



TEKNIK PEMANFAATAN TENAGA LISTRIK JILID 2

untuk SMK

Prih sumardjati, dkk.



JILID 2

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 2

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 2

Untuk SMK

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

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

SUMARDJATI, Prih
t Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 2 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. 130 hlm
Daftar Pustaka : 354-356
ISBN : 978-979-060-095-9

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 listrik untuk sistem permesinan industri (Mesin-mesin Listrik) dan sarana 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 harapan 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 jariyah 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 Pembedaan	195
2.15.7. Contoh Identifikasi Gangguan Pada Pembedaan 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 Dhasilkan 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 (mengganggu 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 fluorezen	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 magnit	333
4.63	Simbol kontaktor magnit	333
4.64	Kontak Utama dan TOR	334
4.65	Kontak-kontak Bantu	334
4.66	Kontaktor Magnit dan Timer	335
4.67	Timer on Delay	335
4.68	Timer Off Delay	335
4.69	Kontaktor magnit dengan waktu tunda kombinasi hidup-mati	336
4.70	Kontaktor magnit 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	Transformator 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
5.27	Transformator Faktor Daya "Leading"	363
5.28	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 Transformator 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 Kumputan Motor	452
5.155	Putaran Fluksi	453
5.156	Bentuk Gelombang Fluksi	454
5.157	Lengkung Torsi Motor Induksi Satu Fasa	455
5.158	Kumputan 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 Kumputan	481
5.187	Hubungan Kumputan	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	Kompoenen 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>	<i>26</i>
<i>Tabel 2.2 Golongan Pelanggan PT. PLN</i>	<i>27</i>
<i>Tabel 2.3 Standarisasi Daya Pelanggan TM Dengan Pembatas Pelabur TM</i>	<i>28</i>
<i>Tabel 2.4 Standarisasi Daya Pelanggan TM Dengan Pembatas Pelabur TR</i>	<i>28</i>
<i>Tabel 2.5 Golongan Tarif</i>	<i>29</i>
<i>Tabel 2.6 Standar Daya PLN</i>	<i>43</i>
<i>Tabel 2.7 Daftar bahan untuk pemasangan instalasi listrik rumah tinggal</i>	<i>57</i>
<i>Tabel 2.8 Panjang Gelombang</i>	<i>79</i>
<i>Tabel 2.9 Daftar Efikasi Lampu</i>	<i>83</i>
<i>Tabel 2.10 Perhitungan Intensitas Penerangan</i>	<i>83</i>
<i>Tabel 2.11 Tingkat Pencahayaan</i>	<i>86</i>
<i>Tabel 2.12 Tingkat Pencahayaan Minimum Yang Direkomendasikan dan Renderasi Warna</i>	<i>87</i>
<i>Tabel 2.13 Efisiensi Armatur Penerangan Langsung</i>	<i>92</i>
<i>Tabel 2.14 Efisiensi Armatur Penerangan Sebagian Besar Langsung</i>	<i>93</i>
<i>Tabel 2.15 Efisiensi Armatur Langsung Tak Langsung</i>	<i>94</i>
<i>Tabel 2.16 Efisiensi Armatur</i>	<i>95</i>
<i>Tabel 2.17 Efisiensi Armatur Penerangan Tak Langsung</i>	<i>96</i>
<i>Tabel 2.18 Intensitas Penerangan</i>	<i>98</i>
<i>Tabel 2.19 Konsumsi Daya Listrik Lampu</i>	<i>99</i>
<i>Tabel 2.20 Temperatur Warna Yang Direkomendasikan Untuk Berbagai Fungsi/Jenis Ruang</i>	<i>101</i>
<i>Tabel 2.21 Fluks Cahaya dan Efikasi Lampu</i>	<i>103</i>
<i>Tabel 2.22 Contoh Jenis Lampu Yang Dianjurkan Untuk Berbagai Fungsi/Jenis Bangunan</i>	<i>105</i>
<i>Tabel 2.23 Daya Listrik Maksimum untuk Pencahayaan yang Diijinkan</i>	<i>108</i>
<i>Tabel 2.24 Daya Pencahayaan Maksimum Untuk Tempat Di Luar Lokasi Bangunan Gedung</i>	<i>109</i>
<i>Tabel 2.25 Daya Pencahayaan Maksimum Untuk Jalan dan Lapangan</i>	<i>109</i>
<i>Tabel 2.26 Tingkat Pencahayaan Minimum Yang Direkomendasikan dan Renderasi Warna</i>	<i>111</i>
<i>Tabel 2.27 Ikhtisar Illuminasi Untuk Beberapa Jenis Gedung</i>	<i>117</i>
<i>Tabel 2.28 Karakteristik Lampu Halogen</i>	<i>130</i>
<i>Tabel 2.29 Warna Cahaya Lampu Tabung</i>	<i>131</i>
<i>Tabel 2.30 Kemampuan tabung dialiri arus listrik</i>	<i>135</i>

<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>

3. PERALATAN LISTRIK RUMAH TANGGA

3.1 Alat-alat Laundry

3.1.1 Seterika Listrik

3.1.1.1 Pendahuluan

Seterika listrik adalah alat yang dipanaskan dengan menggunakan daya listrik dan digunakan untuk menghilangkan kerut-kerut pada pakaian atau baju atau lainnya yang terbuat dari kain sehingga licin dan rapi.

Pada saat ini ada banyak jenis seterika, dari yang untuk keperluan rumah tangga sampai industri seperti hotel, rumah sakit, dan lain-lain.



a) Seterika kering



b) Seterika uap

Gambar 3.1. Jenis-jenis seterika

Bagian panas dari seterika pada awalnya dibuat dari besi sehingga ada masalah dengan kebersihannya akibat karat pada besi. Hasil perbaikannya, pada saat ini, bagian pemanasnya dibuat dari

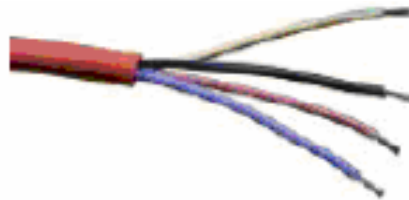
aluminium atau stainless steel. Panas dari seterika modern dikendalikan dengan termostat yang fungsinya untuk mengendalikan suhu relatif konstan sesuai dengan kebutuhan, jenis kain dan tingkat kehalusan hasil setrikaan.

3.1.1.2 Bagian-Bagian Utama dan Fungsinya

Bagian-bagian utama seterika bervariasi tergantung dari jenis fitur yang ditawarkan. Namun pada umumnya, seterika terdiri atas bagian-bagian sebagai berikut.

1. Kabel daya:

Kabel daya ini terbuat dari kabel fleksibel (dengan inti serabut) yang dibungkus dengan bahan isolasi kain menjadikannya tetap lentur sehingga tidak mudah putus dan aman dari bahaya sengatan listrik.

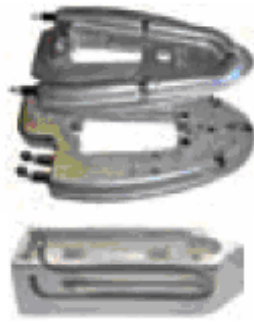


Gambar 3.2. Kabel daya

Kabel daya pada seterika ada yang arahnya bisa diatur sehingga memudahkan dalam proses penyetrikaannya.

2. Elemen pemanas:

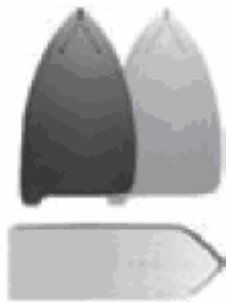
Elemen pemanas adalah suatu elemen yang akan membangkitkan panas bila dialiri arus listrik. Dari elemen pemanas inilah sumber energi panas dibangkitkan.



Gambar 3.3 Jenis-jenis Elemen pemanas

Elemen pemanas diletakkan antara besi pemberat dan alas seterika.

3. Alas:
Alas seterika adalah bagian seterika yang akan bersentuhan langsung dengan kain yang diatuerika. Alas seterika dibuat dari bahan anti karat seperti alumunium, stainless steel atau minimal dengan lapisan bahan anti karat dan anti lengket (Teflon) agar tidak mudah kotor dan mengotori kain yang diatuerika.



Gambar 3.4. Jenis-jenis alas seterika

4. Lampu indikator:
Hampir semua seterika listrik dilengkapi dengan indikator lampu. Indikator lampu digunakan sebagai tanda bahwa seterika telah tersambung

dengan sumber tegangan atau tidak (ON atau OFF). Bila lampu menyala berarti ada arus listrik yang mengalir ke seterika (ON) dan sebaliknya bila lampu mati berarti tidak ada arus listrik yang mengalir (OFF). Matinya lampu indikator juga menunjukkan bahwa seterika telah mencapai suhu maksimumnya.

5. Penutup dan pemberat:
Penutup atau selungkup seterika dibuat dari bahan isolasi untuk mencegah bahaya sengatan listrik. Di samping itu, penutup juga yang anti panas guna mencegah bahaya sentuhan ke bagian tubuh manusia.

Pemberat biasanya terbuat dari besi dan sesuai dengan namanya, fungsinya sebagai pemberat seterika agar memudahkan dalam pemakaiannya.



Gambar 3.5. Penutup dan pemberat

Bentuk penutup dan pemberat tergantung pada model seterika.

6. Pengatur On-Off dan suhu:
Hampir semua seterika dilengkapi dengan pengatur suhu sehingga tinggi rendahnya suhu dapat disesuaikan dengan jenis

tekstil/kain yang akan diatuerika. Pengatur suhu ini biasanya menggunakan prinsip bimetal.



Gambar 3.6. Saklar dan pengatur suhu

7. Reservoir air dan slang uap
Seterika dengan fitur semburan uap dilengkapi dengan reservoir air dari mana uap diproduksi. Reservoir air ini dapat diisi air kembali dengan mudah. Bila tidak diperlukan semburan uap, reservoir air dibiarkan kosong (tidak perlu diisi). Hal ini tidak menjadi masalah. Setelah selesai pemakaian, reservoir air ini harus dalam keadaan kosong untuk menghindari korosi. Untuk merk tertentu reservoir dibuat transparan dan dilengkapi dengan lampu dengan warna cahaya tertentu sehingga level air dalam reservoir dapat terlihat dengan jelas.
8. Tangkai pemegang seterika
Tangkai pemegang seterika terbuat dari bahan isolasi (kayu atau plastik). Ini dimaksudkan apabila ada kebocoran arus listrik tidak membahayakan pemakaiannya.



Gambar 3.7. Tangkai seterika

3.1.1.3 Prinsip kerja seterika listrik

Bila seterika dihubungkan ke sumber tegangan listrik dan dihidupkan (ON), maka arus listrik mengalir melalui elemen pemanas. Dengan adanya arus listrik yang mengalir ini, elemen pemanas membangkitkan panas. Panas ini kemudian disalurkan secara konduksi pada permukaan dasar seterika (permukaan yang digunakan untuk melicinkan pakaian). Panas yang dibangkitkan ini akan terus meningkat bila arus listrik terus mengalir. Oleh karena itu, bila seterika tidak dilengkapi dengan pengatur suhu, untuk mencegah terjadinya panas lebih seterika harus diputuskan dari sumber listriknya dan disambungkan kembali bila suhu mulai kurang. Demikian kondisi ini terjadi secara berulang. Namun, bila seterika sudah dilengkapi dengan pengatur suhu, maka seterika akan memutuskan aliran listriknya secara otomatis bila suhu telah mencapai maksimal. Sebaliknya bila suhu menurun sampai harga tertentu, seterika juga akan secara otomatis menghubungkan aliran listriknya. Demikian siklus kerja otomatis ini berulang.

3.1.1.4 Catatan penggunaan

- Beberapa seterika komersial mempunyai boiler yang terpisah dari seterikanya dan dilengkapi dengan katup pengatur jumlah semburan uap.
- Penyeterikaan pada umumnya dilakukan di atas meja seterikaan yang

yaberukuran kecil, ringan, dan dapat dilipat yang bagian atasnya dilapisi dengan bahan anti panas.

- Meja seterikaan jenis tertentu dilengkapi dengan elemen pemanas dan pedal vakum untuk menyedot air melalui permukaan meja sehingga kain/bahan yang diatuerika dalam keadaan kering.
- Pada loundry komersial, biasanya menggunakan tekanan uap untuk menyeterika tidak seperti seterika biasa.
- Seterika seringkali menyebabkan kebakaran dan luka akibat dari panas dan beratnya. Hal ini terjadi bila seterika terjatuh dari atas meja dan menimpa orang.

3.1.1.5 Bagaimana memilih seterika

- Pilih model yang membuat penyeterikaan bisa dilakukan dengan mudah.
- Sesuaikan seterika dengan tangan anda. Sangatlah penting memilih seterika yang mempunyai tangkai pemegang sesuai dengan tangan anda. Berat seterika juga perlu dipertimbangkan.
- Bila bahan yang akan diatuerika bermacam-macam maka perlu dipilih seterika dengan uap yang cukup banyak. Misalnya, kalau bahan terdiri dari bahan serat alami (linen, cotton) perlu uap cukup banyak. Untuk bahan-bahan sintetik cukup dengan uap yang lebih sedikit.
- Pilih yang ada saklar pengaturanya yang terlihat jelas dan dapat digunakan dengan mudah. Misalnya pengaturan untuk jenis-jenis bahan yang akan diatuerika kelihatan jelas dan tidak membingungkan.

3.1.1.6 Perawatan seterika

Ada banyak jenis dan fitur seterika, maka dari itu, cara pemeliharaan dan perawatannya juga berbeda antara satu dan lainnya. Berikut ini adalah contoh pemeliharaan dan perawatan seterika yang bertenaga listrik.

1. Kabel daya:
Kabel daya merupakan saluran daya listrik dari sumber ke seterika. Seterika biasanya dalam pemakaiannya akan bergerak ke segala arah sesuai dengan kebutuhan. Akibat dari pergerakan ini seringkali membuat kabel tergulung dan melintir dan gulungan/pelintiran yang berjalan dalam waktu lama bisa menggoyahkan sambungan dan dudukan terminal, merusakkan isolasi dan bahkan bisa memutuskan kabel penghubungnya. Kontak yang tidak kuat/longgar akan mengakibatkan pemanasan setempat atau percikan api listrik yang bisa menyebabkan bahaya kebakaran. Kabel yang isolasinya mengelupas atau rusak akan menimbulkan bahaya sengatan listrik bagi manusia. Untuk mencegah terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan perlu dilakukan pengecekan dan pengencangan terminal-terminal sambungan, pengisolasian kembali bagian kabel yang mengalami kerusakan isolasinya atau mengganti kabel dayanya.
2. Seterika tidak panas
Bila setelah dihubungkan ke sumber listrik, seterika tidak panas, sementara lampu indikator mati, maka perlu diperiksa sumber tegangan. Jika sumber ada tegangannya maka perlu diperiksa saklar/saklar On/Off. Jika saklar/saklar belum di"On"kan maka "On"kanlah. Jika setelah

di"On"kan, seterika masih tetap tidak panas, maka lakukan langkah 3.

3. Periksalah dan kencangkan koneksi-koneksi terminal dan kemudian periksalah apakah kabelnya masih dalam keadaan baik dengan menggunakan multimeter pada posisi Ohmmeter. Pemeriksaan dilakukan pada ujung tusuk kontak kabel daya. Jika berdasarkan hasil pengecekan ternyata terhubung maka seterika siap untuk dioperasikan. Namun jika ternyata tidak ada hubungan maka dilakukan langkah 4.
4. Lepas terminal sambungan antara kabel daya dan elemen pemanas. Kemudian periksa kondisi kabel dan elemen pemanasnya seperti yang dilakukan pada langkah 3. Jika ditemukan bagian yang putus pada kabel maka gantilah/sambunglah kabelnya, namun jika ditemukan bahwa yang terputus adalah elemen pemanasnya maka gantilah dengan yang baru.
5. Bila pengaturan panas yang tidak berfungsi dengan baik, seperti setelah dilakukan pengaturan pada suhu atau untuk jenis kain tertentu seterika tidak memberikan respon sebagaimana yang seharusnya, berarti perlu penggantian komponen kontrolnya.
6. Dalam penggantian kabel atau elemen yang baru, spesifikasinya harus disesuaikan dengan yang lama.

3.1.1.7 Pemeriksaan dan pelaporan hasil kerja perawatan

Setelah selesai perawatan harus dilakukan pemeriksaan terhadap kerja seterika. Pemeriksaan meliputi:

1. Panas seterika
Beberapa saat setelah seterika dihidupkan harus timbul panas pada permukaan bagian bawah seterika. Semakin lama waktu maka panas akan semakin meningkat.
2. Pengaturan suhu
Seterika akan mati secara otomatis bila suhunya mencapai suhu yang diatur pada saklar pengatur suhunya. Sebaliknya, seterika akan hidup kembali ketika suhunya lebih rendah dari pengaturan suhunya.
3. Untuk seterika uap, selama masih terdapat air pada reservoirnya dan seterika dalam keadaan cukup panas, maka uap akan selalu keluar dari rongga-rongga uap seterika.
4. Berdasarkan hasil pemeriksaan ini kemudian dibuat laporan hasil pemeriksaan dan kerja sebagai bukti bahwa telah dilakukan pengujian terhadap kinerja seterika. Disamping itu, harus dilaporkan pula tentang jenis kerusakan, bagian/komponen yang diperbaiki dan atau diganti. Laporan ini sangat diperlukan pada perawatan berikutnya, yaitu bila alat yang sama mengalami kerusakan lagi.

3.1.1.8 Ikhtisar bagian-bagian utama setrika

Model	1	2
Alas		
Penutup dan pemberat		
Elemen pemanas		
Pemegang	 	
Kontrol	     	

Gambar 3.8. Ikhtisar bagian-bagian utama setrika

3.1.2 Mesin Cuci Pakaian

3.1.2.1 Pendahuluan

Mesin cuci pakaian merupakan salah satu mesin yang bekerja sangat berat guna membantu kita dalam mencuci pakaian. Pakaian yang kotor dimasukkan, mesin dihidupkan, kemudian mesin akan bekerja mencuci pakaian sampai dengan proses pengeringan. Menjadi suatu hal yang menarik bila kita ingin masuk lebih dalam lagi tentang bagaimana mesin beroperasi, bagian-bagian penting apa saja yang ada di dalam mesin dan lain-lain. Pada saat ini demikian banyak jenis dan merk mesin cuci yang beredar di pasaran yang setiap saat bisa diperoleh dari para agen dan toko di sekitar kita. Berikut ini akan dijelaskan tentang mesin cuci pakaian yang relatif lengkap fungsinya.

3.1.2.2 Prinsip Kerja Mesin Cuci Pakaian

Prinsip kerja mesin cuci pakaian adalah sebagai berikut:

- Sebelum atau setelah memasukkan pakaian ke dalam mesin cuci ada beberapa hal yang perlu diketahui, yaitu:
 - berat pakaian yang akan dicuci (ringan, medium, berat, sangat berat),
 - berapa suhu air yang dikehendaki untuk pencucian dan pembilasan (dingin, hangat, panas),
- Setelah memasukkan pakaian ke dalam mesin cuci, kemudian mesin dihidupkan (di "on" kan).
- Kemudian mesin akan membuka katub sehingga air mengisi tabung, dan setelah jumlah air mencukupi mesin kemudian bekerja dengan memutar bolak-balik/membolak-balik pakaian dengan menggunakan "agitator".
- Setelah beberapa waktu mesin membolak-balik pakaian, air bekas cucian dibuang keluar kemudian mesin berputar kencang (*spin*) sehingga air bekas pencucian terbang keluar.
- Setelah itu, mesin kembali mengisi air, menambahkan sabun/detergen seperlunya dan membolak-balik pakaian, membuang air, kemudian

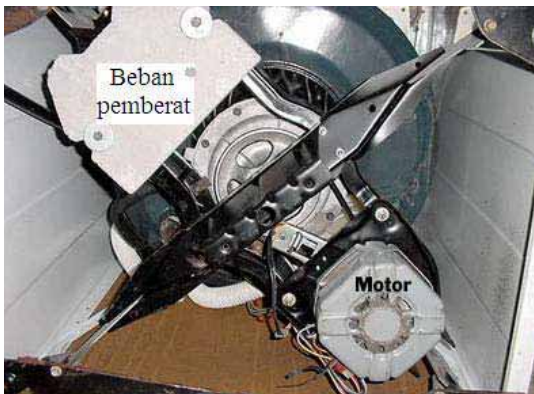


Gambar 3.9. Mesin cuci pakaian

melakukan *spin* lagi. Demikian proses berlanjut sampai dengan batas waktu pencucian yang telah diatur.

3.1.2.3 Bagian-bagian Utama Mesin

Jika kita perhatikan secara seksama bagian dalam mesin, kita akan mengetahui mengapa mesin cuci sangat berat. Di dalam mesin ini terdapat motor penggerak, pemberat (dari beton) yang digunakan sebagai penyeimbang berat motor, roda gigi (*gear box*) dan tabung pencucian yang terbuat dari baja (perhatikan Gambar 3.10). Bagian-bagian itulah yang menyebabkan mesin cuci sangat berat.



Gambar 3.10 Motor dan beban pemberat

Mesin cuci mempunyai dua tabung baja, yaitu: tabung bagian dalam dan tabung bagian luar. Tabung bagian dalam berfungsi sebagai tempat pakaian. Tabung ini mempunyai agitator pada tengah-tengahnya dan pada dinding samping terdapat lubang-lubang kecil sehingga ketika tabung diputar cepat (*spin*) air bisa keluar.

Tabung bagian luar, yang bertindak sebagai wadah air, menempel di badan mesin. Karena ketika mesin bekerja tabung-dalam selalu bergerak dan

bergetar, tabung ini harus dipasang sedemikian rupa sehingga dapat bergerak secara bebas dan tidak bergesekan atau bersentuhan dengan bagian-bagian mesin yang lain.

Tabung bagian dalam dipasang pada roda gigi, yang dipasang pada kerangka logam hitam seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.11. Kerangka ini memegang motor, roda gigi dan beton pemberat.

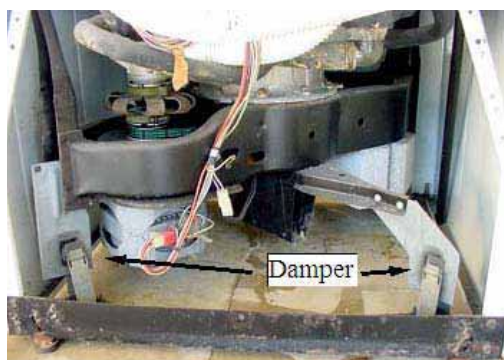


Gambar 3.11 Sistem penyangga pulley

Gambar 3.11. memperlihatkan frame logam hitam tanpa tabung dan roda gigi. Ada tiga pulley, bila pulley sisi yang satu bergerak ke atas, yang pada sisi lain bergerak ke bawah. Sistem ini menopang bagian-bagian mesin yang berat, yang memungkinkan mereka bergerak sedemikian rupa sehingga tidak mengguncang mesin secara keseluruhan.

Tetapi, bila bagian-bagian ini hanya menggantung pada kabel, mengapa tidak bergoyang ke kanan-ke kiri?

Mesin cuci mempunyai sistem peredam (damper) yang menggunakan friksi untuk meredam gaya-gaya dari vibrasi (getaran).



Gambar 3.12. Sistem peredam getaran

Pada masing-masing sudut dari mesin ada mekanik yang bekerja seperti cakram-rem (*disc brake*). Bagian yang dipasang pada kerangka mesin berupa sebuah pegas (Gambar 3.12). Pegas ini menahan dua bantalan ke lempeng-logam yang dipasang pada kerangka hitam. Kita bisa melihat dimana bantalan-bantalan menjaga lempeng agar tidak bergerak selama mesin bervibrasi.

3.1.2.4 Pemipaan

Pipa pada mesin cuci mempunyai beberapa tugas:

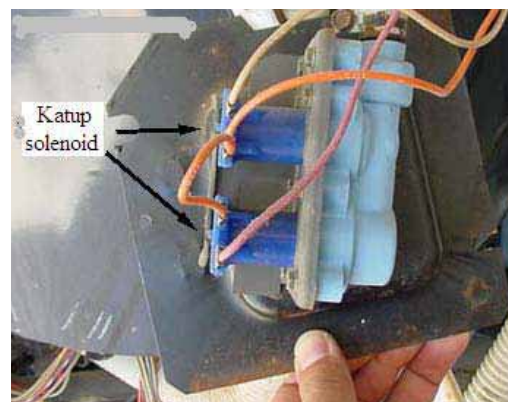
- Pipa mengisi air ke mesin cuci dengan suhu yang sesuai.
- Mensirkulasikan air cuci dari bawah tabung cuci kembali ke atas, selama proses pencucian.
- Memompa air keluar drain, selama proses spinning.

Mesin cuci mempunyai pengait untuk dua saluran air pada bagian belakang mesin, satu untuk air panas dan satunya lagi untuk air dingin. Kedua saluran ini dikaitkan ke bodi dari katup solenoid.

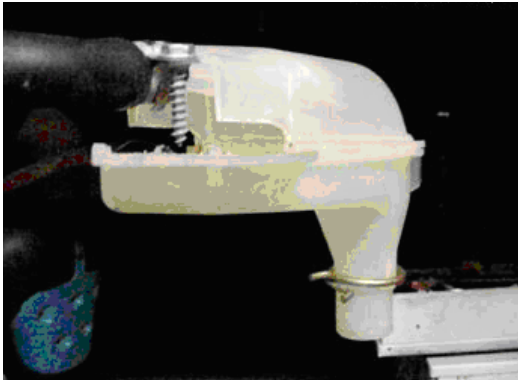
Gambar 3.13 memperlihatkan bagian belakang dan depan dari katup solenoid.

Ada dua katup, tapi mereka masuk ke satu slang (*hose*). Katup dingin atau katup panas yang bekerja, tergantung dari temperatur yang dipilih.

Sebelum slang mengalirkan air ke dalam tabung cuci, slang mengalirkan air melalui piranti *anti-siphon* (pipa pemindah).



Gambar 3.13. Bagian belakang mesin dan katup solenoid



Gambar 3.14. Piranti anti-siphon

Piranti ini mencegah air cucian yang disedot kembali ke saluran suplai air menyembur keluar langsung sehingga bisa mengotori rumah atau lingkungan sekitar. Piranti plastik berwarna putih mempunyai saluran masukan yang besar untuk memudahkan air mengalir masuk (Gambar 3.14).

Air dari slang menyembur masuk ke dalam piranti ini dan berbelok ke bawah, kemudian keluar melalui tabung pada sisi yang lain. Ketika air ada di dalamnya, piranti anti-siphon ini terhubung dengan tekanan atmosfer sehingga ketika ada pengisapan pada saluran suplai air, air yang ada di dalam mesin cuci tidak ikut tersedot, kecuali udara.



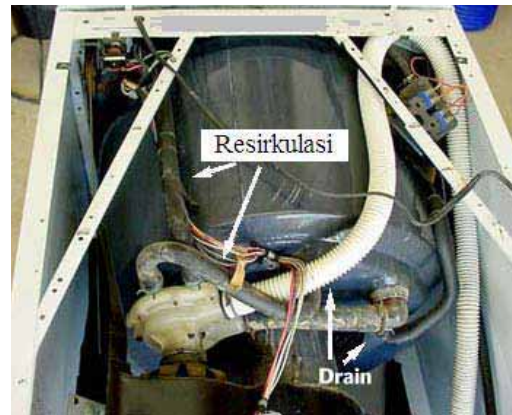
Gambar 3.15. saluran masuk (inlet) air dan tempat limpahan air

Gambar 3.15 memperlihatkan inlet, yang merupakan jalan air masuk ke me-

sin. Nosel sebelah kanan adalah saluran aliran lebih, yang terhubung ke sebuah pipa yang menghalangi air keluar dari bawah mesin ke lantai, namun mencegah meluapnya air dari tabung yang bisa membasahi motor.

3.1.2.5 Pompa

Bagian terakhir dari sistem pipa air, bagian yang mensirkulasikan air dan bagian yang membuang air, yaitu pompa air.



Gambar 3.16. Pompa dan saluran air

Dari Gambar 3.16 terlihat bagian pompa dipasang. Pompa ini sebenarnya dua pompa yang terpisah. Separoh bagian bawah pompa dikaitkan ke saluran pembuangan (drain), separoh bagian atasnya mensirkulasikan air cuci. Apakah pompa akan memompa air ke pembuangan atau memompa balik air ke tabung cuci?

Inilah yang menjadi trik dalam mesin cuci. Motor yang memutar pompa dapat berbalik arah. Motor berputar pada satu arah ketika proses pencucian dan mensirkulasikan air ke dalam mesin dan motor akan berputar pada arah berlawanan ketika proses spinning dan pembuangan air.

Mari kita melihat pompa secara lebih dekat lagi (Gambar 3.17).



Gambar 3.17. Pompa air

Jika diperhatikan secara cermat, kita dapat melihat sudu bagian bawah dari pompa. Apabila air memasuki inlet pompa, sudu-sudu ini, menekan air ke sekitar dan menekannya keluar dari pompa pada saluran outlet. Pompa jenis ini dapat beroperasi dua arah, tergantung pada saluran mana, inlet atau outlet.

Jika pompa berputar ke kanan (searah jarum jam), bagian bawah pompa mengisap air dari bawah tabung cuci dan menekannya ke saluran pembuangan, dan pompa bagian atas menyedot air dari bagian atas tabung cuci dan menekannya kembali ke bawah, sehingga tidak terjadi kehilangan/kehabisan air.

Jika pompa berputar ke kiri, pompa bagian atas mengisap air dari bawah tabung dan memompanya kembali ke atas, dan pompa bagian bawah memompa air dari saluran pembuangan kembali ke bagian bawah tabung. Sebenarnya ada sedikit di dalam saluran drain, namun pompa tidak mampu lagi menekannya kembali ke tabung.

Perhatikan pada saluran buangnya, bagaimana saluran ini menghubungkan

semua saluran ke bagian atas mesin sebelum mengarah balik ke bawah ke pembuangan. Karena satu ujung slang saluran dikaitkan pada bagian bawah tabung dan ujung lain terbuka ke atmosfer, ketinggian air di dalam slang pembuangan sama dengan ketinggian air di dalam tabung. Jika, slang pembuangan tidak ke atas semua sampai ke atas mesin, tabung tidak akan mengisi semua saluran. Segera setelah air mencapai belokan pada saluran, air akan keluar ke pembuangan.

3.1.2.6 Kontrol

Dewasa ini banyak jenis mesin cuci yang menggunakan teknologi digital. Dalam teknologi digital sistem bisa dikendalikan secara elektronik dan menggunakan mikrokontroler sebagai pengendalinya. Walaupun begitu, masih banyak mesin yang masih menggunakan sistem kendali elektromekanik.

Untuk mengetahui mekanisme pengendalian secara kasat mata akan lebih baik ditinjau dari aspek pembelajaran. Oleh karena itu, kontrol yang dibahas di sini adalah kontrol yang didesain sebelum menggunakan mikrokontroler. Pertama-tama marilah kita perhatikan bagian dalam saklar pemilih.

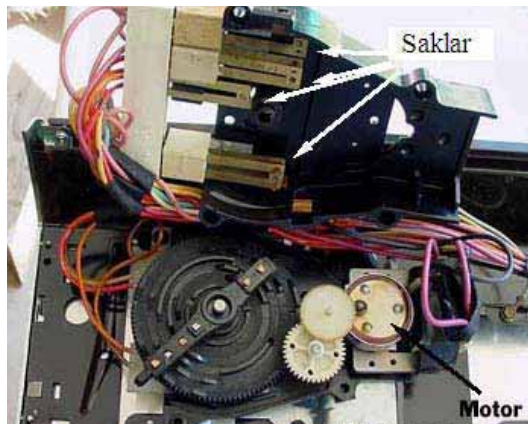


Gambar 3.18. Saklar pemilih tipikal

Saklar pemilih ini mempunyai tugas menentukan berapa lama waktu yang dibu-

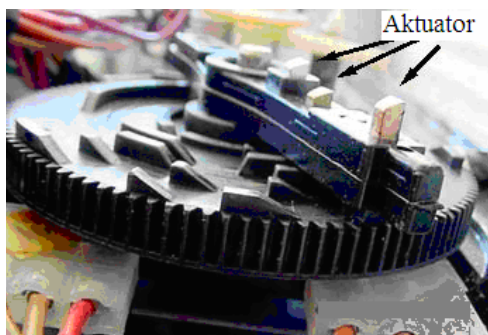
tuhkan untuk melakukan pencucian untuk keadaan yang berbeda seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.18.

Di dalam saklar terdapat sebuah motor kecil yang dilengkapi dengan gigi reduksi yang sangat tinggi yang membuat cakra (dial) kontrol berputar sangat perlahan.



Gambar 3.19. Keadaan di dalam saklar

Pada separoh bagian atas saklar, ada satu set enam kontak. Kontak-kontak ini diaktuasi (digerakkan) oleh logam-logam kecil dalam tuas plastik pada piringan tersebut. Ketika dial berputar, tonjolan pada bagian atas atau bawah dari enam potongan logam, menutup dan membuka kontak pada setengah saklar bagian atas.

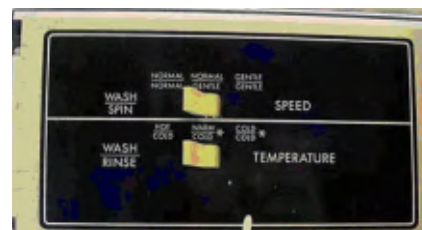


Gambar 3.20. Mekanisme saklar pemilih

Perhatikan Gambar 3.20. Kalau kita perhatikan bentuk tonjolan, kita bisa melihat mengapa dial pada mesin cuci hanya bisa berputar satu arah saja. Sisi depan tonjolan mempunyai kemiringan yang mengangkat kontak logam secara bertahap, tapi sisi belakangnya tidak sehingga jika diputar pada arah yang berlawanan, pinggir potongan logam akan tertahan pada tonjolan tersebut.

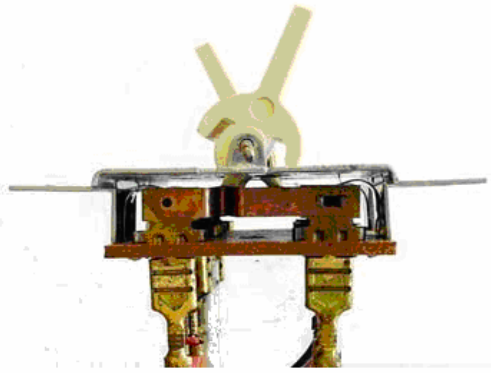
Cakram plastik yang menonjol ini, merupakan program perangkat lunak yang mengoperasikan mesin cuci. Panjang dari tonjolan menentukan seberapa lama waktu pencucian yang dibutuhkan oleh tiap-tiap bagian pencucian, dan panjang space antara tonjolan menentukan berapa lama mesin berhenti sebelum berputar lagi pada tahap berikutnya.

Saklar kontrol temperatur dan kecepatan jauh lebih sederhana dari saklar kontrol siklus



Gambar 3.21. Saklar kontrol temperatur dan kecepatan

Saklar-saklar ini mengontrol kecepatan motor dan menentukan solenoid suplai yang mana yang membuka selama proses pencucian, air dingin atau panas. Jika air panas yang dipilih, hanya solenoid air panas saja yang membuka ketika mesin mengisi air; bila yang dipilih adalah hangat, kedua solenoid akan membuka; jika dipilih dingin, hanya solenoid air dingin yang membuka.



Gambar 3.22. Gambaran saklar kontrol kecepatan dan temperatur

Kontrol kecepatan/temperatur cukup mudah. Setiap tuas plastik menggunakan dua-set kontak, membuka atau menutup rangkaian yang dihubungkan ke kontak-kontak tersebut. Pada setiap saklar, selalu terdapat satu set kontak tertutup dan satu set kontak terbuka. Kontrol ketinggian air menggunakan saklar-tekanan untuk mendeteksi ketinggian air di dalam tabung.



Gambar 3.23. Kontrol ketinggian air

3.1.2.7 Perawatan Mesin Cuci

Mesin cuci merupakan salah peralatan rumah tangga yang teknologinya berkembang cepat. Semakin baru, semakin banyak fiturnya dan semakin kompleks pula sistemnya. Oleh karena itu, untuk dapat melakukan perawatan perlu sekali mempelajari petunjuk perawatan yang khusus dari pabrik pembuatnya. Untuk menjadi ahli dalam perawatan, pabrik

akan menyelenggarakan program pelatihan khusus. Walaupun begitu ada beberapa hal yang dapat digunakan sebagai petunjuk para siswa dalam melakukan perawatan mesin cuci. Berikut ini adalah permasalahan-permasalahan yang sering terjadi pada mesin cuci.

1. Sistem kontrol kelistrikan
Sistem kontrol merupakan otak operasi mesin cuci. Sistem dan teknologi yang digunakan berbeda-beda antara satu dan lainnya sehingga bila ada permasalahan dengan bagian ini maka para siswa harus belajar secara khusus.
2. Sirkulasi air tidak lancar
Sirkulasi air ini meliputi pengaliran air masuk, pemompaan air ke dalam tabung ketika proses pencucian dan pemompaan air bekas cuci ke pembuangan. Ketika mesin di hidupkan, salah satu indikator bahwa mesin bekerja dengan baik adalah mengalirnya air dari outlet air ke dalam mesin cuci. Bila hal ini tidak terjadi, perlu diperiksa solenoid penggerak katup buka / tutup air. Bila tegangan pada solenoid cukup namun solenoid tidak bekerja maka perlu diganti dengan yang baru. Namun bila tegangan penggerakannya tidak ada maka harus dilacak sistem dayanya.

Sama halnya dengan pompa sirkulasi. Pompa ini menggunakan motor listrik sehingga dalam pengoperasiannya memerlukan daya listrik. Daya listrik sendiri dicatu oleh sistem kelistrikan mesin yang dikendalikan oleh alat pengontrol. Bila sistem kelistrikan tidak ada masalah, maka motor pompa yang bermasalah. Bila bagian ini yang bermasalah perlu penggantian dengan yang baru.

3. Suara mesin bising

Bila suara mesin terdengar berisik ketika mesin beroperasi, biasanya ada permasalahan pada bantalan (*bearing*). Bantalan perlu diperiksa dan bila secara mekanik masih bisa digunakan, biasanya cukup dilakukan dengan memberikan pelumasan atau pemberian stempet (*grease*) yang sesuai dengan jenis dan peruntukan bantalan. Bila tidak maka perlu diganti dengan bantalan yang baru.

Penyebab utama kerusakan bantalan adalah pembebanan yang berlebihan (mesin cuci diisi melebihi kapasitas maksimumnya). Dengan berat beban, bantalan akan bekerja lebih berat. Bila beban berlebih maka bantalan akan menerima beban di atas kemampuannya sehingga mengakibatkan kerusakan atau semakin pendek umurnya.

4. Mesin tidak berputar

Bila mesin cuci dioperasikan dan motor tidak berputar, maka permasalahannya terletak pada dua hal, yaitu sistem catu daya listriknya dan atau motor listrik. Kalau motor tidak dapat berputar, pertama-tama perlu diperiksa poros motor dengan jalan memutar porosnya untuk mengetahui ada tidaknya gangguan mekanik. Bila ada maka gangguan ini harus dihilangkan terlebih dahulu dan tidak jarang terjadi gangguan pada bantalan motor. Bila demikian maka perlu dilakukan penggantian bantalan dengan yang baru.

Bila tidak ada gangguan mekanik pada poros, pengecekan dilanjutkan ke catu daya listriknya. Bila pada bagian ini ada gangguan maka ha-

rus dilakukan perbaikan terhadap sistem catu dayanya.

