Hangat" Efek warna sekurangnya 70
INDUSTRI Pekerjaan Kasar	100 - 200	
Pekerjaan Sedang	200 - 500	
Pekerjaan Halus	500 - 1000	Warna cahaya "sejuk" atau "sedang"
Pekerjaan amat halus	1000 - 2000	
Pemeriksaan warna	750	Efek warna menurut peranan warna dalam jenis pekerjaannya.
PERTOKOAN Penerangan umum	100	Efek warna untuk pemeriksaan warna diatas 85
Pameran, penjualan	500	
Supermarket, umum	500 - 1000	Warna cahaya "sedang"
Estalase I	1000 - 2000	Efek warna diatas 70
Estalase II		I. Didaerah perumahan II. didaerah pertokoan Efek warna untuk etalase 85 -100
RESTORAN DAN FUNCTION ROOM Meja makan	100 atau kurang	Warna cahaya "Hangat"
Function room	300 atau lebih	Efek warna diatas 70
Kantin	200	
Bar	20	
	200	

Jenis Gedung/Ruangan	Iluminasi (Lux)	Keterangan
Biduanita, pemusik Dapur	200	
GEDUNG PERTEMUAN UMUM Foyer	200 100 - 200 sampai 500	Warna cahaya "sedang" atau "Hangat" Efek warna diatas 70
Auditorium Panggung Ruang dansa Ruang pameran	50 200	
GEDUNG KEBUDAYAAN Barang peka	50 150	Warna cahaya "sejuk" atau "sedang" atau "Hangat"
Barang kurang peka Perpustakaan, umum	200 300 50	Efek warna diatas 70, atau diatas 85
Meja baca Almari buku		
GEDUNG IBADAH Umum	100 - 200 300 atau lebih	Warna cahaya "sedang" atau "Hangat" Efek warna diatas 70
Pusat perhatian		
RUMAH SAKIT Ruang pasien	100 100	Warna cahaya "sedang" atau "Hangat" Efek warna diatas 70
Kepala tempat tidur Jaga malam Penerangan malam Lampu pemeriksaan	5 0,1 - 0,5 300 100 5	
Koridor : Siang : Malam	300	Warna cahaya "sejuk" atau "sedang"
Ruang operasi, umum	10.000 - 20.000	Efek warna diatas 85
Meja operasi Ruang-ruang anesthetika Recovery, plaster Endoskopi, laboratorium Lampu pemeriksaan Ruang X-ray	300 300 75 - 100	
LABORATORIUM	300	Warna cahaya "sejuk" atau "sedang"

Jenis Gedung/Ruangan	Iluminasi (Lux)	Keterangan
Umum	500	Efek warna untuk identifikasi warna diatas 85
Identifikasi warna	200	Warna cahaya "sejuk" atau "sedang"
GEDUNG OLAH RAGA	1000 atau lebih	Efek warna menurut peranan warna dalam jenis olahraganya.
Olahraga kecekatan		
Olah raga combat	100 - 200	
	300 - 500	
Olahraga sasaran	200	
Olahraga bola	200	
Sport-hall	300 - 500	
Gymnasia		
Coveraga		

Sumber : SNI, BSN, 2000

Berikut ini disajikan format untuk perhitungan sistem pencahayaan untuk dalam ruangan dari petunjuk teknik konservasi energi bidang sistem pencahayaan, Direktorat Pengembangan Energi :

PERHITUNGAN SISTEM PENCAHAYAAN UNTUK DALAM RUANGAN

PROYEK : _____ RUANGAN : _____

DATA RUANG :	Panjang	p		Meter
	Lebar	l		Meter
	Tinggi	t		Meter
	Ketinggian bidang kerja	t _k		Meter
	Jarak armatur ke bidang kerja	t _b		Meter

ARMATUR YANG DIGUNAKAN	Type armatur dan lampu (lihat tabel 2.20)			
	Daya/armatur	Pa		Watt
	Fluks cahaya/lampu	Fl		Lumen
	Fluks cahaya/armatur	Fa		Lumen

TINGKAT PENCAHAYAAN YANG DIANJURKAN E = _____ Lux
(LIHAT TABEL 2.17, TABEL 2.20)

$$\text{Indeks Ruang K} = \frac{P \times L}{T_b (P + L)} = \frac{\dots \times \dots}{\dots \times (\dots + \dots)} = \frac{\dots}{\dots} = \dots$$

FAKTOR REFLEKSI (ρ) Warna Muda (ρ) = 0.8	Warna/cat plafon	0,1 ; 0,3 ; 0,5 ; 0,8	r_p	
	Warna/cat dinding	Idem	r_d	
	Warna/cat biang kerja	idem	r_k	

KOEFISIEN PENGGUNAAN (K_p) = *lihat tabel*

PENGOTORAN (K_d) : (Koefisien Depresiasi)	Ruang bersih	Pembersihan setelah 1 th	K_d	0,8	0,85
	Ruang sedang	Pembersihan setelah 1 th	K_d	0,7	
	Ruang kotor	Pembersihan setelah 1 th	K_d	0,6	

$$\text{Jumlah armatur yang harus dipasang } N = \frac{E \times P \times L}{F_a \times K_d \times K_d} \quad \frac{\dots \times \dots \times \dots}{\dots \times \dots \times \dots}$$

2.7 Sejarah Perkembangan Sumber Cahaya

2.7.1 Sumber Cahaya Dengan Lemak dan Minyak

Di alam semesta ini ada dua macam sumber cahaya, yaitu sumber cahaya alami dan sumber cahaya buatan. Sumber cahaya alami yang tidak pernah padam adalah matahari. Sedangkan sumber cahaya buatan pada awalnya ditemukan nenek moyang kita dulu secara tidak sengaja. Ketika melihat kilat menyambar sebatang pohon kemudian terbakar dan muncullah api. Atau semak-semak yang tiba-tiba hangus terbakar karena panas dan menimbulkan api. Sejak itulah manusia mengenal api dan memanfaatkannya sebagai penghangat tubuh, untuk memasak dan sekaligus memberikan penerangan di malam hari.

Api dapat diperoleh dengan cara menggosok-gosokkan batu atau kayu kering. Bakarannya kayu kering / fosil / rumput / bulu binatang kemungkinan bisa dikatakan sebagai sumber cahaya buatan manusia yang pertama, sehingga terbebas dari kegelapan malam atau rasa takut terhadap ancaman binatang buas maupun rasa dingin di malam hari.



Pembakaran kayu dapat menimbulkan cahaya namun sebagai bentuk penerangan sangat terbatas dan berbahaya karena sulit diatur. Menurut catatan sejarah dari hasil penggalian situs kuno di Peking, China, sejak 400.000 tahun yang lalu api telah dinyalakan manusia di gua-gua huniannya.

Ditemukan juga pelita-pelita primitif di gua-gua di *Lascaux*, Perancis, yang menurut para ahli ahli berumur 15.000 tahun. Pelita itu terbuat dari batu yang dilubangi dan ada juga yang terbuat dari kerang atau tanduk binatang yang diberi sumbu dari serabut-serabut tumbuhan dan diisi dengan lemak binatang.



Gambar 2.59 Api Lilin

Lampu buatan tangan manusia dengan bahan bakar minyak nabati antara lain minyak zaitun dan lemak binatang muncul di Palestina 2.000 tahun SM. Kemudian di abad 7 SM di Yunani mulai digunakan lampu gerabah yang mudah pembuatannya sehingga lebih murah dan penggunaannya pun semakin luas. Dengan merekayasa tempat minyak lampu yang tadinya terbuka menjadi tertutup, membuat pemakainya praktis / mudah dibawa dan dipindah-pindahkan. Pada abad 4 M ditemukan lilin yang digunakan sebagai pencahayaan. Lilin pada awalnya terbuat dari bahan yang dihasilkan oleh lebah madu atau dari sejenis minyak kental.

Pada tahun 1860 hingga kini kekuatan sinar lilin dijadikan patokan dasar standar internasional pengukuran kekuatan cahaya (satunya disebut candela) dari suatu lampu.

Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan yang lebih baik mengenai proses pembaharuan dan ditemukannya bahan bakar minyak dari perut bumi, sejak mulai abad ke-18 penggunaan lampu minyak mulai berkembang pesat. Lampu minyak dengan bahan bakar minyak korosin dapat digunakan sebagai sumber cahaya secara aman (tidak mudah meledak) dan murah, sehingga lampu-lampu lilin tidak terpakai lagi, kecuali untuk dekorasi atau kepentingan khusus.



Sumber : www.lamps-manufacturer.com

Gambar 2.60 Lampu Minyak



Sumber : www.agentur-fuer-wohnen.de

Gambar 2.61 Lampu Minyak dengan Tekanan

2.7.2 Sumber Cahaya dengan gas

Dengan penemuan gas bumi di Amerika Serikat dan Kanada menyebabkan turunnya harga gas, sehingga pemakaian pencahayaan dengan gas menjadi semakin luas.

Seorang ilmuwan dari Inggris bernama William Murdock pada tahun 1820 berhasil membuat sumber cahaya dari gas.



Gambar 2.62 Lampu Gas

Semula menggunakan alat pembakar yang sederhana, dimana warna kuning daripada suluh itu sendiri menjadi sumber cahaya. Namun pada tahun-tahun berikutnya diperoleh suatu bentuk alat pembakar dengan memasukkan udara panas yang bisa diatur suhunya.

Bahan yang dibakar tersebut harus tahan bakar. Semakin panas suhunya semakin putih bahan tersebut dan cahayanya bertambah semakin terang. Dalam penyempurnaannya bahan tahan bakar tersebut dikembangkan pula *Mantel Welsbach* yang berbentuk silindris atau linier yang direndam dalam garam thorium atau cerium.

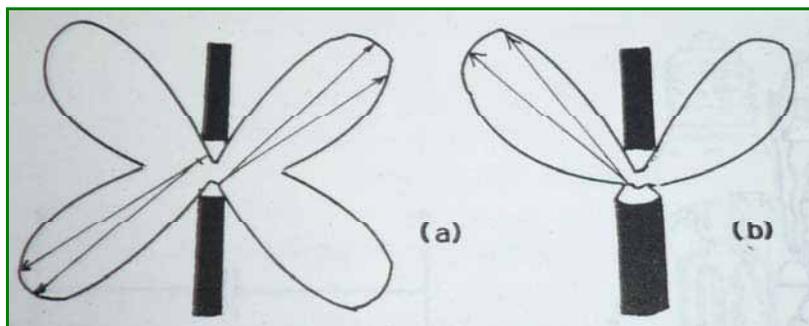
Lampu gas ini cukup baik untuk penerangan, namun karena mengeluarkan aroma yang kurang

sedap sering mengganggu kesehatan.

2.7.3 Lampu Busur

Lampu listrik yang pertama kali dibuat adalah berupa lampu busur. Lampu ini memanfaatkan sebuah busur sebagai sumber cahaya. Busur tersebut terjadi antara dua buah elektroda yang dibuat dari karbon. Lampu busur ini sangat cocok untuk penerangan jalan, karena mempunyai efisiensi dan tingkat kehandalan yang tinggi, lagipula warna cahayanya menarik untuk dilihat.

Bentuk busur yang terjadi tergantung dari sumber tegangan listrik yang dipakai.



Gambar 2.63 Lampu Busur

Bila dengan sumber arus searah, maka pada ujung elektroda karbon sisi positif akan membara lebih kuat, sehingga pada ujungnya akan berkurang. Sedangkan ujung elektroda sisi negatif juga membara dan menjadi tajam (seperti gambar 2.63 (b) diatas). Bila dengan sumber arus bolak-balik, maka busur yang terjadi seperti pada gambar 2.63 (a).

2.8 Macam-macam Lampu Listrik

Lampu busur termasuk lampu listrik, namun tidak dikembangkan karena penggunaannya terbatas (hanya cocok digunakan diluar ruangan). Untuk sementara ini berdasarkan prinsip kerjanya, lampu listrik dibedakan menjadi dua macam, yaitu lampu pijar dan lampu tabung / neon sign.

Cahaya dari lampu pijar merupakan pemijaran dari filament pada bohlam. Macam-macam lampu pijar merupakan GLS (General Lamp Service) yang terdiri dari :

- a. Bohlam Bening
- b. Bohlam Buram
- c. Bohlam berbentuk lilin
- d. Lampu Argenta
- e. Lampu Superlux
- f. Lampu Luster
- g. Lampu Halogen

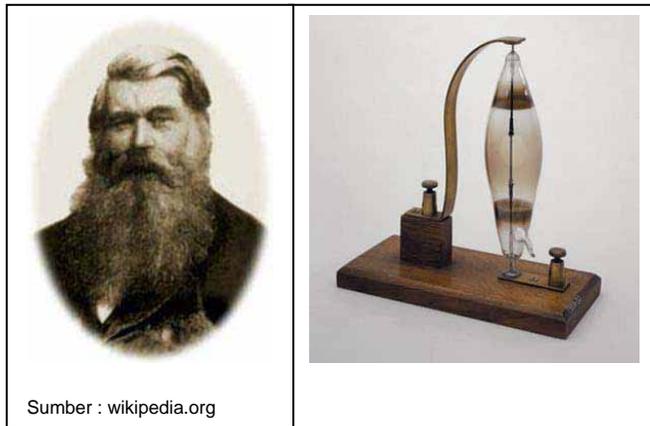
Sedangkan lampu tabung cahaya yang dihasilkan berbeda dengan filamen lampu pijar, tetapi melalui proses eksitasi gas atau uap logam yang terkandung dalam tabung lampu yang terletak diantara 2 elektroda yang bertegangan cukup tinggi. Macam-macam lampu tabung antara lain :

1. Neon Sign (Lampu Tabung)
 - a. TL
 - b. Lampu Hemat Energi
 - c. Lampu Reklame
2. Lampu Merkuri
 - a. Fluoresen
 - b. Reflector
 - c. Blended
 - d. Halide
3. Lampu Sodium
 - a. SOX
 - b. SON

Untuk penjelasan tiap lampu akan dibahas lebih detail pada uraian selanjutnya.

2.8.1 Lampu Pijar

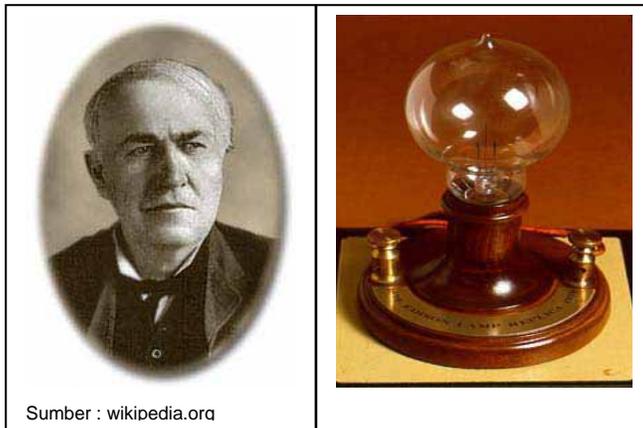
Bola lampu listrik sebenarnya ditemukan pada tahun 1879 secara bersamaan antara *Sir Joseph Wilson Swan* dan *Thomas Alva Edison*. Pada tanggal 5 Februari 1879, Swan adalah orang pertama yang merancang sebuah bola lampu listrik. Dia memperagakan lampu pijar dengan filamen karbon di depan sekitar 700 orang, tepatnya di kota Newcastle Upon Tyne, Inggris.



Sumber : wikipedia.org

Gambar 2.64 Joseph Swan dan lampu percobaannya

Namun, ia mengalami kesulitan untuk memelihara keadaan hampa udara dalam bola lampu tersebut. Di Laboratorium Edison – Menlo Park, Edison mengatasi masalah ini, dan pada tanggal 21 Oktober 1879, ia berhasil menyalakan bola lampu dengan kawat pijar yang terbuat dari karbon yang terus menyala selama 40 jam, setelah melakukan percobaan-percobaan lebih dari 1.000 kali. Saat itu efisiensi lampunya sebesar 3 lumen/watt.



Sumber : wikipedia.org

Gambar 2.65 Edison dan lampu percobaannya

Pada tahun 1913, filamen karbon lampu Edison diganti dengan filamen tungsten atau wolfram, sehingga efisiensi lampu dapat meningkat menjadi 20 lumen/watt. Sistem ini disebut sistem pemijaran (incandescence). Pada tahun yang sama bola lampu kaca yang tadinya dibuat berupa udara, kemudian diisi dengan gas bertekanan tinggi. Pada mulanya digunakan gas Nitrogen (N), setahun kemudian

diganti dengan gas Argon (Ar) yang lebih stabil dan mempunyai sifat mengalirkan panas lebih rendah.

Pada riset lainnya ditemukan bahwa dengan membentuk filamen menjadi spiral, maka panas yang timbul menjadi berkurang, sehingga meningkatkan efisiensi lampu. Untuk meningkatkan efisiensi lampu pijar, filamennya dibuat berbentuk spiral. Dengan berkembangnya teknologi, produksi lampu pijar hingga kini masih berjalan, bahkan lampu pijar mempunyai berbagai macam tipe.

Secara umum lampu pijar mempunyai cahaya berwarna kekuningan yang menimbulkan suasana hangat, romantis dan akrab, sehingga cocok digunakan pada ruang-ruang berprivasi seperti ruang tamu, ruang keluarga, ruang makan dan toilet.

Lampu pijar ini mempunyai keunggulan antara lain :

- + Mempunyai nilai "color rendering index" 100% yang cahayanya tidak merubah warna asli obyek;
- + Mempunyai bentuk fisik lampu yang sederhana, macam-macam bentuknya yang menarik, praktis pemasangannya;
- + Dan harganya relatif lebih murah serta mudah didapat di toko-toko;
- + Instalasi murah, tidak perlu perlengkapan tambahan;
- + Lampu dapat langsung menyala;
- + Terang-redupnya dapat diatur denga *dimmer*;
- + Cahayanya dapat difokuskan.

Sedangkan kelemahan lampu pijar antara lain:

- Mempunyai efisiensi rendah, karena energi yang dihasilkan untuk cahaya hanya 10% dan sisanya memancar sebagai panas (400°C);
- Mempunyai efikasi rendah yaitu sekitar 12 lumen/watt;
- Umur lampu pijar relatif pendek dibandingkan lampu jenis lainnya (sekitar 1.000 jam);
- Sensitif terhadap tegangan;
- Silau.

Sudah lebih dari 1 abad manusia dapat menerangi kegelapan dengan lampu pijar ini yang kini telah mempunyai berbagai macam tipe pada GLS, antara lain :

- a. Bohlam Bening
- b. Bohlam Buram
- c. Bohlam berbentuk lilin
- d. Lampu Argenta
- e. Lampu Superlux
- f. Lampu Luster
- g. Lampu Halogen

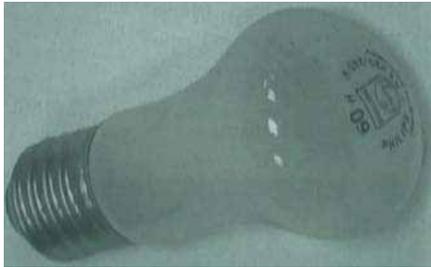
2.8.1.1 Lampu Bohlam Bening



Tabung gelasnya bening, tidak berlapis, sehingga dapat menghasilkan cahaya lebih tajam dibanding jenis lampu bohlam lainnya. Idealnya untuk penerangan tidak langsung, terutama dengan armatur tertutup dan lebih mementingkan cahaya terang.

Gambar 2.66 Bohlam Bening

2.8.1.2 Lampu Bohlam Buram



Gambar 2.67 Bohlam Buram

Tabung gelasny dibuat buram untuk menahan cahaya, sehingga tidak silau.

2.8.1.3 Lampu Berbentuk lilin



Gambar 2.68 Bohlam Lilin

Lampu jenis ini biasanya digunakan untuk lampu hiasan atau lampu dekorasi kristal pada ruang tamu.

2.8.1.4 Lampu Argenta



Gambar 2.69 Argenta

Tabung gelas bagian dalam dari lampu argenta dilapisi serbuk lembut cahaya, sehingga distribusi cahayanya merata, lembut dan tidak silau. Lampu argenta mempunyai efikasi yang sama dengan bohlam bening.

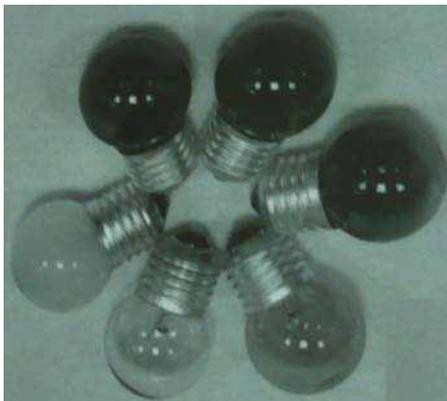
2.8.1.5 Lampu Superlux



Lampu superlux merupakan perpaduan lampu bohlam bening dengan lampu argenta. Tiga perempat dari tabung gelas dilapisi serbuk tembus cahaya yang dihasilkan lampu ini sebagian besar didistribusikan ke bawah.

Gambar 2.70 Superlux

2.8.1.6 Lampu Luster



Lampu ini biasanya digunakan untuk dekorasi, karena warnanya bermacam-macam, dayanya rendah dan bentuknya ada yang bulat dan ada yang berbentuk lilin.

Gambar 2.71 Luster Bulat

2.8.1.7 Lampu Halogen



Sumber : www.electronics-online.savingshour.co.uk

Gambar 2.72 Halogen

Lampu Halogen dibuat untuk mengatasi masalah ukuran fisik dan struktur pada lampu pijar dalam penggunaannya sebagai lampu sorot, lampu projector, lampu projector film. Dalam bidang-bidang ini diperlukan ukuran lampu yang kecil sehingga sistem pengendalian arah dan fokus cahaya dapat dilakukan lebih presisi. Lampu halogen bekerja pada suhu 2.800 °C jauh lebih tinggi dari kerja

lampu pijar yang hanya 400 °C, karena adanya tambahan gas halogen, seperti io-

dium oleh karena itu, walaupun lampu halogen termasuk jenis lampu pijar tetapi mempunyai efisiensi sekitar 22 lumen/watt.



Sumber : www.tlc-direct.co.uk

Gambar 2.73 Halogen dengan reflektor

Cahaya lampu halogen dapat memunculkan warna asli obyek yang terkena cahaya, karena cahaya yang dihasilkan lampu halogen umumnya lebih terang dan lebih putih dibanding cahaya lampu pijar (pada daya yang sama) lampu halogen pada umumnya ukuran fisiknya kecil, rumit pembuatannya sehingga harganya relatif lebih mahal dibanding lampu pijar dan neon.

Tabel 2.28 Karakteristik Lampu Halogen

Daya (watt)	Fluks Cahaya (lumen)
300	5.000
500	9.500

Efikasi	: 20 lumen/watt
Usia Pemakaian	: \pm 2.000 jam
Posisi Penyalaan	: Lampu dioperasikan secara mendatar
Kualitas Warna	: Baik

2.8.2 Neon Sign (Lampu Tabung)

Menjelang akhir abad ke-19, *George Claude*, seorang ilmuwan Perancis melakukan percobaan-percobaan dengan membuat busur antara dua elektroda dalam sebuah pembuluh pipa vakum dengan diisi gas neon.



Sumber : alibaba.com



Gambar 2.74 Lampu Tabung

Bila pada kedua elektroda dipasang tegangan yang tinggi, maka terjadi suatu cahaya merah yang dalam. Oleh karena didalam tabung diisi dengan gas neon, lampu tabung ini sering disebut juga lampu neon.

Pengisian pada tabung dengan jenis gas-gas yang lain dapat menghasilkan beraneka warna-warni cahaya, sehingga lampu ini banyak digunakan untuk keperluan hiasan dan iklan.

Perkembangan jenis lampu tabung ini terjadi sekitar tahun 1950-an, yaitu dibuatnya lampu-lampu pelepas gas merkuri dan sodium.

Berbeda dengan jenis lampu pijar, lampu tabung tidak menghasilkan cahaya dari filamen pijar, tetapi melalui proses eksilasi gas atau uap logam yang terkandung di dalam tabung gelas.

Warna dari cahaya yang dipancarkan bergantung pada jenis gas atau uap logam yang terkandung di dalam tabung. Beberapa contohnya adalah sebagai berikut :

Tabel 2.29 Warna cahaya lampu tabung

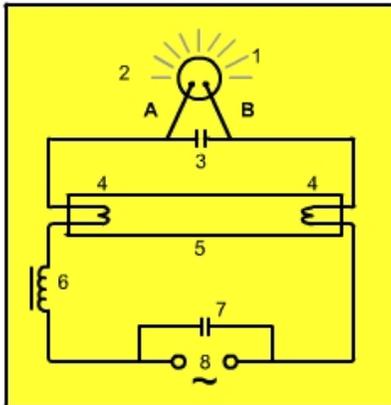
Bahan yang terkandung dalam tabung	Warna Cahaya
Gas neon	Orange, putih, kemerahan
Gas Argon	Hijau / biru
Gas Hidrogen	Merah muda / pink
Gas Kalium	Kuning gading
Uap logam merkuri	Hijau, ungu, merah
Uap logam sodium	Kuning, orange

2.8.2.1 Lampu Fluoresen / TL

Konstruksi lampu fluoresen terdiri dari tabung gelas berwarna putih susu, karena dinding bagian dalam tabung dilapisi serbuk pasphor. Bentuk tabungnya melingkar ada yang memanjang dan melingkar.

Jenis lampu ini di dalam tabung gelas mengandung gas yang menguap bila dipanasi. Cara kerja lampu fluoresen adalah sebagai berikut (perhatikan gambar a, b, dan c).

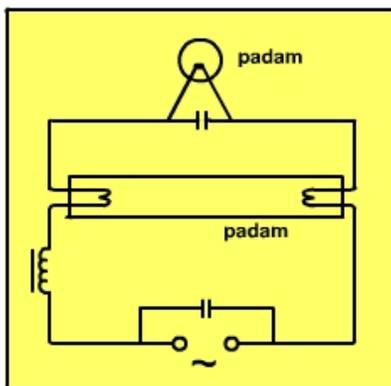
Keterangan :



Keterangan :

1. Tabung Bola berisi gas argon (starter)
2. Kontak-kontak metal
3. Rangkaian C filter
4. Filamen tabung / elektroda
5. Tabung
6. Balast
7. Capacitor kompensasi
8. Sumber tegangan arus bolak-balik

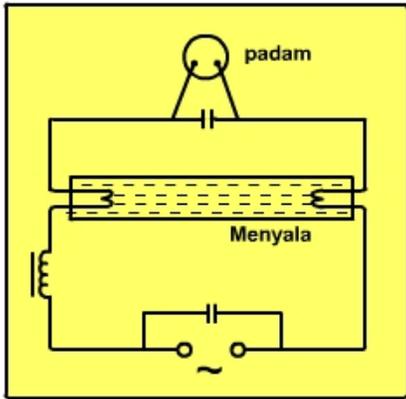
Gambar (a)



Tegangan sumber yang normal tidak akan cukup untuk mengawali pelepasan muatan elektron diantara elektroda tanpa bantuan balast dan "starter".

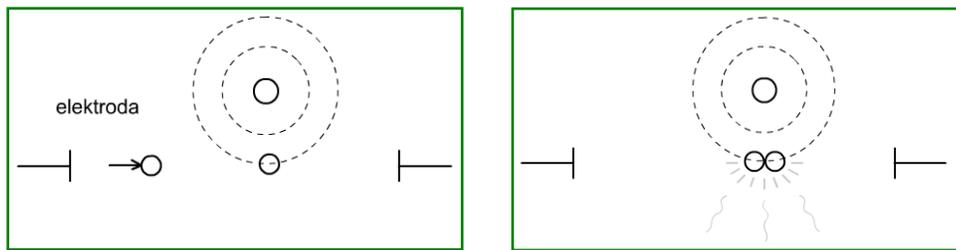
Bila sumber listrik disambung, maka ada beda tegangan antara kontak-kontak bermetal A dan B. Oleh karena didalam "tabung" bola terdapat gas argon, maka terjadi loncatan elektron di antara kontak-kontak bermetal A dan B (timbul bunga api di dalam tabung bola antara kontak A dan B), sehingga bimetal panas dan kotak A dan B terhubung.

Gambar (b)



Gambar 2.75 Tahapan Kerja Lampu Fluoresen

Dengan terhubungnya A dan B, maka tidak ada loncatan elektron pada gas argon (starter padam), sehingga suhu didalam tabung bola dingin kembali dan bimetal kontak A dan B lepas. Pada saat inilah terjadi tegangan induksi yang tinggi dari balast dan tabung panjang mengeluarkan cahaya. Keadaan ini bisa terjadi berulang-ulang. Terjadinya tegangan induksi yang tinggi membuat tegangan antara kedua elektroda di dalam tabung panjang menjadi tinggi. Hal ini akan meningkatkan gerakan elektron bebas dalam tabung dan menabrak elektron gas yang lentur.