Bila kedua kondisi di atas tidak ada masalah, maka pemeriksaan dilanjutkan pada motornya. Pemeriksaan dilakukan pada koneksi armature dan antara armatur dan catu daya listriknya, di mana bagian utamanya adalah sikat-sikatnya. Motor dimungkinkan tidak bisa berputar bila sikat-sikatnya sudah terlalu pendek atau koneksinya tidak sempurna lagi. Hal lain yang perlu dilakukan adalah melihat kondisi belitan motornya. Yang pertama-tama adalah melalui pengecekan secara visual. Bila dilihat ada bagian kumparan yang terbakar atau rusak sudah dapat dipastikan terjadi kerusakan pada kawat kumparan dan harus dililit kembali (*rewinding*). Bila secara visual tidak ada masalah, maka perlu dilakukan pemeriksaan sambungan dan pengukuran tahanan isolasi antara kumparan dan bodi. Bila tahanan isolasi sangat kecil, berarti kumparan sudah hubung singkat dengan bodi sehingga mesin tidak bisa beroperasi. Bila demikian yang terjadi maka harus dilakukan penggantian belitan.

Permasalahan yang terjadi pada motor, sangat dimungkinkan mengakibatkan kerusakan pada catu daya listriknya. Permasalahan operasi yang menjadi penyebab gangguan pada motor ini antara lain adalah karena beban berlebih, adanya faktor korosi dan juga rembesan/bocoran air yang mengenai motor. Rembesan air ini bisa menyebabkan motor mengalami hubung singkat dan akhirnya rusak.

3.1.2.8 Pemeriksaan dan Pelaporan Hasil Kerja Perawatan

Untuk mengetahui mesin dapat beroperasi secara baik maka perlu dilakukan pengujian. Dalam pengujian ini, mesin diatur pada mode operasi yang diinginkan, seperti berat ringannya bahan yang dicuci. Setelah itu, perlu Anda perhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Ketika di “On” kan mesin akan merespon dengan membuka katub masukan air sehingga air mengalir masuk tabung pencucian.
2. Setelah mesin terisi air secara cukup, mesin mulai berputar dan proses pencucian berlangsung. Selama proses pencucian ini, motor beroperasi normal, dan getaran tidak berlebihan.
3. Bila proses pencucian selesai, mesin melakukan pembuangan air bekas pencucian kemudian berlanjut dengan proses pembilasan dan mesin mengulang langkah 1 dan 2.
4. Setelah proses pencucian selesai dilanjutkan proses pemerasan air melalui spinning. Ketika spinning ini mesin bekerja dengan putaran yang sangat tinggi. Mesin dikatakan normal jika ketika spinning suara mesin terdengar lebih keras. Bila kondisi bantalan masih baik, suara mesin tetap tidak membisingkan begitu juga getarannya juga tidak terlalu tinggi. Bila suara bising dan getaran sangat tinggi menandakan bahwa kondisi bantalan sudah tidak normal lagi. Bantalan bisa jadi bantalan motor atau bantalan pulley mesin cucinya.
5. Hasil pengujian kemudian ditulis dalam laporan begitu juga dengan jenis kerusakan, bagian/komponen mesin yang rusak dan diperbaiki atau diganti.

3.1.3 Mesin Pengering Pakaian

3.1.3.1 Bagian-Bagian Mesin Pengering

Mesin pengering pakaian ini memiliki beberapa bagian, yaitu:

1. Penahan pakaian yang dapat berotasi dan berbalik.
2. Pemanas listrik atau gas yang digunakan untuk mengeringkan pakaian dan udara yang ada di dalam mesin.

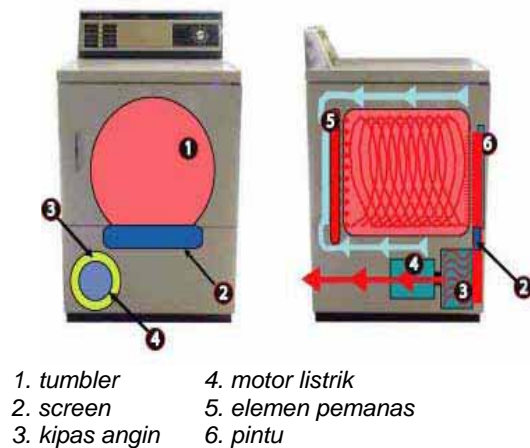


Gambar 3.24. Mesin pengering pakaian

3. Ventilasi udara, yang menghubungkan mesin pengering dan udara luar. Uap air hasil pemanasan di dalam mesin akan keluar melalui ventilasi ini.

Berikut akan ditinjau bagaimana sistem-sistem dalam pengering pakaian ini dapat berjalan.

3.1.3.2 Sirkulasi udara

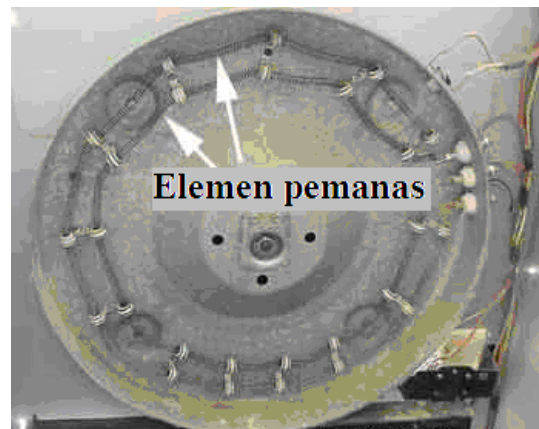


Gambar 3.25. Sirkulasi udara di dalam mesin

Bagaimana udara masuk dan keluar dari suatu mesin pengering?

1. Udara masuk melalui ventilasi di bagian luar mesin, biasanya terletak di bagian depan.
2. Kemudian, udara terhisap masuk melewati elemen pemanas menuju ke *tumbler*.
3. Udara panas ini melewati pintu dan diarahkan melalui suatu saluran yang mengarah ke kasa (screen).
4. Udara panas melalui saluran di depan mesin masuk ke dalam kipas angin.
5. Kemudian, energi dari kipas mendorong udara ke arah belakang mesin dan akhirnya udara tersebut keluar dari ventilasi di belakang mesin.

Bagian pertama yang dilalui oleh udara adalah elemen pemanas. Setelah masuk ke mesin, udara diisap melalui elemen pemanas lalu masuk ke tempat pakaian (*tumbler*).



Gambar 3.26 Elemen pemanas

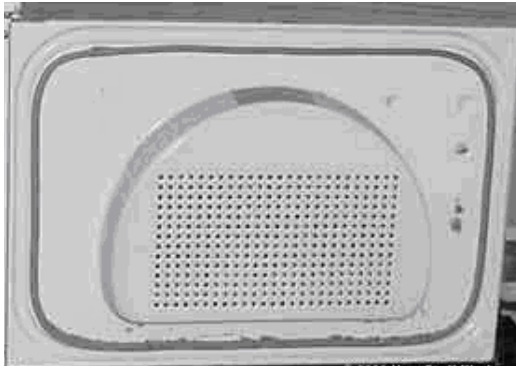
Elemen pemanas yang digunakan di sini adalah kawat nikrom, seperti yang digunakan pada pemanas-pemanas lain. Elemen ini menyerap daya yang tinggi (sekitar 4000-6000 W).

Udara ditarik melalui elemen pemanas dan masuk lubang-lubang di belakang tumbler (wadah pakaian).



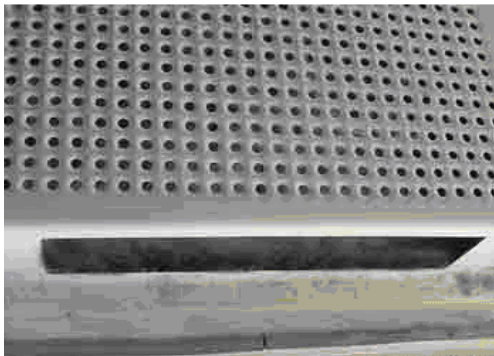
Gambar 3.27 Lubang-lubang udara

Logam cor pada keliling luar lubang-lubang dibuat sedemikian rupa agar sebelum udara masuk ke tumbler terlebih dulu melalui elemen pemanas.



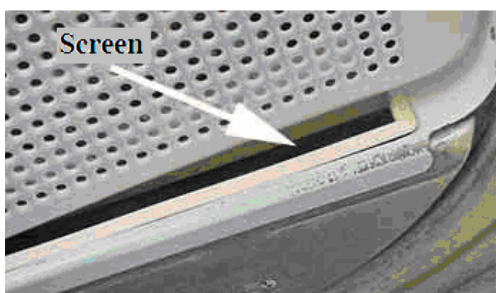
Gambar 3.28 Tumbler dan pintu

Udara panas mengalir dan mencari jalan masuk ke pakaian di dalam tumbler kemudian ke dalam lubang-lubang pada pintu



Gambar 3.29 Lubang-lubang pada pintu dan slot besar

Udara melewati lubang-lubang pada pintu dan keluar melalui slot besar dibagian bawah pintu yang kemudian mengarah ke kain tiris.



Gambar 3.30 Screen kain dan saluran udara

Udara ditarik melalui kain tiris (screen) menuju saluran di depan mesin pengering untuk kemudian masuk ke fan.



Gambar 3.31 Fan dan saluran buang

Fan adalah jenis sentrifugal, ketika berputar akan menghempaskan udara keluar, mengisap udara dari tengah dan menekannya keluar saluran di bagian belakang mesin.

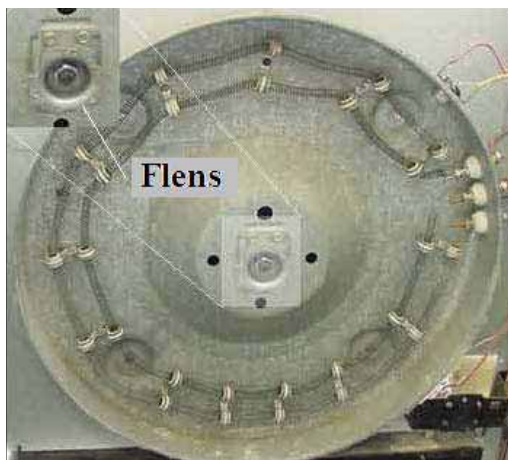
3.1.3.3 Putaran

Jika suatu mesin pengering dibuka, maka mungkin anda tidak akan mendapatkan satu roda pun. Akan tetapi, sebenarnya tumbler itu sendirilah yang merupakan roda raksasa penggerak, dan ada motor yang menggerakkan penggerak tersebut. Karena rasio antara diameter tumbler yang sangat besar dibandingkan diameter motor penggerak, maka roda tambahan tidaklah diperlukan. Di sekeliling tumbler, anda akan mendapati adanya sabuk tipis yang melilit di bagian luar tumbler. Di mesin ini terdapat dua jenis pendorong, yaitu yang berwarna perak (berukuran kecil) dan yang berwarna hitam. Pendorong perak terletak di bawah pendorong hitam, dan digerakkan oleh motor. Fungsi dari pendorong hitam adalah menyediakan gaya tekan, yaitu saat sabuk telah terkait, pendorong akan bergerak ke tengah, kemudian suatu spiral akan menariknya kembali ke posisi semula. Inilah yang dimaksud

dengan tegangan yang dimiliki oleh sabuk.

3.1.3.4 Tumbler

Tumbler dalam mesin pengering pakaian tidak memiliki penyokong khusus untuk membantunya berputar dengan mudah. Lalu apa sebenarnya yang menyokong beban dari pakaian? Pada bagian belakang tumbler didapat suatu pinggir yang disebut *flange*. *Flange* ini tersambung dengan suatu kait sederhana, sehingga flange dapat berputar dan tumbler pun juga dapat berputar.



Gambar 3.32 Flens



Gambar 3.33 bantalan

Sedangkan di bagian depan tumbler juga terdapat dua buah bantalan plastik yang terletak di bagian atas dari struktur tumbler.

3.1.3.5 Kontrol

Mesin pengering pakaian sama sekali tidak memiliki rangkaian elektronik di dalamnya kecuali roda-roda gigi, cam, kontak-kontak listrik, dan motor sehingga membentuk semacam komputer mekanik.

Saklar siklus

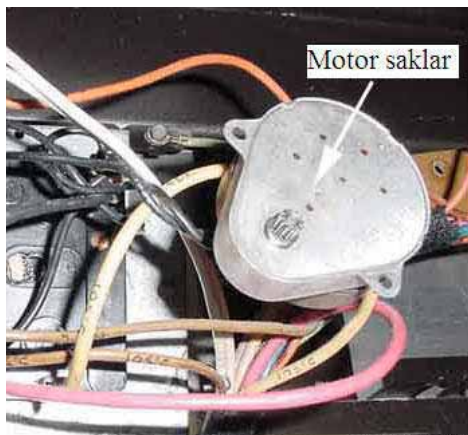


Gambar 3.34 Saklar siklus

Dengan memutar saklarnya pada posisi tertentu, mesin pengering dapat dikontrol jenis siklus dan waktu operasinya. Berikut ini bisa dilihat gambaran yang ada di dalam saklar.



Gambar 3.35 Saklar siklus dilihat dari belakang



Gambar 3.36 Motor saklar siklus

Bagian belakang dari saklar siklus terhubung pada motor kecil. Roda kecil yang terdapat pada motor dapat bergerak memutar dengan kecepatan rendah, dan roda besar yang terdapat di dalam saklar pun bergerak dengan lebih lambat. Motor tersebut akan memutar roda yang terhubung pada satu set yang terdiri dari empat sisir di atasnya. Masing-masing sisir akan menggerakkan empat kontak di dalam saklar.

Masing-masing kontak memiliki lekukan, dan lekukan ini ditempatkan di tinggi yang berbeda di dalam kotak. Dimulai dari kontak pertama yang terletak di kiri belakang, kontak ini adalah paling rendah posisinya. Ketinggian kontak berikutnya akan meningkat dengan arah kebalikan arah jarum jam, kontak yang terletak di kiri atas adalah yang tertinggi.

Saklar siklus (*cycle switch*) menentukan lamanya nyala elemen. Selain itu, saklar siklus ini juga mengontrol elemen pemanas yang digunakan pada waktu tertentu karena memiliki sambungan dengan kontrol pemanas. Jika tidak ada elemen pemanas yang menyala, hanya ada udara yang dingin yang ditiupkan ke pakaian. Jika lebih dari satu yang menyala, maka udara yang ditiupkan semakin panas.

3.1.3.6 Panel Pengontrol Panas

Panel-panel ini mengontrol panas yang dihasilkan oleh mesin pengering yang diatur waktunya.



Gambar 3.37 Panel kontrol panas

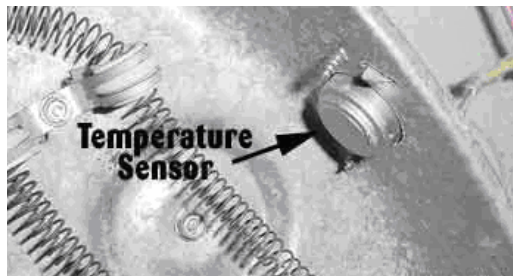
Jika anda menekan salah satu dari keempat tombol, maka tombol itu akan tetap dalam posisi tertekan, lalu jika anda menekan tombol yang lain, maka tombol tersebut akan dalam posisi tertekan, sedangkan tombol pertama yang anda tekan akan kembali ke posisi semula. Hal ini dikarenakan adanya plate yang mengontrol elemen pemanas mana yang akan digunakan. Didalam saklar juga terdapat empat kontak yang dapat membuka dan menutup, tergantung kombinasi dari tombol yang ditekan.

3.1.3.7 Sistem Keselamatan

Mesin pengering juga memiliki fitur-fitur keamanan yang mencegah terjadinya overheating. Sistem ini dikontrol oleh suatu saklar-pemutus temperatur. Saat saklar ini telah mencapai suatu temperatur tertentu, saklar akan memutuskan kontak sehingga mesin pun mati.

Sistem ini tentunya dilengkapi dengan suatu sensor temperatur, yang juga dilengkapi lubang-lubang di bagian luar tumbler. Lubang-lubang ini mengalirkan

udara ke arah sensor, dan ketika temperatur di tumbler sudah sangat tinggi, maka sensor ini akan mematikan catu daya dan mesin pun mati.



Gambar 3.38 Sensor suhu

Lalu apa yang terjadi jika sabuk pada tumbler patah, atau lubang udara tidak berada di posisi yang seharusnya di depan sensor? Atau jika kipas tertutup kotoran dan tidak ada udara yang keluar dari tumbler? Mesin pengering juga dilengkapi dengan saklar temperatur sekunder yang sensornya terletak di dekat elemen pemanas. Jika aliran udara mati atau tidak berjalan karena alasan apapun, udara di sekitar sensor sekunder ini akan segera mengalami kenaikan temperatur sehingga sensor pun akan mematikan catu daya.

3.1.3.8 Perawatan Mesin Pengering Pakaian

Bagian-bagian yang memerlukan perhatian dalam perawatan adalah elemen pemanas, sirkulasi udara (fan), dan motor penggerak tumbler. Perawatan komponen-komponen listrik seperti elemen pemanas dan motor listrik baik yang untuk penggerak tumbler maupun fan secara teknis tidak berbeda dengan yang telah dibahas pada bagian-bagian sebelumnya.

Satu hal yang menentukan efektivitas dari pengeringan pada mesin pengering pakaian ini adalah sirkulasi udara. Bila

sirkulasi udara lancar, proses pengeringan akan dapat berjalan dengan baik. Faktor yang sangat mempengaruhi efektivitas sirkulasi udara adalah pengotoran pada saluran udaranya. Mulai dari *screen*, kipas angin, sampai lubang-lubang udara harus dibersihkan secara berkala agar tidak terjadi pengumpulan debu dan kotoran yang menempel.

3.1.3.9 Pemeriksaan dan Pelaporan Hasil Kerja Perawatan Mesin Pengering Pakaian

Pasca perawatan, harus dilakukan pengujian terhadap kinerja mesin. Dalam pengujian ini mesin dioperasikan secara normal dan setelah selesai proses pengeringan, hasilnya harus dilihat. Indikator bahwa mesin dapat bekerja secara baik dapat dilihat dari hasil pengeringannya. Jika hasilnya telah memenuhi syarat maka mesin dikatakan baik. Bila tidak harus dilakukan langkah-langkah perawatannya lagi.

Hasil pengujian dan kerja perawatan kemudian ditulis dalam bentuk laporan. Dengan demikian dari laporan ini dapat diketahui kondisi mesin pasca perawatan, jenis kerusakan, bagian/komponen yang diperbaiki dan atau diganti.

3.1.4 Mesin Cuci Piring

3.1.4.1 Fungsi Mesin Cuci Piring

Alat pencuci piring digunakan untuk membersihkan alat-alat dapur, seperti piring, mangkok, cangkir, gelas, dan alat-alat masak lainnya setelah digunakan untuk menghidangkan dan atau menyiapkan masakan. Alat ini banyak digunakan di dapur-dapur perumahan, restaurant, atau perusahaan katering.



Gambar 3.39 Mesin cuci piring

Dalam operasinya alat ini menggunakan air panas (55-65 °C) dan bahan deterjen yang sangat kuat (banyak mengandung alkali) untuk dapat membersihkan kotoran-kotoran atau sisa-sisa masakan yang menempel pada alat-alat dapur. Dalam proses pencuciannya alat ini menyemprotkan deterjen yang telah dicampur dengan air panas ke arah alat-alat dapur yang dicuci untuk menghilangkan kotoran atau sisa masakan kemudian menyemprotkan air bersih untuk membersihkan alat-alat dari deterjen.



Gambar 3.40 Mesin cuci piring dalam tatanan yang kompak

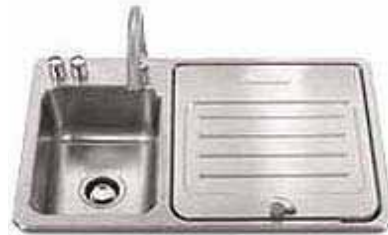
Beberapa jenis alat pencuci piring juga dilengkapi dengan elemen pemanas untuk pengeringan yang lebih cepat.



Gambar 3.41 Saklar kontrol tipikal

3.1.4.2 Prinsip Kerja Mesin Cuci Piring

Kalau kita mencuci piring dengan tangan, air dan sabun ada di dalam wastafel, dan barang-barang yang kotor digerakkan sambil digosok dengan kain atau sikat.



Gambar 3.42 Tempat cuci piring konvensional

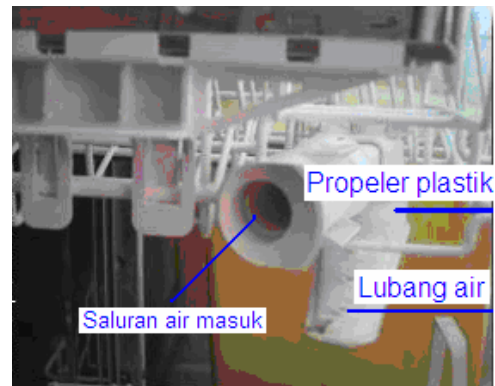
Dalam alat pencuci ini, adalah sebaliknya, barang-barang yang dicuci tetap di tempat (diletakkan dan ditata pada rak-rak), sementara air panas yang telah dicampur dengan deterjen disemprotkan dari semua arah.

Oleh karena itu, mesin ini, ketika bekerja, harus tertutup rapat dengan seal-seal yang kedap air.



Gambar 3.43 Mesin cuci tampak dalam

pompa listrik yang memompa air panas ini ke dalam mesin yang dihubungkan ke dua propeler yang bisa berputar. Satu propeler terbuat dari bahan plastik yang diletakkan di bawah bagian bawah rak piring atas dalam mesin, dan satu propeler lagi yang terbuat dari logam diletakkan di bawah bagian bawah rak mesin bawah.

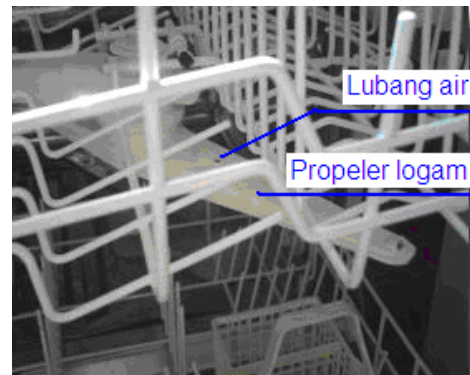


Gambar 3.45 Sisi dalam mesin bagian atas

Proses operasinya adalah dimulai dari penyaluran air dingin dari kran sumber air ke mesin cuci.



Gambar 3.44 Contoh penyambungan ke kran sumber air

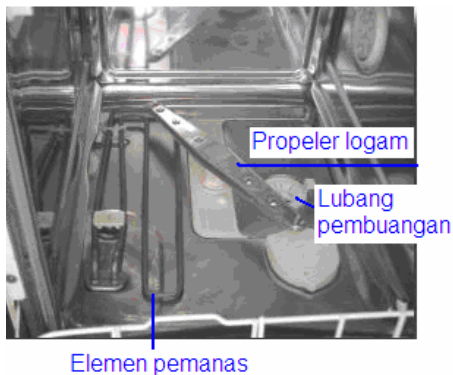


Gambar 3.46 Bagian bawah mesin lengkap dengan rak

Ketika telah tertampung sejumlah air dalam bagian bawah mesin, elemen pemanas mulai bekerja dan memanaskan air. Bekerjanya elemen pemanas ini menggunakan energi listrik yang disalurkan kepadanya. Kemudian ada sebuah

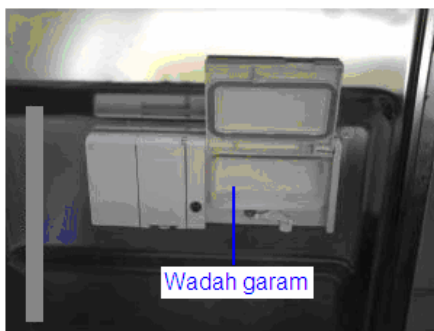
Ketika air masuk ke propeler-propeler, propeler akan berputar seperti sprinkler air yang dipasang di taman-taman. Ketika propeler berputar dan air masuk dan menyembur keluar melalui lubang-lubang kecil pada permukaan atas propeler membuat banyak semburan air panas ke atas mengarah pada barang-barang yang dicuci (permukaan barang

yang dicuci mengarah ke bawah berlawanan dengan arah semprotan air untuk memudahkan proses pencucian). Rak bawah dan propeler bawah lebih dekat dengan elemen pemanas sehingga air lebih panas dari yang di atas. Karena ini pulalah bahan propeler bawah terbuat dari logam agar tahan terhadap air panas.



Gambar 3.47 Bagian bawah mesin rak dilepas

Setelah air menghantam barang-barang yang dicuci, air turun ke bagian dasar mesin dan dipanaskan kembali oleh elemen pemanas dan siklus pencucian kembali berulang sampai proses pencucian selesai, yang biasanya dikendalikan dengan timer (mis. ½ jam). Kotoran-kotoran yang berukuran kecil akan keluar melalui lubang pembuangan sementara yang berukuran besar akan tertampung pada lubang penampungan pada bagian bawah mesin.

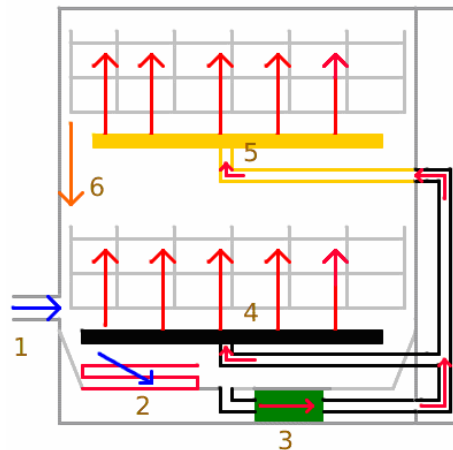


Gambar 3.48 Wadah garam

Gambar 3.47. memperlihatkan bagian bawah mesin ketika rak bagian bawah dilepas. Di sini terlihat elemen pemanas yang berupa pipa kecil yang dibentuk seperti kumparan. Propeler logam terletak di tengah. Lubang pembuangan terletak di tengah kanan. Tepat di bawahnya merupakan tempat garam untuk membuat kerja mesin semakin bagus.

Lalu bagaimana dengan pengeringannya? Air yang disemprotkan ke dalam mesin adalah air panas sehingga menyebarkan uap panas yang akan mengeringkan barang-barang yang basah di dalamnya.

Untuk memperjelas lagi bagaimana mesin pencuci ini bekerja, perhatikan penjelasan berikut ini.



Gambar 3.49 Proses di dalam mesin cuci

3.1.4.3 Proses pencucian

1. Air dingin disalurkan ke mesin dari sumber air
2. Elemen pemanas memanaskan air yang ada di bagian bawah mesin dengan daya listrik sehingga suhu air menjadi 30 – 60 C.

3. Sebuah pompa listrik di bagian bawah mesin memompa air panas tersebut melewati pipa-pipa pada sisi dinding mesin.
4. Air menyembrot melalui lubang-lubang propeler logam bagian bawah dan membuat propeler berputar.
5. Air yang suhunya lebih rendah mengalir dan menyembrot melalui lubang-lubang propeler plastik (atas) membuatnya berputar sama halnya dengan yang terjadi pada propeler logam.
6. Setelah air membersihkan barang-barang yang dicuci air jatuh kembali ke bagian bawah mesin dan dipanaskan dan disemprotkan kembali.

3.1.4.4 Perawatan mesin cuci piring

1. Seal-seal pintu harus dalam keadaan baik sehingga dapat menutup secara kuat dan rapat pada kerangka pintu karena mesin ini bekerja dengan air bertekanan tinggi. Bocor sedikit, maka daerah sekitarnya akan dipenuhi dengan busa sabun pencucian dan akan menjadi kotor. Untuk itu seal-seal karet harus dijaga kebersihan dan kerapiahannya. Jangan sampai seal terganjal oleh kotoran atau terlipat sehingga menyebabkan kerusakan seal dan bocor.
2. Pembersihan pada tempat pembuangan kotoran di bagian bawah mesin, lubang-lubang pada sudu propeler harus selalu diperiksa sangat sampai terjadi penyumbatan-penyumbatan. Bila terjadi penyumbatan pada lubang-lubang propeller akan tidak dapat berputar secara lancar. Ketidaklancaran putaran propeller ini akan mempengaruhi kualitas pencuciannya tidak optimal.
3. Hasil pencucian tidak optimal
Bila hasil pencucian kurang bersih, perlu dilakukan pemeriksaan pada suhu air, dan putaran propeller. Bila suhu air tidak panas akan mempengaruhi daya cuci mesin dan rangkaian kelistrikan pada elemen pemanas harus diperiksa. Kalau tidak panas sama sekali berarti tidak ada arus listrik yang mengalir ke dalam elemen pemanas, yang berarti bahwa rangkaian terputus. Putusnya rangkaian bisa diakibatkan oleh lepasnya koneksi-koneksi kabel atau putusnya elemen pemanas. Harus dilakukan pembetulan atau penggantian komponen. Namun bila timbul panas tapi terlalu rendah, menunjukkan adanya sebagian elemen pemanas yang terputus.
4. Propeler tidak berputar
Berputarnya propeller adalah oleh tekanan air, sedangkan tekanan air dibangkitkan oleh sebuah pompa listrik. Oleh karena itu, bila propeller tidak dapat berputar kemungkinan besar akibat tidak bekerjanya pompa listrik. Hal ini juga bisa disebabkan oleh kebocoran atau pecahnya pipa saluran air bertekanan sehingga tekanan air tidak mencukupi untuk menggerakkan propeller.
5. Kebersihan bagian dalam mesin harus betul-betul diperhatikan karena kemungkinan tersumbatnya saluran air sangat besar akibat kotoran-kotoran hasil pencucian.

3.1.4.5 Pemeriksaan dan pelaporan hasil kerja perawatan mesin cuci piring

Aspek-aspek yang harus diperiksa pada mesin setelah dilakukan perawatan antara lain:

1. Ketika mesin melakukan proses pencucian tidak ada semburan busa/air keluar dari mesin.
2. Ketika proses pencucian berlangsung tidak ada suara bising yang keluar dari mesin.
3. Selama beroperasi pintu mesin tidak bisa dibuka.
4. Setelah proses pencucian, mesin mati secara otomatis dan pintu dapat dibuka.
5. Barang-barang yang dicuci dalam keadaan bersih dan kering.

Hasil pengujian kinerja mesin dituliskan dalam bentuk laporan sehingga diketahui kondisi actual mesin setelah dilakukan perawatan. Laporan juga memuat perawatan yang telah dilakukan, yaitu meliputi:

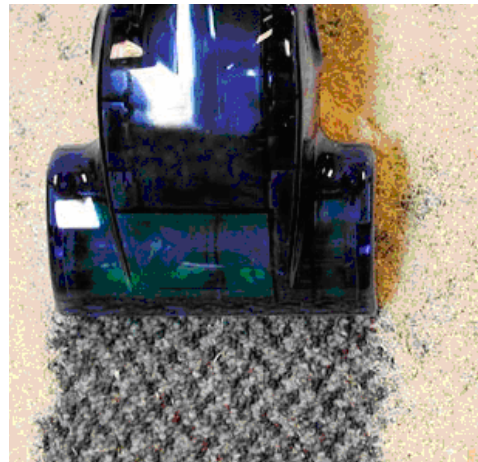
1. Jenis kerusakan/gangguan yang terjadi.
2. Bagian atau komponen mesin yang telah diperbaiki atau diganti.

3.1.5 Mesin Pembersih Vakum

Pembersih vakum merupakan salah satu alat yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari karena peranannya dalam pembersihan debu. Tidak seperti kotoran yang lain dalam ukuran yang lebih besar, kotoran debu tidak kelihatan secara jelas datangnya, namun jelas dapat dirasakan keberadaannya. Kotoran debu sendiri akan jauh lebih mudah terhisap ke dalam tubuh manusia sehingga amatlah mem-

bahayakan kesehatan. Pada saat ini telah dikembangkan banyak jenis pembersih vakum, dari berukuran kecil untuk keperluan yang sangat terbatas sampai dengan yang berukuran besar untuk keperluan industri dan lingkungan komersial. Fungsinya pun tidak sekedar penyedot debu, namun telah banyak fungsi lainnya, seperti pembersihan dengan semburan air lembut, kecepatan/daya isapnya bisa di atur dan bisa juga digunakan penyegar/pengharum ruangan.

Pada bagian ini, kita akan melihat lebih dekat tentang pembersih vakum guna mengetahui bagaimana alat ini bisa menghisap debu.



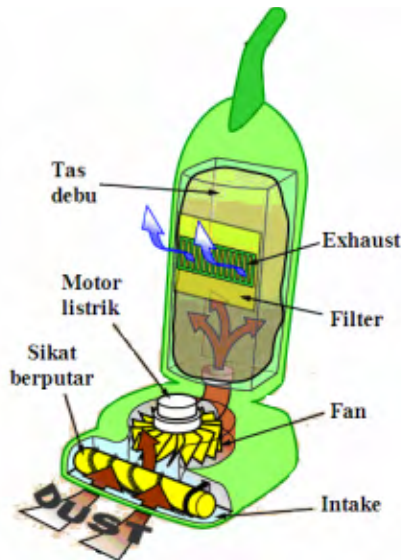
Gambar 3.50 Pembersihan menggunakan pembersih vakum

3.1.5.1 Bagian-Bagian Mesin Pembersih Vakum

Pembersih vakum yang ada pada saat ini kelihatannya sangat rumit, namun alat ini pada dasarnya hanya terdiri dari enam komponen utama, yaitu:

- Perlengkapan *intake* (meliputi banyak jenis asesoris),
- Perlengkapan *exhaust*
- Motor listrik
- Fan (kipas angin)

- Tas debu



Gambar 3.51 Bagian-bagian utama mesin pembersih vakum

Apabila pembersih vakum dihubungkan ke sumber listrik dan dihidupkan, maka akan terjadi hal-hal sebagai berikut: Arus listrik akan mengalir ke motor listrik sehingga motor berputar.

1. Motor akan memutar kipas angin (fan) yang dipasang pada poros motor.
2. Ketika berputar, sudu-sudu kipas angin menekan udara ke arah *exhaust*.
3. Apabila partikel-partikel udara ditekan, kerapatan udara meningkat di depan fan dan turun di belakang fan.

Turunnya tekanan di belakang fan seperti jatuhnya tekanan dalam sedotan ketika anda menyedot minuman. Tekanan di daerah belakang fan turun di bawah tekanan atmosfer (di luar mesin). Ini menimbulkan isapan yang kuat di dalam alat ini. Tekanan udara luar menekan sendiri ke dalam alat melalui *intake*-nya karena tekanan udara di dalam mesin pembersih lebih rendah dari tekanan di dalam.

Selama fan berputar dan saluran melalui alat tetap terbuka, ada aliran udara konstant bergerak melalui intake dan keluar dari exhaust. Namun, bagaimana aliran udara tersebut bisa mengumpulkan kotoran dan debu dari karpet? Prinsip yang digunakan adalah prinsip gesekan (friksi).

3.1.5.2 Sikat dan tas pembersih vakum

Pada bagian akhir, kita melihat bahwa isapan yang ditimbulkan oleh fan mesin menghasilkan aliran udara bergerak melalui intake dan keluar melalui *exhaust*. Aliran udara ini seakan seperti aliran air. Partikel-partikel udara yang bergerak menarik debu atau limbah-limbah kecil ketika udara bergerak, dan jika kotoran cukup ringan dan isapannya cukup kuat, friksi membawa bahan-bahan ini masuk ke pembersih vakum.

Beberapa desain vakum juga mempunyai sikat yang berputar pada saluran masukannya (*intake*), yang memaksa kotoran dan debu lepas dari karpet yang kemudian ditarik oleh aliran udara masuk ke mesin.



Gambar 3.52 Jenis sikat putar

Kotoran-kotoran yang ditarik keluar *exhaust* akhirnya masuk ke tas pembersih vakum. Tas ini terbuat dari bahan kain atau kertas, yang bertindak sebagai penyaring (*filter*) udara. Lubang-lubang yang sangat kecil pada tas cukup bagi partikel udara untuk keluar namun tidak bagi kotoran-kotoran yang masuk. Jadi, ketika arus aliran udara masuk ke dalam tas, semua udara bergerak menembus bahan tas, namun kotoran tetap tinggal di dalam tas.



Gambar 3.53 Contoh tas debu

Anda bisa memasang tas di mana saja di antara intake dan exhaust, selama aliran udara melaluinya. Pada pembersih vakum yang berdiri, tas dipasang pada ujung akhir saluran. Tepat setelah udara disaring, udara mengalir kembali keluar. Dalam kanister, tas bisa diletakkan sebelum kipas angin, sehingga udara difilter ketika masuk ke alat ini.

Saat ini banyak diciptakan pembersih vakum dengan kapasitas isapan yang bisa diatur. Pada bagian berikutnya, kita akan mempelajari beberapa faktor yang menentukan daya isap.

3.1.5.3 Variabel-Variabel Pembersih Vakum

Pada bagian akhir, kita melihat bagaimana pembersih vakum mengambil kotoran melalui pengaliran udara masuk ke dalam filter (tas debu). Daya isap mesin tergantung pada sejumlah faktor antara lain:

- Daya fan:
Untuk membuat daya isap tinggi, motor harus berputar pada kecepatan yang tinggi.
- Penghalangan saluran udara:
Ketika potongan/puing-puing dalam ukuran yang cukup besar terkumpul di dalam tas, udara akan mengalami hambatan yang besar sehingga partikel-partikel udara tidak mudah bergerak. Karena alasan itulah, bila kita baru mengganti tas, kita melihat bahwa pembersih vakum bekerja dengan lebih baik dibandingkan setelah tas digunakan beberapa lama.
- Ukuran pembukaan masukan (intake) udara.

Karena kecepatan fan vakum konstan, jumlah udara yang masuk ke dalam pembersih juga konstan. Tidak ada masalah berapa ukuran intake yang diatur, jumlah udara yang masuk per satuan waktu adalah sama. Jika intake diatur lebih kecil, partikel udara yang masuk bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi. Demikian sebaliknya. Jadi, debit udara yang masuk akan tetap konstan. Pada titik di mana kecepatan meningkat, tekanannya akan menurun sesuai dengan hukum Bernoulli. Turunnya tekanan ini menandakan naiknya daya isap pada intake-nya.

Dengan demikian bila intake diatur lebih sempit akan mampu menyedot kotoran yang lebih besar dibandingkan bila penge-setannya lebih lebar.



Gambar 3.54 Jenis-jenis perlengkapan pengisap

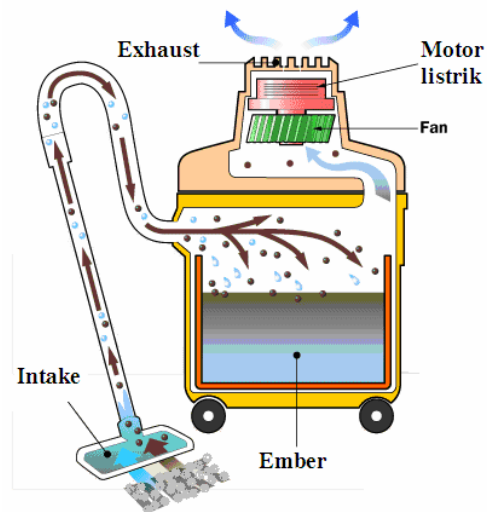
Sampai saat ini, kita telah mempelajari jenis-jenis alat pembersih vakum tipikal, seperti jenis berdiri dan kanister yang keduanya mengumpulkan kotoran di dalam tas yang tembus udara. Berikut ini akan dibahas pembersih vakum jenis lain.



Gambar 3.55 Pembersih vakum jenis berdiri

3.1.5.4 Pembersih vakum kering dan basah

Untuk pembersihan yang berat, banyak orang menggunakan jenis yang dapat digunakan untuk menarik cairan selain benda padat. Bahan cair akan membasahi filter kertas atau kain, oleh karena itu pembersih ini memerlukan sistem pengumpulan kotoran yang tidak terbuat dari kertas atau kain, namun semacam ember yang berisi air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.56.



Gambar 3.56 Prinsip kerja pembersih vakum basah/kering

3.1.5.5 Prinsip kerja pembersih vakum basah dan kering

Pada saluran masukannya, aliran udara mengalir masuk ke ruang yang cukup luas yang diletakkan di atas ember. Ketika hasil isapan mencapai daerah yang luas, aliran udara melambat, dengan alasan yang sama, kecepatan akan meningkat bila melalui alat pelengkap intake yang sempit. Turunnya tekanan ini akan menurunkan daya pegang udara, sehingga cairan menetes dan partikel yang berat dapat keluar dari

arus aliran udara dan jatuh ke ember. Setelah selesai pemvakuman, isi yang ada di ember dibuang.

3.1.5.6 Perawatan Pembersih Vakum

Bentuk alat pembersih vakum ini sangat kompak sehingga dalam perawatannya dapat dilakukan dengan mudah.

1. Karena dalam pemakaiannya, alat ini mempunyai mobilitas yang sangat tinggi maka seringkali membuat kabel dan sambungannya mengalami kerusakan. Oleh karena itu, dalam pemakaiannya kabel diusahakan tetap dalam keadaan lurus dan hindari untuk tidak terlalu kencang.
2. Bila sistem tegangan listrik normal, kerusakan motor listrik untuk kipas angin sangat jarang ditemui kecuali karena masalah umur.
3. Yang perlu perhatian intensif adalah penggantian pada kantong/ember sampah. Untuk pembersih vakum kering, kantong sampah biasanya terbuat dari kertas atau kain. Bila kantong sampah ini sudah penuh harus segera dibuang. Kalau tidak, maka saluran udara keluar menjadi tidak lancar. Ketidaklancaran ini akan mempengaruhi daya isap mesin dan juga kerja mesin yang lebih kuat. Oleh karena itu, sangat disarankan untuk membersihkan kantong ini tidak terlalu lama dan sebelum kantong terisi penuh.
4. Karena peruntukan mesin adalah untuk menyedot debu atau cairan (untuk jenis kering dan basah), hendaknya dihindari masuknya benda-benda yang besar ke dalam vakum. Akibat yang bisa timbul seperti yang telah disampaikan pada (3).

3.1.5.7 Pemeriksaand Pelaporan Hasil Kerja Perawatan Pembersih Vakum

Pemeriksaan pembersih vakum adalah pada daya sedotnya. Daya sedot ini bisa diatur-aturl melalui lubang pengaturan pada bagian intakenya (pipa penyedot) dan untuk mesin pembersih vakum yang lebih modern, diatur dengan menggunakan saklar pengatur kecepatan motor fannya. Bila pengaturan pada pipa intakenya, untuk posisi tertutup penuh, daya sedotnya paling tinggi. Demikian sebaliknya. Bila pengaturan dilakukan dengan mengatur kecepatan motor fan, semakin tinggi kecepatan semakin kuat daya sedotnya dan suaranya pun juga semakin keras. Demikian sebaliknya.

Bila mesin sudah dioperasikan maksimum tapi daya sedotnya masih kurang maka perlu dilakukan pemeriksaan pada kantong debunya. Mungkin sebagian besar lubang kapilernya telah tertutup oleh debu. Hal ini tidak terjadi pada penyedot debu yang menggunakan container sebagai penyimpan debu/cairan.

Kondisi kerja mesin dicatat dan dimasukkan dalam laporan hasil pekerjaan perawatan. Di samping itu, jenis kerusakan, bagian atau komponen-komponen yang diganti juga harus dimasukkan dalam lembar laporan. Hal ini akan sangat membantu bila harus dilakukan perawatan pada waktu yang akan datang.

3.2 Alat-alat memasak

3.2.1 Toaster

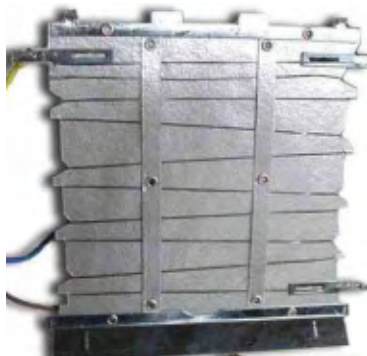
Toaster merupakan alat yang digunakan untuk memanaskan roti sebagai makanan pagi bagian bagi orang-orang tertentu. Alat ini sederhana dan mudah dioperasikannya.



Gambar 3.57 Toaster

3.2.1.1 Dasar

Toaster atau pemanggang roti memiliki sistem yang cukup simpel. Pemanggang menggunakan radiasi infra merah untuk memanaskan sekerat roti. Saat sekerat roti diletakkan di dalam pemanggang, dan setelah dihubungkan dengan sumber, sebuah kumparan akan menjadi kemerahan dan memproduksi kawat nikrom. Radiasi ini akan mengeringkan dan membakar permukaan roti.



Gambar 3.58 Elemen pemanas toaster

Umumnya, pemanggang menggunakan kawat nikrom untuk memproduksi radiasi ini, dan kawat nikrom ini membalut suatu lembaran yang terbuat dari mika (Gambar 3.58).

Kawat nikrom (*nichrom*) sendiri adalah perpaduan antara nikel dan krom. Mengapa keduanya dipakai untuk menghasilkan radiasi? Pertama, kawat nikrom memiliki resistansi elektrik yang tinggi dibandingkan tembaga, misalnya. Meskipun kawat nikrom yang digunakan cukup pendek, namun cukup untuk menaikkan suhu tinggi. Yang kedua, nikrom tidak mengoksidasi saat dipanaskan sehingga tidak mengalami pengurangan. Sebaliknya kawat besi, misalnya, akan mengalami pengurangan dengan cepat saat dipanaskan.

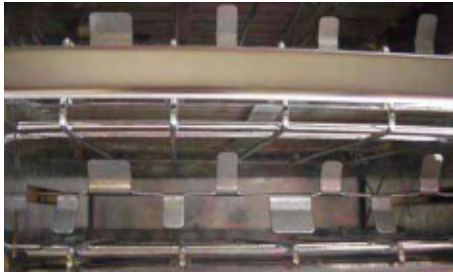
Alat pemanggang yang paling sederhana memiliki dua lembaran mika yang diselubungi nikrom, dan masing-masing dipisahkan oleh suatu slot berukuran satu inci. Kabel nikrom dapat langsung dihubungkan ke stop kontak.

Biasanya pemanggang memiliki dua fitur lain yaitu:

1. Tray yang dilengkapi dengan semacam spiral (spring-loaded tray), sehingga roti yang dipanggang langsung lembam keluar dari panggangan
2. Pengatur waktu yang dapat mematikan pemanggang secara otomatis, kemudian melepaskan tray sehingga hasil panggangan dapat keluar.

3.2.1.2 Pegas tray

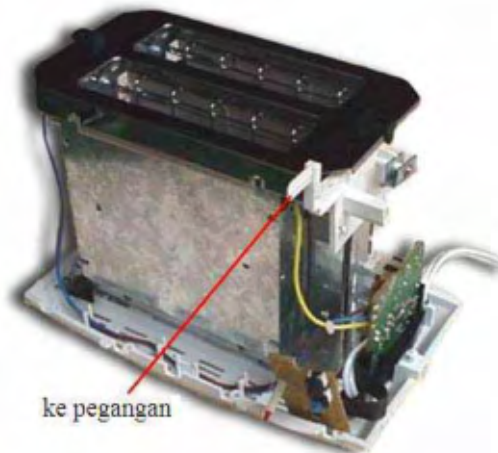
Pada pemanggang terdapat penahan yang terbuat dari logam, dan berfungsi sebagai penarik dan penurun roti di dalam slot.



Gambar 3.59 Slot tempat roti dilihat dari atas

Penahan ini dihubungkan dengan sebuah pemegang yang dapat diakses langsung oleh pengguna. Saat pemegang ditekan, dua spiral yang terbuat dari logam juga tertekan sehingga lempengan menekan roti.

Pemegang kedua slot dihubungkan ke pemegang yang apabila ditekan akan membawa masuk roti ke dalam toaster seperti ditunjukkan pada Gambar 3.60

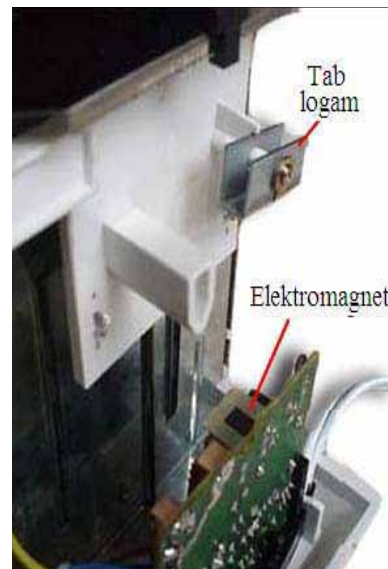


Gambar 3.60 Mekanisme penurunan toaster

3.2.1.3 Pengeluaran panggang

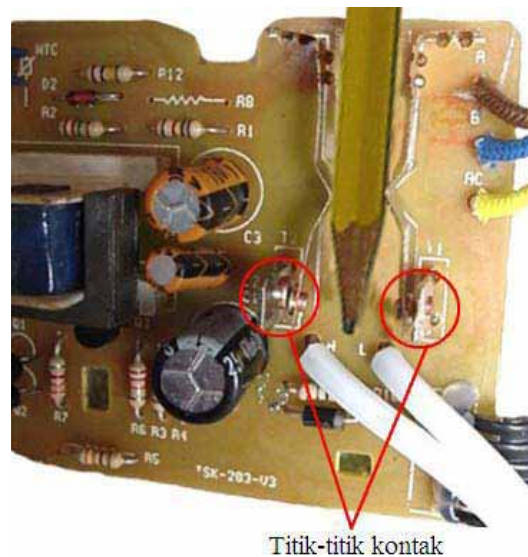
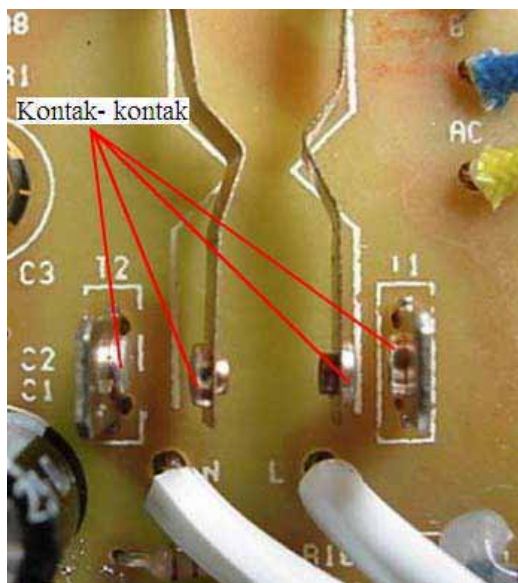
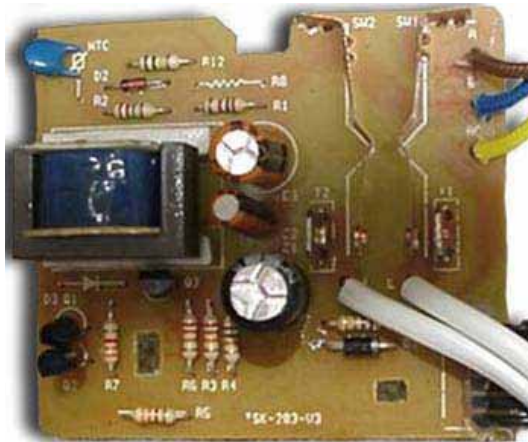
Pada saat pemegang ditekan, mekanisme yang terjadi adalah sebagai berikut:

1. Suatu mekanisme penahan roti diperlukan untuk periode waktu pemanggangan tertentu
2. Kawat nikrom harus diberi daya
3. Pengatur waktu akan melepaskan penahan sehingga panggang keluar.



Gambar 3.61 Mekanisme penurun rak roti

Dari gambar, dapat dilihat bahwa terdapat batangan plastik dan logam yang terhubung ke *handle*. Batangan plastik menekan sepasang kontak di papan sirkuit untuk menyuplai energi listrik ke kawat nikrom, dan logam akan tertarik akibat adanya gaya elektromagnet yang disebabkan gaya listrik tersebut. Tarikan itu akan menahan roti agar tetap berada di dalam toaster.



Gambar 3.62 Papan-papan rangkaian

Pada suatu toaster, umumnya mekanisme keseluruhan yang berjalan adalah sebagai berikut:

1. Saat *handle* ditekan ke bawah, batangan plastik akan menekan kontak dan mencatu daya ke papan sirkuit.
2. Listrik bertegangan 120 volt akan dihubungkan ke kawat nikrom untuk mulai memanggang roti
3. Suatu sirkuit sederhana yang terdiri dari transistor, resistor dan kapasitor akan hidup dan menyuplai daya ke elektromagnet
4. Elektromagnet akan menarik logam pada *handle*.

3.2.1.4 Prinsip kerja toaster

- Jika pemegang ditekan, batang plastik menekan kontak dan menghubungkan daya ke papan rangkaian.
- Daya listrik mengalir ke kawat nikrom dan mulai memanggang roti.
- Rangkaian elektronik, yang terdiri atas transistor, resistor, dan

kapasitor mengaktifkan *elektromagnet*.

- *Elektromagnet* menarik bagian logam pada pemegang (handel), memegang roti di dalam toaster.
- Rangkaian elektronik bertindak sebagai timer. Kapasitor mengalami pengisian listrik melalui resistor, dan ketika tegangan mencapai harga tertentu, akan memutuskan aliran arus ke elektromagnet. Pegas dengan cepat menarik dua kerat roti ke atas.
- Pada proses ini, batang plastik naik dan memutuskan daya listrik ke toaster.

Pada toaster ini, kendali warna hasil pemanggangan berupa sebuah resistor variabel. Mengubah resistansi akan mengubah kecepatan pengisian kapasitor. Dan ini akan mengontrol berapa lama timer menunggu sebelum melepaskan elektromagnet

Toaster yang tidak tinggi tuntutan kualitasnya, cukup menggunakan batang-bimetal untuk mematikan elektromagnet. Ketika panas (akibat panas di dalam toaster), batang bimetal akan membengkok dan mentriapkan saklar sehingga memutus saluran listrik ke elektromagnet. Pemakaian bimetal mempunyai dua masalah:

- Jika dapur sangat dingin, roti pertama akan lebih gelap dari biasanya.
- Jika dicoba untuk kedua kalinya, roti akan terlalu terang karena toaster sudah panas.

Rangkaian timer elektronik akan membuat toaster lebih konsisten

3.2.1.5 Perawatan toaster

Seperti yang telah diuraikan di atas, toaster mempunyai bagian mekanik dan elektrik yang seimbang. Dalam pemakaian normal, kegagalan banyak yang diakibatkan oleh bagian listrik dari pada akibat mekaniknya. Oleh karena itu, dalam perawatan ini akan dibahas hal-hal yang terkait dengan kelistrikan.

Ada dua hal utama terkait dengan masalah kelistrikan di sini yaitu, hasil pemanasan dan waktu pemanggangan.

1. Toaster tidak panas

Bila toaster sudah dihidupkan dan tidak panas, pertama perlu diperiksa sumber listriknya terlebih dahulu. Bila sumber listrik normal maka perlu diperiksa rangkaian catu daya antara sumber dan elemen pemanas. Untuk mengetahui keadaan catu daya diperlukan buku manual alat.

Berdasarkan buku manual tersebut dilakukan pengecekan. Bila tidak ada buku manual, Anda berbekal ilmu pengetahuan dan keterampilan yang telah didapat kemudian diaplikasikan dalam memecahkan persoalan ini. Pengecekan dilakukan pada tegangan keluaran catu daya. Bila tegangan keluaran normal maka catu dayanya dalam keadaan normal. Bila tidak, maka harus diidentifikasi komponen yang rusak untuk kemudian diganti dengan yang sesuai.

Bila catu daya dalam keadaan normal maka perlu dilakukan pemeriksaan pada elemen pemanasnya. Pengecekan ini dapat dilakukan dengan menggunakan multitester pada posisi Ohm untuk memeriksa masih tersambung atau sudah putus. Bila elemen mengalami putus maka

harus segera diganti atau dilakukan penyambungan kembali. Penyambungan bisa dilakukan bila potongannya masih dalam toleransi perubahan harga resistansi kawat nikromnya agar tidak terjadi arus lebih dan akhirnya juga panas lebih yang bisa menurunkan performa alat.

2. Hasil pemanggangan tidak seperti yang diharapkan. Yang menentukan kualitas hasil pemanggangan adalah suhu dan lama pemanggangan. Suhu ditentukan oleh catu daya dan elemen pemanasnya. Bila kedua bagian tersebut bekerja normal maka harus dilakukan pengesetan pada unit *timemy*. Jika *timer* bekerja secara mekanik, pengaturannya dilakukan secara mekanik. Namun bila seperti toaster yang dicontohkan di sini *timernya* menggunakan elektronik maka perlu dilakukan pengesetan komponen elektroniknya, yang dalam hal ini adalah resistor pengisian pada kapasitornya.
3. Karena dalam toaster terdapat banyak rangkaian elektroniknya maka harus dijaga kebersihan rangkaian dalamnya dari *moistur*/kotoran sisa pembakaran dan bagian ini pula harus dijaga jangan sampai basah terkena air.

3.2.1.6 Pemeriksaan dan Pelaporan Hasil Kerja Perawatan Toaster

Indikator utama dari kerjanya toaster adalah dilihat dari hasil pemanggangan rotinya. Hasil pemanggangan dapat dilihat dari tingkat kekeringan dan warna roti. Jika roti masih terlalu basah dan atau terlalu terang, bisa akibat kurang tingginya suhu pemanasan dan atau terlalu pendek pengesetan waktu pemanggangannya. Pengesetan suhu

ini bisa dilakukan berdasarkan petunjuk perawatan alat atau melalui percobaan sampai didapatkan harga pengesetan yang tepat.

Hasil pemeriksaan dituliskan dalam laporan hasil pemeriksaan. Selain itu, pekerjaan perawatan yang telah dilakukan dicatat pula dalam laporan ini yang meliputi jenis kerusakan, bagian/komponen yang diperbaiki atau diganti dan kondisi-kondisi lain yang memerlukan perhatian tapi masih dapat digunakan, jika ada.

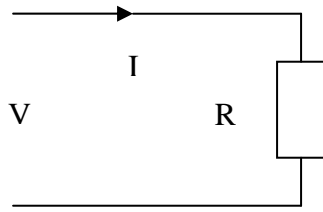
3.2.2 Kompor Listrik

Kompor listrik merupakan alat yang sangat akrab di lingkungan rumah tangga karena sebagian besar warga masyarakat menggunakannya sebagai alat untuk masak memasak. Mengapa alat ini demikian populer, itu karena kepraktisan dan kemudahan dalam memakainya, yaitu tinggal menghubungkannya dengan stop-kontak listrik saja.

Dibandingkan dengan kompor gas, kompor listrik mempunyai kekurangan, yaitu waktu pemanasannya yang relatif lambat untuk kapasitas yang sama. Permasalahan lain bagi masyarakat kelas menengah ke bawah adalah pada penyediaan daya listriknya. Biasanya kompor memerlukan daya listrik yang relatif besar, yaitu minimal 1000 W, sedangkan kapasitas daya sebesar itu jarang ada di perumahan menengah ke bawah.

3.2.2.1 Prinsip kerja kompor listrik

Cara kerja kompor listrik dapat dijelaskan sebagai berikut.



Gambar 3.63 Prinsip pemanasan pada kompor listrik

Bila suatu tahanan **R** dihubungkan dengan sumber tegangan **V** seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.63, arus **I** akan mengalir melalui tahanan tersebut. Sifat tahanan adalah apabila dialiri arus listrik maka tahanan tersebut akan melepaskan panas. Panas yang dilepaskan oleh tahanan tersebut adalah energi listrik yang bisa dituliskan sebagai:

$$U = I^2 \cdot R \cdot t \quad [Wh, kWh \text{ atau joule}]$$

di mana:

U = energi listrik [Wh, kWh atau joule]

I = arus listrik [A]

R = tahanan [Ohm]

t = waktu [detik, jam (Hour)]

Jadi energi listrik yang diubah menjadi panas tergantung pada arus listrik (**I**) yang mengalir, besar tahanan (**R**) dan lama arus listrik mengalir (**t**). Dari ketiga besaran tersebut yang paling dominan adalah arusnya, yaitu secara kuadrat. Dalam kompor listrik, **R** adalah tahanan dari elemen pemanasnya.

Namun besaran energi ini tidak begitu umum diketahui oleh masyarakat. Yang lebih populer di masyarakat adalah tegangan kerja dan daya kompor. Tegangan di sini adalah tegangan kerja dari kompor, yaitu bila kompor dipasang

pada tegangan ini maka kompor akan bekerja secara nominal dengan daya seperti yang tertulis pada pelat-nama kompor. Daya kompor ditulis dengan huruf **P** dalam satuan watt atau kilowatt. Daya kompor **P** dapat dituliskan sebagai:

$$P = V \cdot I \text{ atau } I^2 \cdot R \quad [W, kW]$$

Daya kompor ini menunjukkan kapasitas dari kompor, semakin besar dayanya akan semakin besar pula kapasitas untuk memasaknya dan waktu pemanasannya juga akan semakin cepat.

3.2.2.2 Elemen pemanas

Kompor listrik biasanya mempunyai kepala kompor (hot plate) 1, 2, 3, 4 atau 5 kepala kompor tergantung dari daya kompornya. Semakin banyak jumlah kepala kompor semakin besar dayanya.

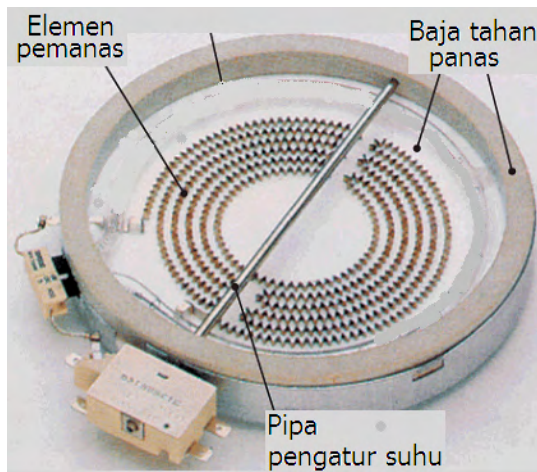
Berikut ini adalah gambar dari salah satu jenis kompor listrik. Tahanan **R** yang dibahas di atas adalah elemen pemanas kompor dan ini merupakan bagian utama dari kompor listrik. Dalam gambar terlihat, bahwa untuk kompor jenis ini elemen pemanasnya dimasukkan di dalam slot-slot pada kepala kompor (piring panas) sehingga tampak dari luar hanya berupa piring seperti yang terlihat pada gambar. Kepala kompor ini juga merupakan tempat di mana wadah pemasak di letakkan. Karena fungsi itu, kepala kompor selalu dibangun sedemikian rupa sehingga mudah digunakan untuk meletakkan wadah masakan, mudah dalam pembersihannya dan manis tampilannya.

3.2.2.3 Jenis-jenis kompor listrik

Ditinjau dari proses pemanasannya, ada banyak jenis kompor listrik yang ada di pasaran, di antaranya adalah:

3.2.2.3.1 Kompor listrik biasa

Kompor listrik ini mempunyai elemen pemanas yang diletakkan di bagian dalam kepala kompor (Gambar 3.64). Ketika kompor dihubungkan ke sumber listrik dan di hidupkan, maka arus listrik akan mengalir ke dalam elemen. Dengan mengalirnya arus tersebut terjadi pemanasan pada elemen akibat tahanan elemen tersebut.



Gambar 3.64 Kompor dengan elemen pemanas terbuka

Panas itulah yang dimanfaatkan untuk memasak makanan. Pada gambar ini ditunjukkan pula dudukan elemen pemanas dan dudukan tempat masak yang tahan panas.

Pada tipikal kompor ini dilengkapi dengan sebuah pipa pengatur suhu yang diletakkan membentang di dekat elemen pemanas. Pipa logam ini berfungsi mengendalikan suhu kompor

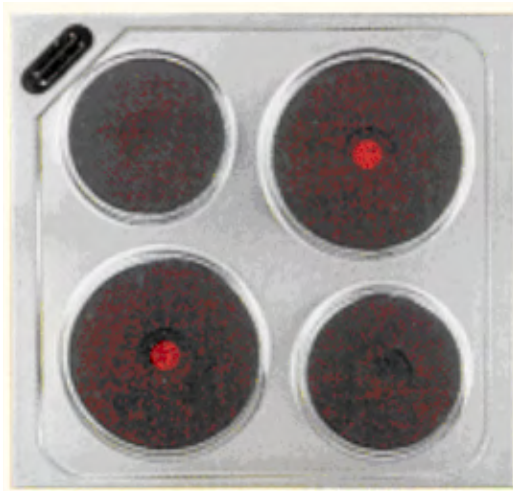
sesuai dengan kebutuhan. Pengaturan suhu ini memanfaatkan faktor pemuaian pipa tersebut. Bila suhu semakin tinggi, pipa memuai sehingga batangnya semakin memanjang. Pemanjangan pipa inilah kemudian dimanfaatkan untuk memutuskan kontak dari sumber listrik. Bila suhu turun, panjang pipa berkurang dan menghidupkan kompor kembali. Demikian kerja kompor secara berulang.

3.2.2.3.2 Piring panas (hot plate)

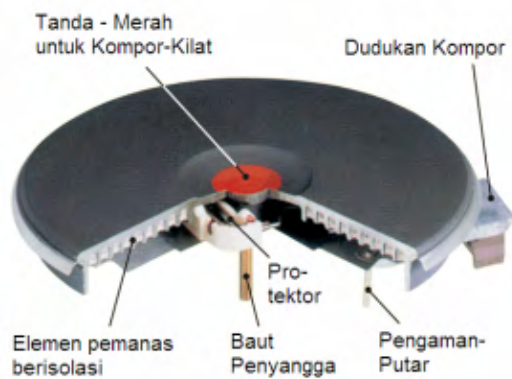
Kompor listrik jenis ini mempunyai kepala kompor berupa piring panas (hot plate) di mana elemen pemanas kompor diletakkan. Berbeda dengan jenis kompor yang pertama, elemen pemanas pada kompor ini tertutup sama sekali (Gambar 3.65) sehingga dilihat dari luar hanya kelihatan kepala kompornya saja.

Elemen pemanas dipasang melekat di bagian bawah piring panas. Perlengkapan-perlengkapan lainnya seperti terlihat pada Gambar 3.66

Kompor jenis ini ada yang biasa dan ada yang cepat (disebut kompor kilat). Kompor kilat waktu pemanasannya lebih cepat dibandingkan dengan yang biasa. Kedua jenis kompor ini bila ditinjau dari konstruksinya tidak ada perbedaan. Yang membedakan hanya dayanya yang lebih tinggi dengan ukuran fisik yang sama. Seperti yang ditunjukkan dalam tabel. Untuk ukuran diameter yang sama, daya kompor berbeda dan daya kompor tergantung pada ukuran piring panasnya. Semakin besar diameter piring panasnya semakin besar pula dayanya.



Gambar 3.65 Kompor listrik jenis dengan 4 piring panas (hot-plate)



Gambar 3.66 Konstruksi hot plate

Tabel 3.1 Daya Kompor Listrik

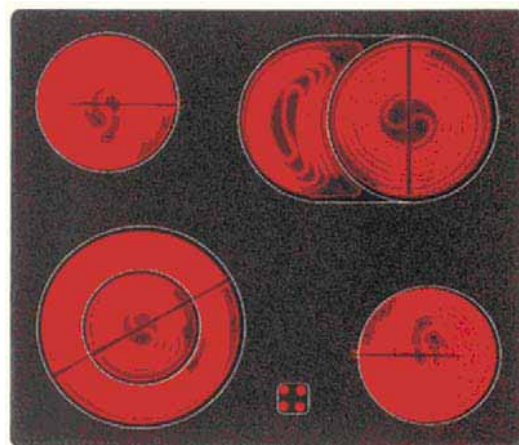
Diameter [mm]	Biasa [W]	Kilat [W]
145	1000	1500
180	1500	2000
220	2000	2600

3.2.2.3.3 Kompor Radiasi

Jenis kompor ini secara prinsip sama dengan jenis kompor biasa di mana elemen pemanasnya diletakkan di secara terbuka di dalam kepala

kompornya. Bedanya terletak pada bahan elemen pemanasnya, pada kompor ini menggunakan tungsten.

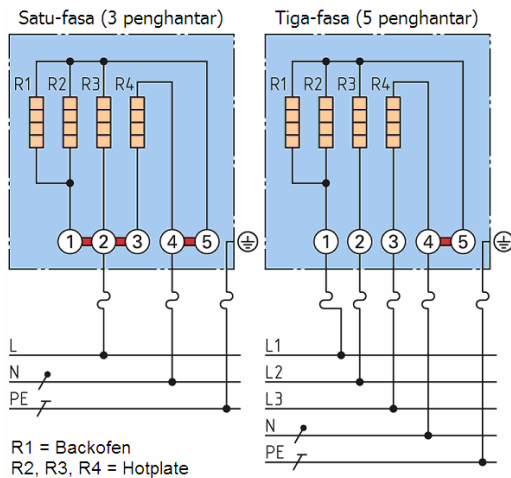
Ketika kompor beroperasi, elemen pemanas mengeluarkan bara api. Radiasi dari bara api inilah yang dimanfaatkan untuk memanaskan masakan. Elemen pemanas kompor jenis ini menggunakan bahan yang anti oksidasi sehingga walaupun membara namun tidak terbakar. Ilustrasi dari kompor jenis ini ditunjukkan pada Gambar 3.67.



Gambar 3.67 Kompor listrik jenis radiasi

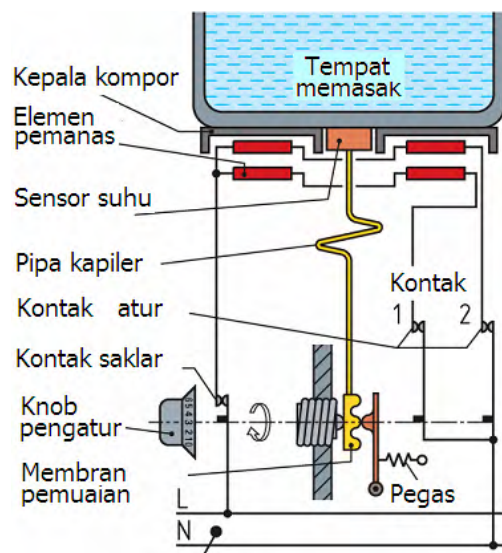
Contoh rangkaian kompor listrik

Berikut ini adalah beberapa jenis rangkaian kompor listrik secara tipikal. Untuk kompor yang dayanya kurang dari 4 kW, pada umumnya menggunakan sistem fasa-satu dengan 3 penghantar (kiri), yaitu penghantar fasa, netral dan pentanahan. Untuk kompor berdaya di atasnya menggunakan sumber fasa-tiga dengan 5 penghantar, (kanan), yaitu: 3 penghantar fasa, 1 netral dan 1 pentanahan.



Gambar 3.68 Konfigurasi rangkaian elemen pemanas

Skema berikut ini menunjukkan mekanisme kompor listrik tipikal



Gambar 3.69 Skema mekanisme kendali kompor listrik tipikal

Pengaturan suhu dilakukan melalui saklar pengatur, sensor suhu, pipa kapiler dan membran pemuai. Saklar pengatur, kontak saklar, membran dan kontak 1 dan 2 berada pada satu poros (Gambar 3.69).

Prinsip kerja pengaturan suhu kompor dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1 Kompor dihidupkan dengan memutar Saklar pengatur. Pemutaran saklar ini membuat kontak saklar tertutup (ON) dan dengan saklar ini pula diatur suhu yang dikehendaki.
- 2 Ketika kompor ON dengan suhu tertentu, maka arus listrik mengalir ke elemen-elemen pemanas melalui kontak 1 dan 2.
- 3 Kompor semakin lama semakin tinggi suhunya. Peningkatan suhu ini akan dideteksi oleh sensor suhu, dan panas disalurkan dari kepala kompor ke membran pemuai.
- 4 Dengan adanya peningkatan panas ini, membran memuai dan menggerakkan poros.
- 5 Bila suhu yang dikehendaki tercapai, maka gerakan pemuai membran tersebut akan memutuskan kontak 1 dan 2 sehingga kompor mati.
- 6 Ketika suhu menurun kembali, membran akan menyusut, dan pegas membawa poros sesuai arah penyusutan membran sehingga kontak 1 dan 2 On kembali. Demikian proses ini terjadi secara berulang.

3.2.2.3.4 Kompor Induksi

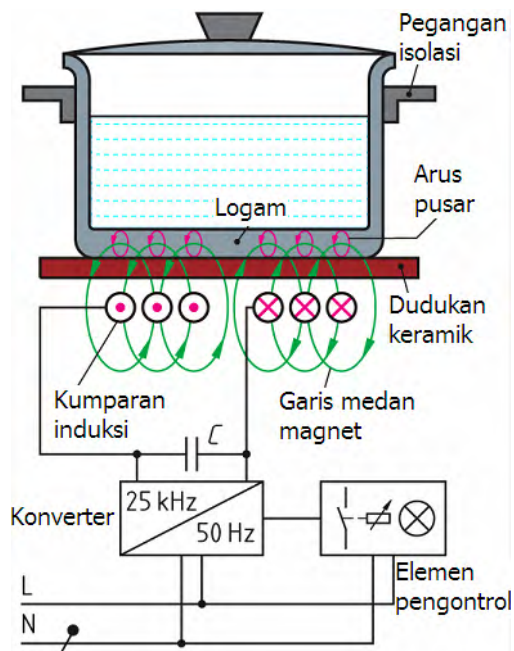
Kompor jenis ini mempunyai prinsip kerja berbeda dengan tiga jenis kompor yang dibahas terdahulu. Pada jenis kompor terdahulu menggunakan prinsip pemanasan dengan menggunakan bahan yang mempunyai tahanan jenis sangat tinggi, pada kompor jenis ini menggunakan prinsip induksi (Gambar 3.68). Sudah tentu, kompor jenis ini menggunakan teknologi yang lebih maju.

Prinsip kerja kompor induksi dapat dijelaskan sebagai berikut (Perhatikan Gambar 3.70).

- 1 Ketika kompor dihubungkan dengan sumber listrik biasa dengan frekuensi 50 Hz. Dengan menggunakan konverter dan elemen pengontrol, frekuensi listrik 50 Hz diubah menjadi frekuensi tinggi sampai 25 kHz (frekuensi bisa diatur melalui elemen pengontrol).
- 2 Listrik dengan frekuensi tinggi ini dialirkan ke kumparan induksi, maka arus mengalir melalui kumparan tersebut. Perlu diingat di sini bahwa arus yang mengalir ke dalam kumparan induksi adalah arus bolak-balik dengan frekuensi tinggi.
- 3 Arus bolak-balik ini membangkitkan garis-garis medan magnet. Medan magnet ini selalu berubah mengikuti perubahan arusnya, yaitu ac.
- 4 Medan magnet ini memotong tempat (wadah) memasak yang terbuat dari logam (penghantar). Apa yang terjadi ketika logam dipotong oleh medan magnet yang berubah setiap saat?
- 5 Pada logam akan timbul ggl (tegangan) induksi (hukum Faraday).
- 6 Karena logam tempat memasak merupakan satu kesatuan maka secara kelistrikan sama seperti dihubungkan singkat. Apa yang terjadi ketika tegangan dihubungkan singkat? Akan timbul arus yang dalam hal ini arahnya berputar-putar. Karena arahnya, arus ini kemudian disebut arus pusar atau arus Eddy (*Eddy current*).

- 7 Arus pusar yang mengalir dalam logam dan logam tersebut tetap mengandung resistansi walaupun kecil, maka timbullah panas dan panas inilah yang dimanfaatkan untuk memasak.

Panas yang dibangkitkan oleh kompor tergantung dari energi listrik yang dikonversikan ke bentuk panas. Daya kompor akan ditentukan oleh frekuensi listrik yang dialirkan ke kumparan induksi. Semakin tinggi frekuensi akan semakin tinggi daya kompor dan semakin tinggi suhu (panas) kompor.



Gambar 3.70 Kompor induksi

Karena kerjanya seperti itu, maka tempat memasak atau wadah dari masakan harus terbuat dari logam (penghantar). Kalau tidak, maka tidak akan terjadi pemanasan karena tidak ada efek induksi elektromagnet pada tempat memasaknya.

Pengembangan lebih lanjut kompor listrik adalah microwave oven (lihat bagian Microwave Oven di halaman berikut)

3.2.2.3.5 Perawatan Kompor Listrik

Petunjuk pertama yang menyatakan kerja tidaknya kompor listrik terletak pada kemampuannya dalam membangkitkan panas. Kompor, jenis apa pun, bila tidak bisa panas maka kompor tersebut dinyatakan rusak. Bila menjumpai hal semacam ini maka yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Periksa sumber tegangan, kondisi kabel dan terminal-terminal sambungannya. Bila semua dalam keadaan baik maka lanjutkan ke langkah berikut.
2. Periksa elemen pemanas, mungkin ada bagian-bagian yang putus. Bila elemen pemanas dalam keadaan baik (tidak putus), maka kesalahan terminal pada terminal-terminal sambungannya. Namun bila dijumpai keadaan yang tidak menentu, kadang panas kadang tidak, ini menunjukkan ketidaksempurnaan rangkaiannya.
3. Khusus untuk kompor induksi, karena bekerjanya kompor tersebut menggunakan prinsip induksi elektromagnet tegangan tinggi, maka yang perlu diperiksa juga adalah konverter pengubah listrik ac frekuensi rendah menjadi frekuensi tinggi. Untuk mengidentifikasi kerusakan pada bagian ini membutuhkan pengetahuan yang lebih kompleks. Oleh karena itu sangat disarankan untuk mengikuti buku petunjuk perawatan dari pabrik pembuatnya.
4. Khusus untuk kompor listrik yang dilengkapi dengan pengatur suhu, kompor tersebut dikatakan dalam keadaan baik bila pada

suatu suhu tertentu maka kompor akan mati secara otomatis. Bila tidak demikian ada dua hal yang perlu dicermati. Pertama adalah karena alat pengaturnya yang sudah tidak berfungsi dengan baik. Kedua, bisa jadi panas yang dihasilkan oleh kompor lebih rendah dari yang seharusnya. Bila demikian yang terjadi, maka perlu pemeriksaan lebih lanjut pada sistem pemanas dan unit pengaturnya. Khusus bila akan dilakukan pengesetan kembali unit pengatur harus menggunakan petunjuk yang dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya karena bagian ini merupakan bagian yang sangat sensitif dan kritis.

3.2.2.3.6 Pemeriksaan dan pelaporan hasil kerja perawatan kompor listrik

Pemeriksaan yang perlu dilakukan pada kompor listrik setelah dilakukan perawatan adalah kemampuan pemanasannya yang sesuai dengan yang dikehendaki.

1. Untuk kompor listrik biasa dan yang menggunakan *hot-plate*, pemeriksaan panasnya bisa langsung diperiksa pada elemen langsung atau pada *hot-platenya*.
2. Untuk kompor jenis radiasi, kemampuan pembangkitan panasnya dapat dilihat langsung melalui cahaya merah yang dikeluarkan oleh kawat nikrom sebagai elemen pemanasnya.
3. Untuk kompor jenis induksi, kerja kompor tidak dapat dilakukan secara visual namun melalui percobaan yaitu dengan meletakkan alat memasak yang terbuat dari logam. Kompor dikatakan bekerja dengan

baik bila kompor mampu memanaskan alat memasak tersebut secara memadai.