Gambar 2.76 Gerakan elektron gas

Dari gambar diatas terlihat proses gerakan elektron dari katoda dengan kecepatan tinggi menabrak elektron gas, sehingga menimbulkan radiasi cahaya. Kapasitor diantara kontak A dan B berfungsi sebagai filter, sedangkan kapasitor yang tersambung pada jala-jala berfungsi untuk memperbaiki faktor daya.

Warna cahaya yang dihasilkan oleh lampu tabung tergantung dari gas yang digunakan. Misalnya gas neon mengeluarkan cahaya oranye, putih dan kemerah-merahan. Gas hidrogen mengeluarkan cahaya pink (merah jambu).

Kelebihan lampu fluoresen antara lain :

- + Mempunyai efikasi lebih tinggi daripada lampu pijar, sehingga lebih ekonomis
- + Cahaya yang dipancarkan lebih terang daripada lampu pijar pada daya yang sama
- + Durasi pemakaian lebih lama 8.000-20.000 jam

Sedangkan kekurangannya antara lain :

- mempunyai CRI (Color Rendering Index) yang rendah
- efek cahaya dihasilkan terhadap objek terlihat tidak seperti warna aslinya.

2.8.2.2 Lampu Hemat Energi



Gambar 2.77 bentuk lampu hemat energi

Kini terdapat lampu neon jenis terbaru yang mempunyai komponen listrik yang terdiri dari balast, starter dan kapasitor kompensasi yang terpadu dalam satu kesatuan. Lampu teknologi baru ini disebut sebagai "Compact Fluorescence" dan beberapa produsen lampu menyebutnya sebagai lampu SL dan PL.

Pada dasarnya lampu hemat energi merupakan lampu fluoresen dalam bentuk mini, yang dirancang strukturnya seperti lampu GLS. Lampu ini dibuat dalam berbagai macam bentuk dan ukuran, sehingga dapat dipasang pada suatu fitting lampu pijar. Gambar disamping menunjukkan tiga jenis lampu hemat energi dari suatu produk yang sering kita jumpai di kehidupan sehari-hari.

Lampu hemat energi yang berbentuk lubang akan memancarkan cahaya radial. Sedangkan yang berbentuk huruf D ganda datar akan memancarkan cahaya ke arah atas dan ke bawah.

Keunggulan lampu hemat energi adalah :

- + penggunaan daya listrik lebih efisien dibanding lampu GLS (sebagai contoh sebuah lampu hemat energi 8 watt akan memberikan daya keluaran yang sama dengan lampu GLS berdaya 40 watt).
- + Mempunyai rentang usia pemakaian yang lebih panjang, yaitu sekitar 8 kali usia pemakaian lampu GLS.

Kekurangan lampu hemat energi antara lain:

- Untuk menyala dengan cahaya normal, memerlukan waktu beberapa menit.
- Lampu ini tidak dapat diatur redup-terangnya dengan saklar pengatur (dimmer).
- Harganya relatif lebih mahal.

2.8.2.3 Lampu Reklame

Lampu reklame dirancang untuk membuat daya tarik orang. Bentuknya bisa bermacam-macam, besar / kecil, berbentuk huruf atau gambar, dan cahayanya berwarna-warni. Tabung kaca dibentuk melalui proses pemanasan pada suhu tertentu di tungku pemanas, sehingga bisa sesuai dengan bentuk yang dikehendaki.

Setiap bentuk tabung, masing-masing ujungnya dipasang sebuah elektroda dan diinjeksikan suatu jenis gas tertentu untuk menghasilkan efek warna cahaya yang dikehendaki. Gas neon akan memberikan efek warna merah, gas argon memberikan cahaya warna hijau atau biru, dan gas hidrogen memberikan efek warna cahaya merah muda.

Ukuran diameter tabung ada beberapa macam, dan masing-masing ukuran tabung memiliki kemampuan untuk dialiri arus listrik. Beberapa ukuran tabung yang sering digunakan antara lain seperti tabel berikut ini :

Tabel 2.30 Kemampuan tabung dialiri arus listrik

Diameter Tabung (mm)	10	15	20	30
Arus Listrik (A)	25	35	60	150

Sumber : Trevor Linsley, 2004, 186

Untuk menyalakan lampu reklame, beberapa bentuk tabung yang telah diisi gas, masing-masing elektrodanya disambung seri, kemudian ujung satunya dan ujung lainnya disambungkan ke belitan sekunder trafo tegangan menengah.

Untuk menentukan tegangan trafo dan menghitung dayanya digunakan rumus :

$$U_S = U_T + U_E$$

Keterangan :

U_S = tegangan sekunder trafo (V)

U_T = tegangan tabung

U_E = tegangan elektroda

dan

$$P = U_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi \cdot (\omega)$$

Keterangan :

P = daya trafo (W)

U = tegangan sekunder trafo (V)

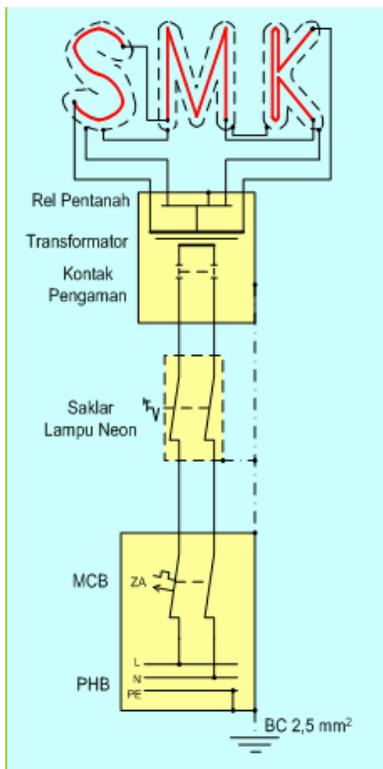
I = arus sekunder trafo (A)

$\cos \varphi$ = faktor daya trafo

Untuk gas neon tiap pasang elektrodanya, tegangan $V_E = 300$ V, dan setiap tabung yang berdiameter 15 mm tegangan $V_T = 400$ V/m. Pemasangan lampu reklame diatur pada bagian 8.26 PUIL 2000.

Contoh :

Sebuah lampu reklame bertuliskan "SMK" yang tiap hurufnya terpisah antara satu dengan lainnya. Tabung kaca yang digunakan diameternya 15 mm dan panjang totalnya 9 m. Jika faktor daya trafo = 0,8, hitunglah tegangan belitan sekunder trafo dan daya keluarannya !



Gambar 2.78 Contoh Lampu Reklame

Karena kata “SMK” terdiri dari 3 huruf, maka diperlukan elektroda sejumlah 3 pasang dan panjang tabung 9 m, dengan demikian persamaan tegangannya sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 U_S &= U_T + U_E \\
 &= (9 \text{ m} \times 400 \text{ V/m}) + (3 \times 300 \text{ V}) \\
 &= 3.600 \text{ V} + 900 \text{ V} \\
 &= 4.500 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Jadi lampu ini dapat disuplai dengan trafo tap tengah 4.500V, sehingga tegangannya terhadap titik pentanahan 2.250V dan sesuai dengan bagian 8.26.3.2° PUIL 2000, yaitu tegangan sekunder trafo yang ujungnya dibumikan tidak boleh melebihi 7.500V.

$$\begin{aligned}
 \text{Daya} &= U_S \cdot I_S \cdot \cos \varphi \cdot (\omega) \\
 &= 4.500 \cdot 35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 \\
 &= 126 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Dan sesuai dengan bagian 8.26.3.2b PUIL 2000, yaitu daya trafo maksimum 4.500VA.

2.8.3 Lampu Merkuri



Prinsip kerja lampu merkuri sama dengan prinsip kerja lampu fluoresen, yaitu cahaya yang dipancarkan berdasarkan terjadinya loncatan elektron (pelepasan muatan) di dalam tabung.

Sumber : www.tlc-direct.co.uk



Gambar 2.79 Lampu Merkuri

Sedangkan konstruksinya berbeda dengan lampu fluoresen. Lampu merkuri terdiri dari dua tabung, yaitu tabung dalam dari gelas kuarsa dan bohlam luar.

Tabung dalam berisi uap merkuri dan sedikit gas argon. Dua elektroda utama dibelokkan pada kedua ujung tabung, dan sebuah elektroda pengasut dipasang pada posisi berdekatan dengan salah satu elektroda utama.

Saat sumber listrik disambung, arus listrik yang mengalir tidak akan cukup untuk mencapai terjadinya loncatan muatan diantara kedua elektroda utama. Namun, ionisasi terjadi diantara salah satu elektroda utama (E1) dengan elektroda pengasut (Ep) melalui gas

argon. Ionisasi gas argon ini akan menyebar didalam tabung dalam menuju elektroda utama yang lain (E2). Panas akan timbul akibat pelepasan elektron yang terjadi dalam gas argon, dan cukup untuk menguapkan merkuri. Hal ini menyebabkan tekanan gas dalam tabung meningkat tinggi. Arus mula bekerja sekitar 1,5 hingga 1,7 arus normal. Lampu akan menyala dalam waktu 5 sampai 7 menit. Cahaya awal berwarna kemerahan dan setelah kerja normal berwarna putih. Jika sumber listrik diputuskan, maka lampu tidak dapat dinyalakan kembali sampai tekanan di dalam tabung berkurang. Untuk dapat menghidupkan kembali lampu merkuri ini, perlu waktu sekitar 5 menit atau lebih.

Bohlam luar dari gelas yang di sisi dalamnya dilapisi dengan bubuk fluoresen berfungsi sebagai rumah lampu dan untuk menstabilkan suhu disekitar tabung. Karena lampu merkuri ini adalah bagian dari lampu tabung, maka untuk mengoperasikannya harus menggunakan balast sebagai pembatas arus. Biasanya balast ini berupa reaktor atau transformator, bergantung dari karakteristik lampunya. Lampu merkuri bekerja pada faktor daya yang rendah, sehingga untuk meningkatkannya diperlukan kapasitor kompensasi yang dipasang secara paralel.

Ada berbagai macam jenis lampu merkuri yang ada dipasaran. Hanya saja masing-masing produsen lampu merkuri memberikan nama-nama yang berbeda, sehingga menyulitkan konsumen untuk mengenal setiap jenis lampu merkurin ini.

Tabel berikut menunjukkan berbagai jenis lampu merkuri yang diproduksi oleh pabrik yang berbeda.

Tabel 2.31 Jenis Lampu Merkuri

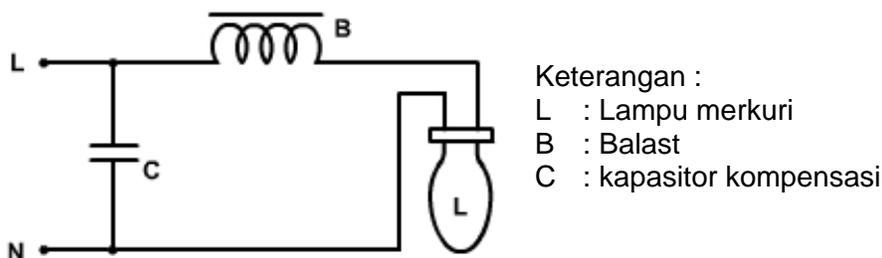
Jenis Lampu Merkuri	Australia dan Inggris	Jepang	Amerika	Eropa
Fluoresen	MBF	HF	H/DX	HPL-N
Reflektor	MBF-R	HFR	HR	HPLR
Blended	MBFT	HFM	HSB	ML
Halide	MBI	M	M/MV	HPI-I

Tabel 2.32 Karakteristik Lampu Merkuri Tekanan Tinggi

Daya Lampu (watt)	Fluks Cahaya Lampu (lumen)
50	1.800
80	3.350
125	5.550
250	12.000
400	21.500
750	38.000
1.000	54.000

Efikasi	: 38 sampai 56 lumen / watt
Usia Pemakaian	: 7.500 jam
Posisi penyalaan	: Dapat dioperasikan pada segala posisi
Kualitas pantulan warna	: cukup baik

Rangkaian dasar untuk mengendalikan lampu merkuri tekanan tinggi adalah sebagai berikut:



Gambar 2.80 Rangkaian dasar lampu merkuri tekanan tinggi

2.8.3.1 Lampu Merkuri Fluoresen

Lampu ini termasuk lampu merkuri tekanan rendah. Di dalam tabung berisi merkuri dan gas argon, sedangkan di bagian dalam dilapisi serbuk fluoresen (phospor). Fungsi serbuk fluoresen adalah untuk merubah radiasi ultra violet menjadi cahaya tampak. Gambar rangkaiannya sama persis seperti lampu tabung fluoresen, yang membedakan adalah isi gas dari tabungnya.

Lampu merkuri fluoresen ini mempunyai diameter tabung rata-rata 38 mm, sedangkan panjangnya bergantung dari dayanya. Berikut ini adalah tabel data lampu merkuri fluoresen.

Tabel 2.33 Data Lampu Merkuri Fluoresen

Daya Lampu (watt)	Data Total (watt)	fluks Cahaya (lumen)
50	61	1.800
80	93	3.300
125	140	5.800
250	268	12.500
400	426	21.250
700	737	38.250
1.000	1.044	54.200

Besarnya daya yang tertera pada lampu tidak sama dengan daya total rangkaian, disebabkan karena adanya daya yang hilang (menjadi energi panas) pada balast. Lampu merkuri fluoresen yang mempunyai efikasi 45 sampai 60 lumen/watt biasanya digunakan untuk penerangan jalan dan industri.

2.8.3.2 Lampu Merkuri Reflektor



Sumber : prosrom.en.alibaba.com

Lampu merkuri reflektor dirancang hanya untuk penerangan ke bawah bohlam langsung menjadi reflektornya, dengan cahaya yang diarahkan ke bawah. Perbedaan lampu merkuri reflektor dengan merkuri fluoresen hanya dalam bentuk konstruksi bohlamnya saja, sedangkan rangkaian dan penggunaan *ballast*-nya sama. Lampu ini mempunyai rentang usia antara 12.000 sampai 16.000 jam menyala. Biasanya digunakan pada penerangan di kawasan industri dengan ketinggian 10 sampai 20 m.

Gambar 2.81 Merkuri Reflector



Sumber : www.global-b2b-network.com

Gambar 2.82 Merkuri Blended

Lampu ini merupakan kombinasi lampu pijar dengan lampu merkuri fluoresen, sehingga disebut lampu merkuri blended. Filamen tungsten dihubungkan seri dengan salah satu elektroda utama yang berfungsi untuk membatasi arus saat lampu bekerja. Dengan demikian lampu merkuri blended ini tidak memerlukan balast lagi diluar filamen tungsten, disamping sebagai pembatas arus, juga berfungsi untuk menghasilkan cahaya dominan infra merah. Sedangkan yang dihasilkan lampu merkuri fluouresen cahayanya dominan ultra violet. Filamen ini

akan menyerap sebagian panas yang dihasilkan lampu, sehingga berakibat mengurangi efikasi lampu dan rentang usia pemakaian. Oleh karena itu efikasinya hanya antara 12 sampai 25 lumen/watt, sedangkan rentang usianya 4.000 sampai dengan 6.000 jam menyala.

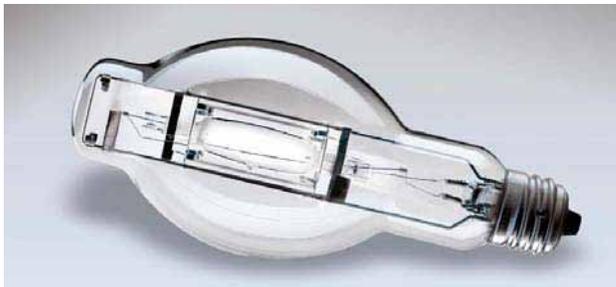
Penggunaan lampu merkuri blended ini merupakan alternatif pengganti lampu pijar untuk penerangan industri dan komersil dengan efikasi dan rentang usia pemakaian yang lebih tinggi, sehingga biaya pemasangan awal yang lebih rendah.

Tabel 2.34 Daya Lampu Merkuri Blended

Daya Lampu (watt)	Data Total (watt)	fluks Cahaya (lumen)
160	160	2.450
250	250	5.000
450	450	1.250
750	750	21.500

Besarnya daya yang tertera pada lampu sama dengan daya total rangkaian karena tidak adanya balast yang dipasang diluar.

2.8.3.4 Lampu Merkuri Halide (Metal Halide Lamp)



Sumber : news.thomasnet.com

Gambar 2.83 Lampu Metal Halide

Pada prinsipnya karakterisitk elektris lampu merkuri halide sama dengan lampu merkuri fluoresen, tetapi untuk penyalaan awal (saat pengasutan) memerlukan tegangan yang lebih tinggi. Penambahan tegangan pengasutan ini diperoleh dari transformator rangkaian pengasut yang menghasilkan transien. Isi gas

pada tabung seperti pada lampu merkuri fluorezen, tetapi ada penambahan logam iodides (thallium, sodium, scandium, thorium, dll), sehingga menghasilkan CRI (Colour Rendering Index) lampu yang sangat baik. Disamping itu, efikasinya lebih tinggi dari lampu merkuri fluorezen yaitu 80 sampai 90 lumen/watt. Oleh karena CRI nya sangat baik, lampu ini biasa digunakan untuk penerangan komersial, penerangan ruang pameran, penerangan lapangan bola, dan sebagainya.

2.8.4 Lampu Sodium

Lampu sodium juga sering disebut lampu natrium. Tabung gelas lampunya berbentuk U yang tahan terhadap cairan sodium. Berdasarkan tekanan kerja pada tabung, lampu sodium dibedakan menjadi dua macam, yaitu lampu sodium tekanan rendah (SOX) dan lampu sodium tekanan tinggi (SON). Masing-masing akan dibahas pada uraian berikut ini.

2.8.4.1 Lampu Sodium Tekanan Rendah



Sumber : www.arch.tu.ac.th

Gambar 2.84 Lampu SOX

Tabung busur apinya berbentuk huruf U yang terbuat dari gelas khusus yang tahan terhadap bahan kimia sodium. Tabung U ini berada didalam tabung gelas luar bening (seperti gambar disamping). Ada dua jenis lampu sodium tekanan rendah, yaitu SOX yang mempunyai sebuah pegangan lampu dan SLI/H yang mempunyai pegangan lampu dengan pin ganda pada masing-masing ujungnya.

Karena dalam suhu ruangan, tabung busur api mempunyai tekanan rendah, maka loncatan muatan pada uap sodium tidak dapat dilakukan. Oleh karena itu pada tabung busur api ditambahkan gas neon untuk pengasutan. Pengasutan dilakukan dengan menggunakan tegangan tinggi (kira-kira dua kali

tegangan antar elektroda) melalui transformator.

Tegangan ini akan mengakibatkan loncatan muatan

di dalam gas neon yang akan memanaskan sodium. Penguapan sodium perlu waktu 6 sampai 11 menit, sehingga lampu menyala dengan terang. Perubahan warnanya dari merah menjadi kuning terang. Jalur busur api lampu sodium tekanan rendah lebih panjang daripada jalur busur api lampu merkuri.

Lampu ini memancarkan cahaya berwarna kuning terang, dan mempunyai kualitas pantulan warna yang kurang baik. Panjang gelombang cahaya lampu ini mendekati panjang gelombang cahaya dimana manusia mempunyai sensitifitas maksimum, sehingga diperoleh efikasi yang tinggi (untuk saat ini paling tinggi dibandingkan dengan jenis lampu lainnya). Penggunaan lampu ini harus dipasang secara mendarat / horizontal, kondensasi sodium terjadi secara merata sepanjang tabung U. Untuk penerangan jalan raya lampu ini cocok jika digunakan, karena efisiensinya tinggi.

Keuntungan lampu sodium tekanan rendah antara lain :

- + Mempunyai efikasi yang tinggi;
- + Lebih efisien jika dibanding lampu merkuri;
- + Durasi pemakaiannya cukup lama \pm 40.000 - 60.000 jam

Sedangkan kekurangannya antara lain :

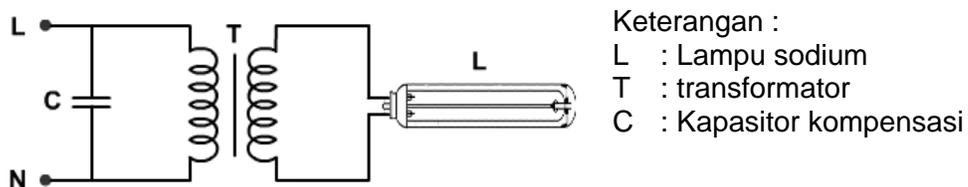
- Untuk menyala perlu waktu 6 sampai 11 menit;
- Pemasangan lampu tidak bebas (harus mendatar / horizontal);
- Kualitas pantulan warnanya kurang baik, karena warna cahaya yang dihasilkan merupakan warna monokromatik dari kuning.
- Memerlukan balast untuk menstabilkan tegangan.

Tabel 2.35 Karakteristik Lampu Sodium Tekanan Rendah

Jenis Lampu	Daya Lampu (watt)	Fluks Cahaya Lampu (lumen)
SOX	35	4.300
	55	7.500
	90	12.500
	135	21.500
SLI / H	140	20.000
	200	25.000
	200 Ho	27.500

Efikasi	: 61 sampai 160 lumen / watt
Usia Pemakaian SOX	: 6.000 jam
Posisi penyalaan SLI/H	: 4.000 jam
Posisi Penyalaan	: lampu dioperasikan secara mendatar atau dapat membentuk sudut 20° terhadap posisi mendatar
Kualitas pantulan warna	: sangat jelek

Rangkaian dasar untuk mengendalikan lampu sodium tekanan rendah adalah sebagai berikut:



Gambar 2.85 Rangkaian dasar lampu sodium tekanan rendah

2.8.4.2 Lampu Sodium Tekanan Tinggi (Natrium)



Sumber : www.solded.com

SON

SON/T

Gambar 2.86 Lampu SON

Tabung gelas lampu sodium ini berbentuk huruf U, dilengkapi dengan dua elektroda yang masing-masing mempunyai emiter.

Di dalam tabung diisi dengan cairan natrium ditambah dengan gas neon dan 1% argon sebagai gas bantu.

Lampu natrium yang mempunyai gas tekanan

rendah bekerja pada suhu 270°C dengan tekanan uap jenuhnya $\pm 1/3$ atau untuk mempertahankan suhu kerja tersebut, maka tabung berbentuk U ditempatkan dalam

sebuah tabung pelindung dari kaca lampu udara yang berfungsi sebagai isolasi panas.

Lampu natrium banyak di gunakan untuk penerangan ruang terbuka dan penerangan jalan raya.

Tabung busur api lampu sodium tekanan tinggi berisi sodium dan sejumlah kecil gas argon atau xenon untuk membantu proses pengasutan. Tabung ini terletak di dalam bohlam gas yang sangat keras dan mampu menahan proses reaksi kimia dari sodium yang bertekanan tinggi.

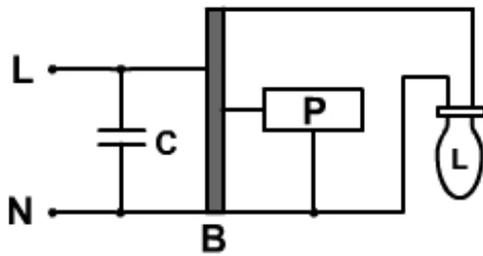
Gambar di atas menunjukkan gambar lampu sodium tekanan tinggi tipe SON dan SON/T. Bila lampu disambung ke sumber listrik, maka penyulut elektronik 2.000 V atau lebih akan mengakibatkan loncatan muatan dalam gas asut. Ionisasi ini akan menjadikan pemanasan sodium. Setelah 5 sampai 7 menit sodium panas ini akan menguap dan lampu menyala dengan terang. Jika tekanan sodium semakin meningkat, cahaya yang dipancarkan akan putih keemasan. Efikasi lampu ini cukup baik, demikian juga kualitas pantulan warnanya, serta usia pemakaian yang panjang. Oleh karena itu, lampu ini banyak digunakan untuk penerangan dikawasan pabrik, lampu penerangan di area parkir, dermaga, mercu suar di lapangan terbang, dll.

Tabel 2.36 Karakteristik Lampu Sodium Tekanan Tinggi

Jenis Lampu	Data Lampu (watt)	fluks Cahaya Lampu (lumen)
SON	250	19.500
	400	36.000
SON/T	250	21.000
	400	38.000

Efikasi	: 100 sampai 120 lumen / watt
Usia Pemakaian SON	: 4.000 jam
Posisi penyalaan SON/T	: 6.000 jam
Posisi Penyalaan	: Bebas
Kualitas pantulan warna	: cukup

Rangkaian dasar untuk mengendalikan lampu sodium tekanan tinggi adalah sebagai berikut:



Keterangan :
 L : Lampu Sodium
 P : Penyulut Elektronik
 B : Balast
 C : Kapasitor Kompensasi

Gambar 2.87 Rangkaian dasar lampu sodium tekanan tinggi

2.9 Kendali Lampu / Beban Lainnya

Penerangan listrik pada suatu bangunan dengan sistem 1 fasa, lampu-lampu listrik yang digunakan dikendalikan oleh saklar. Demikian juga peralatan listrik lainnya seperti pemanas, pendingin udara, pompa air dan lain-lain. Untuk beberapa peralatan listrik seperti TV, radio, setrika listrik, kulkas, komputer dan sebagainya penyambung-annya melalui stop kontak.

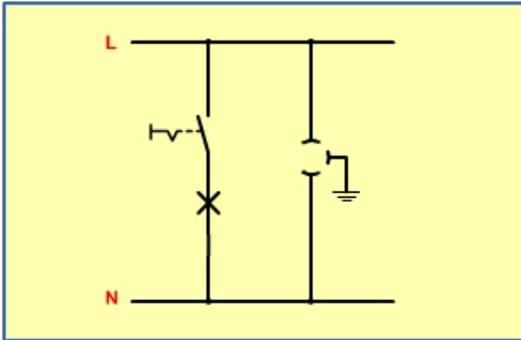
Beberapa saklar yang sering digunakan sebagai kendali peralatan listrik antara lain :

1. Saklar kutub tunggal
2. Saklar kutub ganda
3. Saklar kutub tiga
4. Saklar seri
5. Saklar kelompok
6. Saklar tukar
7. Saklar silang

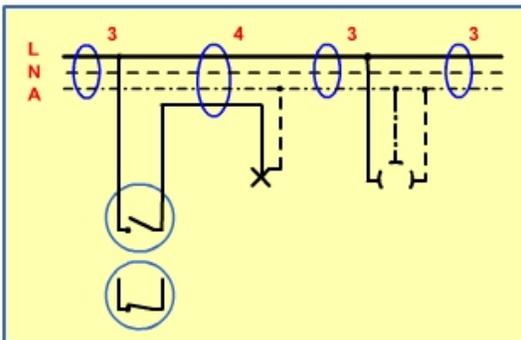
Untuk mempermudah pengertian membaca buku ini, berikut ini ditampilkan tiga macam gambar yaitu :

- a. Gambar rangkaian listrik
- b. Gambar pengawatan
- c. Gambar saluran

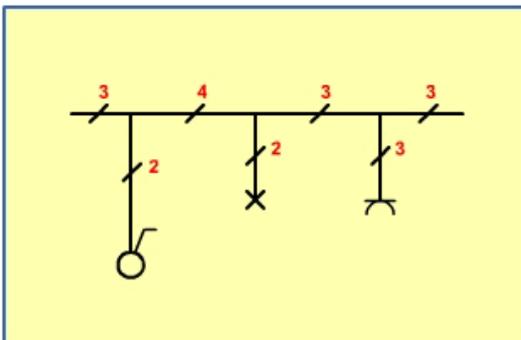
1. Saklar Kutub Tunggal



a. Saklar kutub tunggal



b. Gambar pengawatan saklar kutub tunggal



c. Gambar saluran saklar kutub tunggal

Gambar 2.88 Pemasangan saklar kutub tunggal dan sebuah stop kontak

Gambar disamping menunjukkan instalasi saklar kutub tunggal yang mengendalikan sebuah lampu listrik dan sebuah stop kontak yang menggunakan arde.

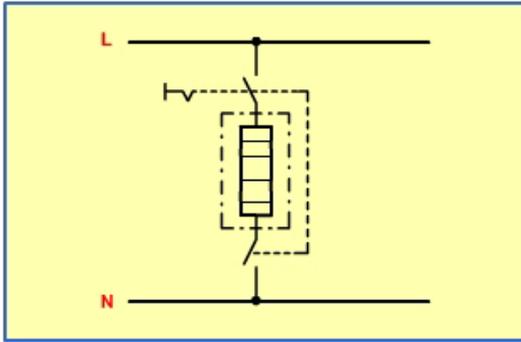
Saluran fasa disambungkan ke ujung saklar, dan ujung saklar lainnya disambungkan ke beban lampu listrik dan selanjutnya disambungkan ke saluran netral.

Saklar kutub tunggal mempunyai 1 tuas / kontak dengan 2 posisi yaitu posisi sambung berarti lampu menyala dan sebaliknya lampu mati jika saklar dalam posisi lepas.

Untuk penyambungan stop kontak satu fasa yang terdiri tiga terminal, masing-masing disambungkan secara langsung pada saluran fasa (L), netral (N) dan arde (A).