Hasil pemeriksaan terhadap kinerja alat dan pekerjaan perawatan yang telah dilakukan dituangkan dalam bentuk laporan. Dengan lembar laporan ini dapat diketahui, jenis kerusakan yang terjadi, bagian/komponen yang diperbaiki atau diganti serta hasil pengujian yang telah dilakukan. Dengan demikian diketahui kondisi kerja dan juga kondisi fisik alat.

3.2.3 Microwave Oven

Microwave oven adalah alat yang digunakan untuk memasak dan memanaskan makanan dengan menggunakan energi gelombang mikro (microwave). Alat ini menjadi cepat populer di masyarakat karena banyak kelebihan yang dimiliki bila dibandingkan dengan alat masak memasak yang lain. Kelebihan-kelebihan yang dimiliki antara lain adalah kemudahan dalam penggunaannya, proses pemasakan yang sangat cepat dan hemat energi. Karena kelebihannya inilah pada saat ini, alat ini banyak digunakan di lingkungan rumah tangga, restaurant atau rumah makan-rumah makan. Microwave oven merupakan revolusi dari peralatan masak memasak. Walaupun begitu, para pengguna alat ini harus mewaspadai aspek keselamatannya terutama yang terkait dengan tegangan tinggi dan dalam operasinya perlu kecermatan, khususnya yang terkait dengan bahan-bahan masakan dan wadah masakan yang dimasukkan ke dalam alat ini.

3.2.3.1 Bagian-bagian Utama Alat

Bagian-bagian utama microwave oven adalah sebagai berikut.

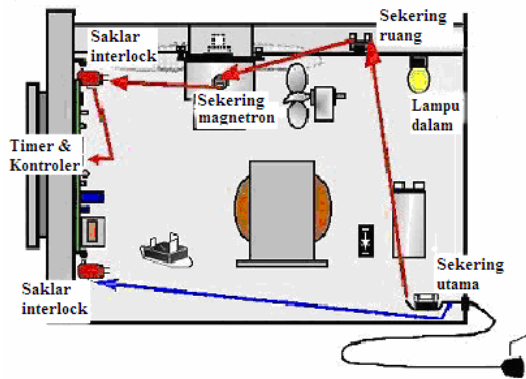
- Transformator tegangan tinggi berfungsi untuk meningkatkan tegangan rendah (rumah tangga) menjadi tegangan tinggi.
- Magnetron berfungsi sebagai pengubah tegangan tinggi menjadi energi gelombang mikro
- Pengarah gelombang sebagai pengarah gelombang mikro sehingga ke ruang masak;
- Ruang masak mempunyai dinding yang terbuat dari logam guna mendapatkan fungsi sebagai sangkar faraday yang bertindak sebagai penetralisir gelombang mikro yang mengenainya sehingga tidak ada gelombang yang keluar dari alat ini.
- Unit kontrol adalah unit yang bertindak selaku pengendali daya keluaran alat agar sesuai dengan kebutuhan yang terdiri atas timer (elektronik atau elektromekanik) dan sistem kontrolnya serta tombol-tombol operasi;
- Rangkaian pengaman yang terdiri dari sederetan sekering dan interlock sebagai pengaman dari kerja abnormal alat (hubung singkat, panas lebih)

3.2.3.2 Prinsip Kerja

Ketika microwave oven dihubungkan ke sumber listrik, arus listrik akan mengalir ke alat melalui sekering dan rangkaian pengaman lainnya. Komponen proteksi ini meliputi sejumlah sekering dan alat pengaman thermal yang dirancang untuk memutuskan aliran listrik ketika terjadi kondisi-kondisi abnormal seperti hubung singkat atau panas lebih.

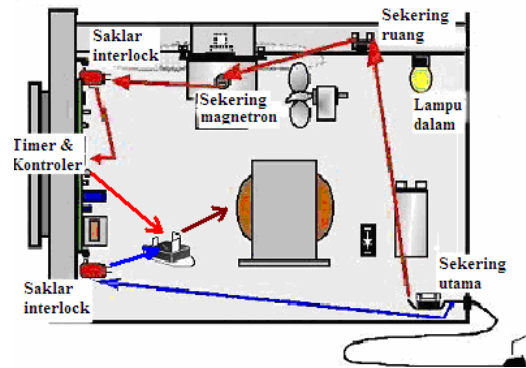
Dalam keadaan normal, arus listrik mengalir melalui rangkaian interlock dan timer. Pada saat akan menggunakannya, pintu microwave oven harus ditutup sehingga arus listrik mengalir melalui sederetan saklar interlock. Pengesetan timer dan operasi starting menyambungkan rangkaian kontrol dengan sumber tegangan sehingga membuat rangkaian kontrol menjadi aktif.

Pada umumnya, sistem kontrol ini terdiri dari relai elektromekanik atau saklar elektronik (transistor) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.71.



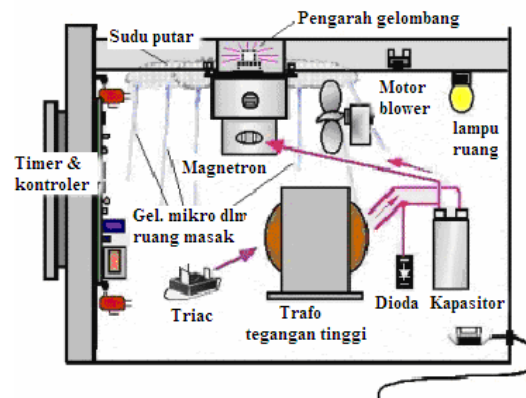
Gambar 3.71 Sistem kontrol

Jika berdasarkan hasil penginderaan ditemukan bahwa kondisi sistem dalam keadaan baik, rangkaian kontrol akan membangkitkan sinyal yang mengaktifkan relay dan komponen elektronik Triac sehingga menyalurkan dan menghubungkan tegangan ke trafo tegangan tinggi. Dengan mengatur rasio On-Off dari sinyal kontrol dari tabung magnetron sehingga mengatur daya keluaran dari oven ini (Gambar 3.72).



Gambar 3.72 Daya masukan tegangan tinggi

Pada bagian tegangan tinggi (Gambar 3.73), trafo tegangan tinggi bersama-sama dengan rangkaian dioda dan kapasitor menaikkan tegangan dari tegangan rumah tangga, 220 V menjadi tegangan tinggi sekitar 3000 V. Tegangan ini sangat berbahaya bagi manusia, namun hal ini tidak bisa dihindari karena itulah yang dibutuhkan oleh magnetron untuk menjalankan fungsinya, yaitu mengubah tegangan tinggi menjadi energi elektromagnetik.



Gambar 3.73 Bagian tegangan tinggi

Energi gelombang mikro ditransfer ke saluran logam (metal channel) yang disebut pengarah gelombang (wave guide), yang mencatu energi ke dalam ruang masak mengarah pada wadah masakan yang diputar secara pelan.

3.2.3.3 Ukuran Microwave

Ukuran microwave dikategorikan menjadi 3 ukuran, yaitu kecil, sedang (menengah), dan besar.

- **Kecil**
Microwave ukuran ini yang juga disebut sebagai microwave jinjing, mempunyai kapasitas, tipikal tidak lebih dari 46 cm (18 kaki) lebar, tebal 35,5 cm (14 kaki) dan tinggi 30,5 cm (12 kaki). Volume ruang masak kurang dari 1 kaki kubik.
- **Sedang**
Ukuran ruang dalam 1,4 – 1,6 kaki kubik, dengan tinggi 13 inci, lebar 21 inci dan ketebalan 16 inci. Daya listrik 900 – 1.500 W. Ukuran ini sesuai untuk ukuran keluarga standard dan cocok untuk keperluan memasak sayuran dan daging ukuran kecil. Biasanya alat ukuran ini sudah dilengkapi dengan fitur otomatis.
- **Besar**
Ukuran besar mempunyai kapaistas 1,8 – 2,1 kaki kubik, dengan tinggi 14 inci, lebar 24 inci dan tebal 18 inci. Daya listrik yang dibutuhkan juga lebih tinggi, yaitu 1000 – 1.500 W.

3.2.3.4 Jenis-Jenis Microwave Oven

Pada saat ini sudah banyak jenis microwave, diantaranya adalah yang berfungsi hanya untuk oven saja, kombinasi antara microwave dan konveksi, dan kombinasi antara microwave dan pemanggangan (grill). Bahkan di samping kombinas pada alat yang sama pula bisa dioperasikan secara sendiri-sendiri, seperti microwave, oven konveksi atau grill.

Microwave seperti ini biasanya dilengkapi dengan display digital untuk jam, atau variabel-variabel kontrol lainnya seperti tingkatan kerja, waktu, dan lain-lain. Kelengkapan lain tombol-tombol operasi dan alat pengatur lainnya.

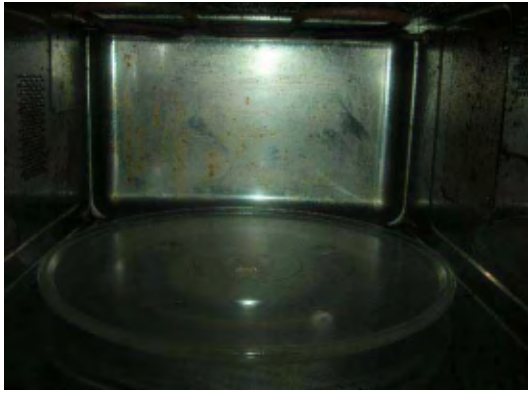
Berikut ini adalah microwave tipikal yang mempunyai fungsi cukup lengkap dengan menggunakan kontrol digital dalam operasinya. Fungsi-fungsi dari contoh ini adalah: microwave, konveksi, grill dan gabungan antara microwave dan konveksi. Fungsi-fungsi ini tercermin dari tombol-tombol kontrol seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.74 dan 3.75.



Gambar 3.74. Microwave digital



Gambar 3.75. Tombol-tombol fungsi microwave



Gambar 3.76 Piring putar di ruang masak

Piring yang digunakan sudah yang tahan panas. Konstruksi piring disesuaikan dengan mekanisme pemutarnya.



Gambar 3.77 Pemutar piring dan landasan putar

Dari Gambar 3.77 terlihat bahwa mekanisme pemutar terdiri atas poros yang digerakkan oleh motor penggerak (bagian tengah) yang dilengkapi dengan roda putar untuk memudahkan putaran piring masak (melingkari poros pemutar)



Gambar 3.78 Elemen pemanas grill

Karena salah satu fungsi alat ini adalah sebagai pemanggang (griller), maka alat dilengkapi elemen pemanas untuk pemanggangan. Agar pemanasan dapat berjalan dengan sempurna, bagian atas alat diberi ventilasi secara memadai. Namun perlu diingat bahwa alat ini berfungsi juga sebagai microwave maka ventilasi-ventilasi ini dilengkapi pula dengan screen untuk mencegah gelombang mikro keluar atau masuk dari/ke dalam alat.



Gambar 3.79 Bagian dalam samping

Gambar 3.79 menunjukkan adanya screen ventilasi yang ada pada dinding samping ruang masak. Ini merupakan fasilitas untuk keperluan oven konveksi. Dari lubang-lubang inilah panas yang dibangkitkan oleh elemen pemanas konveksi dihembus dengan fan sehingga panas masuk ke dalam ruang masak secara cepat.

3.2.3.5 Aspek keselamatan

Aspek keselamatan dan hal-hal penting dalam penggunaan microwave perlu menjadi perhatian bagi para pengguna alat ini.

Walaupun microwave menjadi cepat populer di masyarakat karena banyak kelebihan yang didapat dari alat ini, seperti waktu, dan energi yang dibutuhkan untuk memasak suatu makanan relatif lebih cepat dan hemat, namun ada beberapa aspek yang harus menjadi catatan bagi para penggunanya agar dalam pemakaiannya tidak menimbulkan hal-hal yang bisa membahayakan. Berikut ini adalah hal-hal yang harus diperhatikan.

- Microwave tidak berfungsi dengan baik bila wadah makanan yang digunakan untuk memasak atau ada benda-benda lain yang terbuat dari logam (aluminium, besi, stainless steel, dll). Bila ada benda yang terbuat dari logam atau mempunyai bagian yang mengandung logam, akan timbul percikan bunga api. Ini sangat berbahaya baik terhadap terjadinya panas lebih maupun akan merusak tabung magnetnya bila berjalan dalam waktu yang lama. Bila kita menjumpai hal tersebut segeralah mematikan microwave dengan mereset atau membuka pintunya.
- Bila menggunakan tempat dari plastik, pastikan bahwa tempat tersebut cocok untuk microwave. Tanda bahwa tempat cocok untuk keperluan ini dapat dilihat dari keterangan yang biasanya ditulis di bagian bawah tempat, dengan tulisan microwave safe atau heat resistant (tahan panas).

- Sedapat mungkin hindarkan penggunaan keramik, karena biasanya mengandung logam pada ornamen-ornamennya.

3.2.3.6 Perawatan Microwave

Microwave tergolong peralatan rumah tangga yang telah mengadopsi teknologi tinggi. Selain kompleksitas sistem dan komponen-komponen yang digunakan, alat ini juga mempunyai potensi bahaya yang relatif sangat tinggi bagi manusia. Oleh karena itu dalam merawat alat sangat ditekankan agar mengacu pada buku petunjuk perawatan yang dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya. Bila terjadi kerusakan pada microwave sangat disarankan untuk tidak mereparasi unit-unit utama seperti trafo penaik tegangan, dan magnetron serta unit kontrol elektroniknya. Bila terjadi kerusakan pada bagian ini sangat disarankan untuk mengganti dengan unit baru yang disarankan oleh pabrik pembuatnya.

Penggantian komponen-komponen dapat dilakukan pada rangkaian pengaman seperti saklar pintu (*door switch*), sekering-sekering dan kipas angin.

Microwave yang dilengkapi dengan fitur-fitur lain seperti oven konveksi atau grill, permasalahan banyak terjadi pada elemen-elemen pemanasnya. Pemeriksaan kerusakan dari elemen-elemen pemanas ini dapat dilakukan seperti yang dilakukan pada alat-alat yang menggunakan elemen pemanas yang lain.

3.2.3.7 Pemeriksaan dan pelaporan hasil kerja perawatan Microwave

Setelah dilakukan perawatan kondisi yang harus diperiksa adalah sebagai berikut:

1. Ketika alat dioperasikan, pada daya dan waktu tertentu, lampu ruang masak menyala, dan piring tatakan masakan berputar.
2. Beberapa saat setelah melampaui pengesetan waktu bahan yang dimasak sudah dalam keadaan panas.
3. Akan lebih sempurna lagi bila microwave dicoba untuk memasak suatu bahan tertentu sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh pabriknya. Bila dengan pengesetan yang telah dilakukan dan menghasilkan masakan yang sesuai berarti alat dapat beroperasi dengan baik dan sebaliknya.
4. Untuk fitur-fitur lain seperti grill, oven konveksi atau kombinasinya dengan microwave, harus diperiksa operasi masing-masing fitur.
5. Untuk grill, kerja alat ditandai dengan panas elemen pemanas pemanggangnya yang terletak di atas dan di bawah tempat masakan.
6. Untuk fitur oven konveksi, kerja alat ditandai dengan memanasnya elemen pemanas yang terletak di samping. Operasinya fitur ini juga ditandai dengan hidupnya fan. Proses pemasakan tidak melalui pemasakan langsung namun melalui media udara yang dihembuskan oleh fan melalui elemen pemanas sehingga udara menjadi panas. Udara panas inilah yang digunakan untuk memasak.

Hasil pemeriksaan ini kemudian dituliskan dalam laporan sehingga dengan laporan ini diketahui kondisi

kerja alat. Yang perlu dituangkan dalam laporan di samping kondisi kerja alat, juga pekerjaan perawatan yang telah dilakukan sehingga ada catatan sejarah perawatannya.

3.3 Alat-alat Pemanas & Pendingin

3.3.1 Pengering Rambut



Gambar 3.80 Pengering rambut tipikal

Pengering rambut pada model di atas memiliki dua saklar. Satu untuk menyalakan dan mematikan, sedang yang satunya untuk mengontrol aliran udara panas. Pada beberapa jenis lain, biasanya juga ada saklar ekstra yang dapat digunakan untuk meregulasi temperatur dari aliran udara. Pengering ini mengeringkan rambut dengan mempercepat tingkat penguapan air dari permukaan rambut. Udara panas yang dikeluarkan akan meningkatkan temperatur dari udara di sekitar helai-helai rambut. Karena udara hangat memiliki kelembapan yang lebih tinggi dibanding suhu ruangan, maka air yang dapat diuapkan dari rambut lebih banyak. Kenaikan temperatur juga menyebabkan molekul-molekul air untuk saling menarik dan berubah dari wujud air ke gas.

3.3.1.1 Bagian-Bagian Utama Pengering Rambut

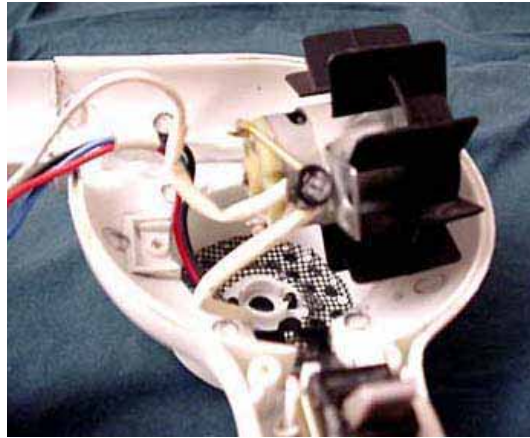
Pengering rambut hanya menggunakan dua bagian untuk menghasilkan udara panas, yaitu kipas yang digerakkan motor, serta gulungan kabel pemanas. Keduanya digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi panas konvektif. Berikut adalah mekanisme perubahan energi tersebut:

1. Saat pengering dinyalakan, terjadi aliran arus listrik
2. Lalu sirkuit menyuplai catu daya ke kabel melingkar yang terdapat pada elemen pemanas hingga temperaturnya naik.
3. Arus listrik memutar motor elektrik yang akhirnya memutar kipas.
4. Aliran udara pun terjadi dan mengalir kearah elemen pemanas
5. Karena udara mengalir melewati kabel pemanas, pemanas tersebut menaikkan temperatur udara melalui mekanisme konveksi
6. Udara panas pun keluar melewati lubang pada pengering.

3.3.1.2 Pembangkitan Aliran Udara

Bagaimana pengering rambut dapat meniupkan udara? Pengering rambut memiliki kipas yang berfungsi seperti turbin hidrolik.

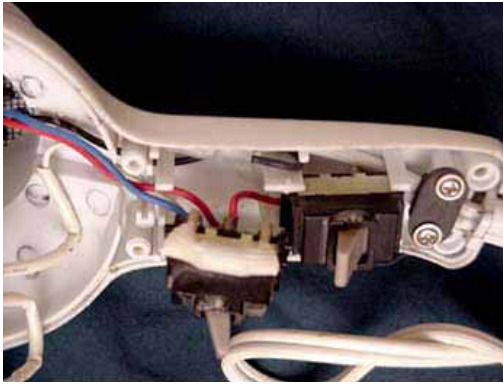
Tidak seperti turbin air yang menggunakan energi potensial dari air untuk menghasilkan udara, tetapi kipas ini menggunakan energi listrik untuk menghasilkan aliran udara. Di dalam kipas terdapat motor kecil, yang terhubung pada bagian ujungnya. Saat diberikan catu daya pada motor, maka kipas tersebut akan berputar.



Gambar 3.81 Kipas angin pembangkit aliran udara

Pergerakan sentrifugal dari kipas akan menghasilkan udara dari udara yang masuk melalui inlet di sekitar pengering. Lubang-lubang ini ditutupi dengan panel keamanan untuk mencegah objek-objek lainnya seperti helai rambut untuk ikut terhisap masuk. Lalu udara keluar melewati barrel dari pengering.

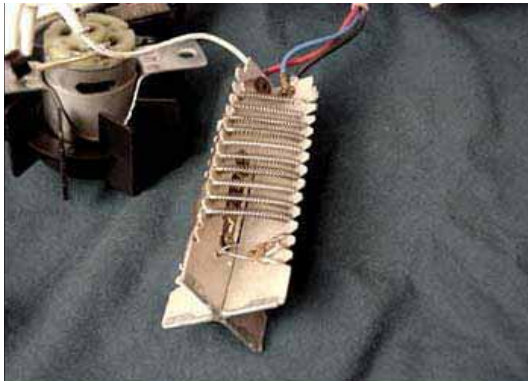
Umumnya pengering rambut memiliki pengatur tinggi-rendahnya aliran udara, atau dapat juga dikatakan pengatur kecepatan. Bagaimana pengaturan ini terjadi? Pengaturan ini dilakukan dengan mengubah arus listrik yang mengalir melewati sirkuit catu daya. Saat catu daya yang diberikan rendah, maka motor dan kipasnya akan berputar lebih lambat, menghasilkan udara dengan aliran rendah. Ketika catu daya dinaikkan, maka motor bergerak semakin cepat. Kipas terus berotasi dengan cepat, menghasilkan aliran udara dengan intensitas lebih tinggi.



Gambar 3.82 Saklar pengatur kecepatan motor

3.3.1.3 Pemanasan Udara

Elemen pemanas terdiri dari kabel nikrom melingkar yang melapisi sebuah papan mika. Kabel nikrom adalah gabungan dari dua jenis logam, yaitu nikel dan krom.



Gambar 3.83 Elemen pemanas



Gambar 3.84 Arah semburan udara melewati elemen pemanas

Logam ini digunakan sebagai elemen pemanas di berbagai peralatan rumah tangga seperti pemanggang roti. Kawat nikrom memiliki keunggulan:

1. Kawat nikrom adalah konduktor listrik yang lemah apabila dibandingkan dengan kawat tembaga. Hasilnya, kawat ini memiliki resistansi yang cukup untuk menghasilkan panas dari arus listrik yang melewatinya.
2. Nikrom tidak mengoksidasi saat dipanaskan, sehingga tidak mudah mengarat walau digunakan pada suhu tinggi.

Aliran udara yang dihasilkan dari kipas kemudian diarahkan melewati elemen pemanas. Udara yang lewat memiliki suhu yang lebih rendah dibandingkan kawat nikrom, maka terjadi perpindahan panas dari kawat nikrom ke udara. Siklus ini terus berulang sehingga dihasilkan aliran udara panas secara terus menerus.

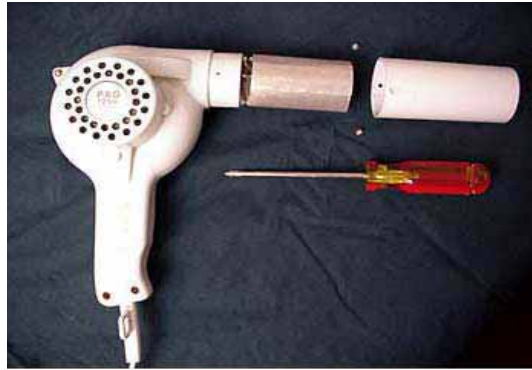
Suhu udara yang keluar dari pengering rambut tergantung pada:

1. Suplai catu daya yang diberikan pada elemen pemanas. Semakin besar daya diberikan, maka semakin besar pula panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas dan dapat ditransfer ke udara.
2. Terdapat jenis pengering rambut yang memiliki pengatur suhu, dan pengatur suhu ini mengatur suplai catu daya untuk memodulasi suhu dari aliran udara.
3. Udara dipanaskan oleh kawat nikrom memiliki periode pemanasan tertentu, untuk mencegah udara dengan suhu yang terlalu tinggi.

3.3.1.4 Pengamanan pengering rambut

Pada pengering rambut terdapat fitur-fitur pengamanan sebagai berikut:

1. Saklar pengaman pemutus-hubungan listrik. Saklar ini dibutuhkan untuk mencegah terlalu tingginya suhu udara yang dihasilkan (maksimal 60° C, atau dapat membakar kulit kepala). Saklar ini bekerja dengan adanya sensor panas yang dapat memutuskan arus listrik pada sirkuit dan mematikan motor saat suhu udara yang dihasilkan terlalu tinggi. Saklar ini terbuat dari strip bimetal untuk memutuskan hubungan listrik. Saklar bimetal terbuat dari lembaran yang terbuat dari dua jenis logam. Kedua logam ini memuai saat dipanaskan tapi pada laju yang berbeda. Saat suhu dalam pengering naik, strip ini memanaskan dan membengkok karena satu lembar logam memuai lebih besar dibandingkan logam lainnya. Saat pembengkokan ini mencapai poin tertentu, saklar akan memutuskan hubungan listrik.
2. Sekering termal. Sekering ini dimasukkan ke dalam sirkuit elemen pemanas untuk mencegah *over-heating* dan terjadinya kebakaran. Mekanismenya adalah dengan memutuskan sirkuit apabila suhu dan arus listrik terlalu tinggi.
3. Isolasi. Tanpa isolasi yang baik, maka sisi luar dari pengering rambut akan terasa sangat panas saat dipegang, bahkan dapat membakar tangan.
4. Penghalang protektif, saat terjadi aliran udara di dalam pengering rambut, maka segala benda di luar pengering juga ikut tertarik pada arah masuknya udara. Maka untuk mencegah hal ini, lubang udara ditutupi oleh semacam tameng. Saat anda selesai menggunakan pengering rambut untuk beberapa waktu, maka di bagian luar pengering akan menumpuk semacam kotoran dan debu-debu. Penghalang ini jelas diperlukan, karena apabila kotoran ini menumpuk di bagian dalam pengering, maka elemen pemanas akan membakarnya atau dapat menghambat pergerakan motor. Walau sudah terdapat penghalang semacam ini, pengguna pengering rambut perlu membersihkan kotoran yang menumpuk tersebut. Penumpukan ini akan menghambat masuknya udara dan akhirnya menyebabkan *overheat*, serta aliran udara yang dihasilkan juga memiliki intensitas rendah.
5. Grill depan. Bagian ujung dari barel ditutupi oleh suatu grill yang terbuat dari bahan tahan panas. Grill ini mencegah pengguna untuk memasukkan objek-objek kecil seperti jari ke dalam pengering.



Gambar 3.85 Isolasi dan penghalang protektif

6. Ground Fault Circuit Interrupter (GFCI). Sejak tahun 1991, pengering rambut portabel diharuskan memiliki pengaman terhadap sengatan listrik, apabila terjadi kecelakaan misalnya pengering rambut masuk ke dalam air saat masih menyala. GFCI berupa plug terpolarisasi yang memonitor jumlah arus yang melewati suatu sirkuit. Apabila terjadi kebocoran pada sirkuit, maka sirkuit akan terputus. ini juga banyak digunakan untuk peralatan lain. Apabila pengering rambut masuk ke dalam air saat tidak menyala, maka tidak terjadi sengatan listrik, namun pengering dapat rusak karena komponen di dalamnya terkena air.

3.3.1.5 Perawatan pengering rambut

Bagian yang paling sering mengalami kerusakan adalah pemanas, kipas angin dan saklar pengatur.

1. Bila pengering rambut tidak beroperasi sama sekali ketika dihidupkan, maka yang perlu diperiksa pertama kali adalah saklar pengaturnya. Jika saklar pengaturnya rusak maka harus diganti dengan yang baru. Namun bila keadaannya baik, maka lanjutkan ke langkah berikutnya.
2. Periksa suhu pemanas dan kipas angin. Jika pemanas dan kipas angin tidak hidup sama sekali maka perlu diperiksa sambungan antara saklar pengatur dan kedua alat ini. Bila kondisinya bagus maka perlu dilakukan langkah selanjutnya.
3. Lepas terminal elemen pemanas dan kipas angin dan periksa kondisi kedua alat dengan menggunakan multimeter (ohmmeter) sehingga diperoleh gambaran tentang kedua alat tersebut. Bila semua penghantar

dan terminal-terminal sambungannya dalam keadaan baik maka permasalahan ada pada alat tersebut. Bila terjadi kerusakan biasa tidak menyebabkan kerusakan pada kedua alat tersebut, kecuali yang disebabkan oleh tegangan lebih dari sumber. Jika hal ini terjadi maka harus dilakukan penggantian terhadap alat-alat tersebut.

3.3.1.6 Pemeriksaan dan pelaporan hasil pekerjaan perawatan

Setelah dilakukan perawatan terhadap alat, maka perlu diperiksa kondisi kerja alat sebagai berikut:

1. Bila alat sudah dapat beroperasi dengan baik, maka ketika alat dihidupkan, fan akan berputar dan elemen pemanas akan membangkitkan panas.
2. Periksa hembusan udara dan suhu yang dikeluarkan. Untuk pengaturan daya rendah maka putaran fan dan pemanasannya akan rendah. Sebaliknya untuk pengaturan yang lebih tinggi, putaran dan suhu yang dihasilkan juga akan semakin tinggi.
3. Untuk keperluan perawatan ke depan, perlu dibuat laporan yang memuat kerusakan yang terjadi, perawatan yang telah dilakukan dan hasil uji unjuk kerjanya (terlalu rendah, terlalu tinggi atau normal).

3.3.2 Kulkas dan freezer

3.3.2.1 Pendahuluan

Mesin pendingin adalah mesin yang digunakan untuk membuat makanan/ bahan makanan dalam keadaan dingin dan atau beku. Dalam keadaan seperti

ini makanan bisa bertahan lama, karena dalam keadaan dingin/beku akan menghambat/menghentikan aktivitas bakteri. Karena kemampuannya itu, mesin pendingin, yaitu kulkas dan freezer banyak digunakan di lingkungan rumah tangga dan industri. Freezer rumah tangga bisa merupakan bagian dari kulkas atau berdiri sendiri.



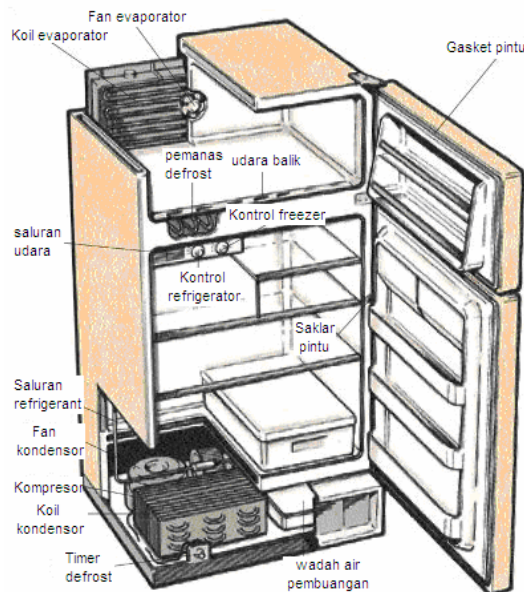
Gambar 3.86 Kulkas tipikal

Prinsip kerja mesin ini menggunakan prinsip refrigerasi, yang dalam operasinya memanfaatkan proses penguapan suatu cairan yang disebut refrigerant untuk menyerap panas. Prinsip pendinginan yang diterapkan seperti halnya bila kita oleskan air ke kulit akan kita rasakan perasaan dingin. Rasa dingin ini terjadi karena terjadi penyerapan panas oleh air yang sedang menguap. Sama halnya yang terjadi bila kita oleskan alkohol pada tubuh kita. Kita akan merasa lebih dingin lagi

dibandingkan ketika yang kita oleskan adalah air. Hal ini terjadi karena titik didih/penguapan alkohol lebih rendah dari air.

Kulkas dan freezer menggunakan refrigerant yang mempunyai suhu penguapan yang jauh lebih rendah sehingga didapatkan suhu yang sangat dingin.

3.3.2.2 Bagian-bagian Utama Freezer Dan Fungsinya



Gambar 3.87 Bagan kelengkapan kulkas

Gambar 3.87 memberikan ilustrasi tentang kelengkapan dari sebuah kulkas. Kelengkapan alat ini bisa dikelompokkan menjadi dua, yaitu perlengkapan utama dan perlengkapan penunjang. Perlengkapan utama terdiri atas lima bagian utama, yaitu:

1. Kompresor

Alat ini berfungsi menyedot refrigerant dan menekannya sehingga

refrigerant keluar dari kompresor pada tekanan tinggi;

2. Pipa-penukar kalor luar

Pipa-penukar kalor luar ini merupakan pipa yang dibengkok-bengkokkan dan disusun sedemikian rupa sehingga membentuk suatu kumparan yang dipasang di bagian luar atau bagian belakang dari mesin. Pipa penukar kalor ini disebut juga kumparan kondensor. Penyusunan pipa-penukar kalor sedemikian ini dimaksudkan agar lebih efektif dalam pelepasan panasnya ke udara sekitar.

3. Katup ekspansi

Katup ekspansi berupa pipa dengan diameter lubang yang sangat kecil yang menghubungkan pipa yang diameter lubangnya sangat kecil (kapiler) ke besar sehingga terjadi proses penguapan refrigerant yang ada di dalamnya.

4. Pipa-penukar kalor dalam

Pipa-penukar kalor dalam atau kumparan evaporator. Pipa kalor ini menerima refrigerant dengan suhu yang sangat rendah sehingga menyerap panas yang ada di sekitarnya. Karena fungsinya itu, kumparan evaporator ini ditempatkan di bagian dalam mesin, yaitu di ruang pendinginnya.

5. Refrigerant

Refrigerant sebagai media pendingin, merupakan media yang dialirkan ke dalam pipa-pipa penukar kalor yang digunakan untuk proses pendinginan. Media ini harus mempunyai titik didih/penguapan yang sangat rendah agar dapat mendinginkan/membekukan bahan/makanan yang ada di

dalamnya. Media ini seperti amonia, CFC dan DCF.

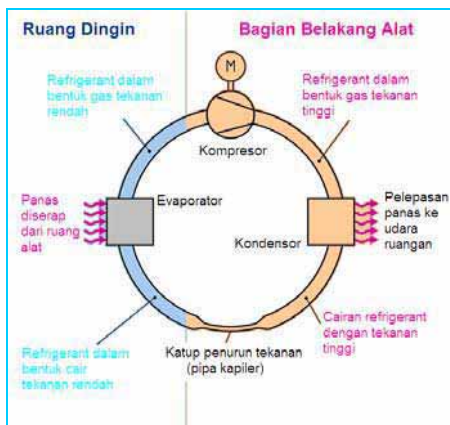
Perlengkapan penunjangnya, antara lain:

- Pemanas dan timer defrost: untuk mencairkan bunga-bunga es yang menempel pada bagian pembeku yang lama prosesnya ditentukan oleh sebuah timer (pewaktu);
- Kontrol kulkas dan freezer: untuk mengatur suhu dalam kulkas/freezer;
- Lampu: sebagai penerang ruang dalam kulkas;
- Saklar pintu: bertindak sebagai saklar untuk menghidupkan/mematikan lampu penerangan ruang dalam kulkas. Bila pintu kulkas dibuka, lampu akan menyala, sebaliknya kalau pintu ditutup lampu akan mati.
- Gasket pintu: sebagai isolasi antara bagian dalam mesin dan luar sehingga pendinginan terjadi secara efektif.
- Wadah limbah air: tempat air yang menetes dari akibat proses kondensasi atau defrost.

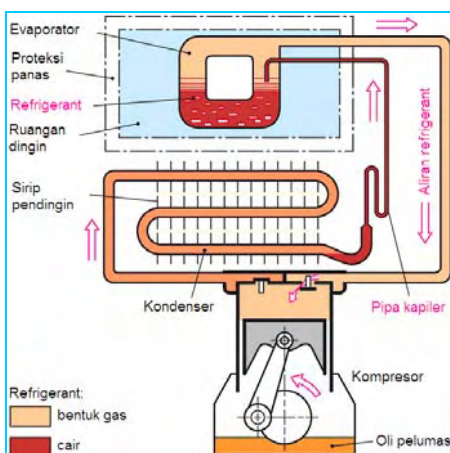
3.3.2.3 Siklus Refrigerasi

Seperti yang telah dijelaskan di atas, bahwa cairan yang digunakan sebagai refrigerant adalah bahan-bahan yang mempunyai titik didih/penguapan yang sangat rendah. Misalnya amonia murni, freon (CFC). Misalnya amonia, bahan ini akan menguap pada suhu -32°C (-27°F). Kondisi inilah yang membuat suhu dalam ruang pendingin kulkas/freezer menjadi sangat dingin. Bahan yang digunakan untuk proses pendinginan secara umum disebut refrigerant.

Siklus pendinginan pada mesin pendingin ini diilustrasikan pada Gambar 3.88 dan 3.89.



Gambar 3.88 Siklus refrigerasi



Gambar 3.89 Proses pendinginan

Siklus refrigerasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Kompresor menyedot refrigerant dalam bentuk gas tekanan rendah dan memampatkannya sehingga bertekanan tinggi. Akibat dari penekanan ini membuat suhu gas tersebut akan meningkat. Walaupun gas tersebut suhunya meningkat

namun karena bertekanan tinggi sehingga tidak membuatnya menguap.

2. Gas yang bertekanan dan bersuhu tinggi ini dialirkan ke dalam pipa penukar-kalor bagian luar (diletakkan di belakang mesin) membuat gas ini melepaskan panas ke udara sekitarnya. Proses pelepasan panas ini membuat daerah sekitar pipa ini lebih tinggi suhunya di bandingkan daerah yang lebih jauh.
3. Setelah mengalami proses pelepasan panas, gas menjadi dingin kembali dan berubah menjadi cairan. Walaupun sudah dalam bentuk cairan, namun tekanannya masih tinggi.
4. Dalam keadaan cair dan bertekanan ini, refrigerant kemudian dialirkan melalui katup ekspansi. Seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa katup ekspansi ini merupakan lubang yang kecil yang pada sisi masukannya bertekanan tinggi sedangkan pada sisi keluarannya mempunyai tekanan yang rendah. Sisi yang bertekanan rendah ini terjadi karena isapan (masukan) dari kompresor. Dengan berubahnya dari tekanan tinggi ke rendah membuat cairan refrigerant akan mendidih dan menguap (contoh, amonia akan mendidih dan menguap pada suhu - 32°C (-27°F)) dalam pipa penukar-kalor yang terletak di dalam mesin.
5. Suhu yang sangat dingin ini menyerap panas dari ruang sekitar pipa penukar-kalor ini membuat suhu ruang menjadi sangat dingin. Ruangan inilah yang digunakan sebagai ruang pendingin dalam kulkas dan freezer. Mengalirnya

cairan melalui katup ekspansi biasanya diikuti dengan suara bising. Suara ini bisa kita dengarkan ketika kompresor mati (off).

6. Refrigerant dalam bentuk gas dan bertekanan rendah ini kemudian disedot dan ditekan kembali oleh kompresor sehingga siklus kembali berulang.

Demikian proses pendinginan yang terjadi pada mesin pendingin secara berulang sehingga alat ini mampu mendinginkan / membekukan bahan / ma-kanan yang ada di dalamnya.

Di dalam kulkas, pada umumnya dilengkapi oleh ruang kecil yang berfungsi sebagai freezer. Fungsinya bisa bermacam-macam. Di samping untuk membekukan bahan makanan juga untuk pembuatan es batu.

Namun, untuk kebutuhan yang lebih besar freezer yang ada di dalam kulkas tidaklah memadai. Dan bahkan untuk keperluan pengawetan daging, ikan, dan lain-lain untuk keperluan yang lebih besar digunakan freezer yang berdiri sendiri. Walaupun begitu, tetap ada fasilitas pengaturan suhunya sehingga bisa disesuaikan dengan jenis bahan yang disimpan di dalamnya.

Gambar-Gambar 3.90-3.94 berikut ini memberikan ilustrasi tentang mesin freezer.



Gambar 3.90 Freezer dan pengatur suhu



Gambar 3.91 Kumparan kondensor



Gambar 3.92 Ventilasi udara ruang kompresor



Gambar 3.93 Ruang pendingin



Gambar 3.94. Lubang pembuangan limbah air

3.3.2.4 Perawatan kulkas dan freezer

Seperti yang Anda ketahui bahwa permasalahan utama dari mesin pendingin adalah ketidakmampuan alat ini dalam mendinginkan ruang

pendinginnya. Ada beberapa hal yang perlu diperiksa bila alat ini tidak beroperasi dengan baik.

1. Kondisi kompresor.
Bila kompresor tidak berjalan dengan baik maka kompresor tidak mampu mensirkulasikan refrigerant ke seluruh sistem pipa kulkas / freezer sebagaimana mestinya. Tidak ada sirkulasi refrigerant berarti tidak terjadi efek pendinginan. Bila ini terjadi maka tidak ada pilihan lain kecuali harus mengganti kompresornya. Bila kompresor beroperasi dengan baik maka perlu dilanjutkan pada langkah berikutnya.
2. Periksa kondisi refrigerannya.
Walaupun kompresor dalam keadaan baik, kalau refrigerannya tidak mencukupi maka pendinginannya akan kurang atau tidak ada sama sekali. Bila terjadi kekurangan refrigerant maka perlu segera diisi kembali (pemeriksaan dan pengisian harus menggunakan alat pengisian). Untuk pengisian ulang, menggunakan dasar tekanan dan suhu. Tekanan dan suhu tergantung dari jenis refrigerannya. Kalau tekanan dan suhu tetap berarti sudah penuh.
3. Bila kompresor dan refrigerant dalam kondisi normal namun alat belum dingin, maka perlu diperiksa kumparan pipa kondensor. Bila suhu pipa kondensor tetap dingin atau sama dengan suhu lingkungan maka terjadi penyumbatan pada pipa sehingga sirkulasi refrigerant tidak berjalan dengan baik atau terjadi kerusakan pada katup ekspansinya.
4. Periksa katup ekspansinya terlebih dahulu, dan bila kondisinya baik maka baru dilakukan terhadap penyumbatan yang terjadi pada pipa salurannya. Bila tidak dapat

- dilakukan perbaikan maka perlu penggantian pipa salurannya.
5. Bila pendinginan tidak terdistribusi seperti yang diharapkan perlu pemeriksaan terhadap blower dan saluran-saluran ventilasinya.

3.3.2.5 Pemeriksaan dan pelaporan hasil pekerjaan

Setelah dilakukan perawatan perlu dilakukan pemeriksaan atas kerja tersebut. Kondisi-kondisi yang perlu diperiksa antara lain:

1. Suara kompresor harus tetap halus (normal). Bila ada suara-suara yang aneh menunjukkan kerja kompresor masih belum bagus.
2. Kemampuan pendinginannya. Kemampuan pendinginan mesin dapat dirasakan beberapa saat setelah mesin dihidupkan. Pengecekan dapat dilakukan pada ruang pendingin dan ruang freezer. Bila ada efek pendinginan menunjukkan bahwa mesin berjalan dengan baik. Pemeriksaan tidak cukup sampai di sini, namun harus dilakukan dalam waktu yang lebih lama, kurang lebih satu jam, untuk mengetahui kemampuan pendinginan secara paripurna sehingga dapat diketahui kemampuan pembekuannya pada bagian freezernya.
3. Untuk mesin-mesin pendingin besar biasanya dilengkapi dengan indikator suhu.
4. Untuk mengetahui kerja tidaknya kontrol suhu, Anda lakukan pengesetan pada saklar termostatnya. Bila suhu mencapai harga presetnya mesin akan mati sendiri. Demikian pula ketika suhu ruang pendingin di atas harga presetnya mesin akan hidup kembali. Kontrol suhu sangat penting untuk penghematan energi.

Setelah dilakukan perawatan, dan pemeriksaan kinerjanya, perlu ada catatan tentang jenis kerusakan, bagian-bagian/komponen-komponen yang diperbaiki dan diganti serta catatan tentang performa mesin pasca perawatan.

3.3.3 Alat Pendingin Ruangan

3.3.3.1 Pendahuluan

Untuk negara-negara tropis seperti Indonesia, alat pendingin ruangan mempunyai peranan yang sangat besar, khususnya di kota-kota besar di mana aktivitas kegiatan ekonomi berjalan dengan cepatnya. Ini kebalikan dari negara-negara bersuhu dingin, seperti di Amerika, Eropa, yang lebih membutuhkan pemanas ruangan daripada pendingin ruangan. Di sebagian besar wilayah Indonesia mempunyai suhu rata-rata lingkungan di atas 30 °C yang membuat kurang nyaman bagi para karyawan dalam menjalankan tugasnya sehari-hari, karena suhu tersebut jauh di atas suhu kenyamanan orang yaitu sekitar 25 °C. Dengan suhu lingkungan yang tinggi, untuk mendapatkan suhu ruang yang nyaman perlu adanya alat yang bisa mengkondisikan suhu agar nyaman. Alat ini dikenal dengan pengkondisi udara (AC).

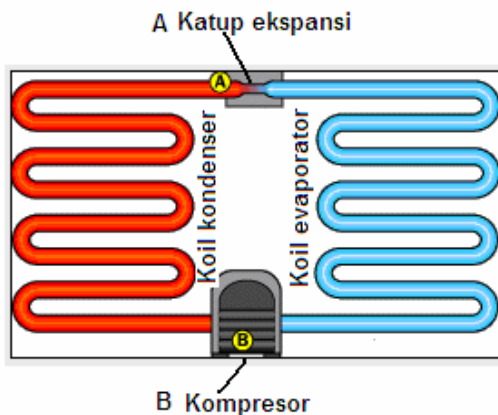
3.3.3.2 Jenis-jenis alat pendingin ruangan

Berdasarkan lingkup daerah yang dicakupnya, AC dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu AC jendela (Window AC), AC split, dan AC chiller. AC jendela merupakan tipe AC yang paling banyak digunakan karena kemudahannya penggunaannya dan sangat ekonomis untuk

pendinginan ruangan kecil. AC split banyak digunakan di komplek-komplek apartemen di mana kita bisa melihat pemandangan banyaknya unit kondensor di atas atap-atap bangunan atau tertutup dalam suatu area yang khusus untuk alat-alat tersebut. AC chiller banyak digunakan di pusat-pusat perbelanjaan, hotel dan lain sebagainya yang mempunyai area yang lebih luas.

3.3.3.3 Prinsip kerja

Prinsip kerja AC menggunakan prinsip proses refrigerasi seperti yang digunakan pada mesin-mesin pendingin, refrigerator (kulkas) dan mesin pembeku (*freezer*) namun pada alat pendingin ruangan tidak mempunyai bagian ruangan yang diisolasi. Alat ini menggunakan refrigerant seperti freon untuk memberikan pendinginannya. Proses pendinginannya dapat dijelaskan secara singkat seperti berikut ini (dapat dilihat pada bagian refrigerator (kulkas) dan *freezer*).



Gambar 3.95 Diagram pengkondisi udara (AC)

1. Kompresor mengisap gas freon dingin dan membuatnya bertekanan tinggi dan menjadi panas.
2. Gas panas ini kemudian dialirkan ke kondensor (kumparan pipa). Pada

kondensor ini gas panas refrigerant mendisipasikan/melepaskan panasnya, sehingga gas ini menjadi dingin dan mencair. Namun tekanannya masih tinggi.

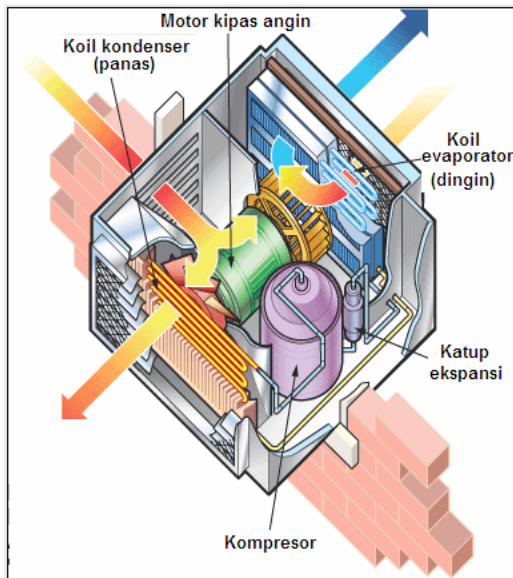
3. Cairan freon yang bertekanan tinggi ini kemudian dialirkan melalui katup ekspansi (dari kapiler ke pipa berdiameter besar). Setelah melalui katup ekspansi, tekanan cairan menurun secara drastis. Penurunan tekanan ini membuat cairan menguap menjadi gas dan suhunya rendah sekali (dingin).
4. Gas dingin ini kemudian dialirkan pada kumparan evaporator. Pada pipa evaporator, gas menyerap panas dari lingkungannya sehingga mendinginkan suhu dalam suatu ruang atau bangunan. Demikian proses ini berjalan secara berulang-ulang membentuk siklus yang disebut siklus refrigerasi.

3.3.3.4 AC Jendela

AC jendela merupakan unit ac yang mengimplementasikan suatu pengkondisi udara pada ruangan yang kecil. Unit AC ini dibuat dengan ukuran kecil sesuai dengan ukuran jendela sehingga mudah dipasang. Setelah dipasang, AC disambungkan ke stop kontak dan di On kan, maka ruangan akan segera dingin/sejuk. Karena demikian mudahnya, baik dalam hal pemasangan maupun operasinya membuat unit AC ini sangat banyak digunakan.



Gambar 3.96 AC Jendela



Gambar 3.97 AC jendela tampak dalam

Bila penutup unit AC ini dibuka, akan terlihat komponen-komponen sebagai berikut:

1. Sebuah kompresor
2. Katup ekspansi
3. Kumparan pipa panas atau kondensor pada bagian luar ruangan

4. Kumparan pipa dingin atau evaporator pada bagian dalam ruangan
5. Dua buah kipas angin (fan) dan
6. Unit kontrol

Kipas-kipas angin ini menghembuskan udara ke kondensor (kumparan pipa panas) untuk melepaskan panas gas refrigerant dan menghembus udara ke evaporator (kumparan pipa dingin) untuk mendinginkan ruangan.

Kapasitas AC

Kapasitas AC biasanya dinyatakan dalam BTU (British thermal unit). BTU merupakan jumlah panas yang dibutuhkan untuk meningkatkan suhu dari 1 pound (0,45 kg) air satu derajat Fahrenheit (0,56 °C). Dengan kata lain 1 BTU sama dengan 1.055 joule. Dalam terminologi pemanasan dan pendinginan 1 “ton” sama dengan 12.000 BTU. Sebagai contoh perhitungan kasar, rumah dengan ukuran 185.8 m² (2000 feet (kaki) kuadrat) memerlukan sebuah pengkondisi udara dengan kapasitas 5 ton atau 60.000 BTU, yang berarti bahwa diperlukan 30 BTU per kaki kuadrat.

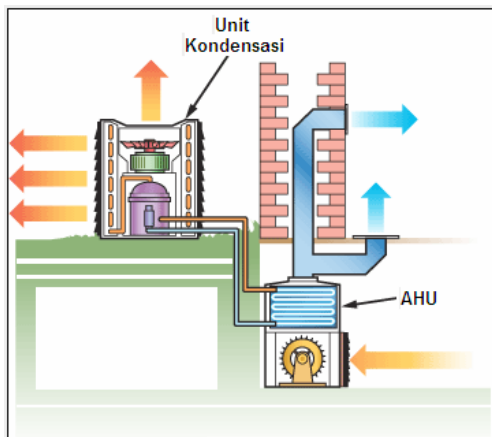
Rating efisiensi energi

Rating efisiensi energi (Energy Efficiency Rating=EER) dari suatu pengkondisi udara adalah rating BTU terhadap watasenya. Sebagai contoh, suatu AC 10.000 BTU mengkonsumsi daya 1.200 W, berarti EERnya adalah 8,3. Semakin tinggi EER akan semakin hemat mesinnya.

3.3.3.5 AC split

AC split memisahkan sisi panas dan sisi dingin sistem. Sisi yang dingin terdiri atas katup ekspansi dan kumparan

evaporator yang pada umumnya ditempatkan dalam suatu Air Handler Unit (AHU). AHU menghembuskan udara melalui kumparan evaporator dan udara, setelah melalui kumparan evaporator menjadi dingin. Udara dingin ini kemudian disalurkan ke ruangan dalam gedung yang didinginkan (Gambar 3.98). Sedangkan sisi panas yang biasa disebut dengan unit kondensasi atau kondenser biasanya diletakkan di luar bangunan. Unit kondensor ini seperti terlihat pada Gambar 3.99.



Gambar 3.98 Prinsip unit AC-Split



Gambar 3.99 Unit kondensasi

Unit ini terdiri dari kumparan spiral yang panjang yang berbentuk silinder. Di dalam kumparan ini ada sebuah kipas angin yang menyemburkan udara, dilewatkan melalui kumparan untuk melepaskan kalor dalam kisi-kisi pipa kumparan tersebut. Akibatnya suhu udara keluar dari unit ini lebih panas dari suhu lingkungan sekitar.

Kondensor jenis ini banyak dipakai karena di samping murah, juga tidak menimbulkan kebisingan di dalam ruangan. Namun, eksisnya adalah kebisingannya di luar bangunan menjadi meningkat. Jadi, pada prinsipnya tidak ada perbedaan antara AC jendela dan AC split, kecuali ukuran AC split lebih besar, seperti kumparan kondenser, evaporator dan kompresor karena AC split untuk keperluan yang lebih besar dibandingkan AC jendela.

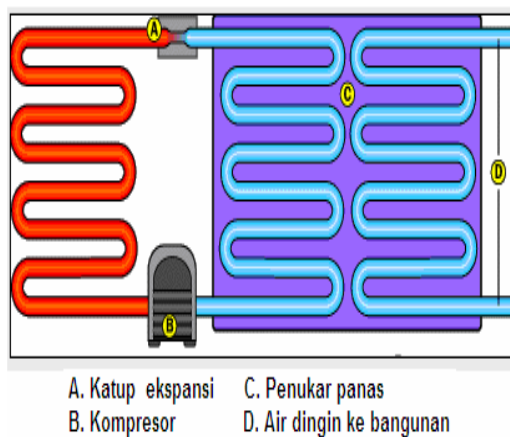
Pada bangunan-bangunan seperti mal, supermarket, dan lain-lain, unit kondensasi ini biasanya diletakkan di atas atap bangunan dan bisa menjadikan pemanasan yang tidak menarik. Ada lagi yang berukuran kecil dipasang pada atap berdekatan dengan AHU kecil untuk keperluan ruangan khusus.

Memang benar AC split pemakaiannya untuk beban yang lebih besar dibandingkan AC jendela, namun untuk semakin besar bangunan, dimana daerah yang harus didinginkan cukup jauh dari AHU, unit ini mengalami kesulitan. Kesulitannya terletak pada pipa saluran udara dingin antara kondenser dan AHU yang melampaui batas maksimumnya (permasalahan lubrikasi kompresor), atau permasalahan pada *ducting*nya (kapasitas dan panjang). Jika, hal ini terjadi, maka sistem yang cocok adalah yang menggunakan sistem air yang didinginkan (*chilled water sistem*).

3.3.3.6 AC Chiller

Dalam sistem AC chiller, semua bagian dari pengkondisi udara terletak di atas atap atau di belakang bangunan. Alat ini mendinginkan air pada suhu antara 4 – 7 °C. Air yang telah didinginkan ini kemudian dialirkan ke bagian-bagian bangunan yang membutuhkan pendinginan melalui AHU. Tidak ada batasan terhadap panjang pipa air dingin bila dapat diisolasi dengan baik.

Berikut ini adalah diagram dari suatu AC chiller.



Gambar 3.100 Prinsip AC-chiller

Dari gambar tersebut bisa dilihat dengan jelas bahwa unit pengkondisi udara adalah sama seperti unit biasa. Pemindah kalor memungkinkan freon yang dingin mendinginkan air yang dipompakan ke seluruh bangunan yang perlu pendinginan.

3.3.3.7 Menara pendingin (cooling tower)

Pada sistem yang telah dijelaskan sebelumnya, udara digunakan untuk mendisipasikan panas dari kumparan kondenser di luar. Pada sistem yang besar, efisiensi dapat ditingkatkan

dengan menggunakan menara air (cooling tower). Menara air ini membangkitkan semprotan air dingin. Air ini mengalir melalui penukar kalor (*heat exchanger*) dan mendinginkan kumparan pipa panas pada unit pengkondisi udara. Ini memerlukan biaya investasi awal yang lebih tinggi, namun kalau ditinjau dari penghematan energinya, sistem ini akan jauh lebih murah.

Banyak bentuk dan model dari menara air ini, namun mereka bekerja dengan prinsip yang sama, yaitu:

1. Menara air menghembuskan udara menggunakan semprotan air sehingga menyebabkan sebagian air menguap.
2. Biasanya, air ini menyembur melalui suatu lembaran tebal dari *plastic mesh* yang terbuka.
3. Udara menghembus melalui *mesh* ini tegak lurus terhadap aliran air.
4. Penguapan ini akan mendinginkan aliran air.
5. Karena sebagian dari air hilang menguap, menara air ini, maka perlu penambahan air secara tetap untuk mengkompensasi kehilangan air tersebut.

Kapasitas pendinginan yang diperoleh dari menara air tergantung pada kelembapan relatif dari udara dan tekanannya. Misalnya, suhunya 35°C, tekanan barometriknya adalah 29,92 inci dari permukaan air laut dan kelembapannya adalah 80 %, suhu air di dalam menara air akan turun 6 derajat dan menjadi 89°F (atau turun 3,36 °C dan menjadi 31,7 °C).



Gambar 3.101 Menara pendingin (cooling tower) tipikal

3.3.3.8 Hal penting tentang refrigerant

Pada awalnya, alat-alat pendingin menggunakan refrigerant amonia murni. Bahan ini mempunyai titik didih/ penguapan yang sangat rendah. Namun bahan ini beracun sehingga berbahaya bagi manusia. Oleh karena itu, bahan amonia tidak digunakan lagi untuk mesin-mesin pendingin untuk keperluan rumah tangga.

Jenis lain adalah CFCs (*Chloro Fluoro Carbon*) yang tidak beracun menggantikan amonia, yaitu CFC-12 (*dichlorodifluoromethane*) yang mempunyai titik didih yang hampir sama dengan amonia. Walaupun bahan ini tidak berbahaya bagi manusia namun telah ditemukan bahwa bahan ini berbahaya bagi lapisan ozon sehingga pada tahun 1990 ditemukan bahan baru yang lebih bersahabat dengan alam, yaitu DCF-176 N. Pada saat ini pemakaian CFC-12 sudah dilarang.

3.3.3.9 Perawatan alat pendingin ruangan

Secara prinsip alat pendingin ruangan sama dengan kulkas dan freezer. Bedanya bahwa pada alat pendingin ruangan mempunyai kapasitas yang lebih besar sesuai dengan ruangan yang akan didinginkan dan suhu kerja ruangan yang jauh lebih tinggi, yaitu antara 20°C dan 25°C. Suhu pada ruang kerja biasa cukup sekitar 25°C sedangkan untuk ruang-ruang kontrol, komputer dan yang sejenis biasanya lebih dingin, yaitu sekitar 20°C. Jadi permasalahan utamanya ketika alat ini tidak bekerja dengan baik hampir sama dengan pada alat pendingin kulkas dan freezer.

1. Kondisi kompresornya. Bila kompresor tidak berjalan dengan baik maka kompresor tidak mampu mensirkulasikan refrigerant sebagaimana mestinya. Tidak ada sirkulasi refrigerant berarti tidak terjadi efek pendinginan. Bila ini terjadi maka tidak ada pilihan lain kecuali harus mengganti kompresornya. Bila kompresor beroperasi dengan baik maka perlu dilanjutkan pada langkah berikutnya.
2. Periksa kondisi refrigerannya. Walaupun kompresor dalam keadaan baik, kalau refrigerannya tidak mencukupi maka pendinginannya akan kurang atau tidak ada sama sekali. Bila terjadi kekurangan refrigerant maka perlu segera diisi kembali (pemeriksaan dan pengisian harus menggunakan alat pengisian).
3. Bila kompresor dan refrigerant dalam kondisi normal namun alat belum dingin, maka perlu diperiksa kumparan pipa kondensernya. Bila suhu pipa kondensor tetap dingin atau sama dengan suhu lingkungan maka dimungkinkan terjadi penyumbatan pada pipa sehingga sirkulasi refrigerant tidak berjalan

- dengan baik atau terjadi kerusakan pada katup ekspansinya.
4. Periksa katup ekspansinya terlebih dahulu, dan bila kondisinya baik maka baru dilakukan terhadap kemungkinan penyumbatan yang terjadi pada pipa salurannya. Bila tidak dapat dilakukan perbaikan maka perlu penggantian pipa salurannya.
 5. Bila pendinginan tidak terdistribusi seperti yang diharapkan perlu pemeriksaan terhadap blower dan saluran-saluran udara dingin atau unit AHU.

3.3.3.10 Pemeriksaan Dan Pelaporan Hasil Pekerjaan Perawatan

Setelah dilakukan perawatan perlu dilakukan pemeriksaan atas kerja tersebut. Kondisi-kondisi yang perlu diperiksa antara lain:

1. Suara kompresor harus tetap halus (normal). Bila ada suara-suara yang aneh menunjukkan kerja kompresor tidak bagus.
2. Kemampuan pendinginannya. Kemampuan pendinginan mesin dapat dirasakan beberapa saat setelah mesin dihidupkan. Pengecekan dapat dilakukan pada outlet-outlet udara dingin pada ruang yang didinginkan. Bila ada efek pendinginan menunjukkan bahwa mesin berjalan dengan baik. Pemeriksaan tidak cukup sampai di sini, namun harus dilakukan dalam waktu yang lebih lama, kurang lebih satu jam, untuk mengetahui kemampuan pendinginan secara paripurna sehingga dapat diketahui suhu pendinginan yang bisa dicapai. Suhu ruang bisa diukur dengan termometer ruang dan bila suhu ini mencapai suhu yang diatur pada alat kontrolnya, maka alat pendingin ini

akan mati secara otomatis. Demikian sebaliknya, bila suhu ruang lebih tinggi dari suhu yang diatur, maka alat akan hidup lagi.

3. Efektivitas pendinginan juga dipengaruhi oleh kerja blower, kondisi isolasi saluran dan juga isolasi ruangan terhadap panas. Untuk alat pendingin yang menggunakan menara pendingin, efektivitas pendinginannya juga akan dipengaruhi oleh kesempurnaan proses pendinginan pada menara pendingin ini.

Setelah dilakukan perawatan, dan pemeriksaan kinerjanya, perlu ada catatan tentang:

- jenis kerusakan;
- bagian-bagian dan jenis komponen yang diperbaiki dan atau diganti;
- pengesetan-pengesetan yang dilakukan;
- catatan tentang performa alat pasca perawatan, terutama kemampuan pendinginan ke ruang-ruang yang didinginkan. Untuk keperluan tersebut suhu ruang perlu diukur dengan termometer.

3.3.4 Alat Pemanas Air

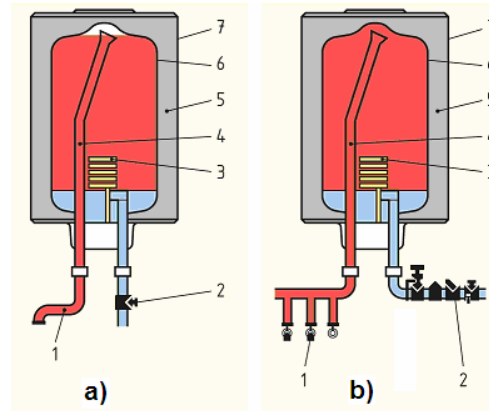
Betapa nyamannya, ketika dingin dapat mandi dengan air hangat. Ini adalah salah satu peranan dari alat pemanas air. Pemanas air ada yang menggunakan gas sebagai sumber energinya ada pula yang menggunakan listrik sebagai sumber dayanya. Secara prinsip kedua pemanas ini adalah sama, bedanya pada pemanas air listrik menggunakan elemen pemanas yang berdaya listrik, sedangkan pemanas air gas menggunakan gas sebagai sumber energinya sehingga pemanas ini memiliki sebuah pembakar (burner) di bagian bawah tangki dan cerobong asap (chimney) ke atas.

3.3.4.1 Jenis-jenis pemanas air

Ada banyak jenis alat pemanas air ini, baik merk, kapasitasnya, maupun sistemnya ditentukan oleh keperluannya. Sebagai contoh, alat pemanas air yang digunakan untuk keperluan sangat terbatas (untuk satu outlet air panas), berbeda dengan yang digunakan untuk menyuplai air sejumlah ruangan atau bahkan gedung yang lebih luas. Yang untuk keperluan tunggal biasanya dengan kapasitas pemanasan dan daya yang kecil, sebaliknya yang diperlukan untuk menyuplai air panas dengan kapasitas besar diperlukan daya yang besar pula.

Untuk keperluan yang kecil, biasanya digunakan alat pemanas air dengan tangki terbuka, sedangkan yang untuk keperluan banyak ruangan digunakan sistem tangki tertutup. Sistem tangki terbuka, tidak melibatkan tekanan air yang tinggi kecuali tekanan alamiahnya saja, sedangkan pada sistem tangki tertutup melibatkan tekanan. Tekanan dalam tangki tertutup ini dilakukan melalui pompa sirkulasi. Dengan demikian, air panas bisa didistribusikan secara lebih luas. Karena melibatkan tekanan tinggi (sampai 5 bar) sistem tertutup memiliki katup pengaman tekanan (*safety valve*). Alat pemanas air dengan tangki terbuka dan tertutup serta bagian-bagian utamanya diilustrasikan pada Gambar 3.102.

Tabung Terbuka	Tabung tertutup
1 Saluran air panas	1 Saluran keluar air panas
2 Kran air dingin/buang	2 Katup pengaman
3 Elemen pemanas	
4 Pipa saluran air panas	
5 Isolasi panas	
6 Tangki bagian dalam	
7 Selubung luar (rumah pemanas)	



Sumber: Klaus Tkotz, 2006, 361

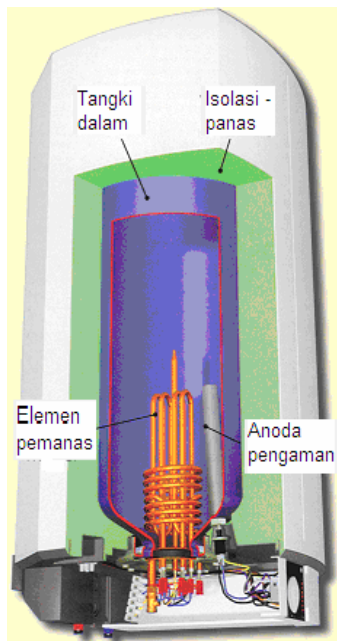
Gambar 3.102 Alat pemanas air dengan tangki terbuka dan tangki tertutup

3.3.4.2 Bagian-bagian utama alat pemanas air

Seperti terlihat pada Gambar 3.103 bahwa alat pemanas air terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut.

- Tangki bagian dalam: terbuat dari baja dan tangki ini menjadi wadah air panas dengan volume sesuai ukuran. Tangki ini harus mampu menahan tekanan air antara 50 – 100 psi. Tangki biasanya diuji pada tekanan 300 psi. Bagian dalam tangki dilapisi dengan kaca liner agar kotoran air mudah terbawa keluar bersama keluarnya air.
- Isolasi panas di sekeliling tangki: Isolasi panas ini berfungsi untuk menjaga agar panas tidak keluar melalui dinding tangki sehingga panas di dalam tangki terjaga dan tidak boros energi.
- Pipa saluran air dingin masuk
- Pipa saluran air panas keluar
- Thermostat untuk mengendalikan suhu air di dalam tangki air (banyak pemanas air listrik mempunyai thermostat pada setiap elemennya)

- Elemen pemanas untuk memanaskan air (elemen pemanas sama seperti yang digunakan untuk oven)
- Katup buang digunakan untuk mengosongkan tangki untuk mengganti elemen atau memindah tangki
- Katup pengaman tekanan untuk mencegah meledaknya tangki karena tekanan lebih
- Batang anoda untuk menjaga tangki agar tidak korosi



Sumber: Klaus Tkotz, 2006, 362
Gambar 3.103 Bagian dalam tangki air

3.3.4.3 Prinsip pemanasan air

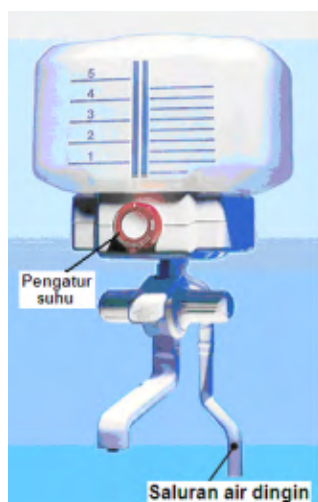
Untuk jenis tangki terbuka, prinsip pemanasan air yang terjadi pada alat pemanas air adalah sebagai berikut. Ketika alat pemanas dihubungkan ke sumber listrik dan dihidupkan, maka arus listrik akan mengalir melalui elemen pemanas. Elemen pemanas ini mengubah energi listrik yang melaluinya menjadi energi panas. Panas yang dihasilkan elemen ini memanaskan air

yang ada di dalam tangki. Air yang suhunya lebih panas akan bergerak ke atas sedangkan yang dingin akan tetap berada di bawah karena masa jenisnya lebih tinggi dari air yang panas. Bila air panas dialirkan keluar, maka air dingin masuk di bagian bawah tangki dan dipanaskan. Jadi proses pemanasan air di dalam alat pemanas air menggunakan prinsip yang sangat sederhana, yaitu naiknya air yang lebih panas di dalam tangki sehingga memisahkan air dingin dan air panas.

Untuk tangki tertutup, prinsip proses pemanasan air sama dengan yang ada pada sistem tangki terbuka. Yang berbeda adalah proses sirkulasi yang memerlukan tekanan bantu yang berasal dari tekanan pompa air. Karena itu, tekanan dalam tangki harus selalu terkendali agar tidak melebihi tekanan kerjanya. Pengendalian ini melalui katup pengaman tekanan.

Alat pemanas air selalu dilengkapi dengan thermostat. Thermostat digunakan untuk mengontrol suhu air di dalam tangki. Biasanya thermostat ini mempunyai daerah pengesetan pada suhu antara 50-80 °C. Namun, biasanya disarankan pengesetan suhu dilakukan antara 50-60 °C, karena alasan keselamatan, yaitu untuk mencegah kecelakaan tersiram air panas dengan suhu yang bisa membuat cedera, terutama bagi anak-anak. Di samping untuk keselamatan, pengesetan suhu yang lebih rendah ini juga untuk penghematan energi.

Thermostat mempunyai sebuah saklar atau pemutar yang digunakan untuk menyetel suhu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.104.



Sumber: Klaus Tkotz, 2006, 363

Gambar 3.104 Alat pemanas air tunggal

Ketika air dingin masuk ke dalam tangki, air tersebut tetap ada di bagian bawah tangki seperti yang telah dijelaskan di atas. Jika penggunaan air lebih cepat dari kemampuan elemen pemanas dalam memanaskan airnya dan jika pemakaian air sampai menghabiskan air yang ada di dalam tangki, berarti bahwa alat pemanas tersebut kapasitasnya tidak mencukupi untuk pemakaian.

Bila hal ini berjalan secara sering, maka akan sangat dimungkinkan merusakkan elemen pemanas karena terbakar akibat panas lebih. Oleh karena itu, kapasitas alat pemanas perlu disesuaikan dengan kebutuhan pemakaian.

3.3.4.4 Perawatan alat pemanas air

Indikator kerja dari alat pemanas air adalah suhu dan debit air hasil pemanasannya.

1. Air tidak panas
Bila setelah alat pemanas dihidupkan, namun air tidak kunjung panas, maka yang harus Anda lakukan pertama kali adalah

memeriksa sirkuit listriknya, yang meliputi alat pengaman (sekring), kabel dan terminal-terminal sambungannya serta elemen pemanas. Pengecekan awal bisa dilakukan dengan melepas kabel daya dari sumber listrik kemudian memeriksa koneksinya. Bila menunjukkan keadaan terputus maka pemeriksaan kemudian ke komponen-komponen dan bagian-bagian yang telah disebutkan di atas satu per satu sampai ditemukan faktor penyebab terputusnya rangkaian. Kemudian bagian yang terputus harus disambung kembali atau diganti dengan komponen yang baru termasuk elemen pemanasnya.

2. Debit air kurang
Dalam kaitannya dengan debit air keluaran yang kurang, maka pertama-tama harus dilihat dulu jenis pemanas. Untuk pemanas air jenis tunggal, debit air ditentukan oleh tekanan alamiah dari air (gravitasi). Sebagai contoh, bila menggunakan reservoir air yang diletakkan di atas, maka tekanan dan debit air akan ditentukan oleh ketinggian reservoir. Bila keadaan air normal, namun debit air menurun maka perlu diperiksa kran-kran air. Bila kran-kran dalam keadaan baik, pemeriksaan dilanjutkan pada hose-hose dan pipa-pipa belokan (knee) karena pada bagian-bagian inilah yang sangat besar kemungkinannya tersumbat.

Namun bila jenis alat pemanas yang menggunakan *multi-outlet* di mana digunakan pompa sirkulasi, maka pemeriksaan perlu dilakukan beberapa tahap. Tahap pertama, periksalah debit atau tekanan air pada masing-masing *outlet*-nya. Bila tekanan pada outlet sama rata, maka pemeriksaan dilanjutkan pada pompa. Jika pompa dalam baik berarti

ada gangguan pada saluran utamanya. Oleh karena itu periksalah keadaan kran-kran, dan saluran utama.

Namun, sebaliknya tekanan air tidak sama pada outlet-outlet tertentu menunjukkan adanya gangguan pada saluran outlet yang terganggu.

3.3.4.5 Pemeriksaan dan pelaporan hasil kerja

Pemeriksaan performa alat pemanas air meliputi:

1. Pemeriksaan suhu air keluaran dari pemanas air dengan thermometer. Pemeriksaan ini bisa dilakukan dengan beberapa tingkatan suhu melalui saklar pengatur suhu. Dengan pengaturan suhu berbeda maka suhu air juga berbeda. Atau pemanas dalam keadaan operasi sementara kran outletnya ditutup. Dengan pengaturan suhu lebih rendah maka pemanas akan hidup dalam waktu yang lebih pendek dibandingkan bila diatur pada suhu yang lebih tinggi.
2. Pemeriksaan tekanan air pada outlet air panas. Tekanan air keluaran dari pemanas lebih rendah dari tekanan air yang keluar dari kran-kran outlet yang langsung karena hambatan pada salurannya yang lebih besar.
3. Hasil-hasil pemeriksaan ini harus dituliskan dalam bentuk laporan, termasuk jenis kerusakan, bagian-bagian/komponen-komponen yang diperbaiki dan atau diganti.

4. SISTEM PENGENDALIAN

Pada saat ini hampir setiap peralatan atau sistem dalam operasinya memerlukan sistem pengendalian. Ada bermacam-macam sistem pengendalian yang digunakan pada saat ini, diantaranya adalah sistem pengendalian elektromekanik, elektronik dan elektronika daya, serta pneumatik. Bagian ini akan membahas keempat macam sistem pengendalian tersebut dan peranannya dalam sistem kendali.

Sebagaimana telah diketahui bahwa ada dua macam sistem kendali, yaitu sistem kendali dan sistem kendali otomatis. Sistem kendali manual masih memerlukan peranan manusia sebagai pengendalinya sedangkan yang otomatis mengganti manusia dengan pengendali-pengendali, baik analog, digital, maupun pneumatik. Pada bagian ini akan dikupas tentang konsep dasar sistem kendali elektromagnetik, elektronik, elektronika daya, dan elektro mekanik.

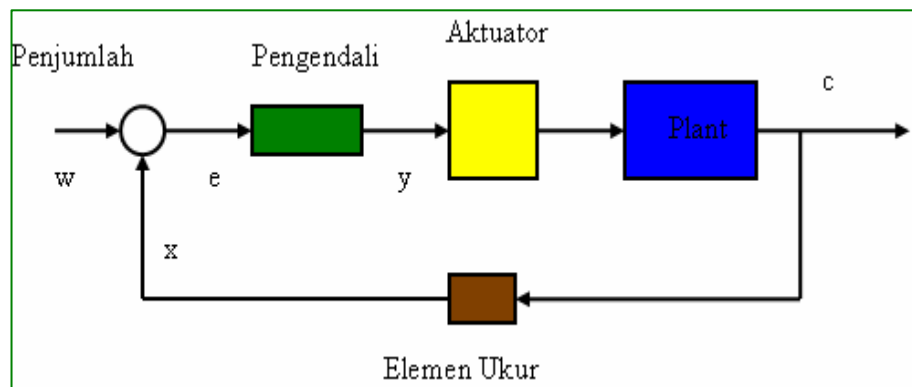
Secara umum, prinsip sistem kendali seperti ditunjukkan secara diagram kotak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Elemen-elemen sistem kendali

Berdasarkan diagram kotak yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, elemen-elemen sistem dapat dijelaskan sebagai berikut.

- **Plant**

Plant merupakan istilah umum yang digunakan untuk menyebut alat, mesin, proses, atau sistem yang dikendalikan operasinya oleh sistem kendali. Misalnya, alat pendingin ruangan, motor, generator. Ada plant yang mempunyai hanya satu variabel disebut plant variabel-tunggal. Ada pula yang mempunyai banyak variabel yang dikenal dengan plant multi-variabel.



Keterangan:

w = setpoint

x = harga terukur

c = variabel yang dikontrol (keluaran plant)

$e = w - x$ = sinyal error

y = sinyal kontrol (keluaran pengendali)

c/x = pengkondisian sinyal

Gambar 4.1 Diagram kotak sistem kendali

- **Pengendali**

Pengendali (controller) merupakan otak dari sistem, karena proses kerja yang terjadi dalam sistem tidak lepas dari perintah alat ini. Alat ini mengevaluasi kondisi sistem kemudian mengambil tindakan guna mencapai kehendak. Karena fungsi itulah, banyak pihak yang menganggap alat ini merupakan elemen yang mempunyai dua masukan (setpoint dan hasil pengukuran) dan satu keluaran (sinyal kontrol). Berarti elemen penjumlahan termasuk di dalamnya. Namun, untuk kemudahannya, dalam pembahasan, dalam kaitannya dengan aksi pengendali, alat ini sering digambarkan sebagai satu elemen yang mempunyai satu masukan dan satu keluaran. Ada banyak jenis alat ini, diantaranya pengendali tidak kontinyu (on-off) dan kontinyu.

- **Elemen pengukuran**

Elemen pengukuran berfungsi untuk mendeteksi/mengukur variabel yang dikendalikan untuk kemudian disampaikan kepada pengendali. Variabel yang dikendalikan sangat banyak jenisnya, oleh karena itu, agar dapat menjalankan fungsinya, alat ini harus mampu mendeteksi, dan mengkonversikan variabel yang diukur menjadi besaran analog lain seperti tekanan pneumatik, tegangan dan arus listrik. Kemudian melakukan pengkondisian sinyal sehingga informasi bisa diterima oleh elemen-elemen lain dalam sistem.