Dari gambar b, jumlah kabel yang diperlukan dapat dihitung dan pada gambar c, jumlah kabel dinotasikan dalam angka.

2. Saklar Kutub Ganda



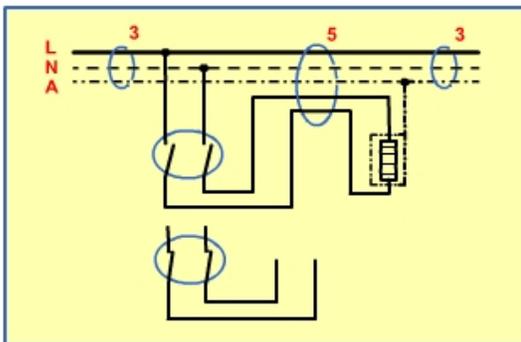
a. Gambar rangkaian listrik saklar kutub ganda

Untuk mengendalikan beban listrik seperti pemanas pada gambar di samping ini menggunakan saklar kutub ganda.

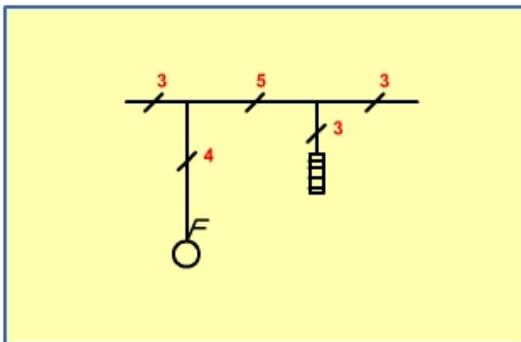
Saklar kutub ganda terdiri dari 4 terminal. Dan beban pemanas listrik terdiri dari 3 terminal.

Pada saklar 2 terminal masuk masing-masing mendapatkan saluran fasa (L) dan saluran netral (N).

Sedangkan 2 terminal lainnya masing-masing disambungkan ke 2 terminal beban pemanas. Satu terminal lainnya pada bodi beban, disambungkan secara langsung ke saluran arde.



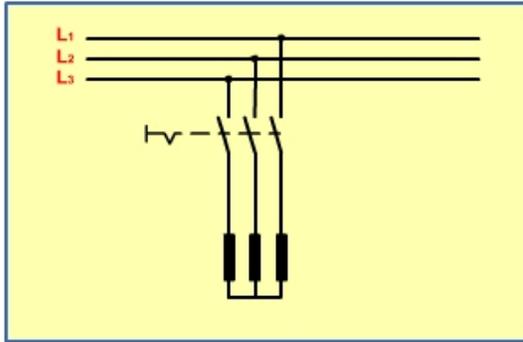
b. Gambar pengawatan saklar kutub ganda



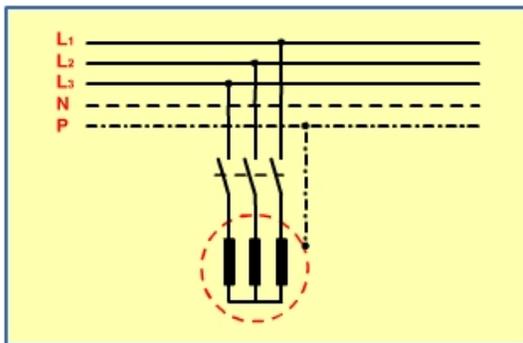
c. Gambar saluran saklar kutub ganda

Gambar 2.89 Rangkaian saklar kutub ganda

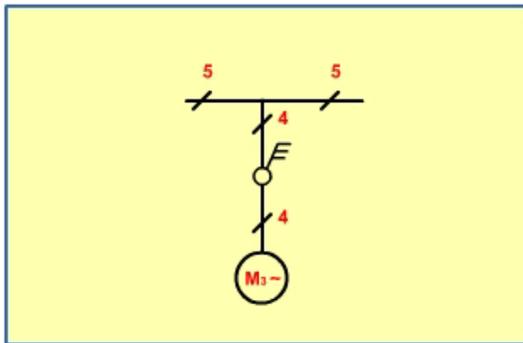
3. Saklar Kutub Tiga



a. Gambar rangkaian listrik saklar kutub tiga



b. Gambar pengawatan saklar kutub tiga



c. Gambar saluran listrik saklar kutub tiga

Gambar 2.90 Rangkaian saklar kutub tiga

Saklar kutub tiga terdiri dari 3 terminal masuk dan 3 terminal keluar. Saklar ini digunakan sebagai kendali beban tiga fasa.

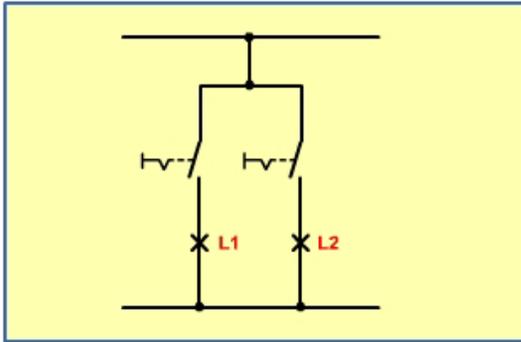
Terminal masuk dihubungkan ke jaringan tiga fasa L1, L2 dan L3, sedangkan saluran keluar disambungkan ke beban tiga fasa misalnya motor tiga fasa daya kecil.

Pada saklar ini terdapat 3 tuas / kontak yang dikopel, dengan dua posisi yaitu posisi lepas dan sambung.

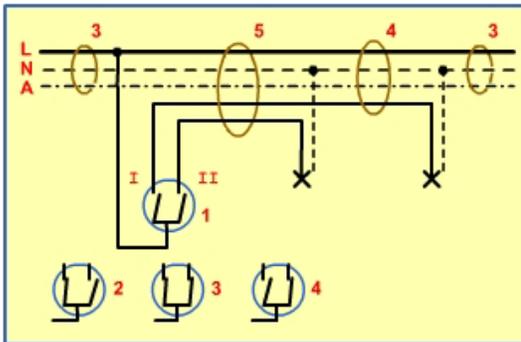
Beban motor tiga fasa yang dikendalikan sebelumnya sudah tersambung hubung Y dan Δ (dalam gambar disamping dihubung Y), sehingga 3 ujung belitan lainnya disambungkan ke terminal saklar kutub tiga.

Bodi dari motor dihubungkan ke arde, sebagai pengaman / proteksi arus bocor.

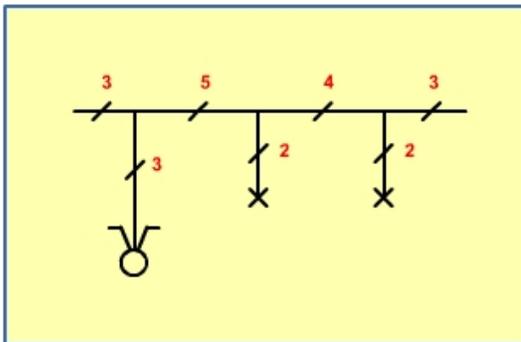
4. Saklar Seri



a. Gambar rangkaian listrik saklar seri



b. Gambar pengawatan saklar seri



c. Gambar saluran saklar seri

Gambar 2.91 Rangkaian Saklar Seri

Saklar seri digunakan untuk mengendalikan dua lampu listrik. Terdiri dari 3 terminal, yaitu 1 terminal masuk yang disambungkan ke saluran fasa (L) dan 2 terminal keluar yang masing-masing disambungkan ke lampu L_1 dan lampu L_2 . Selanjutnya masing-masing ujung lainnya dari masing-masing lampu L_1 dan L_2 disambungkan ke netral (N).

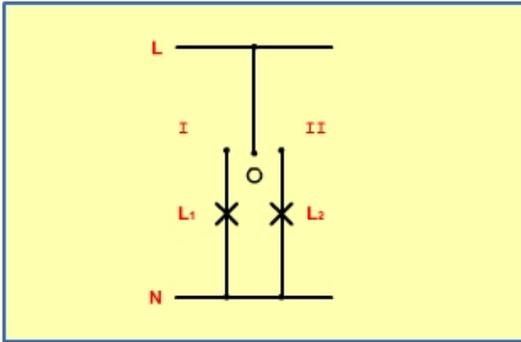
Kondisi kedua lampu L_1 dan L_2 bisa dikendalikan oleh saklar seri seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 2.37 Kondisi Lampu Saklar Seri

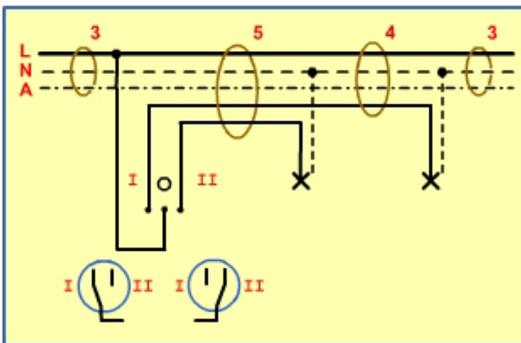
No	Posisi Saklar		Kondisi	
	SI	S II	L_1	L_2
1.	Lepas	Lepas	Mati	Mati
2.	Sambung	Lepas	Nyala	Mati
3.	Sambung	Sambung	Nyala	Nyala
4.	Lepas	Sambung	Mati	Nyala

Lampu seri biasa digunakan pada pengendalian lampu-lampu di ruang tamu dan ruang keluarga, kamar mandi dan WC, teras depan atau samping, ruangan-ruangan yang luas seperti ruang kelas, ruang serbaguna, aula dan sebagainya.

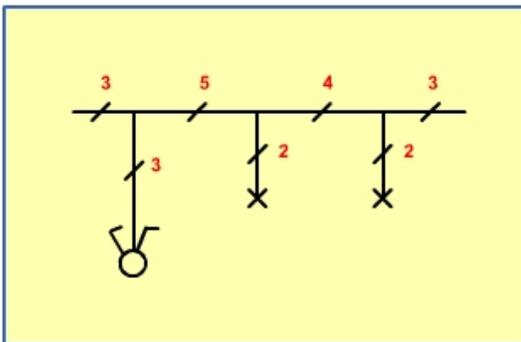
5. Saklar Kelompok



a. Gambar rangkaian listrik saklar kelompok



b. Gambar pengawatan listrik saklar kelompok



c. Gambar saluran listrik saklar kelompok

Gambar 2.92 Pemasangan Saklar kelompok

Saklar kelompok mengendalikan dua lampu listrik secara bergantian. Terdiri dari 3 terminal, yaitu 1 terminal masuk yang disambung ke saluran fasa (L) dan 2 terminal keluar yang masing-masing disambungkan ke lampu L_1 dan L_2 .

Selanjutnya masing-masing ujung lainnya dari masing-masing lampu L_1 dan L_2 disambung ke netral (N).

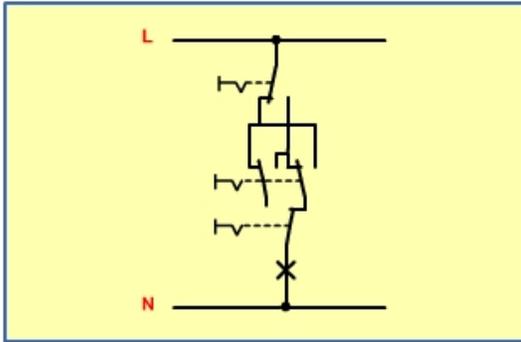
Berbeda dengan saklar seri yang menggunakan 2 tuas / kontak, saklar kelompok ini hanya memiliki 1 tuas / kontak. Jadi tidak ada posisi sambung semua atau lepas semua.

Kondisi kedua lampu L_1 dan L_2 bisa dikendalikan oleh saklar kelompok seperti pada tabel berikut ini :

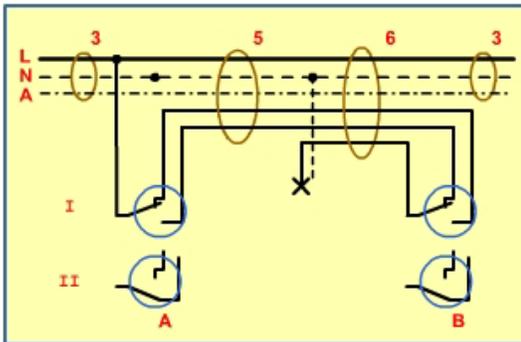
Tabel 2.38
Kondisi Lampu Saklar Kelompok

No	Posisi Saklar		Kondisi	
	SI	S II	L_1	L_2
1.	Lepas	Lepas	Mati	Mati
2.	Sambung	Lepas	Nyala	Mati
3.	Lepas	Sambung	Mati	Nyala

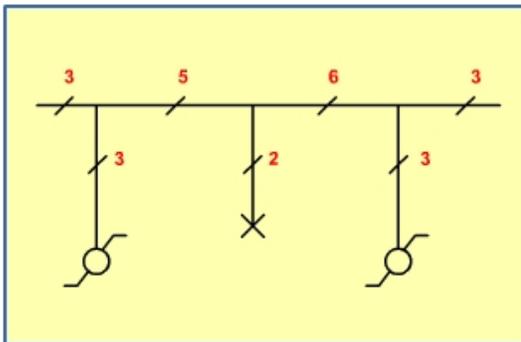
6.1. Saklar Tukar



a. Gambar rangkaian listrik saklar tukar



b. Gambar pengawatan saklar tukar



c. Gambar saluran saklar tukar

Gambar 2.93 Pemasangan Sepasang Saklar Tukar

Sebuah saklar tukar tidak bisa digunakan untuk mengendalikan sebuah lampu, tetapi harus berpasangan artinya harus dengan 2 buah saklar tukar.

Gambar disamping sebuah lampu yang dikendalikan oleh dua saklar tukar dari dua tempat yang berbeda.

Kondisi lampu bisa dikendalikan seperti pada tabel berikut ini :

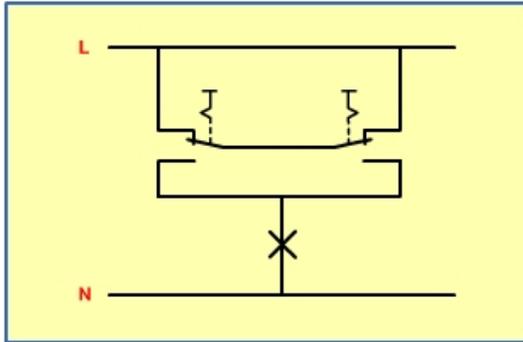
Tabel 2.39
Kondisi Lampu Saklar Tukar I

No	Posisi Saklar		Kondisi L
	A	B	
1.	I	I	Mati
2.	II	I	Nyala
3.	II	II	Mati
4.	I	II	Nyala

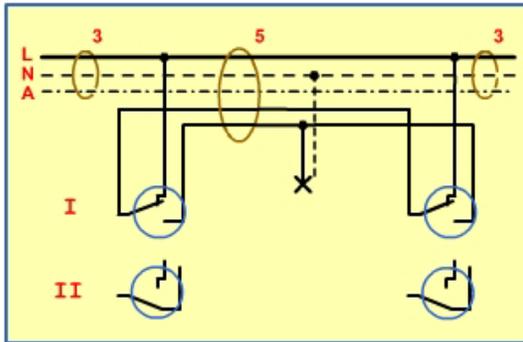
Sepasang saklar tukar biasanya digunakan pada gang / koridor yaitu sebuah saklar tukar pada ujung gang masuk dan lainnya pada ujung gang keluar. Atau juga pada tangga dari lantai 1 ke lantai 2 dan seterusnya, dan juga pada garasi.

Saklar tukar sering disebut sebagai saklar hotel, karena didalam hotel banyak terdapat koridor yang lampu-lampunya dikendalikan dengan saklar tukar.

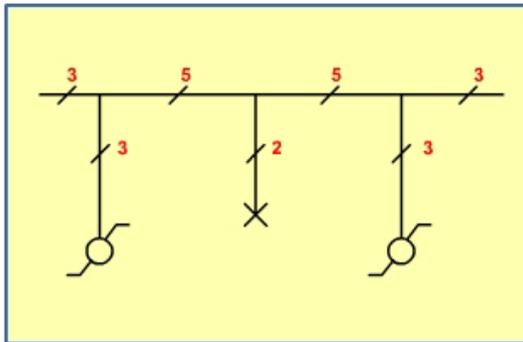
6.2. Saklar Tukar dengan penghematan kabel



a. Gambar rangkaian listriknya



b. Gambar pengawatannya



c. Gambar salurannya

Dengan rangkaian seperti gambar di samping jumlah kabel yang tadinya 6 menjadi 5 kabel.

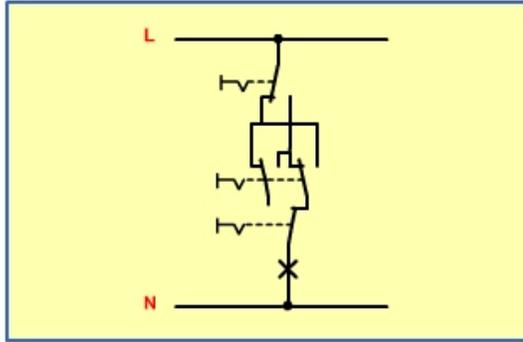
Kondisi lampu bisa dikendalikan seperti tabel berikut :

Tabel 2.40
Kondisi Lampu Saklar Tukar II

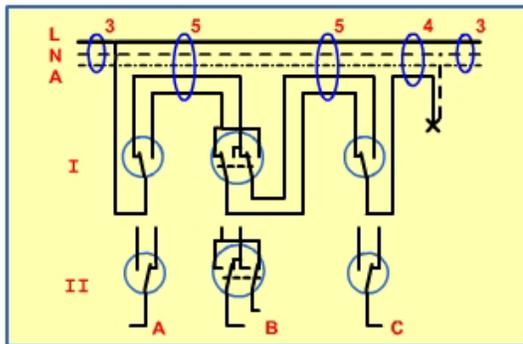
No	Posisi Saklar		Kondisi L
	A	B	
1.	I	I	Mati
2.	II	I	Nyala
3.	II	II	Mati
4.	I	II	Nyala

Gambar 2.94 Pemasangan Sepasang Saklar Tukar dengan Penghantar Kabel

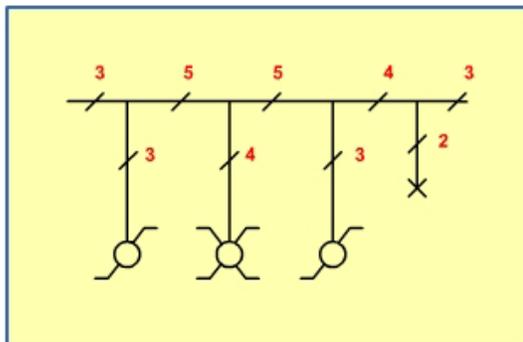
7. Saklar Silang



a. Gambar rangkaian listrik saklar silang



b. Gambar pengawatan saklar silang



c. Gambar saluran saklar silang

Gambar 2.95 Pemasangan Saklar Silang dengan sepasang saklar tukar

Dalam penggunaannya saklar silang selalu dilengkapi dengan sepasang (dua buah) saklar tukar untuk mengendalikan sebuah lampu.

Bila dikehendaki perluasan / penambahan, tempat kendali lampu tinggal menambahkan sejumlah saklar silang saja, yang disambung secara serial diantara saklar-saklar silang dengan ujung awal dan ujung akhir yang merupakan pasangan saklar tukar.

Kondisi lampu bisa dikendalikan seperti pada tabel sebagai berikut :

Tabel 2.41
Kondisi Lampu Saklar Silang

No	Posisi Saklar			Kondisi L
	A	B	C	
1.	I	I	I	Mati
2.	II	I	I	Nyala
3.	II	II	I	Mati
4.	II	II	II	Nyala
5.	I	II	I	Mati
6.	I	II	II	Nyala
7.	II	I	II	Mati
8.	I	I	II	Nyala

Penggunaan saklar-saklar silang dan sepasang saklar tukar ini biasa digunakan untuk mengendalikan lampu dari banyak tempat / posisi, seperti ruang tengah, mesjid dengan kendali lampu pada pintu-pintu depan, samping kiri dan samping kanan.

Pada koridor yang panjang, penerangan lampunya juga sering menggunakan saklar-saklar ini.

Macam-macam Saklar



Gambar 2.96 Macam-macam Saklar Lampu

2.10 Perancangan dan Pemasangan Pipa Pada Instalasi Listrik

Sebelum pemasangan instalasi listrik, terlebih dahulu diperlukan data teknis bangunan / objek yang akan dipasang, misalnya dinding dibuat dari papan kayu / bata merah; batako / asbes atau lainnya. Dan langit-langit berupa plafon atau beton dan sebagainya. Dengan demikian dalam perancangan instalasi dapat ditentukan jenis penghantar yang akan digunakan.

Jika yang digunakan penghantar NYA, maka harus menggunakan pelindung pipa, sedangkan untuk jenis lain misalnya NYM atau NYY tidak diharuskan, tetapi jika menggunakan pipa akan diperoleh bentuk yang lebih baik dan rapi.

Penggunaan pipa pada instalasi listrik dapat dipasang didalam tembok / beton maupun diluar dinding / pada permukaan papan kayu, sehingga terlihat rapi. Pemasangan didalam tembok sangat bermanfaat disamping sebagai pelindung penghantar juga saat dilakukan penggantian penghantar dikemudian hari akan mudah dan efisien.

Pengerjaan pipa ini meliputi memotong, membengkok dan menyambung.

Jenis Pipa Pelindung

Untuk sementara ini jenis pipa yang digunakan pada instalasi listrik ada 3 macam, yaitu :

1. Pipa Union
2. Pipa paralon atau PVC
3. Pipa fleksibel

2.10.1 Pipa Union



Gambar 2.97 Pipa Union

Pipa union adalah pipa dari bahan plat besi yang diproduksi tanpa menggunakan las dan biasanya diberi cat meni berwarna merah. Pipa union dalam pengerjaannya mudah dibengkok dengan alat pembengkok dan mudah dipotong dengan gergaji besi.

Jika lokasi pemasangannya mudah dijangkau tangan, maka harus dihubungkan dengan pentanahan, kecuali bila digunakan untuk menyelubungi kawat pentanahan (arde). Umumnya dipasang pada tempat yang kering, karena untuk menghindari terjadi korosi atau karat.

2.10.2 Pipa Paralon / PVC



Pipa ini dibuat dari bahan paralon / PVC. Jika dibandingkan dengan pipa union, keuntungan pipa PVC adalah lebih ringan, lebih mudah pengerjaannya (dengan pemanasan) dan merupakan bahan isolasi, sehingga tidak akan mengakibatkan hubung singkat antar penghantar. Disamping itu penggunaannya sangat cocok untuk daerah lembab, karena tidak menimbulkan korosi.

Namun demikian, pipa PVC memiliki kelemahan yaitu tidak tahan digunakan pada temperatur kerja diatas 60°C.

Gambar 2.98 Pipa Paralon / PVC

2.10.3 Pipa Fleksibel



Pipa fleksibel dibuat dari potongan logam / PVC pendek yang disambung sedemikian rupa sehingga mudah diatur dan lentur. Pipa ini biasa digunakan sebagai pelindung kabel yang berasal dari dak standar ke APP, atau juga digunakan sebagai pelindung penghantar instalasi tenaga yang menggunakan motor listrik, misalnya mesin press, mesin bubut, mesin skraf, dan lain-lain.

Gambar 2.99 Pipa Fleksibel

2.10.4 Tule / Selubung Pipa



Pipa untuk instalasi listrik (khususnya union) pada bagian ujung pipa terdapat bagian yang tajam akibat bekas pemotongan dari pabrik maupun pada pelaksanaan pekerjaan. Agar tidak merusak kabel maka bagian yang tajam ini harus diratakan/ dihaluskan dan perlu waktu yang cukup lama. Untuk mengantisipasi masalah ini cukup dipasang tule pada bagian ujung pipa yang tajam tadi.

Gambar 2.100 Tule

2.10.5 Klem / Sengkang



Gambar 2.101 Klem

Klem atau sering disebut juga sengkang adalah komponen untuk menahan pipa yang dipasang pada dinding tembok atau dinding kayu atau pada plafon. Klem dibuat dari bahan besi atau PVC dan mempunyai ukuran yang sesuai dengan pipa yang digunakan. Pemasangannya dengan menggunakan sekrup kayu.

2.10.6 Sambungan Pipa (Sock)



Gambar 2.102 Sambungan Pipa

Pada pekerjaan instalasi dengan menggunakan pipa, sering diperlukan sambungan untuk menyesuaikan posisi. Sambungan pipa yang lurus disebut juga sock, dibuat dari bahan pelat atau PVC. Penyambung pipa lurus ini banyak tersedia di pasaran dengan berbagai macam ukuran dan bentuk sesuai dengan ukuran pipanya.

2.10.7 Sambungan Siku



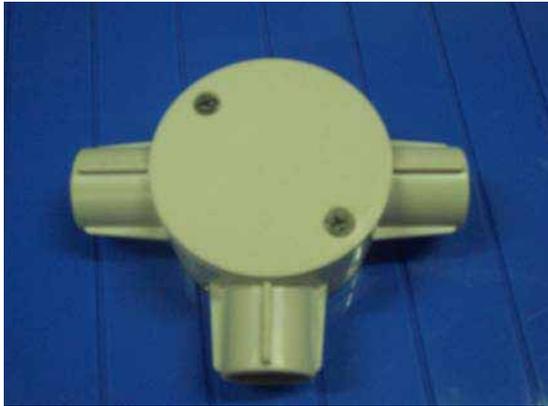
Gambar 2.103 Sambungan Siku

Selain sambungan pipa lurus, kadang kala dalam pekerjaan instalasi diperlukan juga sambungan siku, pada posisi yang berbelok. Penggunaan sambungan siku ini akan memudahkan dan mempercepat pekerjaan, jika dibanding harus melakukan pekerjaan membengkok pipa sendiri, dan hasilnya pun akan lebih baik.

Seperti sambungan pipa lurus, penyambung pipa siku ini terbuat dari bahan pelat maupun PVC. Dipasaran tersedia dengan berbagai macam ukuran sesuai dengan ukuran pipanya. Namun karena kondisi, adakalanya dalam keadaan terpaksa atau

darurat, kita harus membuat lengkungan sendiri dengan cara membengkokkan pipa (seperti gambar disamping).

2.10.8 Kotak Sambung



Gambar 2.104 Kotak Sambung Cabang Tiga

Menurut peraturan, penyambungan kawat tidak boleh dilakukan didalam pipa. Oleh karena itu untuk pemasangan saklar / stop kontak, menyambung kawat atau untuk percabangan saluran diperlukan kotak sambung. Bentuk kotak sambung ada 4 macam, sesuai dengan keperluan sambungan yaitu :

- Kotak sambung cabang satu untuk tempat penyambungan kawat dengan saklar atau stop kontak.
- Kotak sambung cabang dua untuk sambungan lurus
- Kotak sambung cabang tiga untuk sambungan percabangan
- Kotak sambung cabang empat untuk sambungan cross / cabang empat

2.11 Sistem Pentanahan

2.11.1 Pendahuluan

Sistem pentanahan mulai dikenal pada tahun 1900. Sebelumnya sistem-sistem tenaga listrik tidak diketanahkan karena ukurannya masih kecil dan tidak membahayakan. Namun setelah sistem-sistem tenaga listrik berkembang semakin besar dengan tegangan yang semakin tinggi dan jarak jangkauan semakin jauh, baru diperlukan sistem pentanahan. Kalau tidak, hal ini bisa menimbulkan potensi bahaya listrik yang sangat tinggi, baik bagi manusia, peralatan dan sistem pelayanannya sendiri.

Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi/tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan/arus abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik.

Pentanahan tidak terbatas pada sistem tenaga saja, namun mencakup juga sistem peralatan elektronik, seperti telekomunikasi, komputer, kontrol di mana diterapkan komunikasi data secara intensif dan sangat peka terhadap interferensi gelombang elektromagnet dari luar. Pentanahan di sini lebih dititikberatkan pada keterjaminan sinyal dan pemrosesannya.

Oleh karena itu, secara umum, tujuan sistem pentanahan adalah:

1. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah;
2. Menjamin kerja peralatan listrik/elektronik;
3. Mencegah kerusakan peralatan listrik/elektronik;
4. Menyalurkan energi serangan petir ke tanah;
5. Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya flashover ketika terjadi transient;
6. Mengalihkan energi RF liar dari peralatan-peralatan seperti: audio, video, kontrol, dan komputer.

Sistem pentanahan yang dibahas pada bagian ini adalah sistem pentanahan titik netral sistem dan pentanahan peralatan. Di samping itu, juga akan dibahas elektroda pentanahan serta tahanan pentanahannya.

2.11.2 Pentanahan Netral Sistem

Pentanahan titik netral dari sistem tenaga merupakan suatu keharusan pada saat ini, karena sistem sudah demikian besar dengan jangkauan yang luas dan tegangan yang tinggi. Pentanahan titik netral ini dilakukan pada alternator pembangkit listrik dan transformator daya pada gardu-gardu induk dan gardu-gardu distribusi.

Ada bermacam-macam pentanahan sistem. Antara satu dan lainnya mempunyai kelebihan dan kekurangan masing. Bahasan berikut ini tidak dimaksudkan membahas kekurangan dan kelebihan metoda tersebut, namun lebih menitikberatkan pada macam-macam pentanahan titik netral yang umum digunakan. Jenis pentanahan sistem akan menentukan skema proteksinya, oleh karena itu, jenis pentanahan ini sangat penting diketahui.

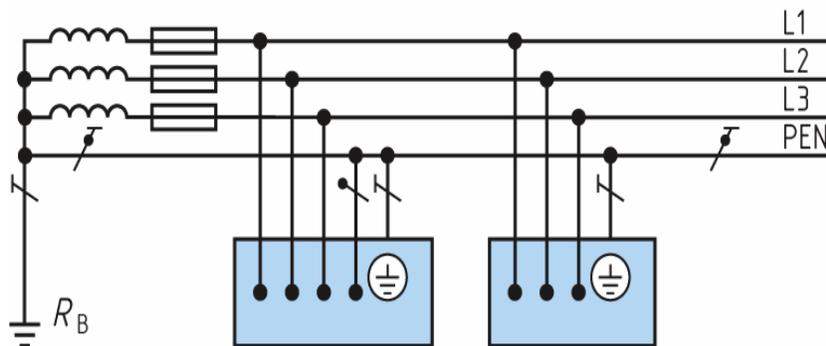
Ada lima macam skema pentanahan netral sistem daya, yaitu:

1. TN (*Terra Neutral*) System, terdiri dari 3 jenis skema, yaitu:
 - a. TN-C,
 - b. TN-C-S, dan
 - c. TN-S
2. TT (*Terra Terra*)
3. IT (*Impedance Terra*)

(Terra = bhs Perancis yang berarti bumi atau tanah)

▪ **TN-C (*Terra Neutral-Combined*): Saluran Tanah dan Netral-Disatukan**

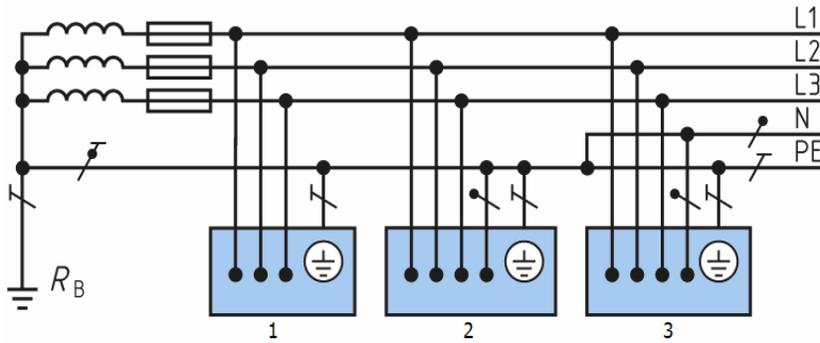
Pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman disatukan pada sistem secara keseluruhan. Semua bagian sistem mempunyai saluran PEN yang merupakan kombinasi antara saluran N dan PE. Disini seluruh bagian sistem mempunyai saluran PEN yang sama.



Gambar 2.105 Saluran Tanah dan Netral disatukan (TN-C)

▪ **TN-C-S (*Terra Neutral-Combined-Separated*): Saluran Tanah dan Netral-disatukan dan dipisah**

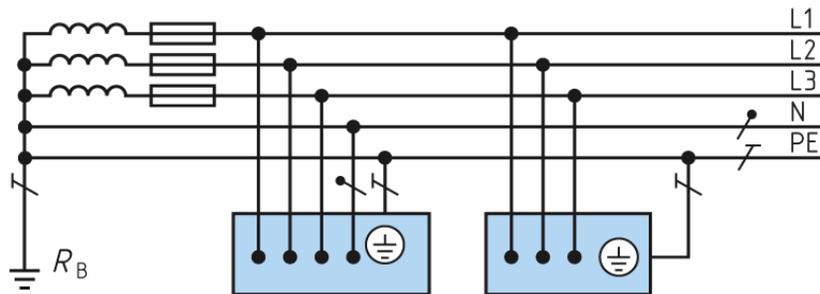
Pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman dijadikan menjadi satu saluran pada sebagian sistem dan terpisah pada sebagian sistem yang lain. Di sini terlihat bahwa bagian sistem 1 dan 2 mempunyai satu hantaran PEN (*combined*). Sedangkan pada bagian sistem 3 menggunakan dua hantaran, N dan PE secara terpisah (*separated*).



Gambar 2.106 Saluran Tanah dan Netral disatukan pada sebagian sistem (TN-C-S)

▪ **TN-S (Terra Neutral-Separated): Saluran Tanah dan Netral-dipisah**

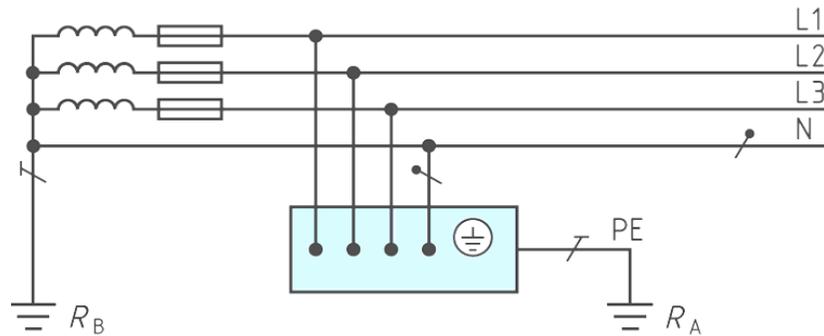
Pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman terdapat pada sistem secara keseluruhan. Jadi semua sistem mempunyai dua saluran N dan PE secara tersendiri (*separated*).



Gambar 2.107 Saluran Tanah dan Netral dipisah (TN-S)

▪ **TT (Terra Terra) system: Saluran Tanah dan Tanah**

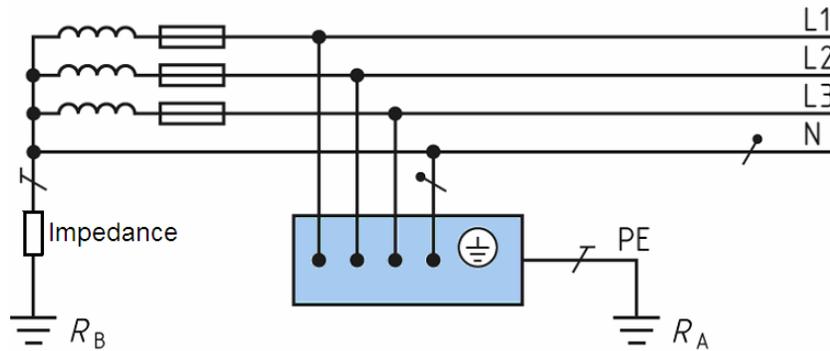
Sistem yang titik netralnya disambung langsung ke tanah, namun bagian-bagian instalasi yang konduktif disambungkan ke elektroda pentanahan yang berbeda (berdiri sendiri). Dari gambar di bawah ini terlihat bahwa pentanahan peralatan dilakukan melalui sistem pentanahan yang berbeda dengan pentanahan titik netral.



Gambar 2.108 Saluran Tanah Sistem dan Saluran Bagian Sistem Terpisah (TT)

▪ **IT (Impedance Terra) System: Saluran Tanah melalui Impedansi**

Sistem rangkaian tidak mempunyai hubungan langsung ke tanah namun melalui suatu impedansi, sedangkan bagian konduktif instalasi dihubungkan langsung ke elektroda pentanahan secara terpisah. Sistem ini juga disebut sistem pentanahan impedansi. Ada beberapa jenis sambungan titik netral secara tidak langsung ini, yaitu melalui reaktansi, tahanan dan kumparan petersen. Antara ketiga jenis media sambungan ini mempunyai kelebihan dan kekurangan. Namun, secara teknis jenis sambungan kumparan petersen yang mempunyai kinerja terbaik. Permasalahannya adalah harganya yang mahal.



Gambar 2.109 Saluran Tanah Melalui Impedansi (IT)

2.11.3 Pentanahan Peralatan

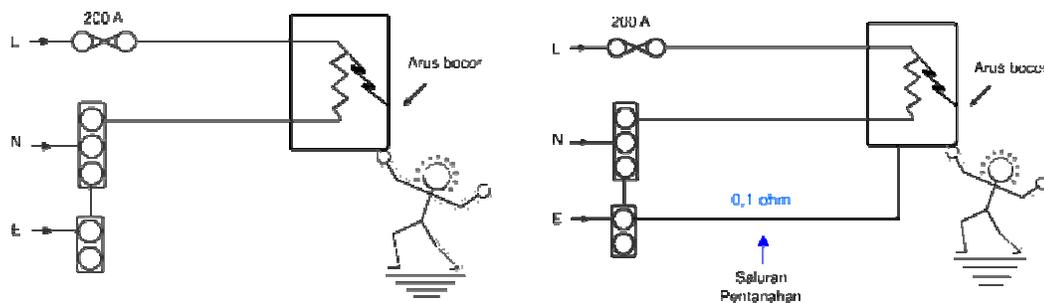
Pentanahan peralatan sistem pentanahan netral pengaman (PNP) adalah tindakan pengamanan dengan cara menghubungkan badan peralatan / instalasi yang diproteksi dengan hantaran netral yang ditanahkan sedemikian rupa sehingga apabila terjadi kegagalan isolasi tidak terjadi tegangan sentuh yang tinggi sampai bekerjanya alat pengaman arus lebih. Pentanahan ini berbeda dengan pentanahan sistem seperti yang telah dibahas pada bagian sebelumnya. Yang dimaksud bagian

dari peralatan ini adalah bagian-bagian mesin yang secara normal tidak dilalui arus listrik namun dalam kondisi abnormal dimungkinkan dilalui arus listrik. Sebagai contoh adalah bagian-bagian mesin atau alat yang terbuat dari logam (penghantar listrik), seperti kerangka dan rumah mesin listrik, dan panel listrik.

Selain **tegangan sentuh tidak langsung** ada dua potensi bahaya sengatan listrik yang dapat diamankan melalui pentanahan ini, yaitu **tegangan langkah** dan **tegangan eksposur**.

▪ Tegangan Sentuh Tidak Langsung

Tegangan sentuh tidak langsung adalah tegangan pada bagian alat/instalasi yang secara normal tidak dilalui arus namun akibat kegagalan isolasi pada peralatan/instalasi, pada bagian-bagian tersebut mempunyai tegangan terhadap tanah (Gambar 2.100). Bila tidak ada pentanahan maka tegangan sentuh tersebut sama tingginya dengan tegangan kerja alat/instalasi. Hal ini, sudah tentu, membahayakan manusia yang mengoperasikannya atau yang ada di sekitar tempat itu. Selama alat pengaman arus lebih tidak bekerja memutuskan rangkaian, keadaan ini akan tetap bertahan. Namun dengan adanya pentanahan secara baik, kemungkinan tegangan sentuh selama terjadi gangguan dibatasi pada tingkat aman (maksimum 50 V untuk ac).



Gambar 2.110 Tegangan sentuh tidak langsung

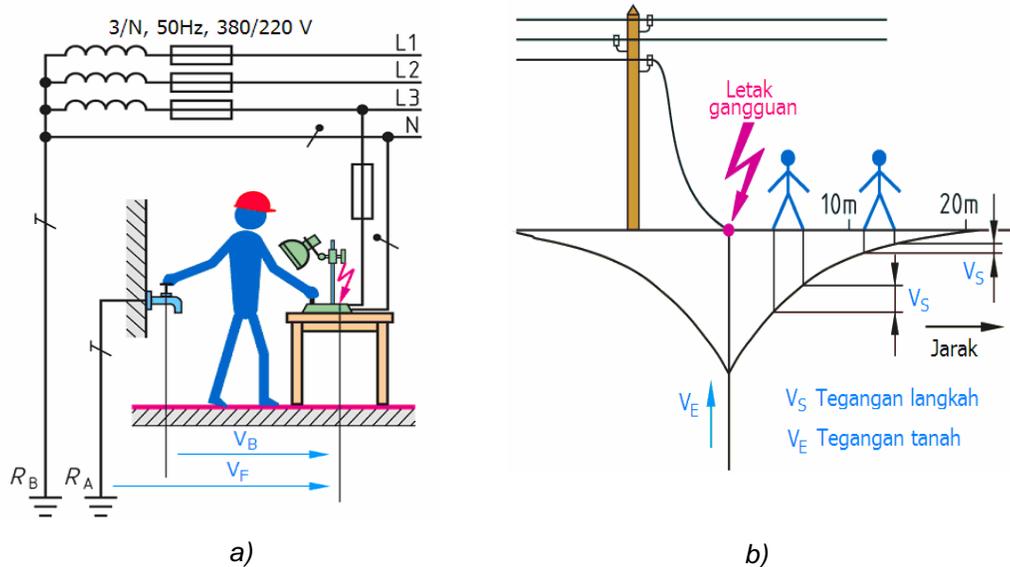
Dalam gambar ini terlihat jelas perbedaan antara sebelum dan setelah ada pentanahan pada alat yang terbungkus dengan bahan yang terbuat dari logam (penghantar). Pada keadaan sebelum ditanahkan, bila terjadi arus gangguan (arus bocor), maka selungkup alat mempunyai tegangan terhadap tanah sama dengan tegangan sumber (tegangan antara L-N). Tegangan ini sudah tentu sangat membahayakan operator atau orang yang menyentuh selungkup alat tersebut dan pengaman arus beban lebih tidak bekerja memutuskan aliran bila tidak melampaui batas kerjanya. Sehingga kalau pun terjadi sengatan pada manusia alat pengaman ini masih belum akan bekerja karena arus listrik yang mengalir ke tubuh tidak cukup besar untuk bekerjanya pengaman akibat dari adanya tahanan tubuh yang relatif besar. Sedangkan, pada keadaan setelah dilakukan pentanahan, maka bila terjadi arus gangguan, karena tahanan pentanahan sangat kecil (persyaratan), maka akan mengalir arus gangguan

yang sangat besar sehingga membuat bekerjanya pengaman arus lebih, yaitu dengan memutuskan peralatan dari sumber listrik. Dalam waktu terjadinya arus gangguan ini, dan dengan tahanan pentanahannya sangat rendah, tegangan sentuh dapat dibatasi pada batas amannya.

▪ Tegangan langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang terjadi akibat aliran arus gangguan yang melewati tanah. Arus gangguan ini relatif besar dan bila mengalir dari tempat terjadinya gangguan kembali ke sumber (titik netral) melalui tanah yang mempunyai tahanan relatif besar maka tegangan di permukaan tanah akan menjadi tinggi. Gambar 2.101 mengilustrasikan tegangan ini.

Bila kita perhatikan Gambar 2.101 (a), satu tangan memegang dudukan lampu dan tangan satunya lagi memegang kran air. Antara kran air dan dudukan lampu dalam keadaan normal tidak bertegangan. Tetapi ketika terjadi gangguan ke tanah, arus mengalir kembali ke sumber melalui pentanahan R_A dan R_B . Adanya aliran arus gangguan ini menimbulkan tegangan antara letak gangguan dan R_A sebesar V_F dan antara kran air dan dudukan lampu sebesar V_B . Besar kedua tegangan ini ditentukan oleh besar arus gangguan dan tahanan pentanahannya. Semakin besar arus dan tahanan akan semakin besar pula tegangan sentuhnya. Besar tegangan ini harus dibatasi dalam batas aman begitu juga lama waktu terjadinya tegangan harus dibatasi sependek mungkin. Lama waktu terjadinya tegangan ini dibatasi oleh waktu kerja alat pengaman arus lebih.



Sumber :

Gambar 2.111 Tegangan sentuh dan tegangan langkah

International Electrotechnical Commission (IEC) merekomendasikan besar dan lama tegangan sentuh maksimum yang diperbolehkan seperti dalam tabel berikut ini.

Tabel 2.42 Besar tegangan sentuh dan waktu pemutusan maksimum

Tegangan Sentuh RMS Maksimum (V)	Waktu Pemutusan Maksimum (Detik)
< 50	~
50	5,0
75	1,0
90	0,5
110	0,2
150	0,1
220	0,05
280	0,03

Berdasarkan tabel ini dapat dikatakan bahwa semakin tinggi tegangan sentuh semakin pendek waktu pemutusan yang dipersyaratkan bagi alat pengaman (proteksi)nya. Untuk tegangan sentuh kurang dari 50 V AC tidak ada persyaratan waktu pemutusannya, yang berarti bahwa tegangan itu diperkenankan sebagai tegangan permanen.

Untuk dapat memenuhi persyaratan tersebut maka tahanan pentanahan sebesar:

$$R_B < \frac{50}{kI_n} \quad (\Omega)$$

di mana:

I_n = arus nominal alat pengaman arus lebih (A)

k = bilangan yang tergantung pada karakteristik alat pengaman

= 2,5 – 5 untuk pengaman lebur (sekering)

= 1,25 – 3,5 untuk pengaman jenis lainnya

Bila terjadi gangguan tanah seperti yang digambarkan pada Gambar 2.101 (b), di mana ada salah satu saluran fasa putus dan menyentuh tanah, maka akan terjadi tegangan eksposur dengan gradien seperti ditunjukkan oleh gambar. Tegangan ini ditimbulkan oleh adanya arus gangguan tanah yang besar yang mengalir melalui tanah untuk kembali lagi ke sumber. Gradien tegangan semakin menurun dengan semakin jauhnya jarak dari letak gangguan. Tegangan ini sangat membahayakan orang yang ada di atas tanah/lantai sekitar terjadinya gangguan tersebut walaupun yang bersangkutan tidak menyentuh bagian-bagian mesin. Tegangan ini adalah tegangan antar kaki dan karena itulah kemudian disebut tegangan langkah. Tegangan langkah harus dibatasi

serendah mungkin dan dalam waktu yang sependek-pendeknya. Besar tegangan langkah diminimalisir dengan sistem pentanahan sedangkan waktu pemutusannya dilakukan dengan peralatan pengaman.

▪ Tegangan Eksposur

Ketika terjadi gangguan tanah dengan arus yang besar akan memungkinkan timbulnya beda potensial antara bagian-bagian yang dilalui arus dan antara bagian-bagian yang tidak dilalui arus terhadap tanah yang disebut tegangan eksposur. Tegangan ini bisa menimbulkan busur tanah (*grounding arc*) yang memungkinkan terjadinya kebakaran atau ledakan. Arus gangguan tanah di atas 5 A cenderung tidak dapat padam sendiri sehingga menimbulkan potensi kebakaran dan ledakan. Dengan sistem pentanahan ini, membuat potensial semua bagian struktur, peralatan dan permukaan tanah menjadi sama (*uniform*) sehingga mencegah terjadinya loncatan listrik dari bagian peralatan ke tanah. Yang tidak kalah pentingnya adalah ketika terjadi gangguan tanah, tegangan fasa yang mengalami gangguan akan menurun. Penurunan tegangan ini sangat mengganggu kinerja peralatan yang sedang dioperasikan. Kejadian ini pula bisa mengganggu kerja paralel generator-generator sehingga secara keseluruhan akan mengganggu kinerja sistem tenaga.

Rural Electrification Administration (REA), AS, merekomendasi tegangan langkah dan waktu pemutusan maksimum yang diperbolehkan seperti tabel berikut ini.

Tabel 2.43
Tegangan Langkah dan Waktu Pemutusan Gangguan Maksimum yang Diizinkan

Lama Gangguan t (detik)	Tegangan Langkah yang Diizinkan (V)
0,1	7.000
0,2	4.950
0,3	4.040
0,4	3.500
0,5	3.140
1,0	2.216
2,0	1.560
3,0	1.280

Jadi secara singkat, pentanahan peralatan ini dimaksudkan untuk :

- mengamankan manusia dari sengatan listrik baik dari tegangan sentuh maupun tegangan langkah;
- mencegah timbulnya kebakaran atau ledakan pada bangunan akibat busur api ketika terjadi gangguan tanah;
- memperbaiki kinerja sistem.

2.11.4 Elektroda Pentanahan dan Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan harus sekecil mungkin untuk menghindari bahaya-bahaya yang ditimbulkan oleh adanya arus gangguan tanah. Hantaran netral harus diketanahkan di dekat sumber listrik atau transformator, pada saluran udara setiap 200 m dan di setiap konsumen. Tahanan pentanahan satu elektroda di dekat sumber listrik, transformator atau jaringan saluran udara dengan jarak 200 m maksimum adalah 10 Ohm dan tahanan pentanahan dalam suatu sistem tidak boleh lebih dari 5 Ohm.

Seperti yang telah disampaikan di atas bahwa tahanan pentanahan diharapkan bisa sekecil mungkin. Namun dalam prakteknya tidaklah selalu mudah untuk mendapatkannya karena banyak faktor yang mempengaruhi tahanan pentanahan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar tahanan pentanahan adalah:

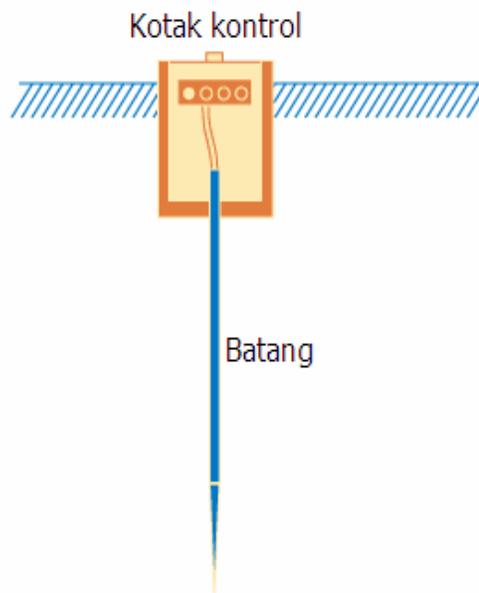
- **Bentuk elektroda.** Ada bermacam-macam bentuk elektroda yang banyak digunakan, seperti jenis batang, pita dan pelat.
- **Jenis bahan dan ukuran elektroda.** Sebagai konsekwensi peletakannya di dalam tanah, maka elektroda dipilih dari bahan-bahan tertentu yang memiliki konduktivitas sangat baik dan tahan terhadap sifat-sifat yang merusak dari tanah, seperti korosi. Ukuran elektroda dipilih yang mempunyai kontak paling efektif dengan tanah.
- **Jumlah/konfigurasi elektroda.** Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang dikehendaki dan bila tidak cukup dengan satu elektroda, bisa digunakan lebih banyak elektroda dengan bermacam-macam konfigurasi pemancangannya di dalam tanah;
- **Kedalaman pemancangan/penanaman di dalam tanah.** Pemancangan ini tergantung dari jenis dan sifat-sifat tanah. Ada yang lebih efektif ditanam secara dalam, namun ada pula yang cukup ditanam secara dangkal;
- **Faktor-faktor alam.** **Jenis tanah:** tanah gembur, berpasir, berbatu, dan lain-lain; **moisture tanah:** semakin tinggi kelembaban atau kandungan air dalam tanah akan memperrendah tahanan jenis tanah; **kandungan mineral tanah:** air tanpa kandungan garam adalah isolator yang baik dan semakin tinggi kandungan garam akan memperrendah tahanan jenis tanah, namun meningkatkan korosi; dan **suhu tanah:** suhu akan berpengaruh bila mencapai suhu beku dan di bawahnya. Untuk wilayah tropis seperti Indonesia tidak ada masalah dengan suhu karena suhu tanah ada di atas titik beku.

2.11.5 Jenis-Jenis Elektroda Pentanahan

Pada prinsipnya jenis elektroda dipilih yang mempuntai kontak sangat baik terhadap tanah. Berikut ini akan dibahas jenis-jenis elektroda pentanahan dan rumus-rumus perhitungan tahanan pentanahannya.

▪ Elektroda Batang (Rod)

Elektroda batang ialah elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda ini banyak digunakan di gardu induk-gardu induk. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya, yaitu tinggal memancangkannya ke dalam tanah. Di samping itu, elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas.



Contoh rumus tahanan pentanahan untuk elektroda Batang –Tunggal:

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left[\ln\left(\frac{4L_R}{A_R}\right) - 1 \right]$$

di mana:

R_G = Tahanan pentanahan (Ohm)

R_R = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

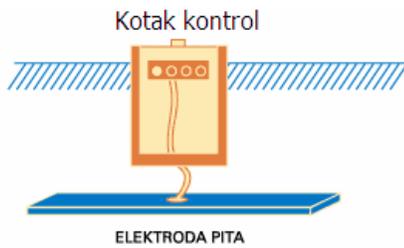
L_R = Panjang elektroda (meter)

A_R = Diameter elektroda (meter)

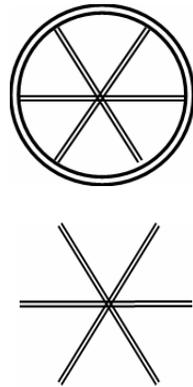
Gambar 2.112 Elektroda Batang

▪ Elektroda Pita

Elektroda pita ialah elektroda yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Kalau pada elektroda jenis batang, pada umumnya ditanam secara dalam. Pemasangan ini akan bermasalah apabila mendapati lapisan-lapisan tanah yang berbatu, disamping sulit pemancangannya, untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah juga bermasalah. Ternyata sebagai pengganti pemancangan secara vertikal ke dalam tanah, dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar (horisontal) dan dangkal.



Di samping kesederhanaannya itu, ternyata tahanan pentanahan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektrodanya, seperti dalam bentuk melingkar, radial atau kombinasi antar keduanya.



Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan:

$$R_G = R_W = \frac{\rho}{\pi L_W} \left[\ln \left(\frac{2L_W}{\sqrt{d_W Z_W}} \right) + \frac{1,4L_W}{\sqrt{A_W}} - 5,6 \right]$$

di mana:

R_W = Tahanan dengan kisi-kisi (grid) kawat (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

L_W = Panjang total grid kawat (m)

d_W = diameter kawat (m)

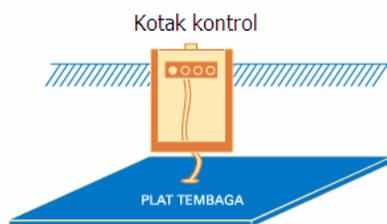
Z_W = kedalamam penanaman (m)

A_W = luasan yang dicakup oleh grid (m²)

Gambar 2.113 Elektroda pita dalam beberapa konfigurasi

▪ Elektroda Pelat

Elektroda pelat ialah elektroda dari bahan pelat logam (utuh atau berlubang) atau dari kawat kasa. Pada umumnya elektroda ini ditanam dalam. Elektroda ini digunakan bila diinginkan tahanan pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda yang lain.



Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan elektroda pelat tunggal:

$$R_G = R_P = \frac{\rho}{2\pi L_P} \left[\ln \left(\frac{8W_P}{0,5W_P + T_P} \right) - 1 \right]$$

di mana:

R_P = Tahanan pentanahan pelat (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

L_P = Panjang pelat (m)

W_P = Lebar pelat (m)

T_P = Tebal pelat (m)

Gambar 2.114 Elektroda Pelat

2.11.6 Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah sangat menentukan tahanan pentanahan dari elektroda-elektroda pentanahan. Tahanan jenis tanah diberikan dalam satuan Ohm-meter. Dalam bahasan di sini menggunakan satuan Ohm-meter, yang merepresentasikan tahanan tanah yang diukur dari tanah yang berbentuk kubus yang bersisi 1 meter.

Yang menentukan tahanan jenis tanah ini tidak hanya tergantung pada jenis tanah saja melainkan dipengaruhi oleh kandungan moister, kandungan mineral yang dimiliki dan suhu (suhu tidak berpengaruh bila di atas titik beku air). Oleh karena itu, tahanan jenis tanah bisa berbeda-beda dari satu tempat dengan tempat yang lain tergantung dari sifat-sifat yang dimilikinya. Sebagai pedoman kasar, tabel berikut ini berisikan tahanan jenis tanah yang ada di Indonesia.

Tabel 2.44 Tahanan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tanah rawa	Tanah liat dan tanah ladang	Pasir basah	Kerikil basah	Pasir dan kerikil kering	Tanah berbatu
Tahan jenis (Ohm-meter)	30	100	200	500	1000	3000

Pengetahuan ini sangat penting khususnya bagi para perancang sistem pentanahan. Sebelum melakukan tindakan lain, yang pertama untuk diketahui terlebih dahulu adalah sifat-sifat tanah di mana akan dipasang elektroda pentanahan untuk mengetahui tahanan jenis pentanahan. Apabila perlu dilakukan pengukuran tahanan tanah. Namun perlu diketahui bahwa sifat-sifat tanah bisa jadi berubah-ubah antara musim yang satu dan musim yang lain. Hal ini harus betul-betul dipertimbangkan dalam perancangan sistem pentanahan. Bila terjadi hal semacam ini, maka yang bisa digunakan sebagai patokan adalah kondisi kapan tahanan jenis pentanahan yang tertinggi. Ini sebagai antisipasi agar tahanan pentanahan tetap memenuhi syarat pada musim kapan tahanan jenis pentanahan tinggi, misalnya ketika musim kemarau.