- **Aktuator**

Aktuator sering disebut sebagai elemen kontrol akhir dari sistem kendali. Tugasnya langsung mempengaruhi operasi mesin atau sistem yang dikendalikan untuk membawa variabel dinamik pada nilai yang dikehendaki (setpoint). . Alat ini

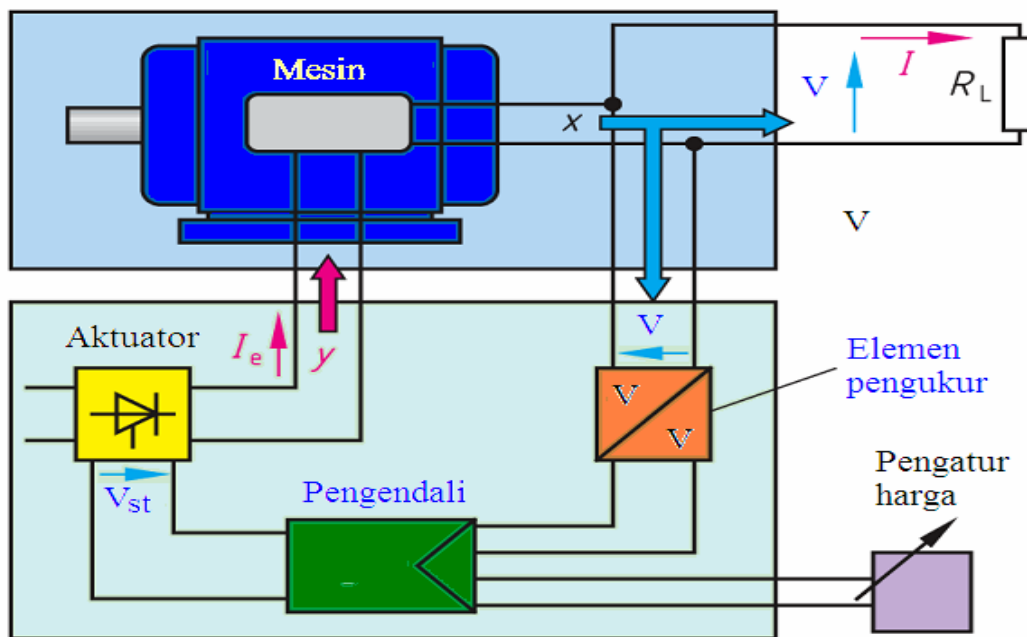
menerima input dari pengendali yang kemudian ditransformasikan dalam bentuk operasi pada mesin atau sistem yang dikendalikan. Banyak jenis aktuator, seperti elektronika daya yang mengatur daya listrik, kontaktor untuk membuka/menutup rangkaian, katup kontrol untuk mengatur debit fluida. Karena fungsinya ini, alat ini pada umumnya membutuhkan sumber daya dari luar sistem kontrol.

- **Setpoint**

Setpoint adalah elemen yang digunakan untuk menyatakan nilai yang dikehendaki atau nilai referensi dari variabel dinamik atau variabel yang dikendalikan dari suatu sistem.

Sebagai contoh sistem kendali adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Sebuah generator diputar oleh sebuah penggerak mula pada kecepatan nominalnya dan dijaga konstan. Generator tersebut mencatu daya pada beban RL. Sifat generator, bila semakin besar beban atau arus beban maka tegangan generator akan mengalami penurunan akibat dari impedansi internal mesin. Agar tegangan keluaran generator terjaga tetap walaupun beban berubah-ubah, diperlukan sistem kendali.

Jadi, tujuan sistem kendali adalah untuk menjaga agar tegangan keluaran generator selalu konstan walaupun beban berubah-ubah. Sistem kendali tegangan keluaran generator ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Automatic Voltage Regulator (AVR) generator

Anggap generator digerakkan oleh sebuah penggerak mula yang kecepatannya sesuai dengan yang dibutuhkan untuk generator serta konstan (ada sistem kendali tersendiri).

Misalkan, setpoint diset pada tegangan yang dikehendaki. Bila tegangan keluaran generator di bawah setpoint maka pengendali akan bekerja dan memerintahkan rangkaian penyearah untuk memberikan arus lebih tinggi kepada eksaiter generator sehingga tegangan generator naik mencapai tegangan yang dikehendaki oleh setpoint. Maka elemen-elemen sistem kendali dapat dianalogikan sebagai berikut:

Plant: Generator
 Pengendali: Pengendali
 Elemen pengukuran: Pengkondisi sinyal V/V
 Aktuator: Rangkaian penyearah
 Variabel dinamik: Tegangan generator
 Setpoint: Pengatur harga yang dikehendaki.

4.1 Sistem Pengendali Elektronik

4.1.1 Pendahuluan

Pengendali elektronik pada saat ini terdapat di hampir setiap aplikasi kontrol. Oleh karena itu, pemahaman terhadap alat pengendali ini menjadi sangat penting bagi para pelaksanan tugas di lapangan.

Bangian ini akan membahas jenis-jenis pengendali elektronik yang meliputi karakteristik dan realisasi analognya. Jenis-jenis pengendali yang akan dibahas meliputi pengendali tidak kontinyu (pengendali On-Off) dan pengendali kontinyu, yaitu, P, I, D dan kombinasinya.

Pengendali-pengendali ini sangat populer di dunia industri karena kesederhanaan dalam realisasi dan keandalan kinerjanya. Khususnya pengendali kontinyu, walaupun tergolong konvensional, namun mempunyai kelebihan dibandingkan dengan yang terbaru, yakni kemudahannya dalam penalaan (*tunning*) parameter-parameter kontrolnya percobaan. Ini semua membuat kebanyakan praktisi kontrol sangat mengenal pengendali kontinyu jenis ini.

4.1.2 Pengendali Tidak Kontinyu

Pengendali tidak kontinyu (*discontinuous controller*) mempunyai keluaran yang berubah tidak terus menerus ketika ada sinyal error (kesalahan). Jenis pengendali ini sangat penting untuk dipahami karena di samping banyak digunakan dalam kontrol proses, juga menjadi dasar dari pengendali kontinyu.

4.1.3 Pengendali Dua-Posisi

Pengendali dua-posisi adalah pengendali yang paling dasar dalam sistem kendali. Karena karakteristiknya, pengendali ini sangat populer dengan sebutan pengendali On-Off. Pengendali ini paling sederhana dan paling murah namun mencukupi untuk aplikasi-aplikasi di mana tidak diperlukan ketelitian yang sangat tinggi. Walaupun tidak dapat dibuat persamaan matematisnya, namun fungsinya bisa ditulis sebagai:

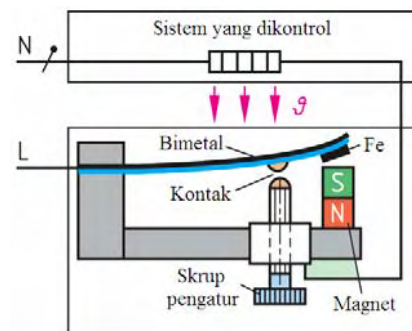
$$P = \begin{cases} 100\% & E_p > 0 \\ 0\% & E_p < 0 \end{cases}$$

dimana :

P: Keluaran pengendali (%)

E_p : sinyal error (%)

Jika harga yang terukur (x) melampaui setpoint (w), pengendali akan memberikan keluaran penuh atau On. Sebaliknya, apabila x kurang dari w maka pengendali akan memberikan keluaran nol atau Off. Misalnya, seterika listrik yang menggunakan bimetal sebagai pengendali panasnya. Bila temperatur seterika melebihi setpointnya, maka seterika akan off, sebaliknya bila temperaturnya lebih rendah dari setpoint, maka akan on.

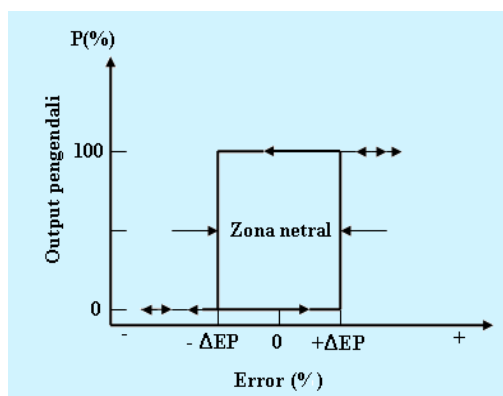


Gambar 4.3 Bilah-bimetal sebagai pengendali on-off

Zona Netral

Dalam penerapan pengendali dua-posisi, terdapat overlap ketika E_p naik melewati nol atau turun melewati nol. Dalam daerah ini tidak ada perubahan pada keluaran pengendali. Seperti terlihat pada Gambar 4.4 bahwa sampai suatu harga perubahan kenaikan error sebesar ΔE_p di atas nol, keluaran pengendali tidak berubah keadaan.

Pada penurunan, ΔE_p di bawah nol sebelum pengendali berubah ke 0%. Jadi, ada daerah 2 ΔE_p di mana keluaran pengendali tidak berubah keadaan. Daerah tersebut disebut **zona-netral** (*neutral zone*) atau gap-diferensial. Gap ini harus diper-timbangkan betul dalam penentuannya untuk menghindari perubahan keadaan yang berlebihan pada keluaran pengendali



Gambar 4.4 Zona netral

Karena karakteristik yang dimiliki oleh pengendali ini sehingga pengendali ini juga disebut pengendali On-Off dan simbolnya seperti ditunjukkan oleh Gambar 4.4.

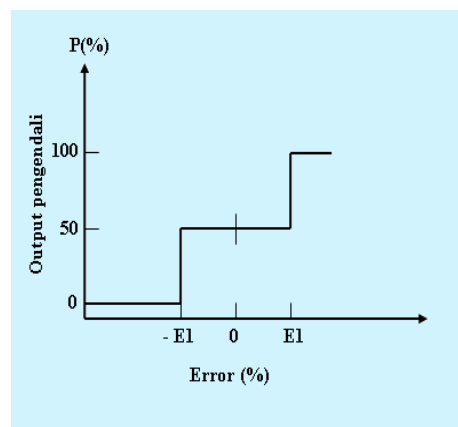
Pengendali tiga-posisi merupakan pengembangan dari pengendali dua-posisi. Pengembangan ini dimaksudkan untuk mengurangi cycling yang berlebihan dan juga untuk mengurangi kondisi overshoot dan undershoot yang dimiliki oleh pengendali dua-posisi.

Pada pengendali tiga-posisi berlaku:

$$P = \begin{cases} 100 & E_p > E_1 \\ 50 & -E_1 < E_p < E_1 \\ 0 & E_p < -E_1 \end{cases}$$

Ini berarti bahwa selama error E_p ada di antara $-E_1$ dan E_1 , pengendali akan tetap pada setting nominal keluaran pengendali 50%. Jika error melebihi E_1 atau lebih, keluaran akan naik menjadi 100%. Jika error lebih rendah dari $-E_1$ atau lebih rendah lagi, maka keluaran pengendali akan turun ke 0%.

Gambar berikut ini mengilustrasikan karakteristik pengendali ini.



Gambar 4.5 Aksi pengendali tiga posisi

4.1.3.1 Pengendali tiga-posisi

4.1.4 Pengendali Kontinyu

4.1.4.1 Pengendali Proporsional (P)

Pengendali proporsional (P) merupakan pengembangan dari pengendali dua posisi (On-Off). Pada pengendali dua-posisi, keluaran pengendali adalah 100 % atau 0% tergantung pada sinyal error atau sinyal yang masuk ke pengendali. Jika sinyal error lebih besar dari daerah netral ma-ka keluaran pengendali adalah 100%, sebaliknya bila sinyal error lebih kecil dari daerah netral maka keluaran pengendali 0%.

Pengendali P mempunyai keluaran yang bersifat kontinyu, dimana antara masukan dan keluaran mempunyai hubungan satu-satu. Ini berarti bahwa perubahan yang terjadi pada keluarannya akan mengikuti perubahan sinyal errornya. Sudah tentu, perubahan keluaran pengendali, dalam prakteknya selalu dibatasi oleh kondisi saturasi minimum dan maksimum yang telah ditetapkan dari perangkat keras yang digunakan.

Fungsi Alih

Hubungan antara input dan output dari suatu pengendali disebut fungsi-alih (*transfer function*). Fungsi alih dari pengendali ada bermacam-macam, misalnya ada yang menggunakan fungsi waktu (t), fungsi Laplace (s), dan dalam bentuk persentase (%). Oleh karena itu, bila dijumpai adanya perbedaan simbol dan notasi dalam penggambarannya tidak ada masalah.

Dalam buku ini fungsi alih yang digunakan adalah bentuk persentase. Di mana hubungan input-output dapat ditulis:

$$P = K_P E$$

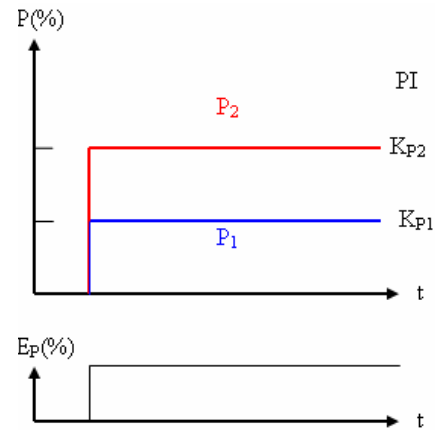
dimana:

P = keluaran (%)

K_P = penguatan proporsional

E = error (%)

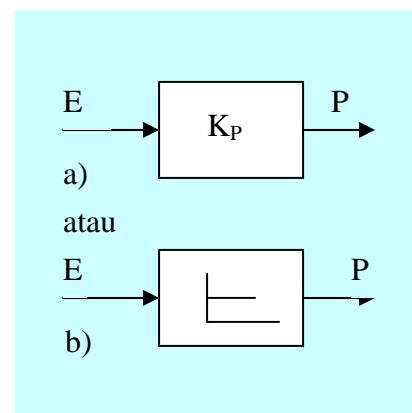
Tanggapan step



Gambar 4.6 Tanggapan step pengendali P

Diagram kotak

Diagram kotak pengendali proporsional digambarkan sebagai:

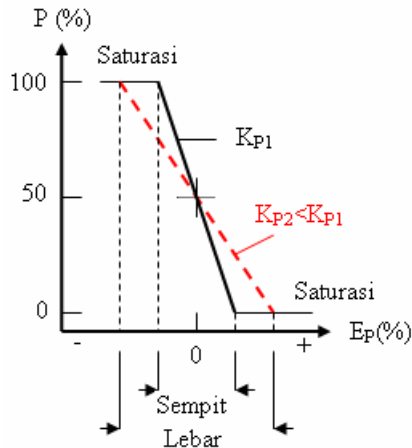


Gambar 4.7 Diagram kotak pengendali P

Bila, untuk keperluan tertentu, pada saat $E = 0$ dikehendaki adanya keluaran sebesar $P(0)$ persamaan (3) menjadi:

$$U = K_p E + P(0)$$

Hubungan keluaran dan masukan pengendali dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4.8 Hubungan keluaran dan masukan pengendali Proporsional

Proporsional Band

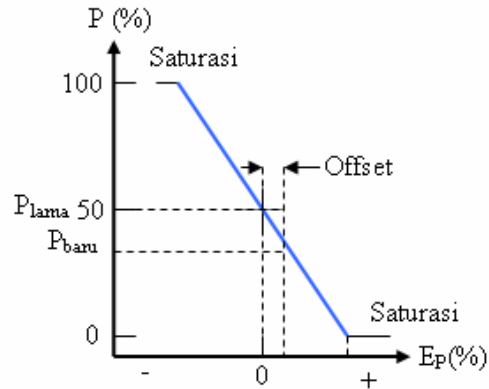
Pada aplikasi pengendali proporsional, penguatan proporsional sering dinyatakan dengan proporsional band (PB). Proportional Band (PB) adalah batas-batas harga sinyal masukan (error) (dalam %) yang menyebabkan keluaran pengendali 0 - 100 %. Sebagai contoh, pengendali P akan memberikan sinyal keluaran $U = 0-100\%$, diperlukan sinyal $E = 0-50\%$. Pengendali ini mempunyai $PB = 100/50 = 2$. Untuk $U = 0-100\%$, diperlukan sinyal $E = 0-25\%$, maka $PB = 100/25 = 4$.

Offset

Karakteristik penting dari pengendali ini adalah timbulnya kesalahan sisa (*residual error*) yang tetap pada titik operasinya apabila terjadi perubahan beban. Kesalahan ini disebut offset. Jadi

offset itu merupakan perbedaan nilai variabel yang dikontrol terhadap setpoint ketika sistem berada keadaan tunak (*steady state*). Offset tidak menguntungkan sistem karena kondisi tunak suatu sistem, idealnya, tidak ada offset.

Untuk melihat bagaimana offset timbul, perhatikan sebuah sistem ketika beban nominal pengendali pada 50% dan error 0 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Offset pengendali P

Jika terjadi perubahan error, sistem merespon dengan mengubah keluaran pengendali untuk mengembalikan error ke 0. Akan tetapi, hal ini tidaklah mungkin terjadi, karena pada pengendali P, hubungan antara input-output adalah satu-satu.

Untuk memperkecil offset dapat dilakukan dengan memperbesar penguatan K_p sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.9. Perbesaran K_p ini tidak dapat dilakukan sembarang karena akan menyebabkan terganggunya kestabilan sistem. Maka dari itu pemakaian pengendali jenis ini terbatas pada sistem yang dalam operasinya tidak terjadi perubahan besar pada variabel yang dikendalikan.

4.1.4.2 Pengendali integral (I)

Pada sistem kendali dengan menggunakan pengendali proporsional (P), telah diketahui bahwa untuk memperoleh suatu keluaran pada suatu harga tertentu (selain harga awal $P(0)$) diperlukan sinyal error. Akibatnya, akan menimbulkan kesalahan statis atau off-set, yaitu perbedaan antara harga yang diinginkan (setpoint) dengan harga keluaran sistem yang dikontrol pada kondisi tunak. Atas dasar alasan inilah membuat alat pengendali proporsional hanya cocok untuk sistem yang variabelnya tidak memerlukan perubahan besar atau relatif tetap.

Pengendali integral (I) merupakan pengembangan dari pengendali P dan pengendali multi-posisi. Dibandingkan pengendali P, pengendali ini mampu menghilangkan kesalahan statis. Dibandingkan pengendali multi-posisi, pengendali ini mempunyai sifat dimana antara keluaran dan masukan mempunyai hubungan kontinyu. Pengendali ini juga tidak mempunyai histerisis atau zona netral seperti pada pengendali multi-posisi.

Pada pengendali yang menggunakan aksi integral, laju perubahan keluaran pengendali berbanding lurus dengan sinyal error atau keluaran pengendali berbanding lurus terhadap integrasi sinyal error. Secara matematis pengendali ini dinyatakan sebagai:

$$\frac{dP}{dt} = K_I E_P \quad \text{atau}$$

$$P(t) = K_I \int_0^t E_P(t) dt + P(0)$$

dimana :

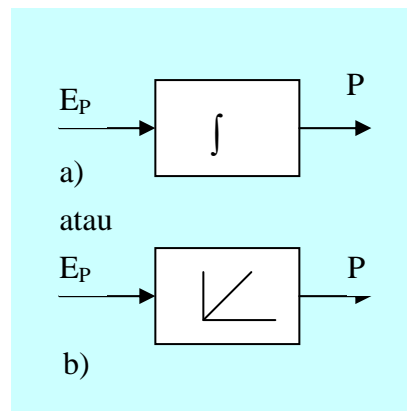
$\frac{dP}{dt}$ = tingkat perubahan output
pengendali (%/s)

K_I = penguatan integral (persentase output pengendali / second / persen error)

$P(t)$ = sinyal kontrol

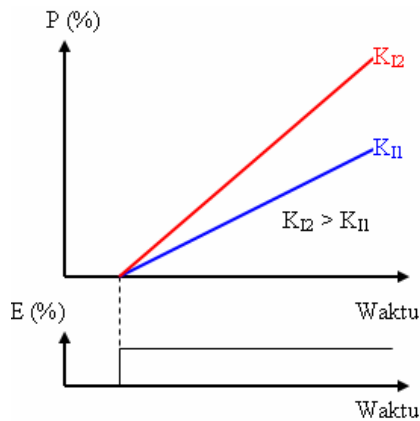
$P(0)$ = keluaran pengendali pada $t=0$

Koefisien integral dari pengendali ini, dalam hal tertentu dinyatakan dengan waktu integral, T_I dalam satuan detik (second) yang merupakan invers dari K_I atau $T_I = 1/K_I$

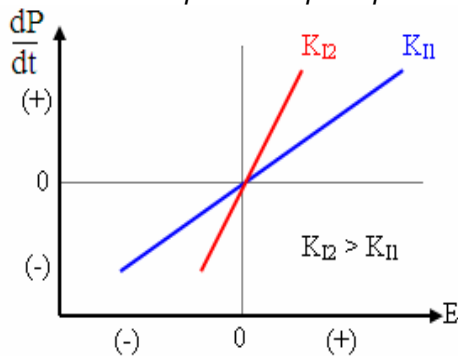


Gambar 4.10 Diagram kotak pengendali I

Karakteristik pengendali I



Gambar 4.11 Tanggapan pengendali I terhadap error step tetap



Gambar 4.12 Laju perubahan keluaran terhadap error

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa ketika sinyal error positif dan konstan, keluaran pengendali akan naik terus. Kenaikan ini akan terus berlangsung sampai batas maksimum yang ditetapkan.

Laju kenaikan keluaran pengendali, disamping ditentukan oleh error, juga oleh penguatan integrasinya. Semakin tinggi penguatan integrasi semakin tinggi pula laju kenaikan sinyal keluaran pengendali atau kecuraman kenaikan keluaran akan semakin tajam bila penguatan integrasinya semakin besar.

Gambar 4.12 menjelaskan bagaimana alat ini meniadakan kesalahan statis (*offset*). Laju perubahan keluaran dP/dt tergantung pada sinyal error E dan penguatan K_i . Untuk E yang sama, laju perubahan keluaran akan semakin tinggi bila penguatan K_i semakin tinggi. Untuk K_i yang sama, dP/dt akan semakin tinggi bila E semakin besar. Laju perubahan akan positif bila errornya positif dan sebaliknya.

Keadaan istimewa adalah ketika $E=0$, dimana dP/dt sama dengan nol. Ini berarti bahwa P dalam keadaan konstan. Sifat inilah yang membedakan dengan pengendali P.

Dibalik keuntungan yang dimiliki, pengendali I mempunyai kekurangan, yakni kelambatannya dalam merespon error. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11, bahwa untuk mencapai harga keluaran seperti yang diinginkan diperlukan waktu yang relatif lama. Faktor ini yang menimbulkan peristiwa *transient* dalam sistem kendali.

4.1.4.3 Pengendali diferensial (D)

Keluaran pengendali diferensial (*derivative*) tergantung pada "kecepatan" perubahan error. Pengendali ini tidak bisa digunakan sendiri karena bila error sama dengan nol atau tetap maka keluaran pengendali akan nol

$$P = K_D \frac{dE}{dt} + P(0)$$

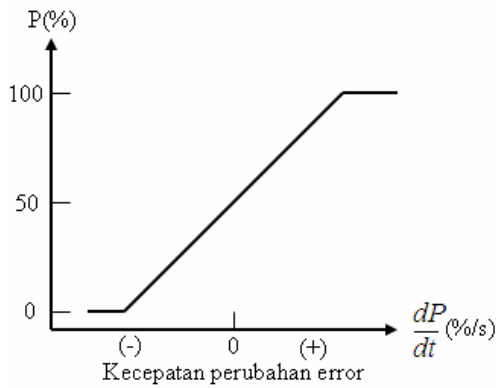
dimana

K_D : penguatan derivatif atau

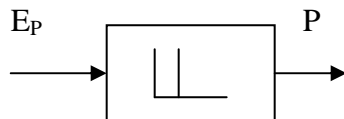
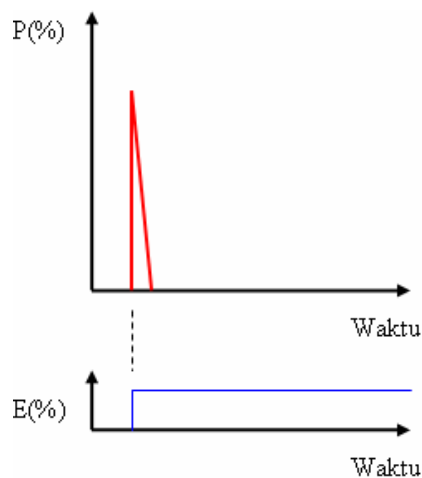
T_D : waktu derivatif

$\frac{dE}{dt}$: kecepatan perubahan error (%/s)

$P(0)$: keluaran tanpa perubahan error



Gambar 4.13 Keluaran pengendali fungsi perubahan error



Gambar 4.14 Diagram kotak pengendali D

4.1.5.1 Pengendali PI

Sesuai dengan namanya pengendali ini merupakan gabungan antara pengendali proporsional (P) dan integral (I). Hubungan antara keluaran dan masukan pengendali dapat dituliskan sebagai:

$P = K_P E_P + K_P K_I \int E_P dt + P(0) K_I$ bisa dinyatakan dengan waktu integral T_I , di mana $T_I = 1/K_I$.

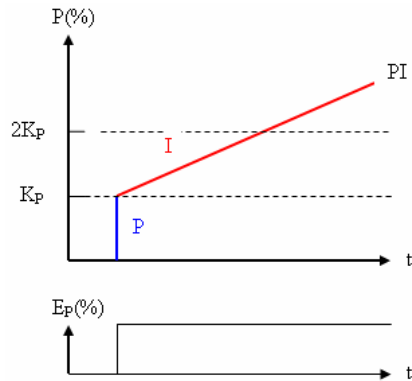
Keuntungan pengendali ini adalah adanya pengendali P yang mampu merespon dengan cepat mengkompensasi kelambatan pengendali I, dan pengendali I yang dapat menghilangkan kesalahan inheren pada P sehingga dengan kombinasi ini akan memberikan tanggapan kontrol yang lebih baik dibandingkan kontrol individunya. Atau dengan lain perkataan, pada pengendali ini offset pengendali P dapat dihilangkan oleh pengendali I dan kelambatan pengendali I dapat dikompensasi oleh kecepatan pengendali P sehingga kondisi optimal bisa dicapai.

Perlu diingat bahwa penguatan proporsional juga mengubah penguatan sistem secara keseluruhan, namun penguatan integral dapat diatur secara terpisah. Ingat bahwa offset terjadi pada P, pada pengendali PI, fungsi integral akan memberikan keluaran pengendali yang baru walaupun errornya nol setelah perubahan beban.

4.1.5 Pengendali Campuran

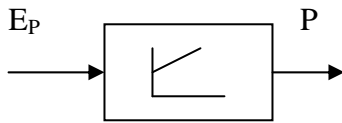
Kebutuhan sistem biasanya tidak bisa dipenuhi oleh salah satu pengendali secara individu. Untuk itu, pada umumnya dilakukan dengan menggabungkan dua atau tiga pengendali, seperti PI, PD, dan PID. Penggabungan pengendali ini diharapkan dapat saling melengkapi, kelemahan yang satu bisa ditutupi oleh kelebihan yang lain.

Tanggapan step



Gambar 4.15 Tanggapan step pengendali PI

Diagram kotak



Gambar 4.16 Diagram kotak pengendali PI

4.1.5.2 Pengendali Proporsional-Integral-derivatif (PID)

Pengendali PID merupakan pengendali yang terhandal dibanding dengan alat-pengendali yang telah dibahas sebelumnya namun lebih kompleks. Pengendali ini dapat diaplikasikan pada hampir "semua" plant.

Pengendali PID merupakan hasil penggabungan dari pengendali P, I, dan D. Aksi pengendali adalah hasil penjumlahan ketiga aksi pengendali individu tersebut. Dengan penggabungan ini diharapkan mampu mengoptimalkan per-formansi sistem kendali, yaitu dengan mengkompensasi kelemahan dan meningkatkan kinerjanya.

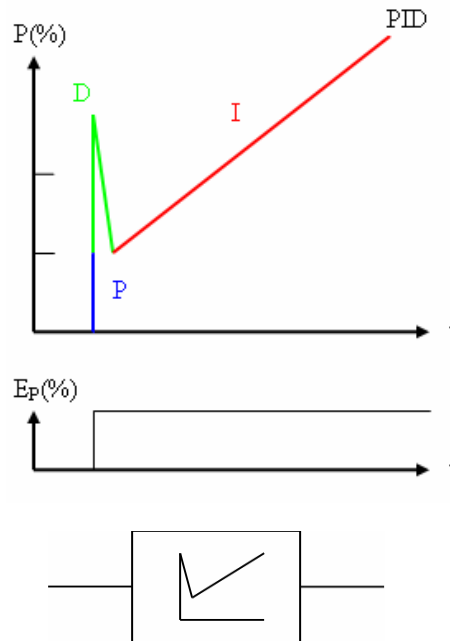
Banyak jenis konfigurasi pengendali PID. Berikut ini adalah salah satu konfigurasi dasar namun mempunyai kinerja yang cukup handal.

Konfigurasi pengendali ini dapat dituliskan:

$$P = K_p E_p + K_p K_I \int_0^t E_p dt + K_p K_D \frac{dE_p}{dt}$$

atau

$$P = K_p E_p + \frac{K_p}{T_I} \int_0^t E_p dt + K_p T_D \frac{dE_p}{dt}$$



Gambar 4.17 Tanggapan step dan diagram kotak pengendali PID

Dengan pengendali ini kita dapat mengeliminasi offset dan sensitif terhadap adanya perubahan error.

4.1.6 Pengendali Elektronik

Rangkaian-rangkaian berikut mengilustrasikan metoda implementasi aksi pengendali dengan menggunakan rangkaian op-amp.

4.1.6.1 Pengendali dua-posisi

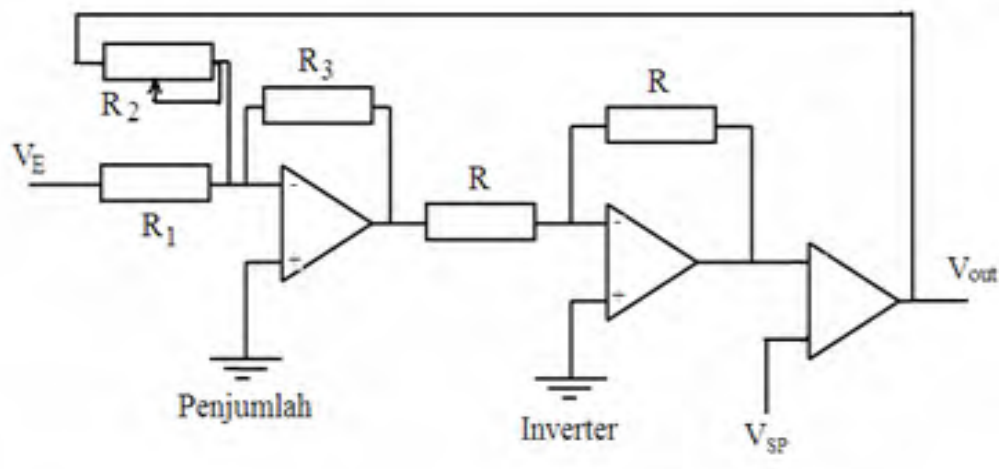
Pengendali dua-posisi dapat diimplementasi secara elektronik dengan banyak variasi. Banyak sistem pengkondisian udara (AC) dan pemanas ruangan menggunakan pengendali dua-posisi yang dibuat dari bilah bimetal. Implementasi pengendali dua-posisi atau on-off dengan menggunakan op-amp dengan zona netral yang dapat diatur-aturn ditunjukkan pada Gambar 4.18.

Di sini sinyal input pengendali dianggap sebagai tegangan dengan V_H sebagai On, dan V_L sebagai Off dan output nya adalah output komparator atau V_{out} . Output komparator berubah keadaan bila tegangan V_E sama dengan harga setpoint V_{SP} . Rangkaian ini akan On bila :

$$V_H = \frac{R_1}{R_3} V_{SP} \text{ dan Off bila tegangan sama}$$

$$\text{dengan } V_L = \frac{R_1}{R_3} \left[V_{SP} - \left(\frac{R_3}{R_2} \right) V_{out} \right]$$

Lebar zona netral antara V_L dan V_H dapat diatur dengan mengatur R_2 . Lokasi relatifnya dari zona ini dibuat dengan bervariasi tegangan setpoint V_{SP} . Zona netral dihitung berdasarkan perbedaan antara V_H dan V_L .



Gambar 4.18 Realisasi pengendali dua-posisi

4.1.6.2 Pengendali P

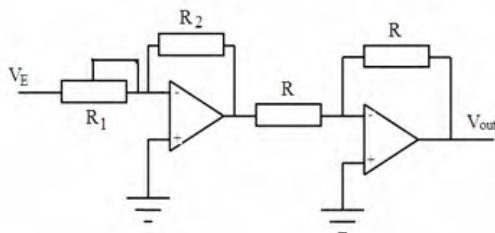
Implementasi pengendali ini memerlukan rangkaian yang mempunyai tanggapan yang diberikan oleh:

$$P = K_P E_P$$

Jika kita perhatikan sinyal kontrol dan error dalam bentuk tegangan, rangkaian op-amp pada Gambar 4.19. menunjukkan pengendali proporsional. Dalam hal ini analogi dari respons pengendali adalah:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} V_E$$

Tegangan masukan V_E dan keluaran V_{out} dapat diskala dengan mudah sehingga keluaran penguat $0-V_{maks}$ untuk sinyal keluaran 0-100%.



Gambar 4.19. Realisasi pengendali P

Begitu juga dengan sinyal error bisa diset dan disesuaikan dengan sinyal error secara penuh. Penguatan proporsional diatur melalui R_2/R_1 .

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} V_E; \text{ dimana } V_{out} = \text{sinyal kontrol}$$

$$K_P = R_2/R_1$$

$$V_E = \text{sinyal error}$$

4.1.6.3 Pengendali Integral

Pengendali integral mempunyai karakteristik dengan bentuk persamaan:

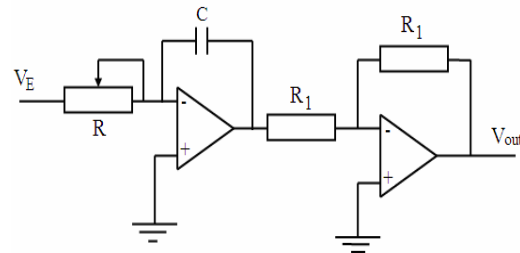
$$P(t) = K_I \int E_P(t) dt$$

Fungsi ini diimplementasikan dalam bentuk op-amp seperti pada gambar berikut. Hubungan antara input-output dapat dituliskan sebagai:

$$V_{out} = K_I \int V_E dt;$$

$$K_I = RC$$

Nilai dari RC dapat diatur untuk mendapatkan waktu integrasi yang diinginkan. Konstanta waktu integrasi menentukan laju kenaikan keluaran pengendali jika error adalah tetap. Jika K_I dibuat terlalu tinggi, keluaran akan meningkat sangat cepat yang bisa mengakibatkan *overshoots* dan osilasi.



Gambar 4.20 Realisasi pengendali I

$$P(t) = K_I \int E_P(t) dt$$

$$V_{out} = K_I \int V_E dt;$$

$$K_I = RC$$

4.1.6.4 Pengendali Diferensial

Pengendali diferensial tidak pernah digunakan sendirian karena tidak bisa memberikan keluaran ketika tidak ada error. Walaupun begitu, di sini ditunjukkan im-

plementasinya dengan menggunakan op-amp untuk dapat digunakan dalam bentuk kombinasinya dengan pengendali yang lain.

Persamaan kontrol pengendali ini dapat dituliskan sebagai:

$$P = K_D \frac{dE_P}{dt}, \text{ di mana:}$$

P = keluaran pengendali (%)

K_D = konstanta waktu derivatif

E_P = error (%).

Implementasi fungsi ini dengan op-amp ditunjukkan pada Gambar 4.21.

Di sini resistansi R_1 ditambahkan untuk kestabilan rangkaian menghadapi perubahan sinyal yang berubah sangat cepat. Tanggapan dari rangkaian ini terhadap perubahan input yang lambat adalah:

$$V_{out} = K_D \frac{dV_E}{dt}$$

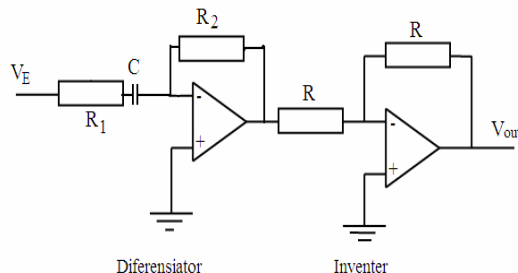
di mana:

V_{out} = tegangan keluaran

$K_D = R_2 C = \text{waktu derivatif (detik)}$

V_E = tegangan error

Nilai R_1 dipilih sehingga rangkaian akan tetap stabil pada frekuensi tinggi dengan mengeset $2\pi f R_1 \ll 1$, di mana f adalah frekuensi dalam Hz.



Gambar 2.21 Realisasi pengendali Diferensial

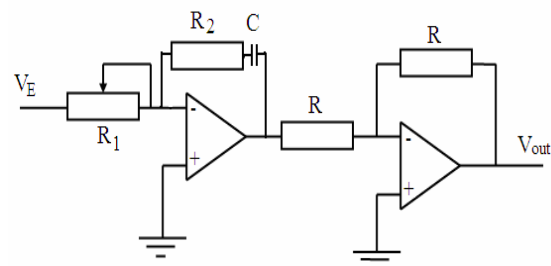
Rangkaian-rangkaian implementasi yang telah dijelaskan adalah implementasi dari pengendali-pengendali individu. Namun moda individu seperti ini jarang digunakan dan sistem kendali mengingat banyaknya kelebihan bentuk konfigurasi. Berikut ini menjelaskan bagaimana bentuk-bentuk konfigurasi pengendali-pengendali kombinasi dari pengendali-pengendali individu ini.

4.1.6.5 Pengendali PI

Implementasi pengendali PI ditunjukkan pada Gambar 4.22 (termasuk inverter). Dalam implementasi ini didefinisikan bahwa pengendali PI meliputi penguatan proporsional dalam integralnya. sehingga hubungan input-output dapat dituliskan:

$$V_{out} = + \frac{R_2}{R_1} V_E + \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{R_2 C} \int V_E dt$$

Pengesetan proporsional band dilakukan melalui $K_P = R_2/R_1$ dan waktu integrasi melalui $K_I = 1/R_2 C$



Gambar 4.22 Realisasi pengendali PI

4.1.6.6 Pengendali PD

Moda kombinasi pengendali PD merupakan kombinasi yang hebat. Kombinasi ini diimplementasikan dengan rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.23 (rangkaiannya perlu ditambahkan inverter).

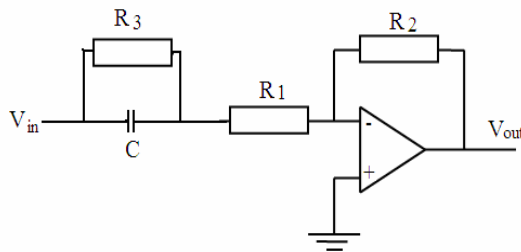
Hubungan input-outputnya adalah:

$$\begin{aligned} V_{out} &= \frac{R_1}{R_1 + R_3} R_3 C \frac{dV_{out}}{dt} \\ &= \frac{R_2}{R_1 + R_3} V_{in} + \frac{R_2}{R_1 + R_3} R_3 C \frac{dV_{in}}{dt} \end{aligned}$$

di mana:

$$\begin{aligned} K_P &= R_2 / (R_1 + R_3), \\ K_D &= R_3 C \end{aligned}$$

Sudah tentu pengendali ini mempunyai offset dari pengendali proporsional karena pengendali diferensialnya tidak bisa menghilangkan aksi reset.



Gambar 4.23 Realisasi pengendali PD

4.1.6.7 Pengendali PID

Pengendali yang paling sempurna dari yang telah dibicarakan sebelumnya adalah pengendali ini dimana tanggapan proporsional, integral dan diferensial digunakan secara bersama dalam merespon masukan. Hubungan input-output pengendali ini adalah:

$$P = K_P E_P + K_P K_I \int E_P dt + K_P K_D \frac{dE_P}{dt}$$

Keadaan error nol tidak menjadi masalah karena pengendali integral akan mengakomodasi secara otomatis untuk offset

- Waktu diferensial $T_D=0,5$ menit=30 s, maka

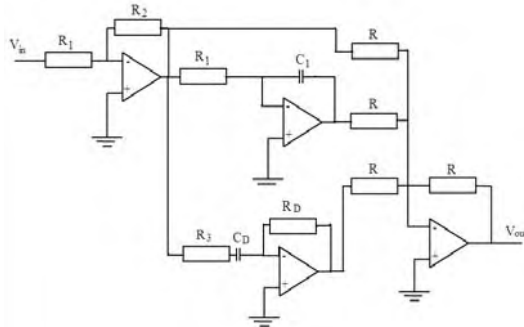
$$R_D C_D = 30 \text{ s. Jika kita gunakan } C_D = 50 \mu F, \text{ maka } R_D = 0,6 \text{ M}\Omega$$

- Kemudian dipilih R_3 untuk kestabilan

$$R_3 \ll \frac{T_D}{2\pi C_D} = \frac{30 \text{ s}}{2\pi 50 \cdot 10^{-6} \text{ F}} = 95 \text{ k}\Omega$$

Jadi, R_3 harus dipilih jauh lebih rendah dari 95 k Ω .