2.11.7 Tahanan Pentanahan Berdasarkan Jenis dan Ukuran Elektroda

Tabel berikut ini dapat digunakan sebagai acuan kasar harga tahanan pentanahan pada tanah dengan tahanan jenis tanah tipikal berdasarkan jenis dan ukuran elektroda

Tabel 2.45 Tahanan pentanahan pada jenis tanah dengan tahanan jenis $\rho_1=100$ Ohm-meter

Jenis elektroda	Pita atau hantaran pilin				Batang atau pipa				Pelat vertikal 1 m di bawah permukaan tanah dlm m ²	
	Panjang (m)				Panjang (m)					
	10	25	50	100	1	2	3	4	0,5 x 1	1 x 1
Tahanan pentanahan	20	10	5	3	70	40	30	20	35	25

Untuk tahanan jenis tanah yang lain, nilai tahanan pentanahan adalah nilai pentanahan dalam tabel dikalikan dengan faktor:

$$\frac{\rho}{\rho_1} = \frac{\rho}{100}$$

2.11.8 Luas Penampang Elektroda Pentanahan

Ukuran elektroda pentanahan akan menentukan besar tahanan pentanahan. Berikut ini adalah tabel yang memuat ukuran-ukuran elektroda pentanahan yang umum digunakan dalam sistem pentanahan. Tabel ini dapat digunakan sebagai petunjuk tentang pemilihan jenis, bahan dan luas penampang elektroda pentanahan.

Tabel 2.46 Luas Penampang Minimum Elektroda Pentanahan

Jenis Elektroda	Bahan		
	Baja Berlapis Seng	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
Elektroda Pita	- Pita baja 100 mm ² , tebal 3 mm, - Hantaran pilin 95 mm ²	50 mm ²	Pita tembaga 50 mm ² , tebal 2 mm Hantaran pilin, 35 mm ²
Elektroda Batang	Pipa baja 1" Baja profil L 65x65x7, U 6 ½ T6, X 50x3	Baja Φ 15 mm dilapisi tembaga 2,5 mm	

Jenis Elektroda	Bahan		
	Baja Berlapis Seng	Baja Berlapis Tembaga	Tembaga
Elektroda Pelat	Pelat besi tebal 3 mm, luas 0,5 – 1 m ²		Pelat tembaga tebal 2 mm, luas 0,5 – 1 m ²

2.11.9 Luas Penampang Hantaran Pengaman

Efektivitas sistem pentanahan tidak hanya ditentukan oleh elektroda pentanahan, namun juga oleh hantaran pentanahan atau hantaran pengaman. Hantaran pengaman ini harus diusahakan mempunyai tahanan yang sekecil-kecilnya dan disesuaikan dengan komponen instalasi lain seperti pengaman arus lebih dan hantaran fasanya. Alat pengaman arus lebih dan ukuran hantaran fasa adalah sepaket karena alat pengaman tersebut juga berfungsi sebagai pengaman hantaran. Oleh karena itu, dalam penentuan ukuran hantaran pengaman dapat dilakukan berdasarkan ukuran hantaran fasanya. Kondisi hantaran mempunyai konsekwensi terhadap dampak yang mungkin terjadi. Hantaran berisolasi berinti satu mempunyai kondisi yang berbeda dengan yang berinti banyak, begitu juga hantaran telanjang yang dilindungi dan yang tidak dilindungi juga mempunyai konsekwensi yang berbeda. Pada tabel berikut ini memberikan petunjuk tentang luas penampang minimum dari beberapa jenis kondisi hantaran pengaman.

Tabel 2.47
Luas Penampang Minimum Hantaran Pengaman

Hantaran Fasa	Hantaran Pengaman Berisolasi		Hantaran Pengaman Cu Telanjang	
	Kabel Inti 1	Kabel Tanah Berinti 4	Dilindungi	Tanpa Perlindungan
0,5	0,5	....	....	....
0,75	0,75	....	....	....
1	1	....	....	....
1,5	1,5	1,5	1,5	4
2,5	2,5	2,5	1,5	4
4	4	4	4	4
6	6	6	4	4
10	10	10	6	6
16	16	16	10	10
25	16	16	16	16
35	16	16	16	16
50	25	25	25	25

Hantaran Fasa	Hantaran Pengaman Berisolasi		Hantaran Pengaman Cu Telanjang	
	Kabel Inti 1	Kabel Tanah Berinti 4	Dilindungi	Tanpa Perlindungan
70	35	35	35	35
95	50	50	50	50
120	70	70	50	50
150	70	70	50	50
185	95	95	50	50
240	....	120	50	50
300	....	150	50	50
400	....	185	50	50

2.12 Pengujian Tahanan Pentanahan

Seperti yang telah dibahas pada bagian sistem pentanahan, betapa penting sistem pentanahan baik dalam sistem tenaga listrik ac maupun dalam pentanahan peralatan untuk menghindari sengatan listrik bagi manusia, rusaknya peralatan dan terganggunya pelayanan sistem akibat gangguan tanah. Untuk menjamin sistem pentanahan memenuhi persyaratan perlu dilakukan pengujian. Pengujian ini sebenarnya adalah pengukuran tahanan elektroda pentanahan yang dilakukan setelah dilakukan pemasangan elektroda atau setelah perbaikan atau secara periodik setiap tahun sekali. Hal ini harus dilakukan untuk memastikan tahanan pentanahan yang ada karena bekerjanya sistem pengamanan arus lebih akan ditentukan oleh tahanan pentanahan ini.

Pada saat ini telah banyak beredar di pasaran alat ukur tahanan pentanahan yang biasa disebut *Earth Tester* atau *Ground Tester*. Dari yang untuk beberapa fungsi sampai dengan yang banyak fungsi dan kompleks. Penunjukkan alat ukur ini ada yang analog ada pula yang digital dan dengan cara pengoperasian yang mudah serta aman. Untuk lingkungan kerja yang cukup luas, sangat disarankan untuk memiliki alat semacam ini.

Bahasan dalam bagian ini menjelaskan tentang prinsip-prinsip pengujian pengukuran tahanan pentanahan, teknik pengukuran yang presisi baik untuk elektroda tunggal maupun banyak.

2.12.1 Pengukuran Tahanan Pentanahan (Earth Tester)

Ada berbagai macam instrument pengukur tanah pentanahan, salah satu contohnya adalah *Earth Hi Tester*.

Pada instrument cara pengukuran ada 2 macam yaitu :

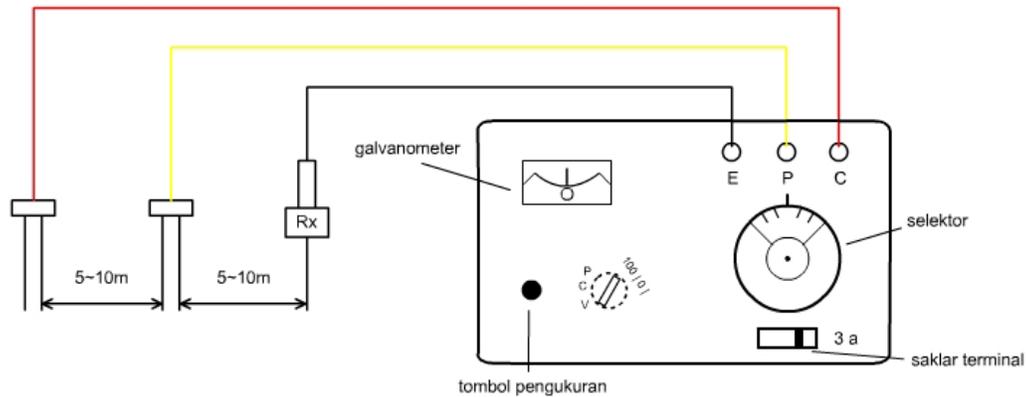
- Pengukuran normal (metoda 3 kutub), dan
- Pengukuran praktis (metoda 2 kutub)

2.12.1.1 Pengukuran Normal (Metoda 3 Kutub)

Langkah awal adalah memosisikan saklar terminal pada 3a, selanjutnya :

1. Cek tegangan baterai ! (*Range* saklar : BATT, aktifkan saklar / ON). Jarum harus dalam *range* BATT.
2. Cek tegangan pentanahan (*Range* saklar : ~ V, matikan saklar / OFF)
3. Cek tahanan pentanahan bantu (*Range* saklar : C & P, matikan saklar / OFF). jarum harus dalam *range* P/C (lebih baik posisi jarum berada saklar 0).
4. Ukurlah tahanan pentanahan (*Range* saklar : x1 Ω ke x100 Ω) dengan menekan tombol pengukuran dan memutar selektor, hingga diperoleh jarum pada galvanometer seimbang / menunjuk angka nol. hasil pengukuran adalah angka

yang ditunjukkan pada selektor dikalikan dengan posisi range saklar ($\times 1\Omega$) atau ($\times 100\Omega$).



Gambar 2.115 Pengukuran Metoda 3 Kutub

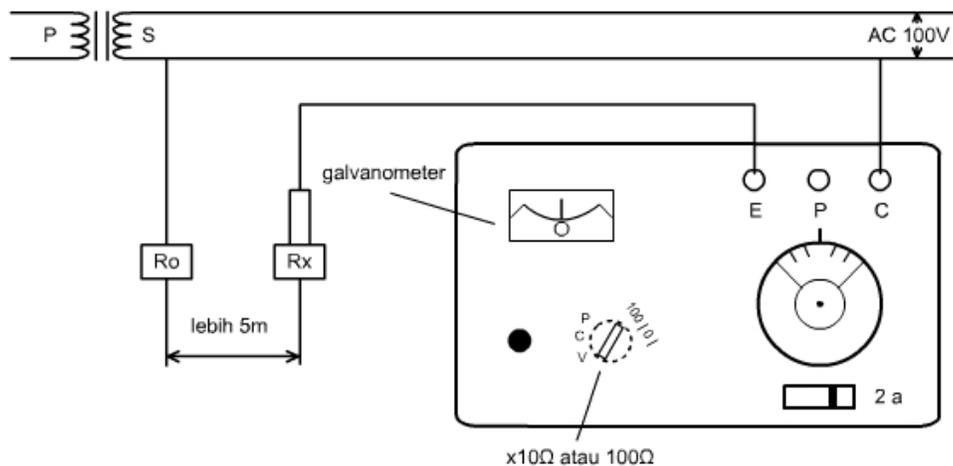
2.12.1.2 Pengukuran Praktis (Metoda 2 Kutub)

Langkah awal adalah memposisikan saklar terminal pada 2a.

Perhatikan !

Jika jalur pentanahan digunakan sebagai titik referensi pengukuran bersama, maka semua sambungan yang terhubung dengan pentanahan itu selalu terhubung dengan tanah. Jika terjadi bunyi bip, maka putuskan dan cek lagi.

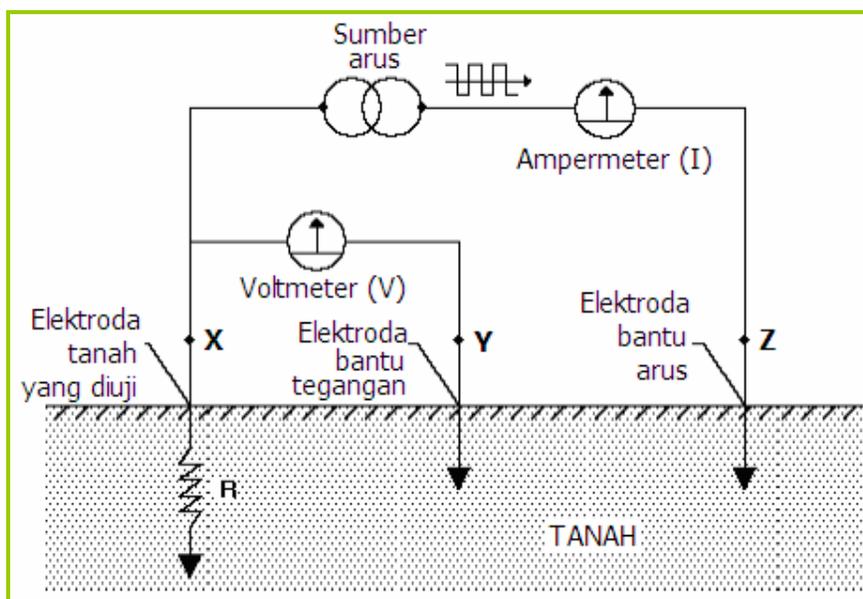
1. Cek tegangan baterai dan cek tegangan pentanahan
Caranya hampir sama dengan metoda pengukuran normal, hanya pengecekan tekanan tahanan bantu tidak diperlukan.
2. Ukur tahanan pentanahan (Range saklar : $\times 10\Omega$ atau $\times 100\Omega$).
Hasil pengukuran = $R_x + R_o$



Gambar 2.116 pengukuran Metoda 2 Kutub

Misalkan berdasarkan pengukuran diperoleh $V = 20 \text{ V}$ dan $I = 1 \text{ A}$, maka tahanan elektroda adalah:

$$R = V/I = 20/1 = 20 \text{ Ohm}$$



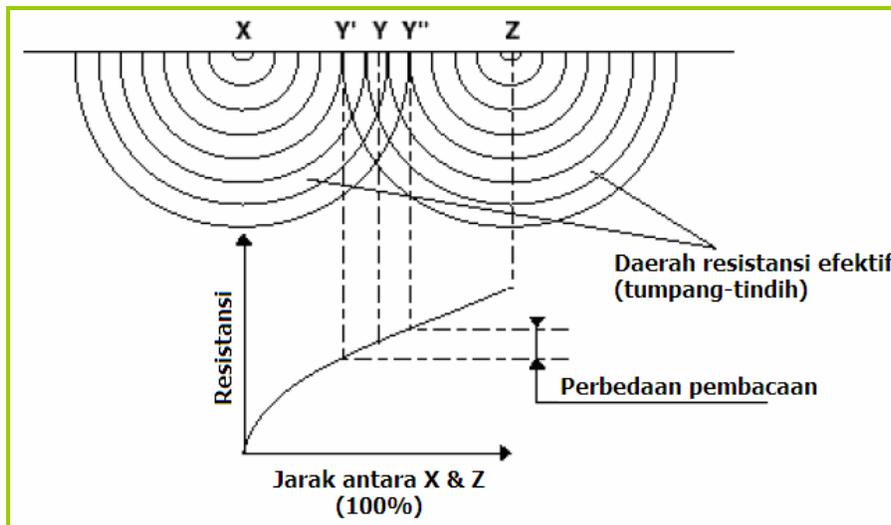
Gambar 2.117 Prinsip pengukuran tahanan elektroda pentanahan menggunakan metoda jatuh tegangan – 3 titik

Dalam pengukuran yang menggunakan alat ukur tahanan pentanahan, tidak dilakukan pengukuran satu per satu seperti di atas, namun alat ukur telah dilengkapi dengan sistem internal yang memungkinkan pembacaan secara langsung dan mudah.

2.12.2 Posisi Elektroda Bantu Dalam Pengukuran

Dalam setiap pengukuran diinginkan hasil pengukuran yang presisi. Apa artinya sebuah data bila tidak mendekati kebenaran. Salah satu faktor yang mempengaruhi ketelitian dalam pengukuran tahanan pentanahan ini adalah letak elektroda bantu yang digunakan dalam pengukuran.

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang presisi adalah dengan meletakkan elektroda bantu-arus Z cukup jauh dari elektroda yang diukur tahananannya, X, sehingga elektroda bantu-tegangan Y berada di luar daerah yang disebut daerah resistansi efektif dari kedua elektroda (elektroda pentanahan dan elektroda bantu-arus). Apa sebenarnya yang dimaksud dengan daerah resistansi efektif ini, dapat diperhatikan Gambar 2.118.

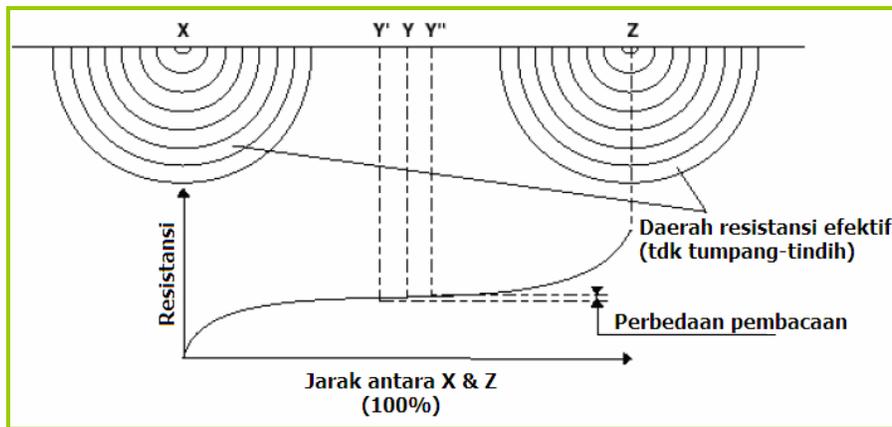


Gambar 2.118 Daerah resistansi efektif dari dua elektroda yang tumpang-tindih

Bila arus diinjeksikan kedalam tanah melalui elektroda Z ke elektroda X, pada kedua elektroda tersebut akan membangkitkan fluks magnet yang arahnya melingkari batang-batang elektroda. Daerah yang dilingkupi oleh fluks magnet dari masing-masing elektroda disebut daerah resistansi efektif. Gambar 2.118 menggambarkan daerah resistansi efektif yang tumpang tindih dari kedua elektroda. Peletakan elektroda Y harus di luar daerah tersebut agar penunjukan alat ukur presisi.

Cara mudah untuk mengetahui apakah elektroda Y berada di luar daerah resistansi efektif adalah dengan melakukan pengukuran beberapa kali dengan mengubah posisi elektroda Y di antara X dan Z, yaitu, misalnya pertama pada Y, kemudian dipindah ke arah X, yaitu ke Y' dan kemudian ke arah Z ke Y''. Perlu digambarkan kurva resistansi (tahanan) sebagai fungsi jarak antara X & Z untuk mengetahui ini. Bila penunjukan-penunjukan alat ukur tersebut menghasilkan harga resistansi (tahanan) yang berubah secara signifikan, menunjukkan bahwa elektroda Y ada di dalam daerah resistansi efektif yang berarti hasil pengukuran tidak presisi.

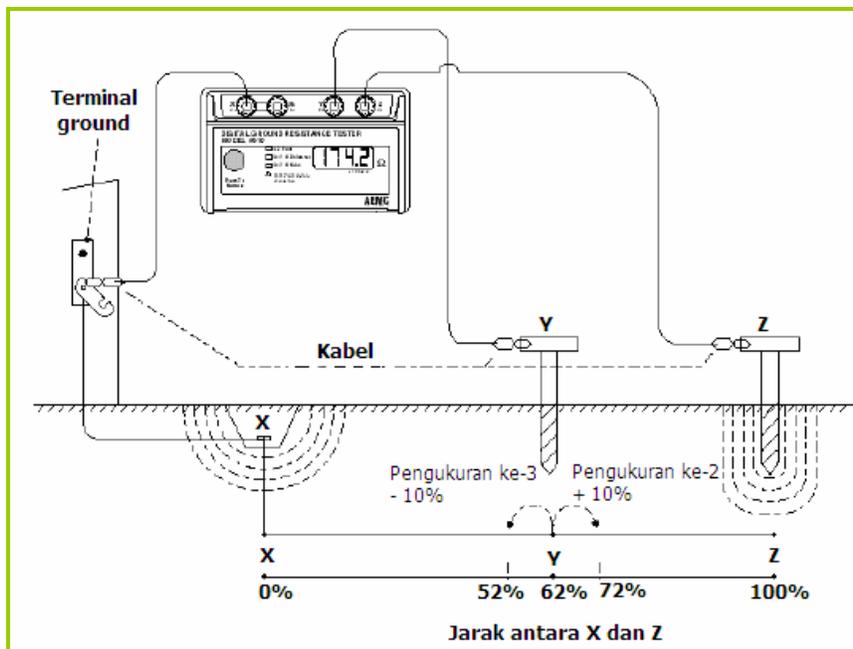
Sebaliknya, bila diperoleh hasil pengukuran yang relatif sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.119, maka elektroda Y berada di luar daerah resistansi efektif dan hasilnya presisi. Dalam gambar ditunjukkan grafik resistansi sebagai fungsi posisi Y. Bila diperoleh perbedaan yang besar (Gambar 2.118) menunjukkan ketidakpresisian hasil pengukuran, sebaliknya jika perbedaan pembacaan kecil diperoleh hasil pengukuran yang presisi (Gambar 2.119) dalam arti bahwa inilah tahanan elektroda X yang paling tepat.



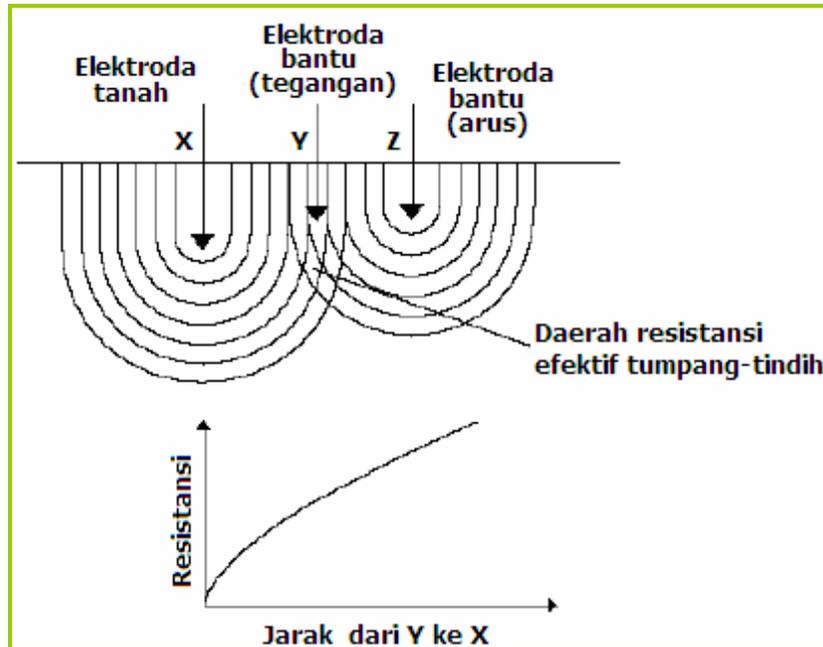
Gambar 2.119 Posisi elektroda Y di luar daerah resistansi efektif dari dua elektroda yang tidak tumpang-tindih

2.12.3 Pengukuran Tahanan Elektroda Pentanahan Menggunakan Metoda 62%

Metoda 62% digunakan setelah mempertimbangkan secara grafis dan setelah dilakukan pengujian. Ini merupakan metoda yang paling akurat namun hanya terbatas pada elektroda tunggal. Metoda ini hanya dapat digunakan untuk elektroda-elektroda yang tersusun berjajar secara garis lurus dan pentanahannya menggunakan elektroda tunggal, pipa, atau pelat, dan lain-lain seperti pada Gambar 2.120.



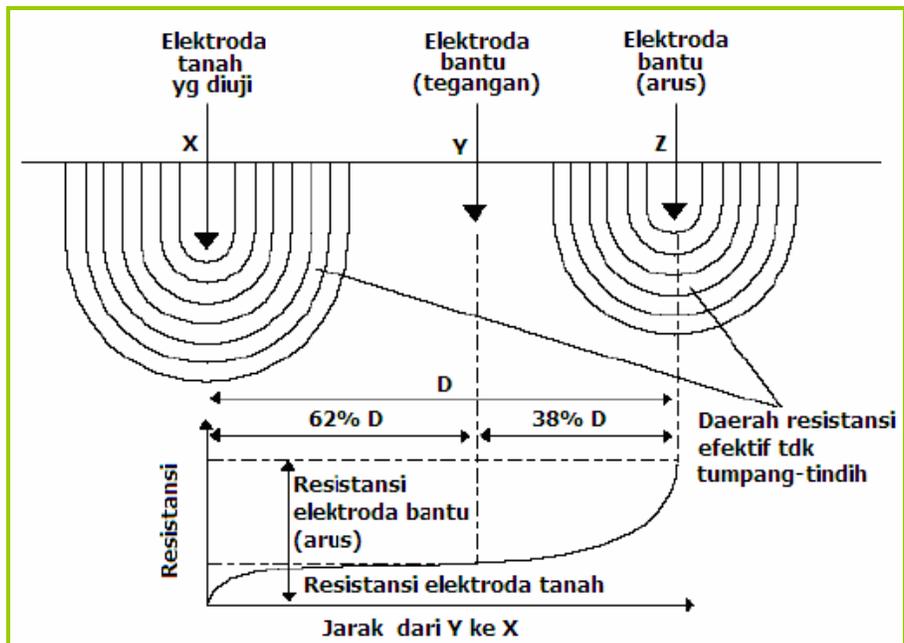
Gambar 2.120 Pengukuran resistansi elektroda pentanahan menggunakan Metoda 62%



Gambar 2.121 Daerah resistansi efektif tumpang-tindih

Perhatikan Gambar 2.121, yang menunjukkan daerah resistansi efektif dari elektroda pentanahan X dan elektroda bantu-arus Z. Daerah resistansi saling tumpang-tindih (*overlap*). Jika dilakukan pembacaan dengan memindah-mindahkan elektroda bantu-tegangan Y ke arah X atau Z, perbedaan pembacaan akan sangat besar dan sebaiknya tidak dilakukan pembacaan pada daerah ini. Dua daerah sensitif saling overlap dan menyebabkan peningkatan resistansi ketika elektroda Y dipindah-pindah menjauh dari X.

Sekarang perhatikan Gambar 2.122, di mana elektroda X dan Z dipisahkan pada jarak yang cukup sehingga daerah-daerah resistansi efektif tidak tumpang-tindih. Jika resistansi hasil pengukuran diplot akan ditemukan suatu harga pengukuran di mana ketika Y dipindah-pindah dari posisi Y awal memberikan nilai dengan perubahan yang ada dalam batas toleransi. Posisi Y dari X berjarak 62% dari jarak total dari X ke Z. Daerah toleransi ditentukan oleh pengguna dan dinyatakan dalam bentuk persen dari hasil pengukuran awal: $\pm 2\%$, $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, dan lain-lain.



Gambar 2.122 Daerah pengukuran 62%

2.12.4 Jarak Peletakan Elektroda Bantu

Tidak ada ketentuan secara pasti tentang jarak antara X dan Z, karena jarak tersebut relatif terhadap diameter dan panjang elektroda yang diuji, kondisi tanah dan daerah resistansi efektifnya. Walaupun begitu, ada beberapa hasil empiris yang dapat digunakan sebagai bantuan dalam penentuan jarak seperti yang ditunjukkan dalam tabel di bawah ini. Harga jarak ini dibuat pada kondisi tanah homogin, diameter elektroda 1". (Untuk diameter 1/2", memendekkan jarak 10%; untuk diameter 2" memanjangkan jarak 10%).

Tabel 2.48 Jarak elektroda-elektroda bantu menggunakan metoda 62% (ft)

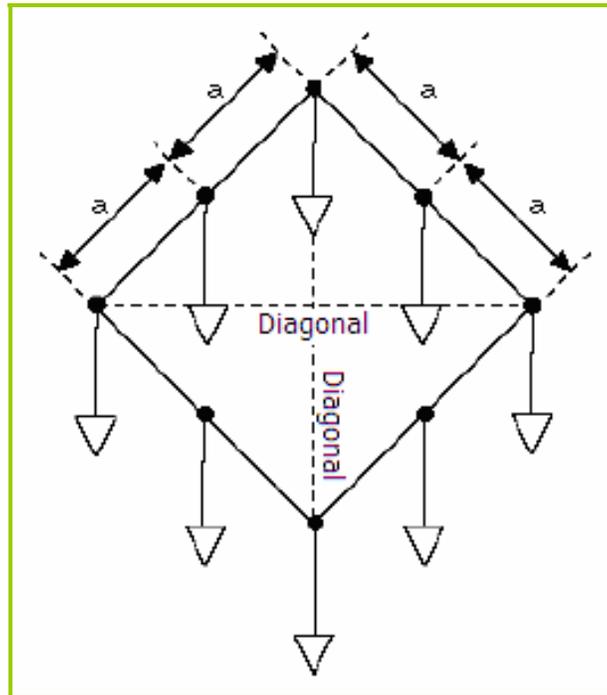
Kedalaman pemancangan (ft)	Jarak ke Y (ft)	Jarak ke Z (ft)
6	45	72
8	50	80
10	55	88
12	60	96
18	71	115
20	74	120
30	86	140

2.12.5 Sistem Multi-Elektroda

Elektroda batang tunggal yang dipancangkan ke dalam tanah merupakan cara pembuatan sistem pentanahan yang paling ekonomis dan mudah. Tetapi kadang-kadang satu elektroda batang tunggal tidak dapat memberikan tahanan pentanahan yang cukup rendah. Untuk mengatasi ini, ditanam beberapa/sejumlah elektroda dan dihubungkan secara paralel menggunakan konduktor (kabel) pentanahan. Biasanya digunakan dua, tiga atau empat elektroda pentanahan yang ditanam berjajar dan dalam garis lurus.

Bila ada empat elektroda atau lebih yang akan digunakan biasanya dibentuk konfigurasi penanaman segi empat dengan jarak yang sama antar elektroda (Gambar 2.123). Elektroda-elektroda ini dihubungkan secara paralel menggunakan konduktor atau kabel pentanahan.

Untuk sistem multi-elektroda seperti ini, metoda 62 % tidak dapat digunakan secara langsung. Jarak elektroda-elektroda bantu pada keadaan ini didasarkan pada jarak grid maksimum. Misalnya, untuk konfigurasi persegi empat yang digunakan adalah diagonalnya, untuk konfigurasi garis lurus digunakan panjang jarak totalnya.



Gambar 2.123 Sistem Multi-elektroda

Tabel berikut ini merupakan hasil empiris yang dapat digunakan sebagai pedoman penentuan jarak elektroda-elektroda bantu.

Tabel 2.49 Sistem Multi-elektroda

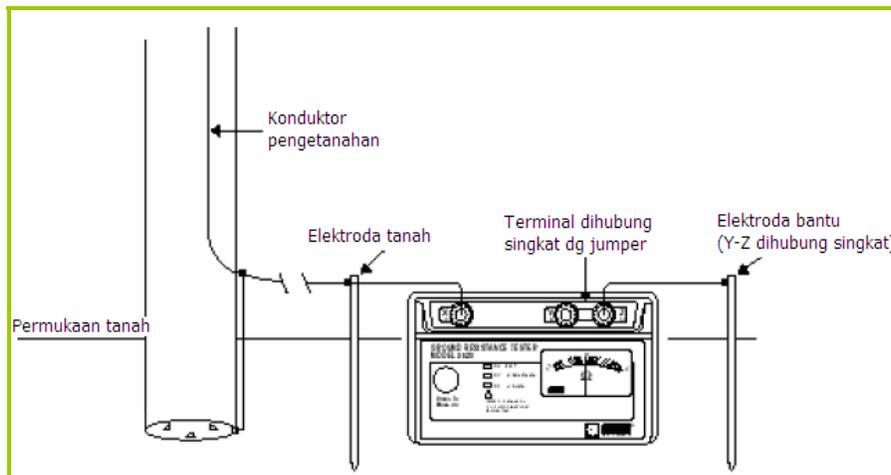
(Jarak dalam ft)		
Jarak grid maksimum	Jarak ke Y	Jarak ke Z
6	78	125
8	87	140
10	100	160
12	105	170
14	118	190
16	124	200
18	130	210
20	136	220
30	161	260
40	186	300
50	211	340
60	230	370
80	273	440
100	310	500
120	341	550
140	372	600
160	390	630
180	434	700
200	453	730

2.12.6 Metoda Pengukuran Dua-Titik (Metoda Penyederhanaan)

Metoda ini merupakan metoda alternatif bila sistem pentanahan yang akan diukur atau diuji merupakan sistem yang sangat baik.

Pada suatu daerah yang terbatas di mana sulit mencari tempat untuk menanam dua elektroda bantu, metoda pengukuran dua-titik bisa diterapkan. Pengukuran yang diperoleh adalah pengukuran dua pentanahan secara seri. Untuk itu, pipa air atau yang lain harus mempunyai tahanan yang sangat rendah sehingga dapat diabaikan dalam pengukuran akhir. Resistansi (tahanan) kabel penghubung akan diukur juga dan harus diperhitungkan dalam penentuan hasil ukur akhir.

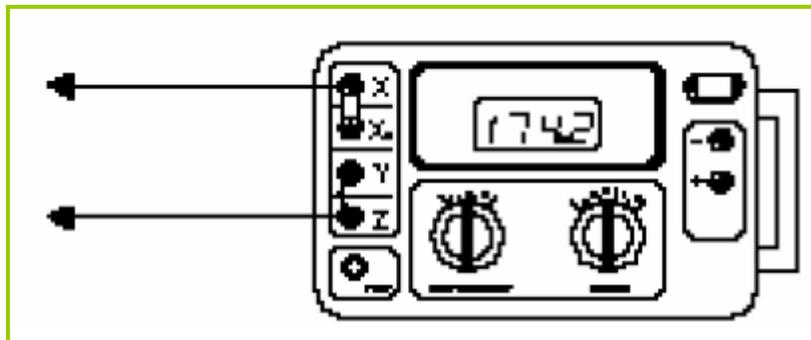
Pengukuran ini tidak se-akurat metoda tiga-titik (62%) akibat pengaruh dari jarak antara elektroda yang diuji dan grounding lain atau pipa air. Metoda pengukuran ini hendaknya tidak digunakan sebagai suatu prosedur standard kecuali sebagai kondisi dalam keterpaksaan. Bagaimana pengukuran ini dilakukan, lihat Gambar 2.124.



Gambar 2.124 Metoda pengukuran dua-titik

2.12.7 Pengukuran Kontinuitas

Pengukuran kontinuitas dari hantaran pentanahan dimungkinkan dengan menggunakan terminal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.125.

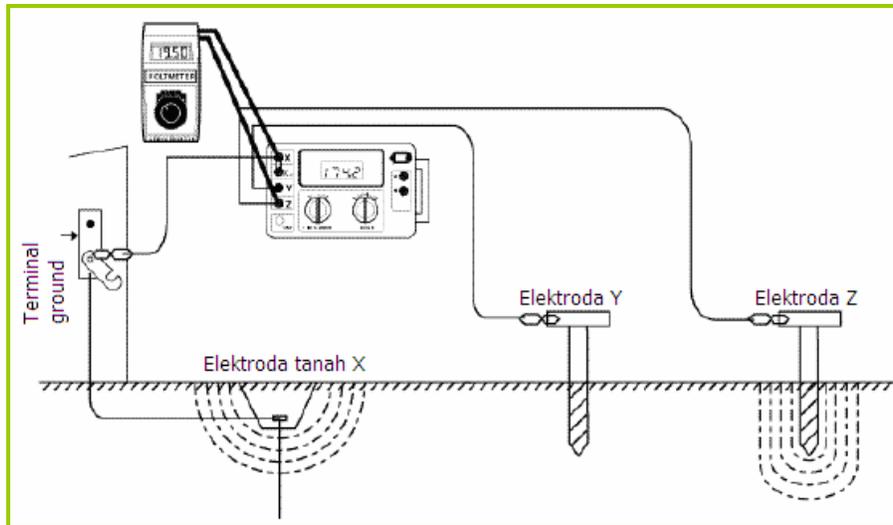


Gambar 2.125 Pengukuran kontinuitas hantaran pentanahan

2.12.8 Petunjuk-petunjuk teknis pengukuran

- **Derau (Noise) tinggi**

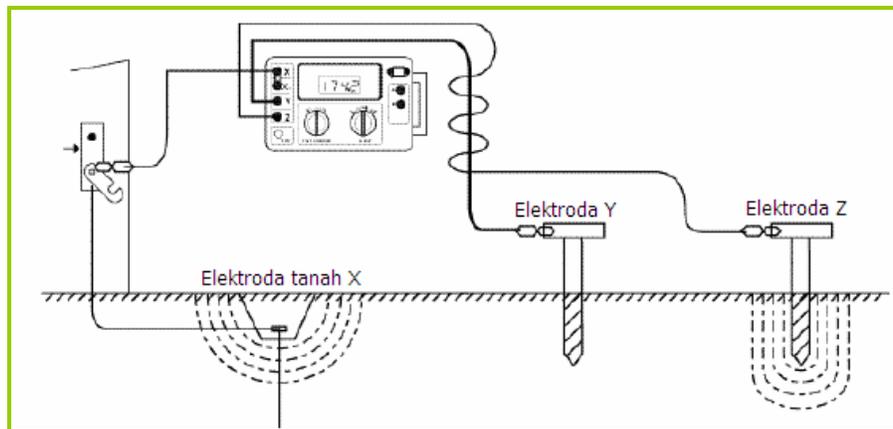
Derau atau noise yang sangat tinggi bisa menginterferensi pengujian akibat dari kabel yang digunakan dalam pengukuran yang relatif panjang ketika melakukan pengujian dengan metoda tiga-titik. Untuk mengidentifikasi noise ini dapat digunakan voltmeter. Hubungkan X, Y, dan Z menggunakan kabel-kabel standar untuk pengujian tahanan pentanahan. Pasang voltmeter pada terminal X dan Z seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.126.



Gambar 2.126 Metoda pengukuran derau dalam sistem pentanahan

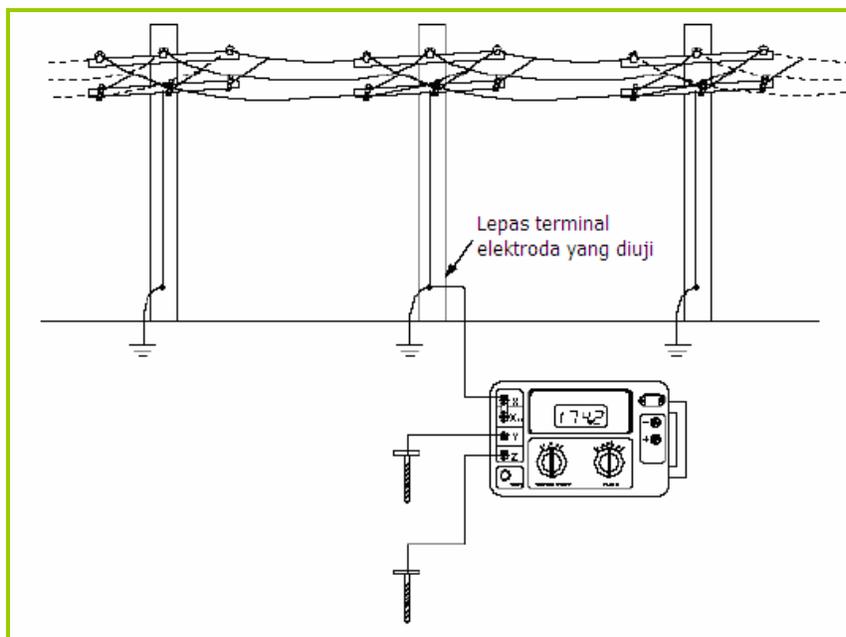
Hasil pembacaan tegangan pada voltmeter harus ada di dalam daerah toleransi yang dapat diterima oleh alat pengukur tahanan pentanahan (*grounding tester*) ini. Jika tegangan noise ini melampaui harga yang dapat diterima, dapat dicoba cara-cara berikut ini.

- Belitkan kabel-kabel secara bersama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.127. Dengan cara ini seringkali dapat menetralsisir interferensi noise dari luar.



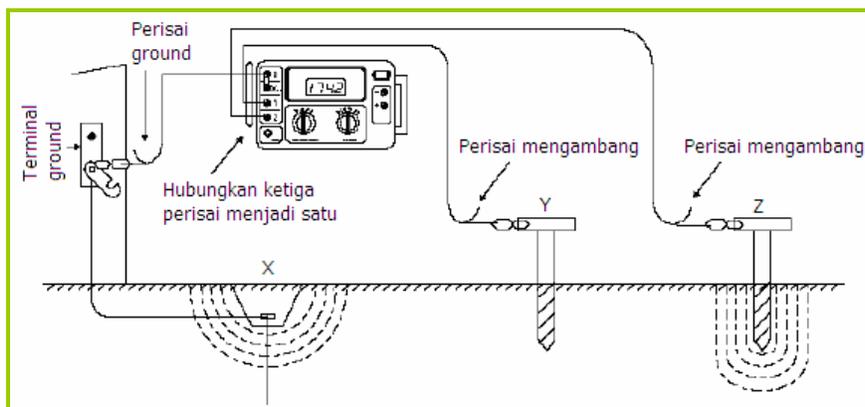
Gambar 2.127 Cara menetralsisir noise dengan melilitkan kabel-kabel ukur secara bersama-sama

- Jika cara pertama mengalami kegagalan, cobalah dengan merentang kabel-kabel bantu ini sehingga tidak paralel (sejajar) dengan saluran daya baik yang di atas maupun di bawah tanah (Gambar 2.128).



Gambar 2.128 Cara menghindari noise dengan pengaturan rentangan kabel-kabel ukur

- Jika tegangan noise masih belum juga rendah, bisa dicoba dengan menggunakan kabel-berperisai (shielded cables). Perisai ini akan menangkal interferensi dari luar dengan mentralkan ke tanah seperti ditunjukkan pada Gambar 2.129.



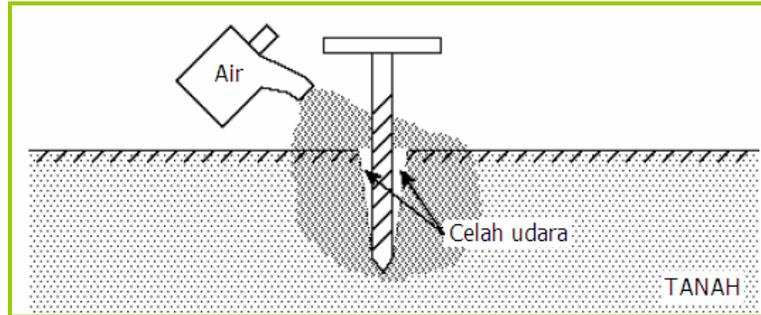
Gambar 2.129 Pentralisiran noise menggunakan kabel perisai (shielded cables)

• Resistansi elektroda bantu yang tinggi

Salah satu fungsi dari alat uji pentanahan (ground tester) adalah kemampuannya dalam mencatu air yang konstan ke tanah dan mengukur jatuh tegangan dengan bantuan elektroda-elektroda bantu. Tahanan yang sangat tinggi dari salah satu atau kedua elektroda dapat menghalangi kerja alat. Ini disebabkan oleh tahanan

tanah yang sangat tinggi atau kurang baiknya kontak antara elektroda bantu dengan tanah sekitarnya (Gambar 2.130).

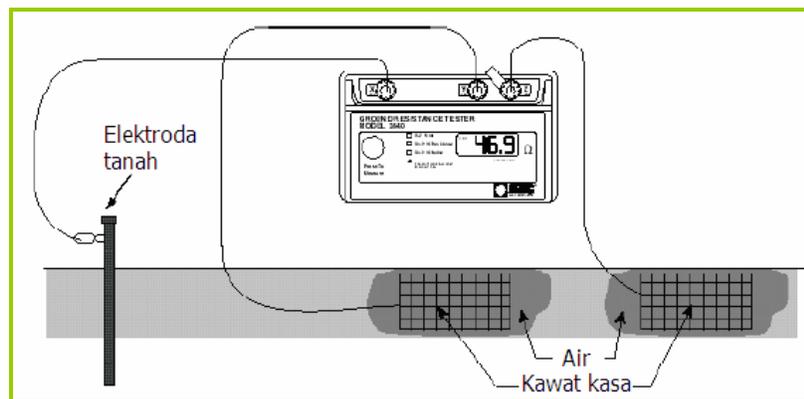
Untuk mendapatkan kontak yang baik dengan tanah, masukkan tanah ke sekitar elektroda untuk menutup celah ketika menancapkan elektroda. Jika tahanan jenis tanah yang jadi masalah, kukurkan air ke sekitar elektroda bantu. Ini akan mengurangi tahanan kontak antara elektroda dengan tanah sekitarnya tanpa mempengaruhi pengukuran.



Gambar 2.130 Cara mengatasi tahanan kontak antara elektroda dengan tanah sekitarnya

- **Lantai beton**

Kadang-kadang ditemui elektroda pentanahan yang terletak di suatu tempat yang sekelilingnya terbuat dari lantai keras sehingga tidak dapat dilakukan penanaman elektroda bantu. Dalam hal ini dapat digunakan kawat kasa (screen) sebagai ganti elektroda bantu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.131.



Gambar 2.131 Penggunaan kawat kasa sebagai pengganti dari elektroda bantu

Letakkan kawat kasa di atas lantai dengan jarak yang sama dengan bila menggunakan elektroda bantu biasa dengan metoda tiga-titik. Tuangkan air pada kawat kasa dan biarkan meresap. Agar kawat kasa menempel dengan baik ke permukaan lantai bisa dilakukan penekanan atau dengan meletakkan pemberat. Dalam keadaan ini, kawat-kawat kasa bertindak sebagai elektroda-elektroda bantu.

3. Saluran/ sirkit akhir :
 - a. Jenis penghantar: NYA dalam pipa/ NYM/ NYY/ Lainnya:
 - b. Warna insulasi: a. Fase b. Netral c. Penghantar PE
4. Penghantar bumi:
 - a. Penampangmm² dengan pelindung/ tanpa pelindung
 - b. Warna insulasi kabel: loreng hijau-kuning/ warna lain
5. Pengukuran resistans insulasi: Tegangan uji 500V
6. Pengukuran resistans penghantar bumi
7. Hubungan penghantar N dan PE:

Cara penyambungan: /Hubungan penghantar N dan PE dilakukan dengan terminal di PHB
/Hubungan penghantar N dan PE dilakukan di luar PHB

F. Perlengkapan Hubung Bagi (PHB)

1. Terminal: PE ada/ tidak ada
 Netral ada/ tidak ada

2. PHB utama

Saklar utama:	/MCB/ 10A/ 25A/ Lainnya	A	
	/MCB/ 10A/ 25A/ Lainnya	A	
	/Tidak ada		

 - a. Sirkit cabang: jumlah

Sirkit cabang 1: MCB/Sekering	A, penghantar	x	mm ²
Sirkit cabang 2: MCB/Sekering	A, penghantar	x	mm ²
Sirkit cabang 3: MCB/Sekering	A, penghantar	x	mm ²
 - b. Sirkit akhir jumlah

Sirkit cabang 1: MCB/Sekering	A, penghantar	x	mm ²
Sirkit cabang 2: MCB/Sekering	A, penghantar	x	mm ²
Sirkit cabang 3: MCB/Sekering	A, penghantar	x	mm ²

3. PHB cabang buah
 - a. PHB cabang 1:

Saklar utama:	/MCB/ 10A/ 25A/ Lainnya	A	
	/MCB/ 10A/ 25A/ Lainnya	A	
	/Tidak ada		

 Sirkit akhir jumlah

Sirkit cabang 1: MCB/Sekering	A, penghantar	x	mm ²
Sirkit cabang 2: MCB/Sekering	A, penghantar	x	mm ²
Sirkit cabang 3: MCB/Sekering	A, penghantar	x	mm ²

- b. PHB cabang 2:
- | | | |
|---------------|-------------------------|---|
| Saklar utama: | /MCB/ 10A/ 25A/ Lainnya | A |
| | /MCB/ 10A/ 25A/ Lainnya | A |
| | /Tidak ada | |
- Sirkuit akhir jumlah
- | | | | |
|--------------------------------|---------------|---|-----------------|
| Sirkuit cabang 1: MCB/Sekering | A, penghantar | x | mm ² |
| Sirkuit cabang 2: MCB/Sekering | A, penghantar | x | mm ² |
| Sirkuit cabang 3: MCB/Sekering | A, penghantar | x | mm ² |
- c. PHB cabang 3 dst.

G. Elektrode bumi

Jenis pipa	inci	m
Masif	mm	
Lainnya		

H. Polaritas

1. Fiting lampu sesuai/ tidak sesuai
2. Kotak kontak: Fase, N dan PE sesuai/ tidak sesuai
3. Sakelar sesuai/ tidak sesuai

I. Pemasangan

1. PHB, ketinggian cm dari lantai
2. kotak kontak
 - a. ketinggian terendah cm dari lantai
 - b. jenis putar/ jenis biasa/ jenis tutup/ jenis lain
3. Pemasangan
 - a. menempel/ tertanam
 - b. NYA dalam Pipa/ NTM diklem, jarak antar klem...cm/ NYA dengan insulator rol
 - c. Rapi/ tidak rapi
 - d. Sambungan penghantar dalam kotak/ tidak dalam kotak
 - e. Kesinambungan sirkit: penghantar sirkit akhir baik/ tidak baik

J. Perlengkapan/ kelengkapan instalasi bertanda SNI

1. MCB ya/ tidak
2. Kotak kontak ya/ tidak
3. Sakelar ya/ tidak
4. Penghantar ya/ tidak

K. Instalasi khusus kamar mandi

- Sakelar dalam kamar mandi sesuai/ tidak sesuai
- Kotak kontak dalam kamar mandi sesuai/ tidak sesuai
- Pemeriksaan dan pengujian dilaksanakan pada tanggal:

Dan yang terakhir adalah data yang melaksanakan pemeriksaan dan pengujian antara lain tanggal / waktu pelaksanaannya, nama anggota pemeriksa dan disaksikan oleh pemasang instalasi / instalatir, serta tandatangan dari pemeriksa dan saksi dari instalatir.

2.14 Gangguan Listrik

2.14.1 Gejala Umum Gangguan Listrik

1. Terjadinya hilang daya listrik total
2. Terjadi hilang daya listrik sebagian
3. Terjadi kegagalan kerja instalasi / peralatan listrik karena :
 - a. kegagalan keseluruhan system / peralatan
 - b. kegagalan sebagian peralatan
 - c. resistensi isolasi menjadi kecil
 - d. beban lebih dan peralatan proteksi yang bekerja berkali-kali
 - e. relay-relay elektromagnet tidak mengunci

2.14.2 Penyebab Gangguan

Gangguan merupakan kejadian yang tidak terencana yang diakibatkan oleh :

1. Kelalaian, karena kurangnya perhatian dan pemeliharaan yang layak
2. Penggunaan yang salah
3. Pamakaian yang melebihi batas

2.14.3 Diagnosis Gangguan

Sebelum seorang teknisi mulai mendiagnosis penyebab suatu gangguan, ia harus :

- ✓ Memiliki pengetahuan dan pemahaman yang baik tentang instalasi dan peralatan listrik, serta disiplin menerapkan K3.
- ✓ Mengumpulkan informasi yang diperlukan saat kejadian
- ✓ Memperkirakan penyebab gangguan berdasarkan informasi data katalog
- ✓ Mengidentifikasi penyebab gangguan dengan pendekatan logika

2.14.4 Mencari / Menemukan Gangguan

1. Mengidentifikasi jenis gangguan dan menghimpun informasi dari :
2. Menganalisis daya yang ada dan melakukan pengujian standar, serta pemeriksa visual untuk memperkirakan penyebab gangguan
3. mengintrepretasikan hasil pengujian dan mendiagnosis penyebab gangguan
4. memperbaiki gangguan / mengganti peralatan
5. melakukan pengujian

2.15 Pemeliharaan / Perawatan

Suatu sistem pemeliharaan yang baik terhadap peralatan / komponen dari suatu unit kerja mutlak diperlukan, guna menjamin kelangsungan kerja yang normal. Oleh karena itu perlu dibentuk Unit Pelaksanaan Teknis (UPT) yang mengatur pemeliharaan / perawatan peralatan, sesuai dengan kebutuhan. Artinya bagian-bagian / divisi-divisi dari UPT ini disesuaikan dengan banyaknya / macam-macamnya peralatan yang perlu di-*maintenance* (dipelihara).

Macam-macam pemeliharaan / perawatan

1. Pemeliharaan Rutin
Yaitu pemeliharaan yang telah terprogram dan terlebih dahulu direncanakan, meliputi jadwal waktu, prioritas yang dikerjakan lebih dahulu, target waktu pelaksanaan berdasarkan data catalog, data pengalaman dan data-data lainnya.
2. Pemeliharaan Tak Terencana
Yaitu pemeliharaan yang tidak terprogram, terjadi sewaktu-waktu secara mendadak akibat dari suatu gangguan atau bencana alam dan harus segera dilakukan.

2.15.1 Pemeliharaan Rutin

- a. Pemeliharaan Servis
Pemeliharaan dalam jangka waktu pendek, meliputi pekerjaan ringan, misalnya : membersihkan peralatan, mengencangkan sambungan terminal, pengukuran tegangan.
- b. Pemeliharaan Inspeksi
Pemeliharaan dalam jangka waktu panjang, meliputi pekerjaan penyetelan, perbaikan, dan penggantian peralatan.

Jadwal pemeliharaan rutin dapat diprogramkan, misalnya :

- Pemeliharaan mingguan
- Pemeliharaan bulanan
- Pemeliharaan sementara
- Pemeliharaan tahunan

2.15.2 Pemeliharaan Tanpa Jadwal / Mendadak

Pemeliharaan ini sifatnya mendadak, akibat adanya gangguan atau kerusakan peralatan atau hal lain diluar kemampuan kita, sehingga perlu dilakukan :

- ✓ pemeriksaan
- ✓ perbaikan
- ✓ penggantian peralatan

2.15.3 Objek Pemeriksaan

Berikut ini dicontohkan objek pemeriksaan dari beberapa kondisi pada sistem TR dan TM.

1a. Sistem TR dalam kondisi bertegangan

- ✓ Pemeriksaan / pengukuran tegangan, arus
- ✓ Pemeriksaan / penggantian sekering
- ✓ Pemeriksaan / penggantian bola lampu
- ✓ Pemeriksaan suhu pada kabel
- ✓ Pemeriksaan sistem pembumian

1b. Sistem TR dalam kondisi bebas tegangan

- ✓ Pemeriksaan fisik
- ✓ Pemeriksaan / pengukuran sambungan rangkaian, kontak peralatan
- ✓ Pemeriksaan rangkaian kontrol dan fungsi peralatan
- ✓ Pemeriksaan beban

2a. Sistem TM dalam kondisi bertegangan

- ✓ Pemeriksaan / pengamatan trafo distribusi dari jauh pada jarak yang aman
- ✓ Pemeriksaan satuan kabel TM
- ✓ Pemeriksaan PHB TM dari luar / depan pintu PHB

2b. Sistem TM dalam kondisi bebas tegangan

- ✓ Pemeriksaan fisik
- ✓ Pemeriksaan / pengukuran sambungan rangkaian, kontak peralatan
- ✓ Pemeriksaan / penggantian rangkaian kontrol dan fungsi peralatan (busbar, CB, LBS, DS, CT, PT, sistem proteksi, sambungan terminal, kabel daya, kabel kontrol, kabel pengukuran, sambungan sistem pembumian).