Implementasi dari pengendali-pengendali ini dapat direalisasi dengan menggunakan rangkaian op-amp standard. Sudah tentu disini perlu menentukan skala tegangan pada daeran operasi dipilih untuk rangkaian. Demikian juga dengan keluarannya, yang ada di sini dalam bentuk tegangan. Sinyal ini bisa dikonversikan menjadi sinyal-sinyal standar yang dibutuhkan oleh sistem.



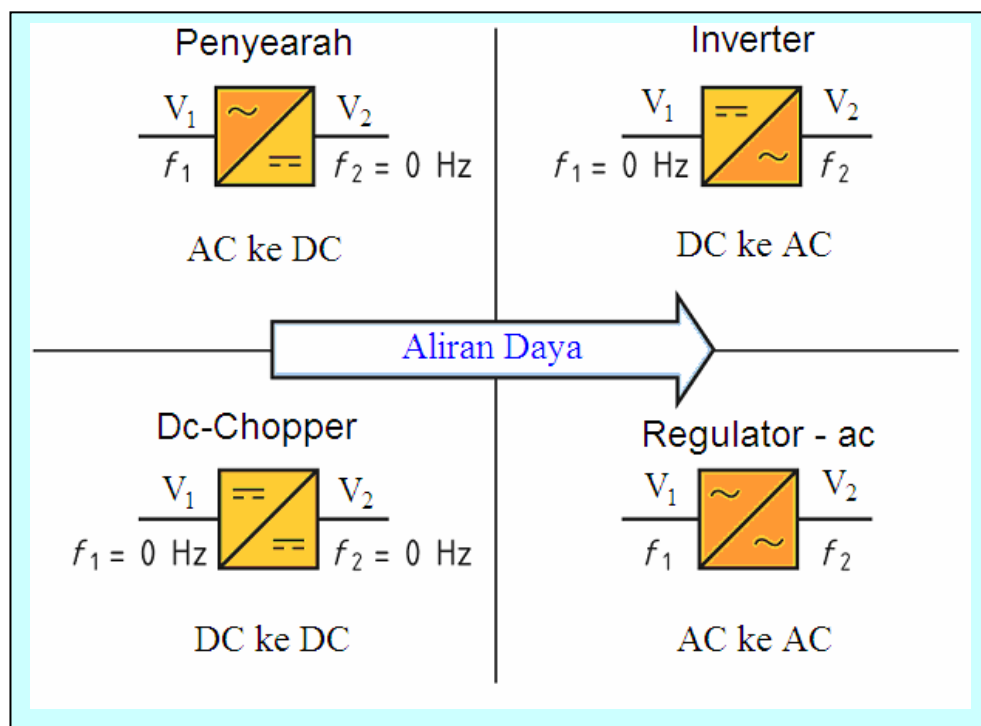
Gambar 4.24 Implementasi pengendali PID

4.2 Sistem Pengendali Elektronika Daya

4.2.1 Pendahuluan

Elektronika daya merupakan salah satu bagian bidang ilmu teknik listrik yang berhubungan dengan penggunaan komponen-komponen elektronika untuk pengendalian daya yang besar. Era elektronika daya dimulai dengan teknologi tabung daya tinggi seperti thyatron, ignitron dan penyearah merkuri. Dengan ditemukannya komponen-komponen semikonduktor seperti SCR, triac, dan lain-lain membuat elektronika daya menjadi bagian yang sangat penting dalam pengendalian daya listrik yang besar dan sangat luas penggunaannya.

Elektronika daya menggabungkan daya, elektronika dan kontrol. Daya terkait dengan peralatan-peralatan daya baik yang tidak bergerak maupun yang berputar untuk pembangkitan, transmisi dan distribusi daya listrik. Elektronika terkait dengan piranti-piranti dan rangkaian *solid-state* untuk pemrosesan sinyal listrik guna mendapatkan tujuan pengendalian yang dikehendaki. Kontrol menyangkut sistem kontrol operasi peralatan dan sistem agar dapat beroperasi sesuai yang diharapkan. Jadi, Elektronika daya merupakan aplikasi dari elektronika solid-state untuk kontrol dan konversi tenaga listrik. Berikut ini adalah gambaran tentang ruang lingkup elektronika daya yang meliputi: penyearah, inverter, DC chopper, dan regulator AC.



Gambar 4.25 Ruang lingkup elektronika daya

4.2.1.1 Penyearah

Penyearah adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah arus AC menjadi DC. Pada umumnya, dari sumber tegangan AC dan frekuensi yang tetap menjadi tegangan DC baik tetap maupun berubah. Penyearah yang mempunyai tegangan keluaran tetap, atau penyearah tak terkontrol, digunakan untuk mencatu daya DC pada peralatan-peralatan yang tidak memerlukan pengaturan daya masukan dalam operasinya.

Sedangkan penyearah yang mempunyai tegangan keluaran dapat diubah-ubah, atau penyearah terkontrol, terutama untuk peralatan-peralatan listrik yang dalam operasinya memerlukan pengaturan daya, misalnya untuk kontrol kecepatan pada motor DC.

4.2.1.2 Regulator AC

Regulator AC digunakan untuk mendapatkan tegangan keluaran AC yang dapat diubah-ubah dari sumber tegangan AC yang tetap. Alat ini banyak digunakan untuk mengatur pencahayaan lampu, pemanas, dan motor-motor AC. Ada dua macam regulator AC, yaitu kontrol On-Off dan kontrol sudut fasa.

4.2.1.3 Inverter

Inverter adalah alat yang digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Jenis-jenis tegangan DC yang dikonversikan ke AC antara lain adalah:

- Tegangan DC baterai diubah menjadi tegangan AC dengan frekuensi tetap atau berubah, fasa-satu atau fasa-tiga
- Tegangan sumber AC disearahkan, kemudian diubah menjadi AC kembali dengan frekuensi tetap maupun berubah, fasa-satu atau fasa-tiga

Aplikasi inverter, antara lain adalah:

- Pembangkitan tegangan AC tetap frekuensi 50 Hz dari sumber DC yang diperoleh dari baterai, pembangkit listrik tenaga angin, sel surya.
- Kontrol kecepatan motor induksi fasa-tiga dan motor sinkron
- *Uninterrupted Power Systems* (UPS)
- Catu daya standby, dan lain-lain

4.2.1.4 Dc-Chopper

Dc-chopper digunakan untuk mengubah tegangan DC tetap menjadi tegangan DC variabel. Dc-chopper digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor DC dengan sumber dari baterai atau catu daya DC.

4.2.2 Komponen Semikonduktor Daya

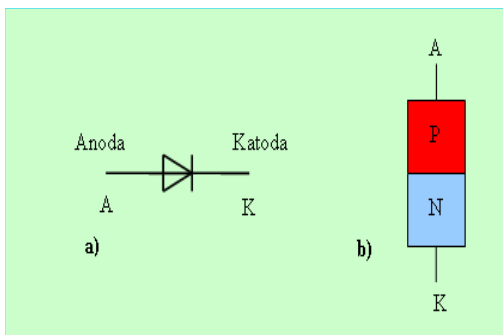
4.2.2.1 Dioda Daya

Dioda daya merupakan salah satu komponen semikonduktor yang banyak digunakan dalam rangkaian elektronika daya seperti pada rangkaian penyearah, *freewheeling (bypass)* pada regulator-regulator penyakelaran, rangkaian pemisah, rangkaian umpan balik dari beban ke sumber, dan lain-lain. Dalam penerapannya, seringkali, dioda daya dianggap sebagai saklar ideal walaupun dalam prakteknya ada perbedaan.

• Konstruksi dioda

Konstruksi dioda daya sama dengan dioda-dioda sinyal sambungan pn. Bedanya adalah dioda daya mempunyai kapasitas daya (arus, tegangan) yang lebih tinggi dari dioda-dioda sinyal biasa, namun kecepatan penyaklarannya lebih rendah. Dioda daya merupakan komponen semikonduktor sambungan PN

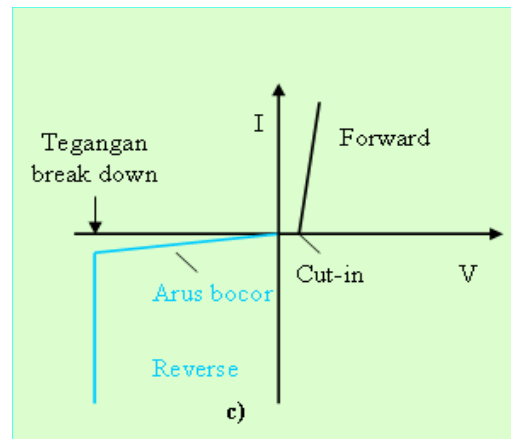
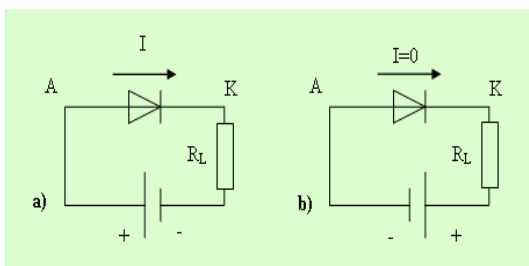
yang mempunyai dua terminal, yaitu terminal anoda (A) dan katoda (K). Gambar 4.26 menunjukkan simbol dan konstruksi dioda.



Gambar 4.26 Simbol dan konstruksi dioda

• Karakteristik Dioda

Karakteristik dasar dioda dikenal dengan karakteristik V-I. Karakteristik ini penting untuk dipahami agar tidak terjadi kesalahan dalam aplikasi dioda. Dalam karakteristik ini dapat diketahui keadaan-keadaan yang terjadi pada dioda ketika mendapat tegangan bias-maju (forward biased) dan tegangan bias-mundur (reverse biased) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27 Karakteristik dioda

- a) Bias-maju,
- b) Bias-mundur,
- c) Karakteristik V-I

Jika kedua terminal dioda disambungkan ke sumber tegangan dimana tegangan anoda lebih positif dibandingkan dengan katoda, dioda dikatakan dalam keadaan bias-maju (forward biased). Sebaliknya, bila tegangan anoda lebih negatif dari katoda, dioda dikatakan dalam keadaan bias-mundur (reverse biased).

• Karakteristik bias-maju

Bila dioda dihubungkan dalam keadaan bias-maju, di mana potensial Anoda lebih tinggi dibandingkan Katoda atau $V_{AK} > 0$ dan bila tegangan V_{AK} lebih besar dari tegangan cut-in atau tegangan threshold atau tegangan turn-onnya, V_{ct} (0,7 V untuk silikon, 0,4 V germanium), maka dioda akan konduksi (mengalirkan arus) atau ON. Besar arus yang mengalir ditentukan oleh tegangan sumber dan beban yang terpasang. Dalam keadaan konduksi ini ada satu hal yang sangat penting untuk diketahui adalah terjadinya tegangan jatuh maju yang besarnya tergantung pada proses produksi dan temperatur sambungannya. Namun bila $V_{AK} < V_{ct}$, dioda masih

dalam keadaan OFF, walaupun ada arus yang mengalir namun sangatlah kecil. Arus disebut arus bocor arah maju.

- **Karakteristik bias-mundur dan tegangan dadal**

Jika $V_{AK} < 0$ atau anoda lebih negatif dari katoda dikatakan dioda dalam keadaan bias-mundur. Dalam keadaan ini dioda dalam keadaan tidak konduksi atau OFF. Dalam keadaan ini ada arus yang mengalir dari arah katoda ke anoda yang sangat kecil, dalam orde mikro atau miliampere. Arus ini disebut arus bocor.

Jika tegangan mundur (V_{KA}) melebihi suatu tegangan yang telah ditentukan, yang dikenal dengan tegangan dadal (*breakdown voltage*), V_{BR} , maka arus arah mundur akan meningkat tajam dengan sedikit perubahan pada tegangan V_{BR} . Keadaan ini tidak selalu merusak dioda bila masih terjaga pada level aman seperti yang ditentukan dalam data sheetnya. Bila tidak, maka dioda akan rusak.

- **Rating dioda**

Ada dua rating dioda daya yang paling penting untuk diketahui, yaitu tegangan dadal arah-mundur (*reverse breakdown voltage*), dan arus arah-maju maksimumnya (*forward current*). Harga dioda meningkat dengan semakin tinggi kedua rating ini. Oleh karena itu, dalam aplikasinya, dioda dioperasikan mendekati tegangan puncak-mundur maksimum dan rating arus majunya.

Jadi, dioda akan konduksi bila $V_{AK} > V_{cut-in}$. Dioda akan Off bila $V_{AK} < V_{cut-in}$ atau $V_{AK} < 0$.

4.2.2.2 Jenis-jenis dioda

Berdasarkan karakteristik dan batasan-batasan dalam penerapannya, dioda diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok, yaitu dioda standard (dioda untuk keperluan umum), dioda kecepatan tinggi, dan dioda Schottky.

- **Dioda standard**

Dioda standar ini merupakan jenis dioda yang digunakan untuk keperluan umum. Dioda ini digunakan dalam aplikasi-aplikasi kecepatan rendah, seperti penyearah dan konverter dengan frekuensi masukan sampai 1 kHz. Dioda ini mempunyai rating arus dari 1 sampai ribuan ampere dan tegangan dari 50 V sampai 5 kV.

- **Dioda kecepatan tinggi**

Dioda jenis ini mempunyai kemampuan penyaklaran dengan kecepatan yang lebih tinggi dari dioda standard. Oleh karena itu, dalam penggunaannya biasa diaplikasikan pada rangkaian DC-chopper (DC-DC) dan inverter (DC-AC) di mana aspek kecepatan merupakan faktor yang sangat penting. Dioda jenis ini mempunyai rating arus lebih kecil dari 1 A sampai ratusan ampere, dengan tegangan dari 50 V sampai 3 kV.

- **Dioda Schottky**

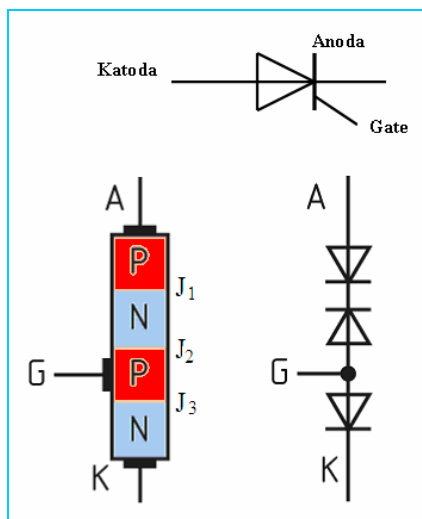
Dioda Schottky dibangun dengan merekayasa pada sambungan PN sehingga sangat cocok untuk aplikasi-aplikasi catu daya DC dengan arus tinggi dan tegangan rendah. Rating tegangan dibatasi sampai 100 V dengan arus dari 1 – 300 A. Walaupun begitu, dioda ini juga cocok digunakan untuk catu daya arus rendah untuk meningkatkan efisiensinya.

4.2.2.3 Thyristor

Thyristor atau SCR (*Silicon-Controlled Rectifier*) adalah piranti semikonduktor yang sangat penting dalam aplikasi elektronika daya. Hal ini tidak lepas dari kemampuan yang dimiliki, yakni kemampuan penyalakannya yang cepat, kapasitas arus dan tegangan yang tinggi serta ukurannya yang kecil. Komponen ini dioperasikan sebagai saklar dari keadaan tidak konduksi (Off) menjadi konduksi (On).

• Konstruksi dan Karakteristik SCR

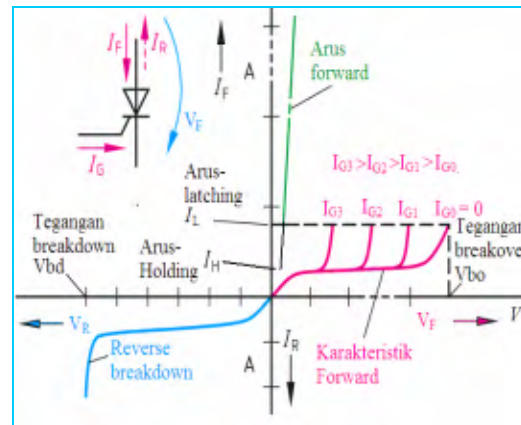
Thyristor merupakan piranti semikonduktor empat lapis pnpn, yang mempunyai tiga terminal, yaitu Anoda, Katoda dan Gate seperti ditunjukkan pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 Simbol dan konstruksi thyristor

Jika tegangan anoda dibuat positif terhadap katoda maka sambungan J_1 dan J_3 mendapat bias maju sebaliknya J_2 mendapat bias mundur sehingga ada arus bocor kecil yang mengalir dari katoda ke anoda. Dalam keadaan seperti ini, thyristor dalam keadaan off (terhalang) dan arus bocor keadaan off.

Jika tegangan anoda-katoda, V_{AK} dinaikkan terus sampai suatu harga tertentu sehingga mampu menjebol J_2 , thyristor dikatakan dalam keadaan breakdown bias maju. Tegangan yang menyebabkan breakdown ini disebut V_{BO} . Karena J_1 dan J_3 dalam keadaan bias maju maka akan mengalir arus yang sangat besar dari anoda ke katoda dan thyristor dikatakan dalam keadaan konduksi atau On. Jatuh tegangan maju merupakan jatuh tegangan akibat resistansi dari keempat-lapisan, yang besarnya, tipikal 1 V. Dalam keadaan On ini arus anoda dibatasi oleh beban luar. Arus anoda harus lebih besar dari arus *latching*nya, I_L agar piranti ini tetap dalam keadaan On. I_L merupakan arus anoda minimum yang diperlukan agar thyristor tetap dalam keadaan On, bila tidak, piranti ini akan kembali pada keadaan Off bila tegangan anoda ke katodanya diturunkan. Karakteristik v-i tipikal thyristor ditunjukkan pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29 Karakteristik thyristor

Sekali thyristor konduksi maka sifatnya sama seperti dioda dalam keadaan konduksi dan tidak dapat dikontrol. Namun, apabila arus diturunkan sampai dengan arus holdingnya, I_H thyristor akan kem-

bali pada keadaan off. Arus holding ini dalam ukuran miliampere dan lebih rendah dari arus latchingnya. Jadi arus holding I_H adalah arus anoda minimum yang menjaga agar thyristor dalam keadaan on.

Apabila tegangan katoda lebih tinggi terhadap anoda, sambungan J_2 mengalami bias maju sementara J_1 dan J_3 mengalami bias mundur. Thyristor akan menjadi dalam keadaan off dan akan ada arus kecil yang mengalir yang disebut arus bocor bias mundur, I_R . Namun bila tegangan katoda-anoda dinaikkan terus sampai mencapai tegangan dadalnya, maka akan ada arus yang tinggi mengalir dari arah katoda ke anoda yang mengakibatkan rusaknya thyristor.

Dalam operasi normalnya, tegangan V_{AK} selalu ada di bawah V_{BO} , dan V_{KA} selalu di bawah V_{BD} . Dengan V_{AK} yang lebih rendah dari V_{BO} , untuk membuat thyristor menjadi on dilakukan dengan memberikan tegangan positif pada terminal gate-nya terhadap katoda. Dengan memberikan tegangan positif pada gate sama halnya dengan memberikan arus gate, I_G membuat thyristor dari off menjadi on. Semakin besar I_G maka tegangan arah maju untuk membuat thyristor konduksi semakin rendah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.29, karakteristik forward. Sekali arus trigger diberikan akan membuat thyristor on dan selama arus anodanya tidak kurang dari arus holdingnya maka thyristor akan tetap on walaupun arus triggernya dihilangkan.

• Rangkaian trigger

Ada tiga hal yang penting dalam kaitannya dengan rangkaian penyalan (trigger) suatu thyristor, yaitu:

1. pemilihan rangkaian yang cocok guna mencatu sinyal penyalan
2. penentuan tegangan dan arus trigger maksimum agar rating gatenya tidak dilampaui
3. penentuan tegangan dan arus gate minimum untuk memastikan bahwa bila sinyal penyalan diberikan thyristor akan konduksi (on).

Banyak model rangkaian yang bisa dipilih sebagai rangkaian trigger untuk menyalakan thyristor. Sebelum rangkaian dirancang untuk mentrigger suatu thyristor, spesifikasi gate harus diperhatikan. Spesifikasi gate untuk dapat dilihat dari data sheet pabrik pembuatnya.

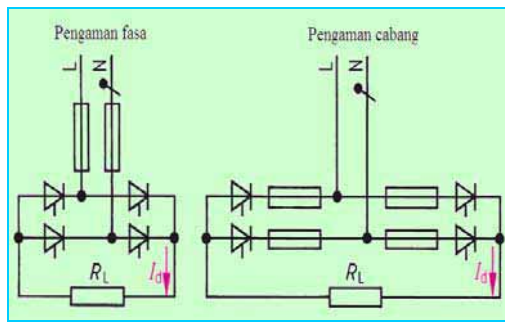
• Proteksi thyristor

Setiap thyristor akan mengalami pemanasan akibat arus yang mengalir di dalamnya. Pemanasan ini harus dibatasi untuk mencegah dari panas lebih yang bisa mengakibatkan rusaknya komponen. Untuk menghindari dari pemanasan lebih, setiap thyristor atau satu kelompok thyristor selalu dipasang dengan alat pendinginnya sesuai dengan kapasitasnya.

Selain itu komponen ini juga harus diamankan dari: (a) arus beban lebih, (b) di/dt dan c) dv/dt .

• Proteksi dari arus beban lebih

Untuk mengatasi dari arus beban lebih, thyristor diamankan dengan sekering (pengaman lebur). Pemasangan pengaman ini bisa dilakukan melalui pengamanan fasa atau pengamanan cabang seperti ditunjukkan pada Gambar 4.30.



Gambar 4.30 Proteksi dari arus beban lebih: proteksi fasa dan proteksi cabang

• Proteksi di/dt

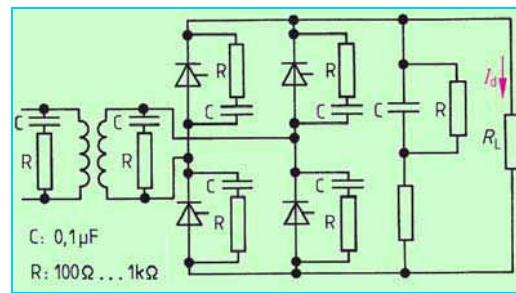
di/dt adalah tingkat perubahan arus yang mengalir melalui thyristor ketika terjadi perubahan kondisi dari off ke on. Ketika terjadi perubahan keadaan dari off ke on, maka akan terjadi tingkat perubahan arus di/dt ini. Tingkat perubahan arus ini harus dibatasi untuk menghindari pemanasan lebih pada daerah sambungan (junction) yang bisa mengakibatkan rusaknya komponen. Oleh karena itu, di/dt harus di bawah spesifikasi di/dt maksimum komponen. Hal ini dapat dilakukan dengan memasang induktor L secara seri dengan komponen. Secara pendekatan, di/dt maksimum dapat dihitung melalui persamaan:

$$di/dt_{maks} = V_m/L [A/s],$$

di mana V_m adalah tegangan masukan maksimum (V) dan L adalah induktansi (L) induktor yang dipasang seri.

• Proteksi dv/dt

Proteksi terhadap tegangan lebih dilakukan dengan memasang rangkaian RC secara paralel dengan thyristor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31 Proteksi terhadap tegangan lebih

Setiap thyristor mempunyai spesifikasi dv/dt maksimumnya. Ketika thyristor berubah dari keadaan off ke on, maka akan terjadi tingkat perubahan tegangan yang sangat cepat yang disebut dengan dv/dt. Tingkat perubahan tegangan ini tidak boleh melebihi dv/dt maksimumnya. Bila ini terjadi, maka thyristor akan on dengan sendirinya sehingga tidak bisa dikendalikan lagi. Hal ini harus dicegah, yaitu dengan memasang RC ini paralel dengan thyristor. Rangkaian RC ini dikenal dengan rangkaian *Snubber*. Secara pendekatan dv/dt dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{V}{\sqrt{LC}} \text{ dan } R = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

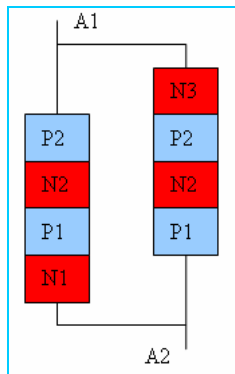
Jadi, dengan pemilihan L, C, dan R pada rangkaian, dv/dt pada thyristor dapat dibatasi pada harga yang aman. Tipikal, C = 0,1µF, R=100 Ω – 1 k Ω.

Dari uraian yang telah dijelaskan di atas dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- Thyristor akan On pada dua kondisi: (1) $V_{AK} = V_{BO}$; (2) $0 < V_{AK} < V_{BO}$ dan $I_G > 0$; dan dv/dt melebihi spesifikasi dv/dt (data sheet) komponen.
- Thyristor dalam keadaan Off pada kondisi: (1) $V_{AK} < V_{BO}$ dan $I_G = 0$; (2) $V_{AK} > 0$, $I_G > 0$; (3) $V_{AK} < 0$ dengan $I_G > 0$ atau $I_G < 0$

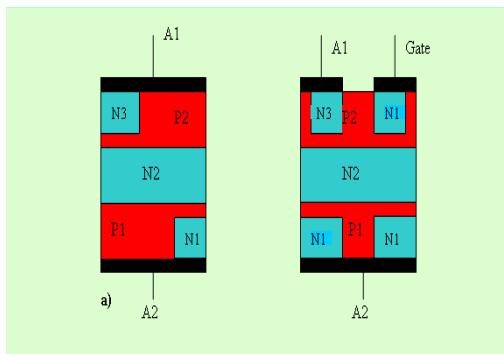
• Diac dan Triac

Piranti semikonduktor empat-lapis hanya dapat mengalirkan arus pada satu arah saja. Agar dapat mengalirkan arus dua arah dapat diperoleh dengan menghubungkan dua piranti empat-lapis secara berlawanan sehingga membentuk struktur lima-lapis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32 Dua komponen 4-lapis dihubungkan secara berlawanan

Piranti dengan struktur lima-lapis ini dapat dibentuk secara tunggal seperti ditunjukkan pada Gambar 4.33.

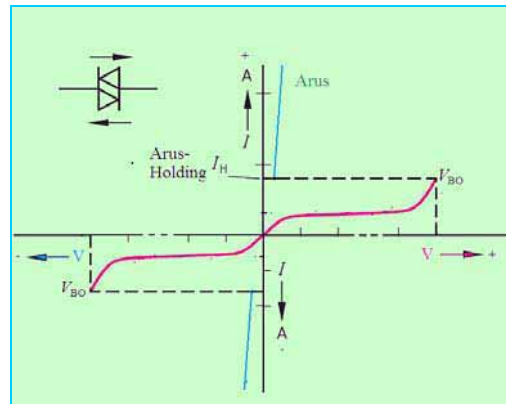


Gambar 4.33
Komponen semikonduktor lima-lapis:
a) tanpa gate, b) dengan gate

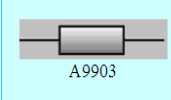
Apabila terminal A1 positif terhadap A2 sebesar suatu tegangan yang besarnya melampaui tegangan breakovernya, piranti ini akan break over sebagaimana

thyristor (P2, N2, P1, N1). Untuk arah terbalik lapisan P1, N2, P2, N3 akan breakover pada arah tegangan yang berlawanan.

Piranti lima-lapis tanpa gate dapat dirancang untuk bermacam-macam tegangan dan arus break over. Bangunan piranti ini ditunjukkan pada gambar 4.33 (a). Piranti ini akan break over pada kuadran 1 dan kuadran 3 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.34, dengan rating tegangan dan arus ditentukan sesuai dengan tipenya. Piranti ini disebut **Diac**. Jadi, diac merupakan piranti semikonduktor lima-lapis tanpa gate yang bekerjanya pada tegangan break overnya baik pada arah-maju maupun mundur. Karena karakteristik inilah diac digunakan dalam rangkaian trigger guna mentrigger (mengaktifkan) piranti semikonduktor daya lain.



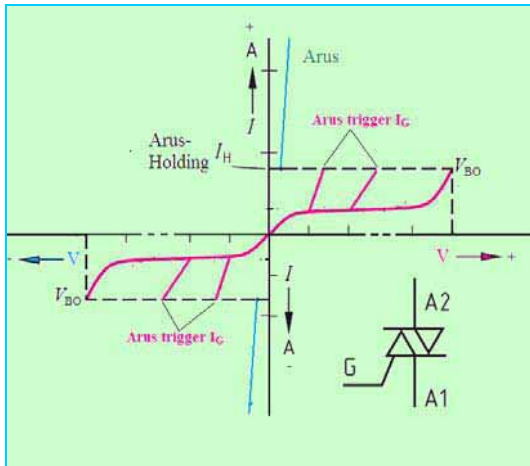
Gambar 4.34 Simbol dan karakteristik diac

 <p>A9903</p>	<p>Karakteristik</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tegangan penyakelaran 37 V • Arus bocor 0,4 – 1 mA • Arus beban nominal 1 A
---	--

Gambar 4.35 Contoh diac

Piranti semikonduktor lima-lapis dengan gate disebut Triac, yang konstruksinya ditunjukkan pada Gambar 4.33 (b).

Dengan adanya gate pada triac memungkinkan untuk mengubah karakteristik $V-I$ dengan memasukkan atau mengeluarkan arus ke/dari piranti ini sehingga dapat break over pada tegangan yang lebih rendah dari tegangan *break over* normalnya (tanpa arus gate).



Gambar 4.36 Simbol dan karakteristik Triac

Bila thyristor hanya beroperasi pada daerah forward, triac bekerja pada kedua bias-nya, arah maju dan mundur (Gambar 4.36). Sinyal trigger diaplikasikan antara gate dan A1.

Dalam pengoperasian triac, diperlukan pentriggeran sebagai berikut:

1. Apabila A2 positif terhadap A1, begitu juga gatenya, maka triac akan beroperasi pada kuadran 1;
2. Apabila A2 positif terhadap A1, sedangkan gate negatif terhadap A1 maka triac juga akan beroperasi pada kuadran 1;
3. Apabila A2 negatif terhadap A1, dan gatenya positif terhadap A1, maka triac akan beroperasi pada kuadran 3;
4. Apabila A2 negatif terhadap A1, dan gatenya negatif terhadap A1, maka

triac akan beroperasi pada kuadran 3 juga.

Catatan: Kondisi 3 biasanya tidak digunakan dalam praktek karena kondisi triac kurang sensitif.

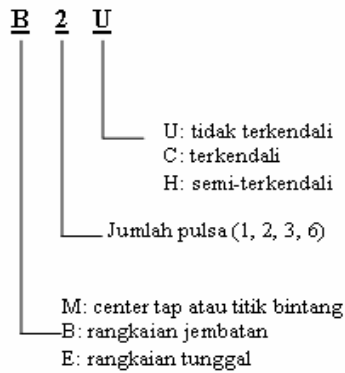


Gambar 4.37 Contoh spesifikasi triac

4.2.3 Penyearah

Penyearah adalah alat yang digunakan untuk mengubah arus AC menjadi DC. Secara umum, penyearah dibagi menjadi dua, yaitu penyearah tidak terkontrol dan penyearah terkontrol. Dari masing-masing kelompok kemudian dibagi berdasarkan sumber tegangan masukannya, yaitu fasa-satu atau fasa-tiga. Penyearah fasa-tiga dimaksudkan untuk daya yang lebih besar. Berikut ini adalah ikhtisar penyearah.

Tegangan Masukan	Tidak Terkendali	Terkendali	Ripel
Fasa-satu	E1U	E1C	Tinggi
	M2U	B2C	
	B2U	B2HK B2HZ	
Fasa-tiga	M3U	M3C	Rendah
	B6U	B6C	



Gambar 4.38 Ikhtisar penyearah dan simbol-simbolnya

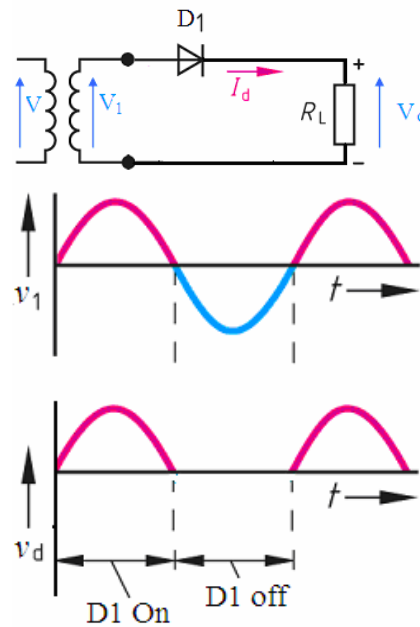
4.2.3.1 Penyearah Tidak Terkontrol

Dioda digunakan dalam elektronika daya terutama untuk mengubah daya AC menjadi DC. Pengubah daya AC menjadi DC disebut penyearah (rectifier). Penyearah yang menggunakan dioda adalah penyearah yang tegangan keluarannya tetap. Untuk memberikan gambaran yang mendasar tentang aplikasi dioda dalam elektronika daya, pada bagian ini akan dibahas tentang rangkaian-rangkaian dioda yang melibatkan jenis-jenis beban dan penyearah tidak terkendali. Rangkaian dioda dengan bermacam-macam beban dimaksudkan untuk memberikan landasan dasar tentang dampak beban dalam rangkaian.

Sedangkan jenis-jenis rangkaian penyearah dimaksudkan untuk memberikan pemahaman tentang perilaku penyearah yang tidak hanya penting untuk aplikasi dioda saja namun sangat diperlukan bagi pengembangan konsep untuk aplikasi-aplikasi elektronika daya selanjutnya. Untuk mempermudah pemahaman, pada bahasan ini dioda ditinjau dari sisi idealnya, di mana faktor kecepatan dan jatuh tegangan maju diabaikan.

• Penyearah fasa-satu satu pulsa E1U

Penyearah fasa-tunggal setengah gelombang merupakan jenis penyearah yang paling sederhana, dan tidak biasa digunakan dalam aplikasi industri. Walaupun begitu, konsep yang dimiliki sangat membantu dalam memahami prinsip operasi penyearah. Penyearah fasa-tunggal setengah gelombang atau sering disebut penyearah satu pulsa dengan beban R ditunjukkan pada Gambar 4.39.



Gambar 4.39 Penyearah E1U

Selama setengah gelombang pertama tegangan masukan, dioda D1 mendapat tegangan bias maju dan menjadi konduksi sehingga arus mengalir ke beban dan tegangan masukan muncul pada beban yang disebut tegangan keluaran DC, V_d . Kemudian setengah gelombang berikutnya, D1 mendapat bias mundur membuat dioda dalam keadaan terhalang (*blocking state*) sehingga tegangan pada beban atau tegangan keluaran, V_d , adalah nol sebagaimana ditunjukkan

secara lengkap pada Gambar 4.39. Karena gelombang tegangan yang muncul pada beban hanya satu gelombang atau setengah gelombang penuh, maka penyearah ini sering disebut penyearah satu pulsa atau setengah gelombang.

4.2.3.1.1 Parameter-parameter unjuk kerja penyearah

Unjuk kerja suatu penyearah penting untuk diketahui sebagai antisipasi terhadap dampak negatif yang ditimbulkannya baik yang terkait dengan hasil penyearahan maupun terhadap kualitas daya pada sisi sumber. Sebagai contoh, terlihat nyata bahwa hasil penyearahan merupakan bentuk gelombang pulsa yang mengandung harmonisa.

Harmonisa ini, disamping mempengaruhi kualitas hasil penyearahan juga sumber dayanya.

Banyak jenis penyearah, namun pada umumnya, unjuk kerja dievaluasi melalui parameter-parameter seperti yang akan dijelaskan berikut ini.

- Tegangan keluaran rata-rata, arus keluaran rata-rata, I_{DC} ,
- Daya keluaran DC:
 $P_{DC} = V_{DC} I_{DC}$
- Tegangan keluaran efektif (rms), V_{rms}
- Arus keluaran efektif, I_{rms}
- Daya keluaran AC:
 $P_{ac} = V_{rms} I_{rms}$
- Efisiensi penyearah merupakan hasil bagi antara daya keluaran DC dan daya keluaran AC atau:
 $\eta = P_{DC}/P_{ac}$
- Tegangan keluaran dari suatu penyearah terdiri atas dua komponen, yaitu komponen DC dan komponen AC atau ripel (denyut).

- Harga efektif komponen AC adalah:
 $V_{ac} = \sqrt{(V_{rms}^2 - V_{DC}^2)}$
- Faktor bentuk (form factor) yang merupakan ukuran dari bentuk tegangan keluaran adalah:
 $FF = V_{rms}/V_{DC}$
- Faktor ripel (ripple factor) yang merupakan ukuran dari muatan ripel, didefinisikan sebagai:
 $RF = V_{ac}/V_{DC}$
- Faktor ripel juga dapat dinyatakan dalam bentuk:
 $RF = \sqrt{(V_{rms}/V_{DC})^2 - 1} = \sqrt{(FF^2 - 1)}$

Contoh:

Sebuah penyearah seperti pada Gambar 4.39 mempunyai beban resistif murni R. Tentukan (a) efisiensi, (b) faktor bentuk, (c) faktor ripel, dan (d) faktor pemanfaatan trafo.

Jawaban:

Tegangan keluaran DC:

$$V_{DC} = V_m/\pi = 0,318 V_m,$$

$$I_{DC} = V_{DC}/R = 0,318 V_m/R.$$

Tegangan keluaran efektif (rms):

$$V_{rms} = V_m/2 = 0,5 V_m$$

$$I_{rms} = V_{rms}/R = 0,5 V_m/R$$

Daya keluaran DC:

$$P_{DC} = V_{DC} I_{DC} = (0,318 V_m)^2/R$$

Daya keluaran AC:

$$P_{ac} = V_{rms} I_{rms} = (0,5 V_m)^2/R$$

Efisiensi

$$\begin{aligned} \eta &= P_{DC}/P_{ac} = V_{DC} \cdot V_{DC}/R \\ &= (0,318 V_m)^2 / (0,5 V_m)^2 \\ &= 40,5 \% \end{aligned}$$

Faktor bentuk $FF = V_{rms}/V_{DC}$

$$\begin{aligned} &= 0,5 V_m / 0,318 V_m \\ &= 1,57 \text{ atau } 157 \% \end{aligned}$$

Faktor ripel $RF = \sqrt{(FF^2 - 1)} = 1,21$ atau 121 %

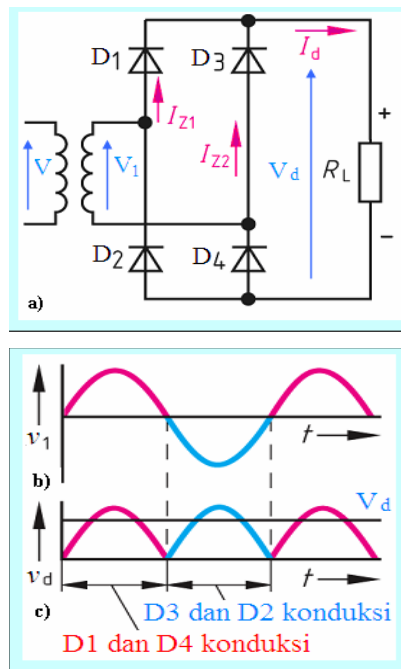
4.2.3.1.2 Penyearah dua-pulsa, rangkaian jembatan B2U

Penyearah dua-pulsa atau fasa-satu gelombang penuh dapat dibentuk

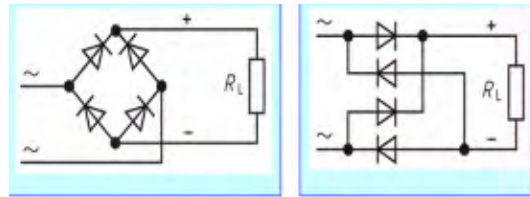
dengan menggunakan rangkaian trafo center-tap atau rangkaian jembatan. Penyearah *center-tap* hanya menggunakan trafo center-tap dan dua dioda. Sedangkan penyearah rangkaian jembatan menggunakan empat dioda. Rangkaian ini merupakan rangkaian penyearah fasa-tunggal gelombang penuh yang paling umum digunakan. Rangkaian selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 4.40.