2.15.4 Pemeliharaan PHB – TR (Tegangan Rendah)

1. Menyiapkan peralatan kerja pemeliharaan perlengkapan PHB
2. Menyiapkan perlengkapan K3
3. Menyiapkan material yang diperlukan
4. Periksa tegangan (antar fasa, masing-masing fasa dengan netral; netral dengan rangka)
5. Membebaskan tegangan dari saluran masuk
6. Membersihkan perlengkapan PHB dari kotoran, noda
7. Pemeriksaan pada sambungan-sambungan
8. Pengencangan terhadap terminal sambungan
9. Penggantian perlengkapan yang rusak / tidak sesuai
10. Membuat laporan pemeliharaan

2.15.4.1 Contoh identifikasi jenis gangguan / kerusakan peralatan instalasi listrik TR pada gedung

Tabel 2.50
Contoh Identifikasi Jenis Gangguan Peralatan Instalasi Listrik TR Pada Gedung

Nama/Bagian	Frekuensi & Jenis Gangguan	Penyebab Gangguan	Cara Menanggulangi
Kabel hantaran utama, kabel feeder/ cabang, kabel beban	Jarang gangguan : panas dan hubung singkat	<ul style="list-style-type: none"> - Beban lebih - Kabel menumpuk - Sambungan tidak baik / kendor - Isolasi jelek atau tertarik / tertekan 	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak dibebani sampai penuh - Tumpukan kabel diperbaiki - Kabel cukup terlindungi
PHB Utama, PHB Cabang / SDP dan Panel / PHB Beban	Agak sering : <ul style="list-style-type: none"> - Alat indikator dan alat ukur tidak jalan - Gangguan operasi pada sistem - Pengaman sering trip atau kontakannya macet 	<ul style="list-style-type: none"> - Proteksi kabel kontrol / pengukuran putus/ MCB / fuse trip / putus - Kabel kontrol gangguan / putus / lepas - Beban lebih atau ada yang hubung singkat, panas yang berlebihan pada alat pengaman, lembab 	<ul style="list-style-type: none"> - Perbaiki / ganti dengan pengaman yang tepat - Lacak jalur kebel kontrol, perbaiki koneksinya / sambungannya - Periksa beban dan kondisi kabel, periksa koneksi pada pengaman, pasang heater di dalam PHB
Kelompok beban-beban terpasang: Lampu penerangan; mesin listrik; beban yang lain	Sering : <ol style="list-style-type: none"> a. Lampu tidak nyala terang, susah nyala pada lampu TL, usia lampu pendek b. Motor listrik atau mesin listrik tidak bekerja optimal, trip saat starting, bodi motor nyetrum c. Beban yang lain seperti pemanas, AC, atau beban portable yang tersambung pada kontak- 	<ul style="list-style-type: none"> - Tegangan ke lampu kurang, balas atau starter rusak, dudukan lampu/TL kendor atau kotor, sambungan pada lampu kendor atau tegangan masuk yang melebihi rating tegangan pada lampu - Tegangan masuk di motor kurang, sambungan kendor, putaran terganggu, ada isolasi pada kumparan motor 	<ul style="list-style-type: none"> - Hitung tegangan jatuh, perbaiki sambungan pada terminal lampu, periksa balas dan starter, sesuaikan rating tegangan terhadap teg.lin - Periksa putaran motor manual, hitung ulang rating arus pada pengaman, cek R isolasi lilitan, hubungkan bodi terhadap PE - Cek rating

Nama/Bagian	Frekuensi & Jenis Gangguan	Penyebab Gangguan	Cara Menanggulangi
	kontak	yang rusak - Pemanas : putus	tegangan

2.15.4.2 Contoh identifikasi jenis gangguan / kerusakan peralatan instalasi listrik TM pada gedung

Tabel 2.51
Contoh Identifikasi Jenis Gangguan Peralatan Instalasi Listrik TM Pada Gedung

Nama/Bagian	Frekuensi & Jenis Gangguan	Penyebab Gangguan	Cara Menanggulangi
Hantaran / Kabel TM	Jarang gangguan : panas dan hubung singkat	- Kabel menumpuk - Suhu ruangan / saluran kabel yang tinggi - Ada isolasi rusak	- Tumpukan kabel diperbaiki - Memperbaiki sirkulasi udara pada ruangan / saluran kabel - Cek isolasi kabel
PHB / Panel distribusi: - Busbar - CB - LBS - DS/S - Kabel Control - Konekting kabel daya - Grounding - Pemanas	Agak sering : - Alat indikator dan alat ukur tidak jalan. - Gangguan operasi pada sistem - Pengaman sering trip	- Proteksi kabel kontrol / pengukuran putus/ MCB / fuse trip / putus - Kabel kontrol terputus / lepas - Kondisi ruangan dalam panel lembab	- Perbaiki / ganti dengan rangkaian kontrol - Lacak jalur kebel kontrol, perbaiki koneksinya - Periksa jalur kabel, pasang heater di dalam PHB
Trafo Distribusi - Minyak Trafo - Bushing TM - Bushing TR - Indikator	Jarang gangguan : - Panas berlebihan - Adanya suara atau mendengung yang melampaui batas yang ditetapkan	- Beban berlebih, minyak pendingin sudah kotor atau kekentalan sudah berkurang, sambungan pada terminal trafo daya kendor atau kotor Beban yang sudah melebihi kapasitas pada rating daya, kondisi / struktur pada belitan trafo berongga	- Beban dikurangi sesuai kapasitas, indikator suhu pada minyak trafo di periksa, kondisi minyak pendingin trafo dicek secara visual atau secara laboratoris. Periksa semua sambungan pada terminal trafo dalam kondisi off.

Nama/Bagian	Frekuensi & Jenis Gangguan	Penyebab Gangguan	Cara Menanggulangi
Pendukung - OCR - CT - PT - Alat Ukur	Sering : Tidak bekerja saat dibutuhkan, bekerja yang tidak perlu pada OCR, alat ukur tidak berfungsi, CT dan PT jarang gangguan	- Pengawatan pada rangkaian kontrol terganggu, kelas dan polaritas CT yang salah - Kabel kontrol atau kabel pengukuran terganggu - Kondisi ruangan dalam panel lembab	- Periksa atau cek ulang diagram pengawatan rangkaian proteksi, periksa polaritas CT, kelas CT - Periksa jalur kabel kontrol dan kabel pengukuran - Cek suhu atau kelembaban didalam panel

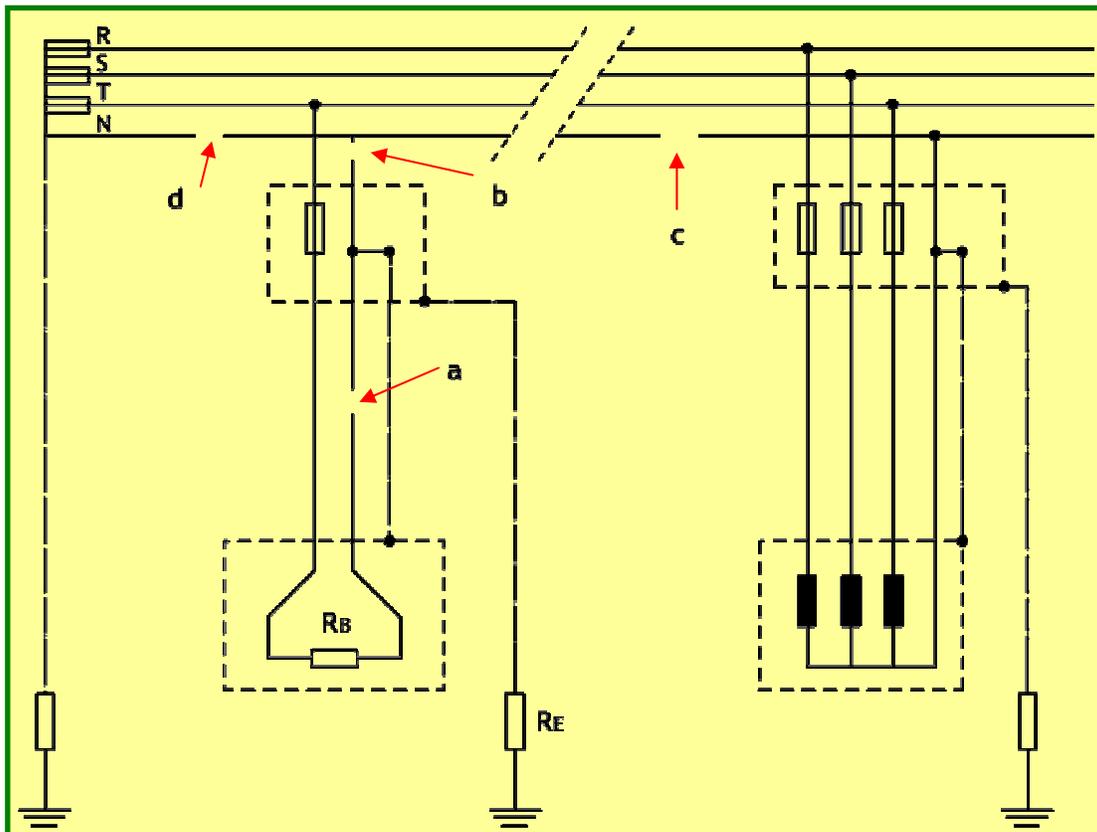
2.15.5 Pemeliharaan Tiang

- ✓ Menyiapkan peralatan kerja dan perlengkapan K3
- ✓ Pemeriksaan terhadap kondisi tiang
- ✓ Membebaskan JTR dari tegangan kerja
- ✓ Memasang tangga pada tiang
- ✓ Memastikan sambungan sistem pembumian dalam kondisi baik
- ✓ Memeriksa kondisi kawat / kabel / armatur lampu
- ✓ Membersihkan kotoran / debu atau benda asing yang mengganggu
- ✓ Memeriksa pengikatan kawat pada brecket dan mengencangkan kembali
- ✓ Perbaikan / penggantian bila ada perlengkapan JTR yang rusak
- ✓ Membuat laporan pemeliharaan

2.15.6 Pemeliharaan Pembumian

- ✓ Pemeriksaan secara visual kondisi pembumian
- ✓ Pemeriksaan / penyetelan terhadap baut klem yang kendur, lepas atau putus
- ✓ Pembersihan / pengukuran tahanan pembumian
- ✓ Penggantian peralatan / kawat yang rusak
- ✓ Membuat laporan pemeliharaan

2.15.7 Contoh Identifikasi Gangguan Pada Pembumian Netral Pengaman



Sumber : Materi Pelatihan PLN Cibogo

Gambar 2.132 Kasus putusnya penghantar netral pada sistem PNP

Pada gambar diatas terjadi gangguan dengan putusnya penghantar netral pada tempat yang berbeda, yaitu pada :

- antara panel cabang dengan beban
- antara line dengan panel cabang
- antara panel cabang satu fasa dengan panel cabang tiga fasa
- antara panel utama dengan panel cabang satu fasa

Berikut ini diuraikan analisa tiap kasus.

1. Kasus a :

- ◆ Arus balik beban terputus, sehingga beban listrik tidak bekerja
- ◆ Terminal netral pada beban dengan badan bertegangan 220V
- ◆ Bahaya lainnya tidak ada

2. Kasus b :

- ♦ Arus balik beban mengalir melalui hantaran pembumian, elektroda pembumian konsumen sehingga peralatan/beban yang dibumikan bertegangan sebesar :

$$V_B = I_B \cdot R_E$$

- ♦ Tegangan sentuh jika seseorang menyentuh badan beban tersebut :

$$V = \frac{R_E}{R_E + R_B} \cdot 220V$$

- ♦ Ini sangat berbahaya, karena semua badan beban yang dihidupkan / tidak akan bertegangan.

3. Kasus c :

- ♦ Bila beban 3 fasa terbagi rata/seimbang, maka arus pada penghantar netral di terminal netral PHB akan saling mengalir (=0), sehingga $I_E = 0$. Tetapi hal seperti ini jarang terjadi.
- ♦ Bila beban tidak seimbang, maka arus netral yang diteruskan ketanah :

$$I_E = I_R + I_S + I_T$$

- ♦ Tegangan badan beban yang tersambung ke netral melalui penghantar pembumian :

$$V_E = I_E \cdot R_E$$

sehingga semakin besar arus tidak seimbang akan semakin besar V_E .

- ♦ Kejadian seperti kasus b
- ♦ Disamping itu sebagian beban akan mendapatkan tegangan lebih dari 220V dan sebagian lainnya mendapatkan tegangan kurang dari 220V. Hal ini akan merusak peralatan / beban.

4. Kasus d :

- ♦ Kejadian seperti kasus c

2.15.8 Contoh Pengukuran dalam Pengujian Kontinuitas Penghantar

Tabel 2.52 Contoh Pengukuran dalam Pengujian Kontinuitas Penghantar

Pengujian	Hubungan Ohmmeter	Nilai resistor yang diukur	Pembacaan Ohmmeter
Langkah 1	L ₁ dan L ₂ N ₁ dan N ₂ A ₁ dan A ₂	R _L R _N R _A	
Langkah 2	Penghantar fasa dan netral pada setiap soket	R _{LN}	
Langkah 3	Penghantar fasa dan pembumian	R _{LA}	

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bahwa saluran kabel dalam rangkaian melingkar dalam kondisi kontinyu, artinya tidak putus dan tidak terjadi interkoneksi (antar L dengan N atau L dengan A), sehingga semua sambungan dalam kondisi baik ditinjau secara fisik maupun listrik. Disamping itu pengujian ini juga bertujuan untuk memverifikasi polaritas dari masing-masing terminal soket.

Pengujian ini dilakukan tanpa sumber tegangan, dengan cara memutuskan sambungan dari kedua ujung penghantar fasa dengan sekering utama, dan alat ukur yang digunakan adalah Ohmmeter.

Langkah 1

Mengukur resistansi dari penghantar fasa L₁ dan L₂, penghantar netral N₁ dan N₂, dan penghantar arde A₁ dan A₂, dengan posisi seperti pada gambar 2.121. Hasil pengukuran dicatat pada tabel 2.60.

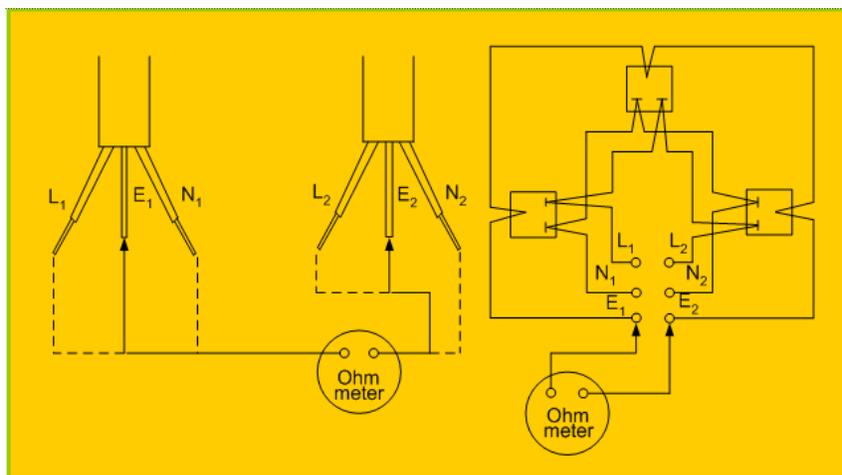
Langkah 2

Pada langkah kedua ini, penghantar fasa dan netral disambungkan sementara waktu seperti pada gambar 2.122 Pengukuran dengan Ohmmeter dilakukan diantara terminal fasa dan netral pada setiap soket dari rangkaian melingkar. Pembacaan hasil pengukuran secara substansial haruslah sama sebagai indikasi bahwa tidak terdapat titik-titik pemutusan atau hubung singkat dalam rangkaian melingkar.

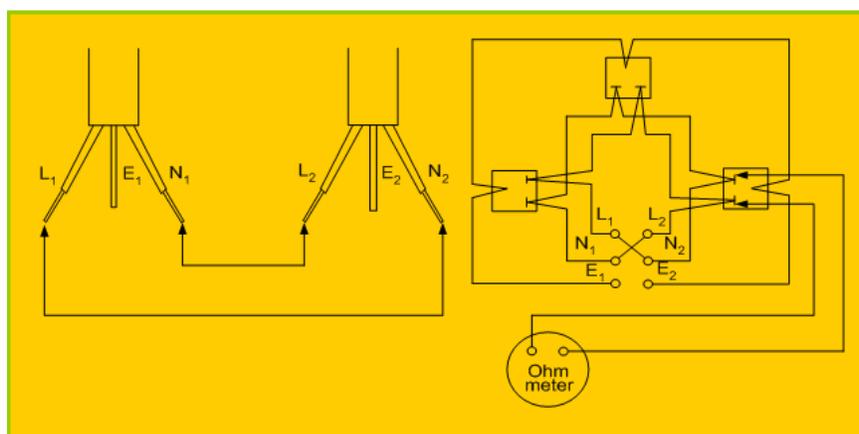
Bila rangkaian penghantar dalam kondisi baik, maka hasil setiap pembacaan pengukuran nilainya berkisar setengah dari hasil pengukuran penghantar fasa atau penghantar netral atau penghantar arde yang dilakukan pada langkah 2.121.

Langkah 3

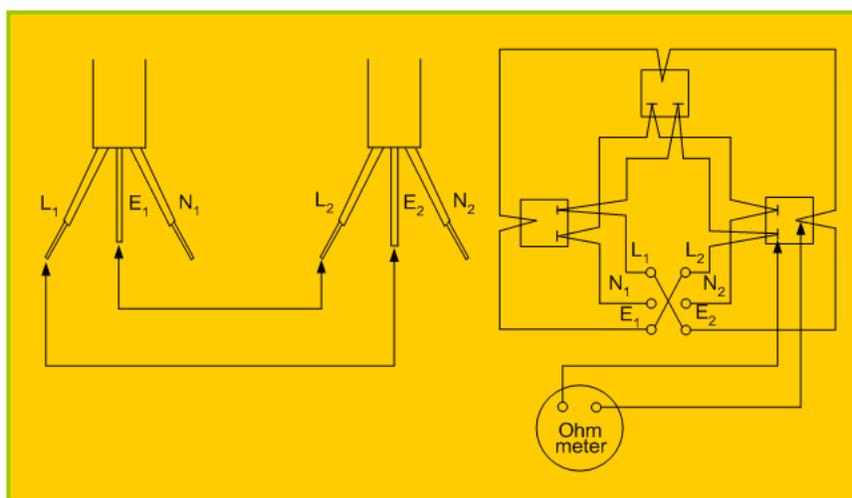
Langkah ketiga ini hubungan rangkaiannya sama dengan pada langkah kedua, hanya saja penghantar netralnya diganti dengan penghantar arde. Hubungannya seperti pada gambar 2.123. Bila kondisi rangkaian penghantar melingkar baik, sama dengan yang diterangkan pada langkah kedua dimuka.



Gambar 2.133 Pengukuran resistansi kawat fasa, netral dan pembumian



Gambar 2.134 Pengukuran resistansi kawat penghantar melingkar fasa dan netral



Gambar 2.135 Pengukuran resistansi kawat penghantar melingkar fasa dan pembumian

2.16 Simbol-simbol Gambar Listrik

2.16.1 Lambang Huruf Untuk Instrumen Ukur

Lambang Huruf Untuk Instrumen Ukur

No.	Lambang	Keterangan
1	A	ampere
2	V	volt
3	VA	voltampere
4	Var	var
5	W	watt
6	Wh	watt-jam
7	Vah	volt-ampere-jam
8	varh	volt-ampere reaktif jam
9	Ω	ohm
10	Hz	hertz
11	h	jam
12	min	menit
13	s	detik
14	n	jumlah putaran premenit
15	$\cos\phi$	faktor daya
16	ϕ	sudut fase
17	λ	panjang gelombang
18	f	frekuensi
19	t	waktu
20	t ^o	suhu
21	z	impedans

Awal Pada Satuan SI

No.	Lambang	Keterangan
1	T	tera = 10^{12}
2	G	giga = 10^9
3	M	mega = 10^6
4	K	kilo = 10^3
5	m	mili = 10^3
6	μ	mikro = 10^6
7	n	nano = 10^9
8	p	piko = 10^{12}

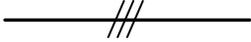
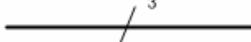
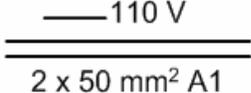
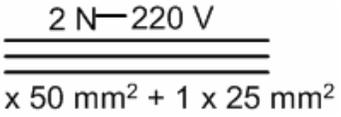
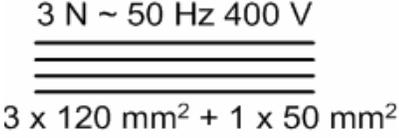
Contoh Penggunaan Awalan Pada Satuan SI

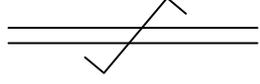
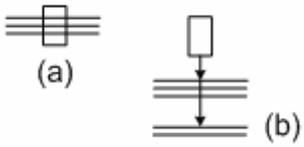
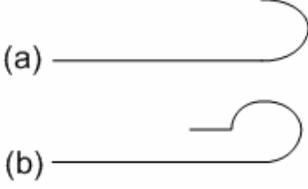
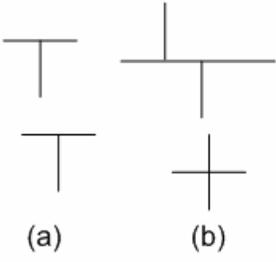
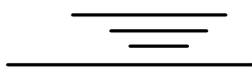
No.	Lambang	Keterangan
1	TΩ	1 teraohm = 1 0 ¹² ohm
2	GW	1 gigawatt = 1 0 ⁹ W
3	MW	1 megawatt = 1 0 ⁶ W
4	kW	1 kilowatt = 1 0 ³ W
5	mV	1 milivolt = 1 0 ³ V
6	μA	1 mikroampere = 1 0 ⁶ A
7	nF	1 nanofarad = 1 0 ⁹ farad
8	pF	1 pikofarad = 1 0 ¹² farad

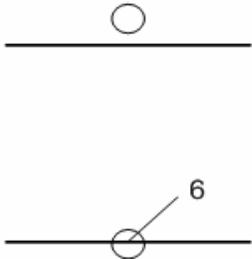
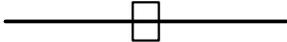
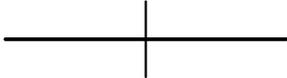
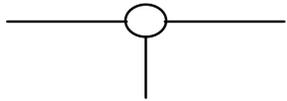
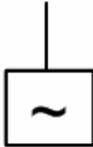
2.16.2 Lambang Gambar Untuk Diagram

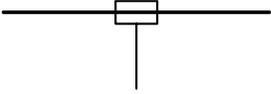
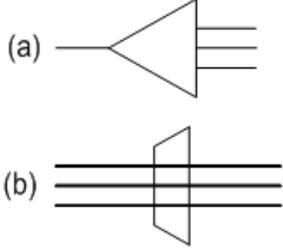
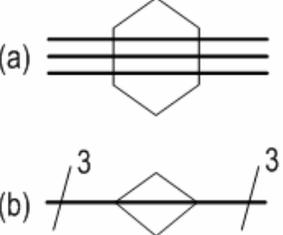
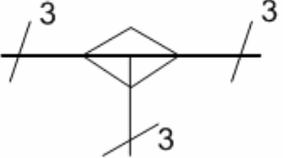
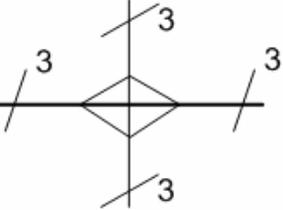
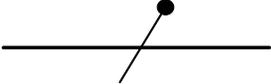
Lambang Gambar Untuk Diagram Saluran Arus Kuat

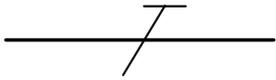
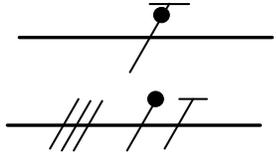
No	Lambang	keterangan
1	— atau — — —	Arus searah Catatan : Tegangan dapat ditunjukkan di sebelah kanan lambang dan jenis sistem di sebelah kiri.
2	2M — 220/110V	Contoh : Arus searah, tiga penghantar termasuk kawat tengah, 220V (110V antara setiap penghantar sisi dan kawat tengah). 2 M dapat diganti dengan 2 + M.
3	~	Arus bolak-balik Catatan : a) Nilai frekuensi dapat ditambahkan di sebelah kanan lambang. b) Tegangan dapat juga ditunjukkan di sebelah kanan lambang. c) Jumlah fase dan adanya netral dapat ditunjukkan sebelah kiri lambang.
4	~ 50 Hz	Contoh : Arus bolak balik, 50 Hz.
5	3 N~ 50Hz 400/230 V	Arus bolak balik, fase tiga, dengan netral, 50 Hz, 400V (230V tegangan antara fase dengan netral) 3N dapat diganti dengan 3 + N.

No	Lambang	keterangan
6	3 N~ 50Hz / TN-S	Arus bolak-balik, fase tiga, 50Hz sistem mempunyai satu titik dibumikan langsung dan netral serta penghantar pengaman terpisah sepanjang jaringan.
7		Penghantar Kelompok Penghantar Saluran Kabel Sirkuit
8		Catatan : a) Jika sebuah garis melambangkan sekelompok penghantar, maka jumlah penghantarnya ditunjukkan dengan menambah garis-garis pendekatau dengan satu garis pendek dan sebuah bilangan. Contoh : Tiga Penghantar (No.8 dan No.9)
9		b) Penjelasan tambahan dapat ditunjukkan sebagai berikut : 1) di atas garis: jenis arus, sistem distribusi, frekuensi dan tegangan. 2) Di bawah garis: jumlah penghantar sirkuit diikuti dengan tanda kali dan luas penampang setiap penghantar.
10		Contoh : Sirkuit arus searah, 110V, dua penghantar aluminium ver penampang 120 mm ² .
11		Sirkuit arus searah, 220V (antara penghantar sisi dan kawat tengah 110V), dua penghantar sisi berpenampang 50 mm ² dan kawat tengah 25 mm ² .
12		Sirkuit fase tiga, 50Hz, 400 V, tiga penghantar berpenampang 120 mm ² , dengan netral berpenampang 50 mm ² .

No	Lambang	keterangan
13		Penghantar fleksibel
14		Penghantar pilin diperlihatkan dua penghantar.
15		Penghantar dalam suatu kabel : a) Tiga penghantar dalam suatu kabel. b) Dua dari lima penghantar dalam suatu kabel.
16		a) Ujung penghantar atau kabel tidak dihubungkan. b) Ujung penghantar atau kabel tidak dihubungkan dan diisolasi khusus.
17		a) Percabangan penghantar. b) Dua percabangan penghantar
18		Saluran bawah tanah
19		Saluran dalam laut.
20		Saluran udara.

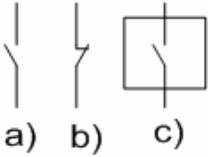
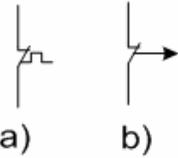
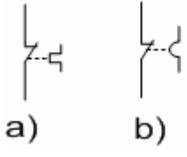
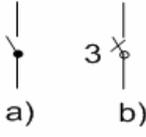
No	Lambang	keterangan
21		<p>Saluran dalam jalur atau pipa. Catatan : Jumlah pipa, luas penampang dan keterangan lainnya dapat diperlihatkan di atas saluran yang menggambarkan lintas pipa. Contoh : Saluran dalam jalur dengan enam jurusan</p>
22		Saluran masuk orang (manhole)
23		Saluran dengan titik sambung/hubung tertanam.
24		Saluran dengan penahan gas atau minyak
25		Titik sadap pada saluran sebagai penyulang konsumen.
26		Sadap sistem
27		Sadapan hubung seri
28		Unit daya saluran, yang diperlihatkan jenis arus bolak balik.

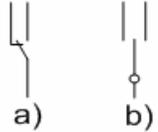
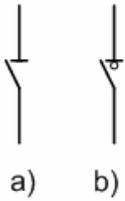
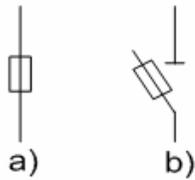
No	Lambang	keterangan
29		Penahan daya pada penyulang distribusi.
30		Titik injeksi penyulang daya.
31		Kotak ujung kabel; mof ujung a) satu kabel berinti tiga b) tiga kabel berinti satu
32		Kotak sambung lurus, mof sambung lurus, tiga penghantar. a) Dinyatakan dengan garis ganda. b) Dinyatakan dengan garis tunggal.
33		Kotak sambung cabang tiga.
34		Kotak sambung cabang empat.
35		Penghantar netral

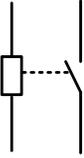
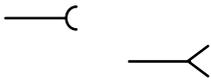
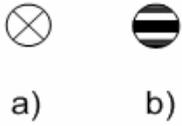
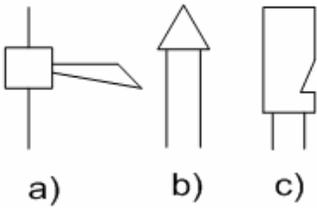
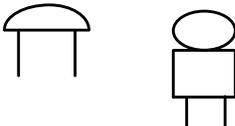
No	Lambang	keterangan
36		Penghantar pengaman
37		Penghantar pengaman dan penghantar netral di gabung Contoh: Saluran fase tiga dengan penghantar pengaman dan penghantar netral

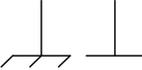
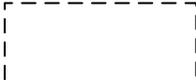
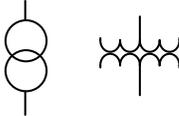
Sumber : SNI BSN, PUIL 2000

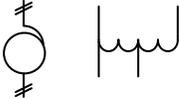
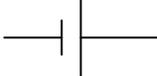
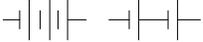
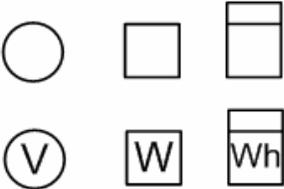
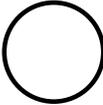
2.16.3 Lambang Gambar Untuk Diagram Instalasi Pusat dan Gardu Listrik

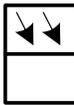
No.	Lambang	Keterangan
1	 a) b) c)	a) Sakelar penghubung b) Sakelar pemutus c) Sakelar berselungkup; saklar bersekat pelindung
2	 a) b)	Sakelar dengan pemutusan : a) Secara termis b) Secara elektromagnetis
3	 a) b)	Sakelar dengan pelayanan a) Relai termal b) Relai elektromagnetik
4	 a) b)	a) Sakelar, lambang umum b) Sakelar kutub tiga

No.	Lambang	Keterangan
5	 <p>a) b)</p>	<p>a) Sakelar pengubah aliran b) Sakelar pengubah aliran dengan kedudukan netral</p>
6		<p>Pemutus sirkit / CB (Circuit Breaker)</p>
7	 <p>a) b)</p>	<p>Pemisah DS (Disconnecting Switch)</p>
8		<p>Pemutus daya LBS (Load Break Switch)</p>
9		<p>NFB (No Fuse Beaker) CB yang tak berwujud fuse</p>
10	 <p>a) b)</p>	<p>a) Pengaman lebur b) Sakelar pemisah dengan pengaman lebur</p>

No.	Lambang	Keterangan
11		Pengaman lebur dengan sirkit alarm terpisah
12		Kotak kontak
13		Tusuk Kontak
14		Kontak tusuk
15		a) Lampu; lambang umum lampu isyarat b) Lampu kedip; indikator
16		a) Klakson b) Sirene c) Peluit yang bekerja secara listrik
17		Bel
18		Pendengung
19		Jalur terminal; blok terminal

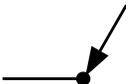
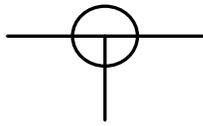
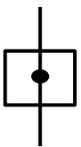
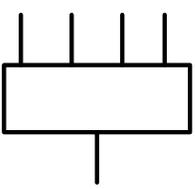
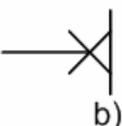
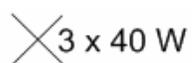
No.	Lambang	Keterangan
20		Perangkat hubung bagi dan kendali
21		Bumi; pembumian
22		Hubungan rangka atau badan
23		Pembumian rangka
24		Penyekatan atau dielektrik
25		Sekat pelindung; selungkup Catatan - Penjelasan macam selungkup dapat ditambahkan dengan catatan atau dengan lambang kimiawi logam
26		Garis batas; garis pemisah; sumbu
27	 <p data-bbox="475 1356 646 1388">a) b)</p>	a) Generator - G b) Motor - M
28		Transformator

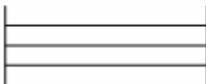
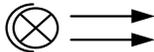
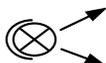
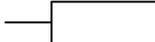
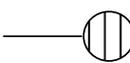
No.	Lambang	Keterangan
29		Auto transformator satu fase
30		Sel atau akumulator
31		Baterai sel atau baterai akumulator
32	  a) b) c)	Lambang umum dari : a) Instrumen penunjuk langsung atau pesawat ukur b) Instrumen pencatat c) Instrumen penjumlah Contoh : a) Voltmeter b) Wattmeter c) Wh-meter d) (lihat Bagian 2.8.1)
33		Pusat tenaga listrik
34		Gardu listrik
35		Pusat listrik tenaga air

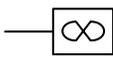
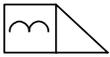
No.	Lambang	Keterangan
36		Pusat listrik tenaga termal (batubara, minyak bumi, gas, dsb)
37		Pusat tenaga nuklir
38		Pusat listrik panas bumi
39		Pusat listrik tenaga matahari
40		Pusat listrik tenaga angin
41		Pusat listrik plasma MHD (<i>magneto-hydrodynamic</i>)
42		Gardu listrik konversi arus searah ke a.b.b

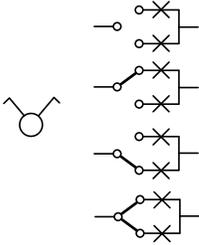
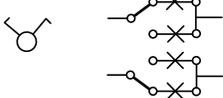
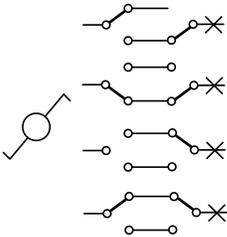
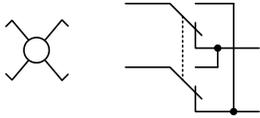
2.16.4 Lambang Gambar untuk Diagram Instalasi Bangunan

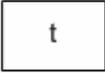
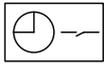
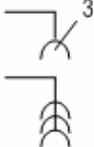
No.	Lambang	Keterangan
1		Pengawatan (lambang) Catatan - Untuk maksud tertentu, "garis" dapat diganti dengan "garis putus-putus"
2		Pengawatan tampak (di permukaan)
3		Pengawatan tidak tampak (di bawah permukaan)
4		Pengawatan dalam pipa Catatan-Jenis pipa dapat dinyatakan, jika perlu
5		a) Pengawatan menuju keatas b) Pengawatan menuju ke bawah Catatan: Lambang 5 & 6 1) pernyataan "ke atas" dan "ke bawah" hanya berlaku jika gambar dibaca dalam posisi yang benar 2) Panah pada garis miring menyatakan arah aliran daya 3) Pengawatan berpangkal pada lingkaran atau titik hitam
6		Pengawatan melalui ruangan secara tegak lurus
7		Kotak, lambang umum

No.	Lambang	Keterangan
8		Saluran dari bawah
9		Saluran dari atas
10		Kotak sambung atau kotak hubung
11		Kotak cabang tiga
12		Kotak-saluran masuk utama
13		Perangkat hubung bagi dan kendali dengan lima pipa
14	  a) b)	a) Lampu; titik sadap lampu dengan pengawatannya b) Lampu dipasang tetap pada dinding dengan pengawatannya
15		Kelompok dari tiga buah lampu 40 W

No.	Lambang	Keterangan
16		Perangkat lampu dengan sakelar sendiri
17	 a)  b)	a) Lampu darurat b) Armatur penerangan darurat
18	 a)  b)  3 x 40 W	a) Lampu floresen, lambang umum b) Kelompok dari tiga buah lampu floresen 40 W
19		Proyektor, lambang umum
20		Lampu sorot
21		Lampu sebar
22		Lengkapan tambahan untuk lampu luah Catatan : Hanya digunakan jika perlengkapan tambahan tidak termasuk dalam armatur penerangan
23		Piranti listrik Catatan-jika perlu untuk lebih jelas dapat diberikan nama
24	 	Alat pemanas listrik Pemanas air listrik

No.	Lambang	Keterangan
25		Kipas dengan pengawatannya
26		Jam hadir (Time Card)
27		Kunci listrik
28		Instrumen interkom
29		Sakelar, lambang umum
30		Sakelar dengan lampu pandu
31		Sakelar pembatas waktu, kutub tunggal
32	 a) b) c)	Sakelar satu arah a) Kutub tunggal b) Kutub dua c) Kutub tiga
33	 a) b)	a) Sakelar tarik kutub tunggal b) Fungsi dari sakelar 30 a) dan 31a)

No.	Lambang	Keterangan
34	 <p>a) b)</p>	<p>a) Sakelar dengan posisi ganda untuk bermacam-macam tingkat penerangan b) Fungsi dari sakelar a)</p>
35	 <p>a) b)</p>	<p>a) Sakelar kelompok b) Fungsi dari saklar</p>
36		<p>a) Sakelar dua arah b) Fungsi dari dua buah sakelar a) yang digabung</p>
37		<p>a) Sakelar Silang b) Fungsi dari sakelar a)</p>
38		<p>Sakelar dimmer / sakelar pengatur cahaya</p>
39		<p>Tombol tekan</p>
40		<p>Tombol tekan dengan lampu indikator</p>

No.	Lambang	Keterangan
41		Tombol tekan dengan pencapaian terbatas (tertutup gelas, dsb)
42		Perlengkapan pembatas waktu
43		Sakelar waktu
44		Sakelar berkunci gawai sistem jaga
45		Kotak kontak
46		Kotak kontak ganda, misalnya untuk 3 buah tusuk kontak
47		Kotak kontak dengan kontak pengaman, misalnya kontak pembumian
48		Kotak kontak bertutup
49		Kotak kontak dengan sakelar tunggal
50		Kotak kontak dengan sakelar interlok
51		Kotak kontak dengan transformator pemisah misalnya untuk alat cukur

No.	Lambang	Keterangan
52		Kotak kontak untuk peranti elektronik misalnya untuk telepon, telex dan sebagainya.

2.16.5 Nomenklatur Kabel

Code	Arti	Contoh
A	Selubung atau lapisan perlindungan luar bahan serat (misalnya goni/jute)	NKRA, NAKBA
AA	Selubung atau lapisan perlindungan luar dua lapis dari bahan serat (jute)	NAHKZAA, NKZAA
B	Perisai dari pita baja ganda	NYBY, NEKBA
	Selubung dari timah hitam	NYBUY
C	Penghantar konsentris tembaga	NYCY
	Selubung penghantar dibawah selubung luar	NHSSHCou
CE	Penghantar konsentris pada masing-masing inti, dalam hal kabel berinti banyak	NYCEY
CW	Penghantar konsentris pada masing-masing inti, yang dipasang secara berlawanan arah untuk kabel tegangan nominal 0,6/1 kV (1,2 kV)	NYCWY
D	Spiral anti tekanan Pita penguat non-magnetis	NIKLDEY
E	Kabel dengan masing-masing intinya berselubung logam	NEKBA
F	Perisai Kawat Baja pipih	NYFGbY
G	Spiral dari kawat baja pipih	NYKRG
G	Isolasi karet/EPR	NGA
	Selubung isolasi dari karet	NGG

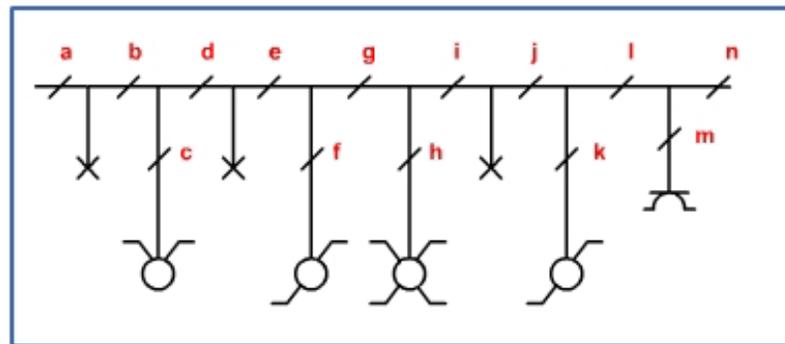
Code	Arti	Contoh
2G	Isolasi karet butil dengan daya tahan lebih tinggi terhadap panas	N2GAU
Gb	Spiral pita baja (mengikuti F atau R)	NYRGbY, N2XSEYFGbY
H	Lapisan penghantar diatas isolasi, untuk membatasi medan listrik	NHKBA, NHKRA
K	Selubung timbal	NKBA, NAKBY
KL	Selubung alumunium	NKLY, NAHKLY
KWK	Selubung dari pita tembaga yang terpasang dan dilas memanjang	NKWKZY
L	Perisai dari jalinan-kawat-baja-bulat (braid)	NTRLA
MK	Kabel dengan selubung timah hitam untuk pemasngan dalam kapal laut	MK
N	Kabel standar penghantar tembaga	NYA, NYY
NA	Kabel standar penghantar alumunium	NAYFGbY, NAKBA
NF	Kabel udara berisolasi dipilin	NF2X, NFAY
NI	Kabel bertekanan gas	NIKLDEY
NO	Kabel bertekanan minyak	NOKDEFOA
NP	Kabel dalam pipa bertekanan gas	NPKDvFSt2Y
O	Perisai-terbuka dari kawat-kawat baja	NKROA
	Kabel berpenampang oval	NYM-O
	Kabel tanpa inti berwarna hijau kuning	NYFGbY-O
Q	Jalinan (brid) dari kawat-kawat baja berselubung-seng	NYKQ
R	Perisai dari kawat-kawat baja bulat	NYRGbY
RR	Dua lapisan perisai dari kawat-kawat baja bulat	NKRRGbY
S	- perisai dari tembaga - pelindung listrik dari pita tembaga yang	N2XSY

Code	Arti	Contoh
	dibulatkan pada semua inti kabel bersama-sama	
SE	Pelindung listrik dari pita tembaga yang menyelubungi masing-masing inti kabel	N2XSEY
T	Tali penggantung dari baja	
2X	Selubung isolasi dari XLPE	NF2X, N2XSY
Y	Selubung isolasi dari PVC	NYA
2Y	Selubung isolasi dari polythylene	
Z	Perisai dari kawat-kawat baja yang masing-masing mempunyai bentuk "Z"	NKZAA
Z	Penghantar ber isolasi dengan beban-tarik	NYMZ
	Selubung logam dari pita seng	NYRUZY

Sumber : SNI BSN, PUIL 2000

2.17 Latihan Soal

1. Sebutkan bagian-bagian apa saja yang dilalui arus listrik dari pusat pembangkit listrik sampai ke pemakai !
2. Dalam perencanaan instalasi listrik pada suatu bangunan, dokumen apa saja yang wajib dibuat ?
3. Jelaskan perbedaan instalasi penyedia dengan instalasi pemanfaatan !
4. Sebutkan peraturan apa saja yang digunakan untuk pemasangan instalasi listrik di Indonesia !
5. Dari gambar diagram dibawah ini, tentukan berapa jumlah kawat pada : a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n !



6. Sebutkan jenis kabel apa saja yang sering digunakan pada instalasi rumah tinggal !
7. Untuk pekerjaan instalasi listrik, mana pipa listrik yang lebih menguntungkan ? (union atau paralon atau fleksibel).
8. Gambarkan rangkaian dasar pemasangan lampu neon !
9. Dari beberapa macam-macam lampu listrik, manakah yang paling :
 - a. awet
 - b. rendah efikasinya
 - c. tinggi efikasinya
 - d. hemat
 - e. jelek kualitas warnanya
 - f. baik kualitas warnanya
10. Buatlah gambar instalasi listrik, dengan denah rumah Anda masing-masing ! Gambarkan pula gambar situasi dan diagram satu garisnya !

DAFTAR PUSTAKA

- 1 A R Bean, Lighting Fittings Performance and Design, Pergamou Press, Braunschweig, 1968
- 2 A.R. van C. Warrington, Protective Relays, 3rd Edition, Chapman and Hall, 1977
- 3 A. Daschler, Elektrotechnik, Verlag – AG, Aaraw, 1982
- 4 A.S. Pabla, Sistem Distribusi Daya Listrik, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994
- 5 Abdul Kadir, Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 2000
- 6 Abdul Kadir, Pengantar Teknik Tenaga Listrik, LP3ES, 1993
- 7 Aly S. Dadras, Electrical Systems for Architects, McGraw-Hill, USA, 1995
- 8 Badan Standarisasi Nasional SNI 04-0225-2000, Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000, Yayasan PUIL, Jakarta, 2000
- 9 Bambang, Soepatah., Soeparno, Reparasi Listrik 1, DEPDIKBUD Dikmenjur, 1980.
- 10 Benjamin Stein cs, Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, 7th Edition Volume II, John Wiley & Sons, Canada, 1986
- 11 Bernhard Boehle cs, Switchgear Manual 8th edition, 1988
- 12 Brian Scaddam, The IEE Wiring Regulations Explained and Illustrated, 2nd Edition, Clags Ltd., England, 1994
- 13 Brian Scaddan, Instalasi Listrik Rumah Tangga, Penerbit Erlangga, 2003
- 14 By Terrell Croft cs, American Electrician's Handbook, 9th Edition, McGraw-Hill, USA, 1970
- 15 Catalog, Armatur dan Komponen, Philips, 1996
- 16 Catalog, Philips Lighting.
- 17 Catalog, Sprecher+Schuh Verkauf AG Auswahl, Schweiz, 1990
- 18 Cathey, Jimmie .J, Electrical Machines : Analysis and Design Applying Matlab, McGraw-Hill, Singapore, 2001
- 19 Chang, T.C, Dr, Programmable Logic Controller, School of Industrial Engineering Purdue University
- 20 Diesel Emergensi, Materi kursus Teknisi Turbin/Mesin PLTA Modul II, PT PLN Jasa Pendidikan dan Pelatihan, Jakarta 1995.
- 21 E. Philippow, Taschenbuch Elektrotechnik, VEB Verlag Technik, Berlin, 1968
- 22 Edwin B. Kurtz, The Lineman's and Cableman's Handbook, 7th Edition, R. R. Dournalley & Sons, USA, 1986
- 23 Eko Putra, Agfianto, PLC Konsep Pemrograman dan Aplikasi (Omron CPM1A /CPM2A dan ZEN Programmable Relay). Gava Media : Yogyakarta, 2004

- 24 Ernst Hornemann cs, Electrical Power Engineering proficiency Course, GTZ GmbH, Braunschweig, 1983
- 25 F. Suyatmo, Teknik Listrik Instalasi Penerangan, Rineka Cipta, 2004
- 26 Friedrich, "Tabellenbuch Elektrotechnik Elektronik" Umuler-Boum, 1998
- 27 G. Lamulen, Fachkunde Mechatronik, Verlag Europa-Lehrmittel, Nourweg, Vollmer GmbH & Co.kc, 2005
- 28 George Mc Pherson, An Introduction to Electrical Machines and Transformers, John Wiley & Sons, New York, 1981
- 29 Graham Dixon, Electrical Appliances (Haynes for home DIY), 2000
- 30 Gregor Haberk, Etall, Tabelleubuch Elektrotechnik, Verlag, GmbH, Berlin, 1992
- 31 Gunter G.Seip, Electrical Installation Hand Book, Third Edition, John Wiley & sons, Verlag, 2000
- 32 H. R. Ris, Electrotechnik Fur Praktiker, AT Verlag Aarau, 1990.
- 33 H. Wayne Beoty, Electrical Engineering Materials Reference Guide, McGraw-Hill, USA, 1990
- 34 Haberle Heinz, Etall, Fachkunde Elektrotechnik, Verlag Europa – Lehr Mittel, Nourweg, Vollmer, GmbH, 1986
- 35 Haberle, Heinz, Tabellenbuch Elektrotechnik, Ferlag Europa-Lehrmittel, 1992
- 36 Hutauruk, T.S., Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1999.
- 37 Iman Sugandi Cs, Panduan Instalasi Listrik, Gagasan Usaha Penunjang Tenaga Listrik - Copper Development Centre South East Asia, 2001.
- 38 Instruksi Kerja Pengujian Rele, Pengoperasian Emergency Diesel Generator, PT. Indonesia Power UBP. Saguling.
- 39 J. B. Gupta, Utilization of Electric Power and Electric Traction, 4th Edition, Jullundur City, 1978
- 40 Jerome F. Mueller, P.E, Standard Application of Electrical Details, McGraw-Hill, USA, 1984
- 41 Jimmy S. Juwana, Panduan Sistem Bangunan Tinggi, Penerbit Erlangga, 2004.
- 42 John E. Traister and Ronald T. Murray, Commercial Electrical Wiring, 2000.
- 43 Kadir, Abdul, *Transformator*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 1989.
- 44 Karyanto, E., Panduan Reparasi Mesin Diesel. Penerbit Pedoman Ilmu Jaya, Jakarta, 2000.
- 45 Klaus Tkotz, Fachkunde Electrotechnik, Verlag Europa – Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. kG., 2006
- 46 L.A. Bryan, E.A. Bryan, *Programmable Controllers Theory and Implementation*, Second Edition, Industrial Text Company, United States of America, 1997

- 47 M. L. Gupta, Workshop Practice in Electrical Engineering, 6th Edition, Metropolitan Book, New Delhi, 1984
- 48 Michael Neidle, Electrical Installation Technology, 3rd edition, dalam bahasa Indonesia penerbit Erlangga, 1999
- 49 Nasar, S.A, Electromechanics and Electric Machines, John Wiley and Sons, Canada, 1983.
- 50 P.C.SEN, Principles of Electric Machines and Power Electronics, Canada, 1989.
- 51 P. Van Harten, Ir. E. Setiawan, Instalasi Listrik Arus Kuat 2, Trimitra Mandiri, Februari 2002.
- 52 Peter Hasse Overvoltage Protection of Low Voltage System, 2nd, Verlag GmbH, Koln, 1998
- 53 Petruzella, Frank D, Industrial Electronics, Glencoe/McGraw-Hill, 1996.
- 54 PT PLN JASDIKLAT, Generator. PT PLN Persero. Jakarta, 1997.
- 55 PT PLN JASDIKLAT, Pengoperasian Mesin Diesel. PT PLN Persero. Jakarta, 1997.
- 56 R.W. Van Hoek, Teknik Elektro untuk Ahli bangunan Mesin, Bina Cipta, 1980
- 57 Rob Lutes, etal, Home Repair Handbook, 1999
- 58 Robert W. Wood, Troubleshooting and Repairing Small Home Appliances, 1988
- 59 Rosenberg, Robert, Electric Motor Repair, Holt-Saunders International Edition, New York, 1970.
- 60 Saptono Istiawan S.K., Ruang artistik dengan Pencahayaan, Griya Kreasi, 2006
- 61 SNI, Konversi Energi Selubung bangunan pada Bangunan Gedung, BSN, 2000
- 62 Soedhana Sapiie dan Osamu Nishino, Pengukuran dan Alat-alat Ukur Listrik, Pradya Paramita, 2000
- 63 Soelaiman, TM & Mabuchi Magarisawa, Mesin Tak Serempak dalam Praktek, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1984
- 64 Sofian Yahya, Diktat Programmable Logic Controller (PLC), Politeknik Negeri Bandung, 1998.
- 65 Sumanto, Mesin Arus Searah, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, 1995.
- 66 Theraja, B.L, A Text Book of Electrical Tecnology, Nirja, New Delhi, 1988.
- 67 Thomas E. Kissell, Modern Industrial / Electrical Motor Controls, Pretience Hall, New Jersey, 1990
- 68 Trevor Linsley, Instalasi Listrik Dasar, Penerbit Erlangga, 2004

- 69 T. Davis, Protection of Industrial Power System, Pregamon Press, UK, 1984
- 70 Zan Scbotsman, Instalasi Edisi kelima, Erlangga, 1993
- 71 Zuhail, Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya, Gramedia, Jakarta, 1988.
- 72 <http://www.howstuffworks.com>
- 73 http://www.reinhausen.com/rm/en/products/oltc_accessories/, oil + breather
- 74 <http://www.myinsulators.com/hungary/busing.html>
- 75 <http://www.geindustrial.com/products/applications/pt-optional-accessories.htm>
- 76 http://www.reinhausen.com/messko/en/products/oil_temperature/
- 77 <http://www.abb.com/cawp/cnabb051/21aa5d2bbaa4281a412567de003b3843.aspx>
- 78 http://www.cedaspe.com/prodotti_ing.html
- 79 <http://www.eod.gvsu.edu/~jackh/books/plcs/>
- 80 <http://www.answers.com/topic/motor>
- 81 http://kaijeli.en.alibaba.com/product/50105621/50476380/Motors/Heavy_Duty_Single_Phase_Induction_Motor.html
- 82 http://www.airraidsirens.com/tech_motors.html
- 83 http://smsq.pl/wiki.php?title=Induction_motor
- 84 http://www.allaboutcircuits.com/vol_2/chpt_13/11.html
- 85 <http://www.tpub.com/neets/book5/18d.htm>
- 86 <http://www.ece.osu.edu/ems/>
- 87 <http://www.eatonelectrical.com/unsecure/html/101basics/Module04/Output/HowDoesTransformerWork.html>
- 88 <http://www.dave-cushman.net/elect/transformers.html>
- 89 http://www.eng.cam.ac.uk/DesignOffice/mdp/electric_web/AC/AC_9.html
- 90 http://claymore.engineer.gvsu.edu/~jackh/books/plcs/file_closeup/ =>clip arts
- 91 http://img.alibaba.com/photo/51455199/Three_Phase_EPS_Transformer.jpg
- 92 <http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/electricity/generators/index.html>
- 93 <http://www.e-leeh.org/transformer/>
- 94 http://www.clrwtr.com/product_selection_guide.htm
- 95 <http://www.northerntool.com/images/product/images>
- 96 <http://www.alibaba.com>
- 97 <http://www.adbio.com/images/odor>
- 98 <http://www.dansdata.com/images/2fans>
- 99 http://www.samstores.com/_images/products

- 100 <http://www.wpclipart.com/tools/drill>
- 101 <http://www.atm-workshop.com/images>
- 102 <http://www.oasis-engineering.com>
- 103 <http://www.mikroelektronika.co.yu/english/index.htm>
- 104 <http://www.industrialtext.com>
- 105 <http://www.pesquality.com>
- 106 http://www.abz-power.com/en_25e7d4dc0003da6a7621fb56.html
- 107 <http://www.usace.army.mil/publications/armymtm/tm5-694/c-5.pdf>
- 108 <http://www.cumminspower.com/www/literature/technicalpapers>
- 109 <http://www.cumminspower.com/www/literature/technicalpapers/F-1538-DieselMaintenance.pdf>
- 110 <http://www.sbsbattery.com/UserFiles/File/Power%20Qual/PT-7004-Maintenance.pdf>

RIWAYAT PENULIS



Prih Sumardjati Mulyaseputra, seorang sarjana pendidikan teknik elektro. Dilahirkan di Yogyakarta tahun 1958, menamatkan studinya tahun 1983 pada Fakultas Pendidikan Teknik Kejuruan, IKIP Yogyakarta, kini Universitas Negeri Yogyakarta pada Jurusan Pendidikan Teknik Elektro. Pengalaman kerja dalam bidang instalasi listrik dimulai sejak lulus STM Yogyakarta I tahun 1976.

Pada tahun 1983 mengikuti training sebagai calon dosen politeknik di Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik (PEDC) Bandung. Tahun 1984 diangkat sebagai Master Teacher Jurusan Teknik Elektro PEDC, dan pernah mengikuti program magang industri di Sprecher +Schuh, Aarau, Switzerland tahun 1990 - 1992. Menjadi dosen politeknik ITB tahun 1995 hingga

sekarang, kini POLBAN. Beberapa *course note*, buku ajar, *job sheet*, *handout* pernah / sedang dikerjakan pada bidang teknik elektro untuk lingkungan POLBAN.

Semenjak tahun 1993 diperbantukan di Dikti sebagai tenaga ahli hingga tahun 2007 dalam kegiatan dibidang pendidikan tinggi, pernah mengikuti dan melaksanakan berbagai seminar, workshop, lokakarya, pengelolaan proyek dalam rangka pengembangan pendidikan politeknik dan program diploma antara lain penyusunan kurikulum; SAP; penulisan bahan ajar; manajemen pendidikan politeknik; evaluasi usulan program studi baru diploma; penyusunan unit perawatan dan perbaikan infrastruktur dan peralatan pendidikan tinggi. Tahun 2000 membantu kegiatan Dikmenjur sebagai tenaga ahli studi pengembangan SMK; tahun 2001 penyusunan perencanaan fasilitas pendidikan SMK; dan tahun 2002 penyusunan Standar Pelayanan Minimal SMK. Tahun 2007, Direktur Pembinaan SMK melalui Kasubdit Pembelajaran memberikan kepercayaan untuk menulis Buku Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik untuk SMK, dan ini merupakan karya buku yang perdana.



Sofian Yahya, Staf Pengajar di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung, lahir pada tanggal 26 Desember 1959 di Garut. Pada tahun 1979 mulai kuliah di FPTK IKIP Padang (Universitas Negeri Padang), kuliah diselesaikan pada tahun 1983.

Tahun 1983 sampai tahun 1984 mengikuti Diklat di Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik Bandung dan diakhir tahun yang sama memulai bertugas sebagai staf pengajar di Polban sampai sekarang, Mata kuliah yang diajarnya adalah Mesin Listrik, PLC, Pemrograman Komputer, Alat

Ukur dan Pengukuran Listrik.

Berbagai jabatan pernah didudukinya, diantaranya Ketua Program Studi, Kepala Laboratorium Mesin Listrik, dan Kepala Laboratorium PLC & Komputasi. Pada

tahun 1999 dan lulus tahun 2001 mengikuti pendidikan Diploma IV di Jurusan Teknik Elektro ITB, dengan bidang keahlian Teknik Kendali.

Tahun 2000 pernah membantu kegiatan Dikmenjur sebagai tenaga ahli studi pengembangan SMK; kemudian tahun 2001 dalam kegiatan penyusunan perencanaan fasilitas pendidikan SMK; dan tahun 2002 dalam kegiatan penyusunan Standar Pelayanan Minimal SMK.



Ali Mashar, lahir di Jombang tanggal 23 Juni 1959. Pada saat ini penulis adalah dosen di Jurusan Teknik Konversi Energi – Politeknik Negeri Bandung (Politeknik ITB). Lulus dari Jurusan Teknik Listrik FPTK-IKIP Yogyakarta pada tahun 1983. Sebelum menjadi dosen di Politeknik Negeri Bandung (Politeknik ITB), penulis sempat mendapatkan pelatihan sebagai pengajar di bidang teknik listrik selama satu tahun di Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik (PEDC) Bandung. Kemudian mendapat tugas belajar di HTL Raperswil Switzerland selama satu tahun di bidang *General Energy Technology*.

Ketika tugas belajar di Swiss, penulis juga sempat mendapatkan pengalaman praktis di **Escherwiss-Zurich** di bidang *Water Turbines*, **Sulzer-Winterthur** di bidang *Electrical Power*, dan di **BBC-Baden** di bidang *Electric Machines for Traction*. Penulis menyelesaikan program master (S2) di **School of Electrical Engineering, The University of New South Wales (UNSW), Sydney-Australia** pada tahun 1994. Selain menjadi dosen di Politeknik Negeri Bandung, penulis sempat bekerja di Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik (PEDC) mulai tahun 1986 – 1996 sebagai tenaga teknis dan manajerial.

Penulis pernah menulis buku Petunjuk Praktikum Teknik Kendali (1996) dan Petunjuk Praktikum Elektronika Daya (1996). Di samping itu, atas sponsor PEDC, penulis pernah menterjemahkan buku *Process Control Instrumentation Technology* (Curtis D. Johnson) dan *Electric Machinery* (Peter F. Ryff) dengan sponsor GTZ. Penulis juga aktif dalam memberikan pelatihan-pelatihan profesional di bidang ketenagalistrikan dan *Industrial Safety* bagi karyawan-karyawan industri maju di Indonesia.

ISBN 978-979-060-093-5
ISBN 978-979-060-094-2

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 20.834,00