4.2.3.1.3 Prinsip kerja rangkaian

Diketahui bahwa tegangan masukan v_1 adalah sinusoidal dan arus listrik mengalir dari polaritas tinggi ke polaritas rendah pada sumbernya (dalam hal ini sumber diperoleh dari sekunder tranformator).



Gambar 4.40 Penyearah B2U
a) Rangkaian; b) tegangan masukan; c) tegangan keluaran



Gambar 4.41 Jenis tampilan rangkaian jembatan

Pada setengah periode pertama dari v_1 , dioda D1 dan D4 sama-sama dalam keadaan bias-maju sehingga kedua dioda menjadi On (konduksi), sebaliknya D3 dan D2 mendapat bias-mundur sehingga kedua dioda menjadi Off. Dalam keadaan D1 dan D4 On, maka arus I_{Z1} akan mengalir dari polaritas tinggi sumber (trafo) melalui D1 ke beban kemudian ke D4 dan kembali ke polaritas rendah sumber sehingga tegangan muncul pada sisi keluaran, yang disebut tegangan keluaran DC, V_d dan arus arus beban I_d sama dengan I_{Z1} .

Pada setengah periode berikutnya, polaritas sumber berubah yang tadinya rendah menjadi tinggi. Dalam keadaan ini D3 dan D2 mendapat bias-maju sehingga kedua dioda tersebut menjadi On, dan sebaliknya D1 dan D4 mendapat bias-mundur sehingga kedua dioda dalam keadaan Off. Arus mengalir dari sumber I_{Z2} melalui D3 ke beban dan kemudian ke D2 dan kembali ke sumber sehingga tegangan V_d muncul pada sisi keluaran.

Untuk rangkaian ini berlaku rumus-rumus sebagai berikut:

- Tegangan dan arus keluaran DC:

$$V_{dc} = \frac{2}{T} \int V_m \sin \omega t \, dt = \frac{2V_m}{\pi} = 0,6336 V_m$$

$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} = \frac{0,6366 V_m}{R}$$

- Tegangan dan arus keluaran rms

$$V_{rms} = \left[\frac{2}{T} \int_0^{T/2} (V_m \sin \omega t)^2 \right]^{1/2} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0,707V_m$$

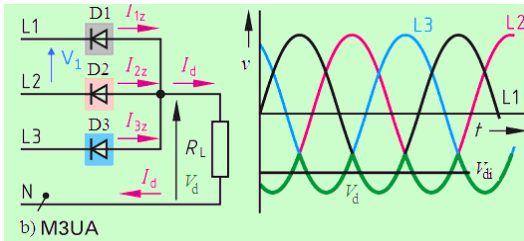
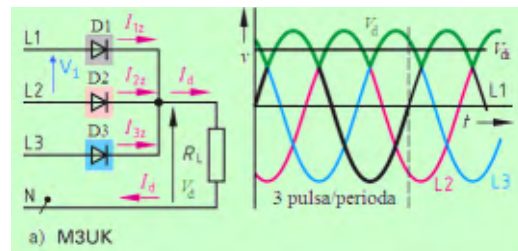
$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{0,707V_m}{R}$$

Walaupun sama fungsinya, di pasaran ada beberapa gambar dengan bentuk tampilan yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.41.

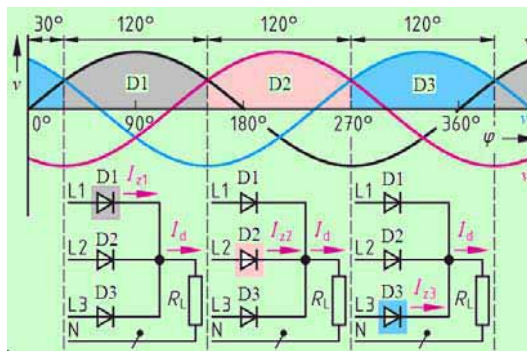
4.2.3.1.4 Penyearah fasa-tiga, tiga-pulsa, terkendali M3U

Penyearah penyearah fasa-tiga, tiga pulsa, tidak terkendali fasa-tiga, disebut juga penyearah fasa-tiga hubungan bintang tidak terkendali. Tegangan masukan dari penyearah ini adalah tegangan fasa-tiga, yaitu L1, L2, dan L3. Pada masing-masing saluran dipasang satu dioda. Rangkaian dan hubungan antara gelombang tegangan masukan dan keluaran ditunjukkan pada Gambar 4.42.

Pada gambar ini memperlihatkan dua rangkaian yang berbeda. Gambar 4.42 a) memperlihatkan bahwa ketiga saluran masukan, masing-masing dihubungkan ke anoda masing-masing dioda, sedangkan katoda dari ketiga dioda dihubungkan menjadi satu (dihubung bintang). Karena ujung-ujung katoda yang disatukan, rangkaian ini disebut rangkaian M3UK. Sebaliknya Gambar 4.42 b) anoda dari ketiga dioda yang dihubungkan menjadi satu, oleh karena itu, rangkaian tersebut disebut M3UA.



Gambar 4.42 Rangkaian penyearah M3U



Gambar 4.43 Bentuk tegangan keluaran penyearah M3U

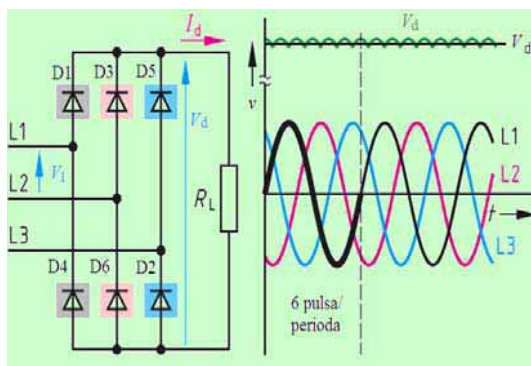
4.2.3.1.5 Prinsip kerja rangkaian

Apabila rangkaian dihubungkan dengan sumber fasa-tiga sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.43, maka akan mengalir arus I_{z1} melalui D1 mulai sudut fasa 30° selama 120° , sementara D2 dan D3 dalam keadaan off. Kemudian setelah D1 mengalirkan arus selama 120° , D1 kemudian kembali off dan D2 mulai konduksi dan menghantarkan arus I_{z2} , sementara D3 dan D1 masih dalam keadaan off. Baru setelah D2 menghantarkan arus selama 120° , baru D3 dalam keadaan konduksi dan menghantarkan arus I_{z3} , D2 kembali

off dan D1 masih dalam keadaan off. Demikian, proses ini terjadi berulang.

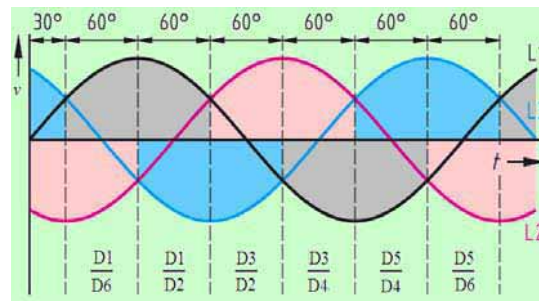
4.2.3.1.6 Penyearah fasa-tiga, enam-pulsa, rangkaian jembatan, tidak terkendali B6U

Penyearah fasa-tiga jembatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.44, sangat umum digunakan dalam aplikasi daya-tinggi. Penyearah ini merupakan penyearah fasa-tiga gelombang penuh.



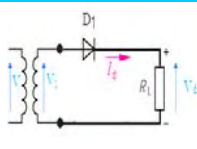
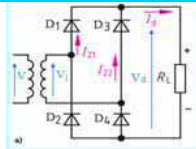
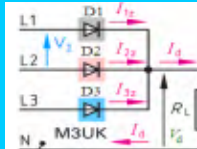
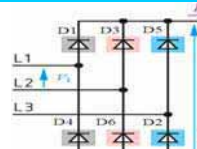
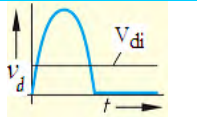
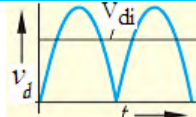
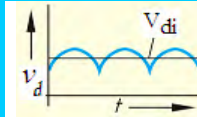
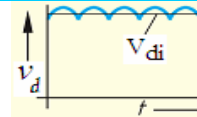
Gambar 4.44 Penyearah B6U

Penyearah ini mempunyai tegangan keluaran 6-pulsa. Dioda-dioda diberi penomoran sesuai dengan urutan konduksinya dan masing-masing dioda konduksi selama 120° . Urutan konduksi dioda adalah 12, 23, 34, 45, 56, dan 61. Pasang-dioda yang terhubung dengan dua tegangan saluran yang mempunyai tegangan tertinggi akan konduksi. Tegangan antar saluran adalah $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa dari sistem fasa-tiga hubungan bintang.



Gambar 4.45 Bentuk gelombang tegangan dan dioda-dioda yang konduksi

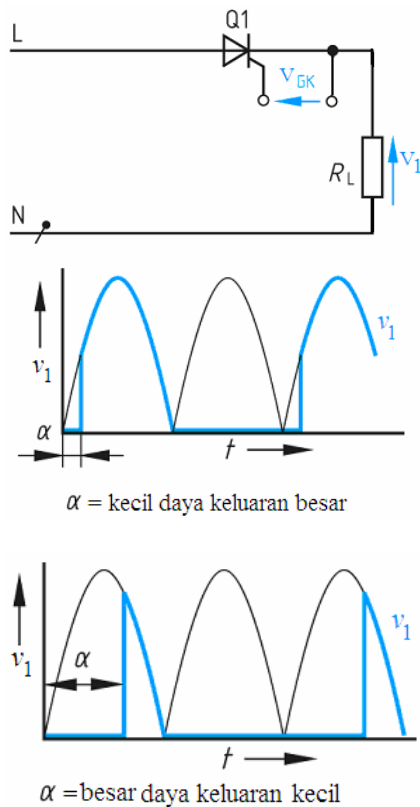
Tabel 4.1 Ikhtisar penyearah

Jenis Rangkaian	Penyearah Satu-Pulsa	Penyearah Dua-Pulsa Jembatan	Penyearah Tiga-Pulsa, Titik Bintang	Penyearah Enam-Pulsa Jembatan
Kode	E1U	B2U	M3U	B6U
Rangkaian				
Tegangan tanpa beban				
$\frac{V_{di}}{V_1}$	0,45	0,9	0,68	1,35
Faktor ripel	1,21	0,48	0,18	0,04
$\frac{P_T}{P_d}$	3,1	1,23	1,5	1,1
I_z	I_d	$\frac{I_d}{2}$	$\frac{I_d}{3}$	$\frac{I_d}{3}$

V_{di} : tegangan DC-tanpa beban, V_1 : tegangan AC, P_T : daya trafo, P_d : daya DC, V_d : tegangan DC-berbeban, I_d : arus DC, I_z : arus yang mengalir melalui satu dioda

4.2.3.2 Penyearah Terkendali

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa, penyearah tak terkendali menghasilkan tegangan keluaran DC yang tetap. Bila dikehendaki tegangan keluaran yang bisa diubah-ubah, digunakan thyristor sebagai pengganti dioda. Tegangan keluaran penyearah thyristor dapat diubah-ubah atau dikendalikan dengan mengendalikan delay atau sudut penyalaan, α , dari thyristor. Penyalaan ini dilakukan dengan memberikan pulsa trigger pada gate thyristor. Pulsa trigger dibangkitkan secara khusus oleh rangkaian trigger.



Gambar 4.46 Penyearah E1C

Rangkaian trigger dirancang untuk memberikan pulsa dengan ketinggian dan kelebaran tertentu disesuaikan dengan thyristor yang digunakan. Pulsa ini juga dapat digeser-geser sudutnya

sehingga penyalaan thyristor dapat dilakukan setiap saat dalam ranah (*range*)nya.

Gambar 4.46 menunjukkan prinsip kerja dari penyearah satu-pulsa terkendali **E1C**. Jika thyristor dirangkai seperti gambar ini, tegangan masukan berupa tegangan sinusoidal dan beban R, maka pada setengah gelombang pertama thyristor mendapat bias-maju.

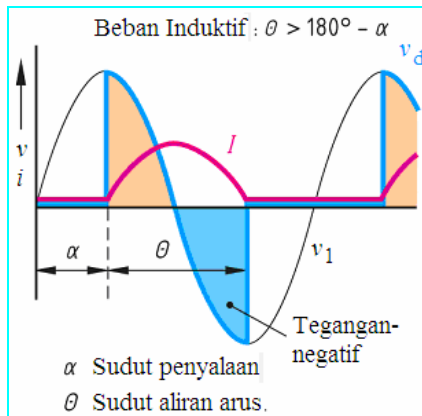
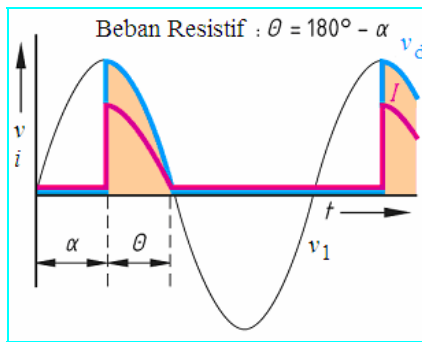
Bila thyristor disulut pada sudut α , thyristor Q1 akan konduksi maka tegangan keluaran v_1 akan muncul pada beban. Keadaan konduksi ini berlangsung hingga tegangan kembali ke nol dan mulai negatif (komutasi alamiah). Ketika tegangan negatif, maka Q1 dalam keadaan bias-mundur. Waktu dari tegangan mulai beranjak ke arah positif sampai dengan thyristor mulai konduksi disebut sudut penyalaan atau sudut penyulutan α .

Dengan demikian, tegangan keluaran penyearah dapat diatur-aturlah dengan mengatur sudut penyalaan pulsa gatenya, dalam hal ini, dari $0 - 180^\circ$.

Bila sudut penyalaan α kecil, berarti thyristor konduksi secara dini sehingga tegangan (v_d) dan daya keluaran akan besar. Sebaliknya, bila sudut α besar, tegangan dan daya keluarannya akan kecil.

4.2.3.2.1 Hubungan tegangan dan arus keluaran pada beban R dan beban L

Dalam kenyataannya sifat beban mempengaruhi perilaku suatu penyearah.



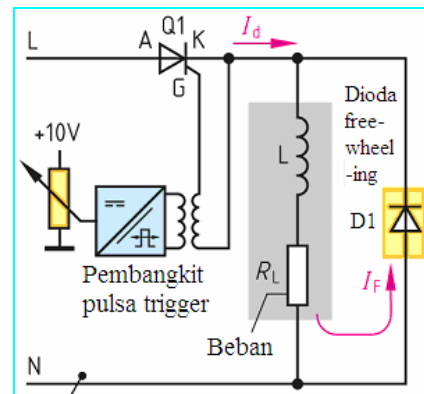
Gambar 4.47 Bentuk gelombang arus dan tegangan keluaran pada E1C

Bila penyearah pada Gambar 4.46 diberi beban resistif R , maka arus keluaran i dan tegangan keluaran v_d mempunyai polaritas yang sama sehingga mempunyai kesamaan dalam bentuk gelombang seperti ditunjukkan pada Gambar 4.47 untuk beban Resistif. Ketika v_d nol maka i juga nol, ketika tegangan v_d maksimum maka arus i juga maksimum.

Perilaku rangkaian menjadi berbeda ketika dibebani dengan L . Seperti yang terlihat pada Gambar 4.48 untuk beban induktif L , ketika thyristor disulut pada sudut α , ketika tegangan v_d nol arus i juga nol. Namun ketika tegangan v_d maksimum, arus i tidak mengikuti tegangan seperti pada beban R , namun mengikuti proses penyimpanan energi pada induktor. Oleh karena itu, ketika

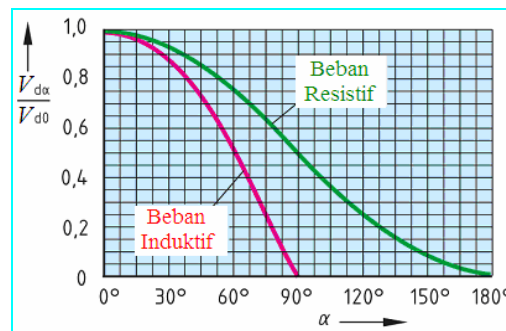
tegangan kembali ke nol, induktor melepaskan arus pada arah yang sama sehingga tegangan berubah menjadi negatif.

Kejadian ini tidak dikehendaki dalam aplikasi penyearahan. Untuk menghilangkan pengaruh induktansi tersebut dipasang dioda *free-wheeling* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.48. Dioda ini berfungsi menyalurkan arus balik ke beban lagi (tidak ke sumber) sehingga peristiwa tegangan negatif bisa dihilangkan.



Gambar 4.48 Dioda free-wheeling

Jika V_{d0} adalah tegangan keluaran ketika $\alpha = 0$, dan $V_{d\alpha}$ adalah tegangan pada sudut α , maka karakteristik pengaturan $V_{d0}/V_{d\alpha}$ untuk beban resistif R dan beban induktif L ditunjukkan pada Gambar 4.49.



Gambar 4.49 Karakteristik pengaturan E1C

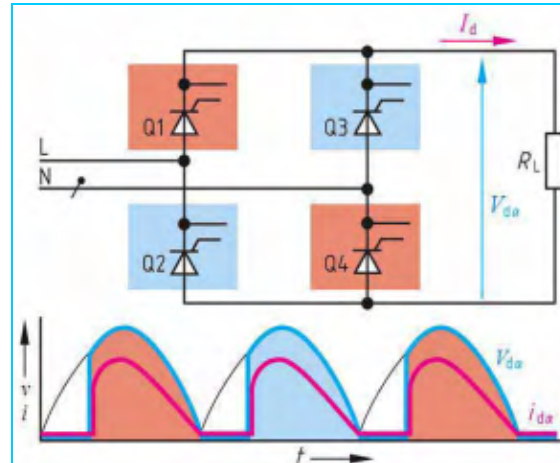
Dari gambar ini jelas terlihat perubahan tegangan keluaran v_{da} pada sudut penyalan untuk beban R dan beban L. Di sini terlihat jelas bahwa sudut pengaturan pada beban R dapat dilakukan pada daerah $0-180^\circ$, sedangkan pada beban L terbatas dari $0-90^\circ$ saja.

4.2.3.2.2 Penyearah dua-pulsa terkendali B2C

Penyearah dua-pulsa rangkaian jembatan terkendali, B2C, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.50 merupakan salah satu tipe penyearah yang banyak diaplikasikan karena keandalannya.

Prinsip kerja dari penyearah ini, secara prinsip hampir sama dengan penyearah B2U. Bedanya, di sini dibutuhkan unit trigger sebagai sumber pulsa trigger.

Rangkaian ini membutuhkan 2 pasang pulsa trigger, yaitu 1 pasang bekerja di daerah setengah gelombang positif dan 1 pasang yang lain pada setengah gelombang negatif. Bila penyearah dihubungkan dengan sumber tegangan seperti yang terlihat pada gambar, pada setengah gelombang positif thyristor Q1 dan Q4 mendapat bias-maju. Dalam keadaan ini, bila kedua thyristor tersebut disulut pada sudut α yang sama maka tegangan masukan akan dikirim ke beban sejak awal sudut penyulutan sampai kedua thyristor mengalami komutasi (tegangan nol). Kemudian pada setengah periode berikutnya, thyristor Q3 dan Q2 mendapat bias maju. Sama halnya dengan keadaan pada setengah periode pertama, bila kedua thyristor ini disulut pada sudut α yang sama, pada daerah negatif tersebut maka tegangan negatif masukan akan ditransfer ke beban sehingga tegangan keluaran V_{da} terlihat seperti yang ditunjukkan oleh Gambar tersebut.



Gambar 4.50 Penyearah B2C

Gambar 4.50 juga menunjukkan bentuk gelombang tegangan dan arus keluaran, V_{da} dan I_{da} , di mana keduanya mempunyai polaritas yang sama.

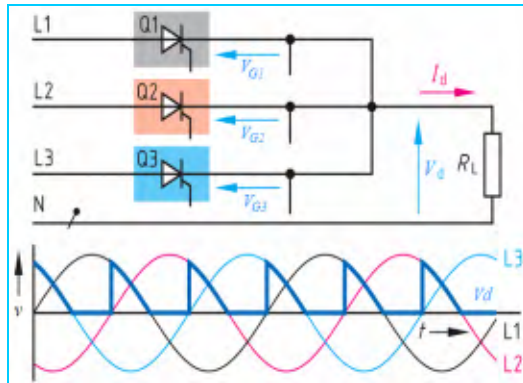
Kelebihan penyearah ini adalah kemampuannya dalam mengumpanbalikkan energi beban ke sumber. Dengan beban yang induktansinya tinggi, aliran arus akan kontinu tidak seperti penyearah-penyearah terkendali fasa-satu lainnya.

4.2.3.2.3 Penyearah fasa-tiga terkendali

Penyearah fasa-tiga memberikan tegangan keluaran rata-rata yang lebih tinggi, dan faktor ripelnya lebih rendah dari penyearah fasa-satu sehingga masalah filteringnya juga semakin simpel. Karena itulah, penyearah fasa-tiga terkendali sangat banyak digunakan dalam pengendalian kecepatan motor berdaya tinggi.

Salah satu bentuk aplikasi penyearah fasa-tiga terkendali adalah penyearah M3C, penyearah fasa-tiga, tiga-pulsa, terkendali (Gambar 4.51). Tiga thyristor,

masing-masing disambungkan pada masing-masing saluran, dan setiap thyristor mendapat pulsa trigger sesuai dengan daerah operasi masing sehingga keluarannya terdiri dari 3 pulsa yang dapat diatur sesuai sudut penyulutan.



Gambar 4.51 Penyearah M3C

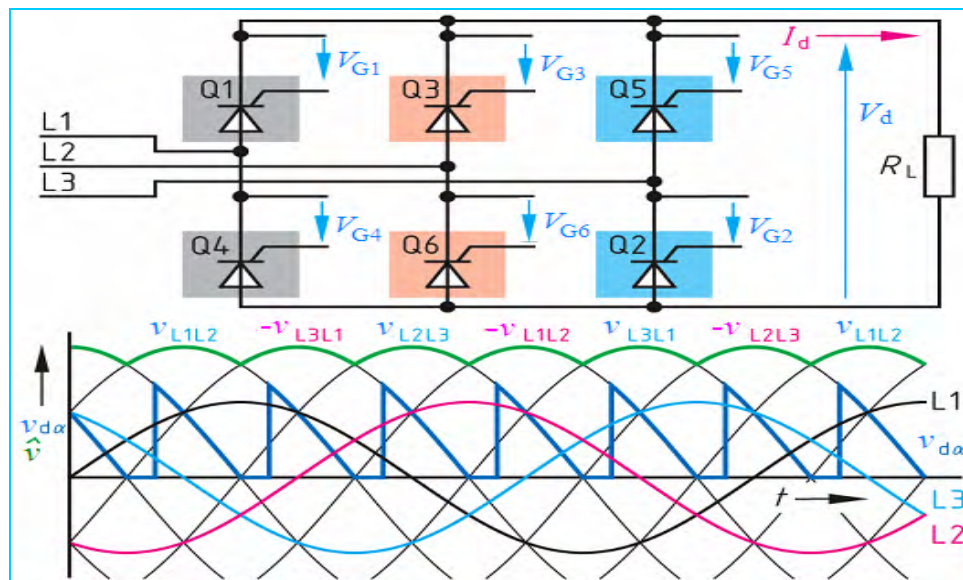
Tipe penyearah terkendali dan sangat handal adalah penyearah fasa-tiga, enam-pulsa sistem jembatan (Gambar

4.52). Penyearah ini sangat ekstensif digunakan untuk aplikasi-aplikasi daya tinggi sampai ratusan kW, di mana dibutuhkan operasi dua-kuadran. Penyearah ini sangat cocok untuk beban-beban yang tingkat induktansinya sangat tinggi.

Thyristor-thyristor disulut pada interval $\pi/3$. Frekuensi tegangan keluaran adalah 6 kali frekuensi sumber sehingga masalah penapisan (*filtering*)nya lebih rendah dari M3C.

Urutan penyulutan thyristornya sesuai dengan indeks angkanya adalah sebagai berikut: 12, 23, 34, 45, 56, dan 61.

Gambar 4.52 menunjukkan gelombang tegangan keluaran ketika rangkaian beroperasi secara penuh dan ketika beroperasi pada sudut penyulutan yang berbeda.



Gambar 4.52 Penyearah B6C

4.2.4 Pengendali Tegangan AC

Teknik pengontrolan fasa memberikan kemudahan dalam sistem pengendalian AC. Pengendali tegangan saluran AC digunakan untuk mengubah-ubah harga rms tegangan AC yang dicatukan ke beban dengan menggunakan thyristor sebagai saklar.

Penggunaan alat ini, antara lain, meliputi:

- Kontrol penerangan
- Kontrol alat-alat pemanas
- Kontrol kecepatan motor induksi

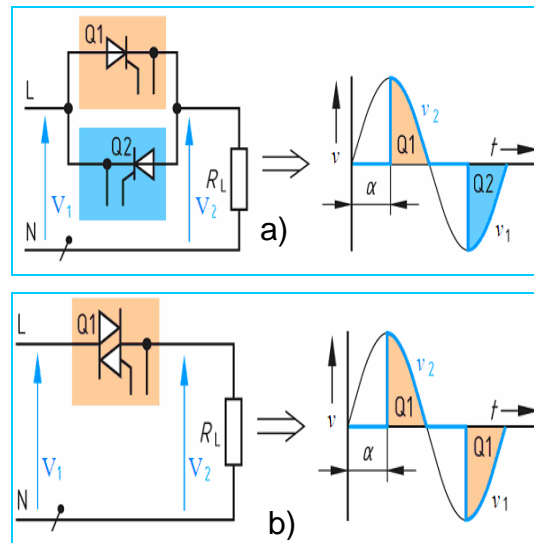
Bentuk dasar rangkaian pengendalian tegangan AC ditunjukkan pada gambar Gambar 4.53. Rangkaian pengendalian dapat dilakukan dengan menggunakan dua-thyristor yang dirangkai anti-paralel (Gambar 4.53 a) atau menggunakan triac (4.53 b).

Penggunaan dua thyristor anti paralel memberikan pendalian tegangan AC secara simetris pada kedua setengah gelombang pertama dan setengah gelombang berikutnya. Penggunaan triac merupakan cara yang paling simpel, efisien dan handal. Triac merupakan komponen dua-arah sehingga untuk mengendalikan tegangan AC pada kedua setengah gelombang cukup dengan satu pulsa trigger. Barangkali inilah yang membuat rangkaian pengendalian jenis ini sangat populer di masyarakat. Keterbatasannya terletak pada kapasitasnya yang masih terbatas dibandingkan bila menggunakan thyristor.

4.2.4.1 Pengendalian menggunakan dua thyristor

Jika tegangan sinusoidal dimasukkan pada rangkaian seperti pada gambar,

maka pada setengah gelombang pertama thyristor Q1 mendapat bias maju, dan Q2 dalam keadaan sebaliknya. Kemudian pada setengah gelombang berikutnya, Q2 mendapat bias maju, sedangkan Q1 bias mundur. Agar rangkaian dapat bekerja, ketika pada setengah gelombang pertama Q1 harus diberi sinyal penyalan pada gatenya dengan sudut penyalan, misalnya α . Seketika itu Q1 akan konduksi. Q1 akan tetap konduksi sampai terjadi perubahan arah (komutasi), yaitu tegangan menuju nol dan negatif. Setelah itu, pada setengah perioda berikutnya, Q2 diberi trigger dengan sudut yang sama, proses yang terjadi sama persis dengan yang pertama. Dengan demikian bentuk gelombang keluaran pada seperti yang ditunjukkan pada gambar.



Gambar 4.53
Bentuk dasar pengendali tegangan AC

4.2.4.2 Pengendalian menggunakan triac

Seperti yang telah disinggung sebelumnya, bahwa dua thyristor anti-paralel dapat digantikan dengan sebuah triac. Bedanya di sini hanya pada gatenya,

yang hanya ada satu gate saja. Namun kebutuhan sinyal trigger sama, yaitu sekali pada waktu setengah periode pertama dan sekali pada waktu setengah periode berikutnya. Sehingga hasil pengendalian tidak berbeda dari yang menggunakan thyristor anti-paralel.

Pengendalian yang bisa dilakukan dengan menggunakan metoda ini hanya terbatas pada beban fasa-satu saja. Untuk beban yang lebih besar, metode pengendalian, kemudian dikembangkan lagi menggunakan sistem fasa-tiga, baik yang setengah gelombang maupun gelombang penuh (rangkainan jembatan)

4.2.5 Kontrol Kecepatan dan Daya Motor Induksi Fasa Tiga

Motor induksi fasa tiga, khususnya motor induksi rotor sangkar tupai merupakan salah satu jenis motor yang paling banyak digunakan di industri. Kelebihan dari motor ini, di antaranya adalah konstruksinya yang sederhana dan kuat serta memerlukan sangat sedikit pemeliharaan sebagaimana pada motor DC.

Berbeda dengan motor DC yang kecepatannya dapat dikendalikan dengan mudah (yaitu melalui pengaturan tegangan armatur dan pengaturan arus eksitasinya), pengaturan kecepatan motor induksi fasa tiga memerlukan penanganan yang jauh lebih kompleks dan ini merupakan salah satu kelemahan dari motor induksi. Motor DC mempunyai dua sumber, yaitu tegangan armatur dan arus eksitasi, sedangkan motor induksi hanya mempunyai satu sumber, yaitu sumber tegangan stator. Kecepatan motor induksi ditentukan oleh frekuensi tegangan masukan dan jumlah kutub motor seperti yang dijelaskan dengan rumus:

$$N = 120 f/P$$

di mana:

- N = kecepatan putaran rotor,
- f = frekuensi tegangan sumber,
- P = jumlah kutub motor (ditentukan oleh belitan stator).

Jadi, berdasarkan formula di atas dapat dikatakan bahwa kecepatan putaran motor induksi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu pengubahan jumlah kutub dan pengubahan frekuensi tegangan masukan ke stator motor. Karena jumlah kutub ditentukan oleh belitan statornya, maka pengubahan kutub ini hanya bisa dilakukan melalui desain belitan stator motor, sedangkan untuk pengaturan frekuensi dan tegangan masukan memerlukan pengubah frekuensi tegangan masukkan stator. Unit pengatur ini umum juga disebut sebagai inverter.

Pengaturan kutub banyak digunakan pada beban-beban yang dalam operasinya memerlukan beberapa kecepatan yang berbeda, misalnya kecepatan rendah dan kecepatan tinggi. Sedangkan pengaturan frekuensi pada motor induksi banyak diterapkan untuk beban-beban yang memerlukan pengaturan kecepatan dari nol sampai dengan maksimal seperti yang diterapkan di bidang transportasi seperti kereta listrik.

4.2.5.1 Macam-Macam Skema Kontrol Kecepatan Motor Induksi

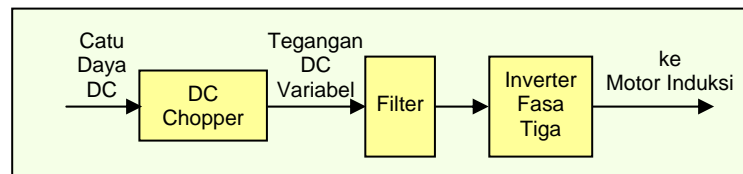
Kecepatan motor induksi dapat dikendalikan dari sumber AC maupun DC. Berikut ini adalah beberapa macam skema pengendalian kecepatan motor induksi yang memberikan masukan frekuensi dan tegangan variabel ke stator motor.

Gambar 4.54 merupakan skema kontrol kecepatan motor induksi dengan catu daya dc tegangan tetap. Proses pengubahan ini dilakukan sebagai berikut. Catu daya DC tegangan tetap diubah menjadi tegangan dc tegangan variabel melalui DC-Chopper. Tegangan DC variabel ini setelah melalui filter dialirkan ke inverter sehingga menghasilkan keluaran ac dengan frekuensi dan tegangan variabel. Keluaran frekuensi dan tegangan variabel menjadi masukan motor induksi sehingga kecepatan motor dapat diatur dengan leluasa.

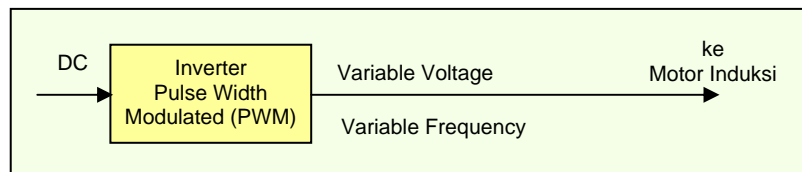
Gambar 4.55 menunjukkan skema kontrol kecepatan motor induksi dengan menggunakan catu daya DC dan inverter pulse-width modulation (PWM).

Catu daya DC tegangan tetap diubah langsung menjadi tegangan ac frekuensi dan tegangan variabel. Hasil pengubahan ini kemudian digunakan sebagai catu daya motor induksi.

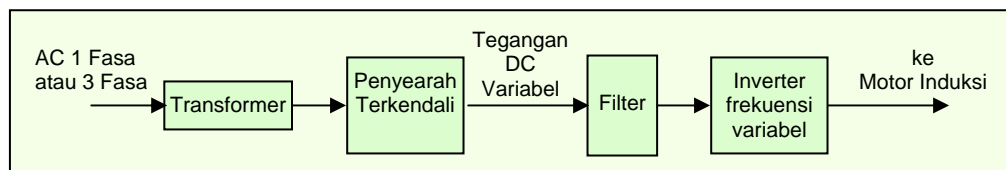
Untuk kendali kecepatan dengan catu daya AC tegangan dan frekuensi tetap ditunjukkan pada gambar 4.56 dan 4.57. Gambar 4.56 menunjukkan skema kontrol dengan menggunakan inverter frekuensi variabel sedangkan Gambar 4.57 menggunakan inverter PWM. Pada skema kontrol dengan inverter frekuensi variabel kita memerlukan unit penyearah terkendali sedangkan yang menggunakan PWM cukup dengan penyearah biasa. Keluaran dari kedua skema yang terakhir sama dengan keluaran pada dua skema kontrol terdahulu.



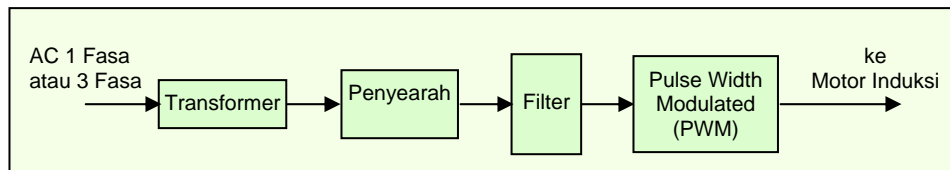
Gambar 4.54 Skema kontrol kecepatan motor induksi dengan catu daya DC tegangan tetap



Gambar 4.55 Skema kontrol kecepatan motor induksi dengan catu daya DC dan inverter PWM



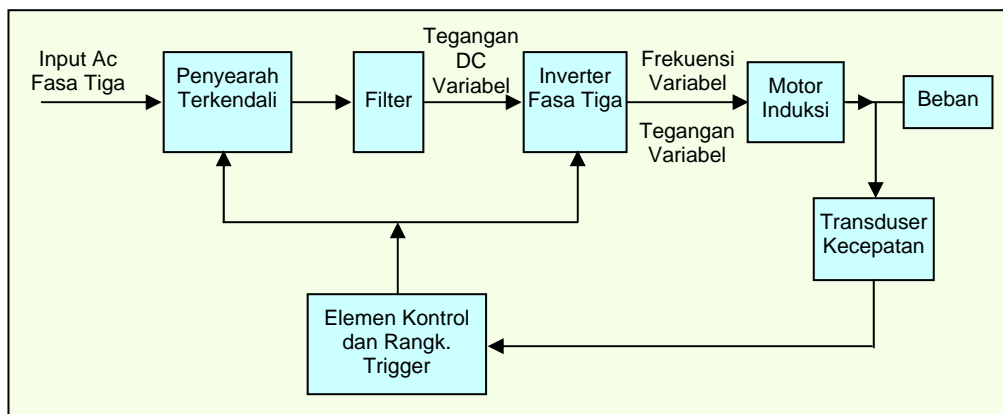
Gambar 4.56 Skema kontrol kecepatan motor induksi dengan catu daya AC dan inverter frekuensi variabel



Gambar 4.57 Skema kontrol kecepatan motor induksi dengan catu daya AC dan inverter PWM

4.2.5.2 Diagram Kotak Kontrol Kecepatan Motor Induksi Fasa Tiga

Diagram kotak kontrol kecepatan motor induksi fasa tiga yang menggunakan sumber daya masukan fasa tiga ditunjukkan pada Gambar 4.58.



Gambar 4.58 Diagram kotak sistem kontrol kecepatan motor induksi fasa tiga

Coba perhatikan baik-baik Gambar 4.58. Dalam skema kontrol ini kecepatan motor merupakan subyek dari pengendalian. Proses pengendalian dilakukan sebagai berikut:

1. Sumber daya masukan AC fasa tiga tegangan dan frekuensi tetap diubah menjadi tegangan DC dengan tegangan yang bisa diatur-aturl melalui penyearah terkendali. Pengaturan pada penyearah ini dilakukan melalui pengaturan sudut penyulutan, sebagaimana telah dibahas pada bagian penyearah B6U, diatur melalui rangkaian trigger.
2. Untuk mengurangi faktor denyut keluaran penyearah diberi filter sehingga keluaran dc mempunyai kualitas yang lebih baik.
3. Keluaran dc ini kemudian diubah menjadi tegangan ac fasa tiga melalui sebuah inverter fasa tiga. Pengubahan keluaran dc menjadi ac ini dilakukan melalui proses penyulutan yang dikendalikan oleh rangkaian trigger. Keluaran ac yang paling handal untuk pengendalian kecepatan motor induksi fasa tiga adalah frekuensi dan tegangan variabel, di mana ketika frekuensi dinaikkan atau diturunkan, tegangan akan mengikuti perubahan ini.

Keluaran ini dikatakan paling handal karena motor dapat diatur pada daerah kecepatan yang sangat lebar dan dengan efisiensi tetap tinggi.

4. Ketika motor induksi mendapat masukan tegangan dari inverter, maka sesuai dengan sifat-sifatnya, motor beroperasi pada kecepatan dan daya tertentu sesuai dengan jenis beban motor. $P_{out} = T \omega$, di mana T = torsi poros (Nm), ω adalah kecepatan putar sudut (rad/detik) ($\omega = 2 \pi N/60$; N dalam putaran permenit). Jadi, pengaturan kecepatan yang dilakukan disini sama artinya dengan pengaturan daya keluaran motor induksi.
5. Kecepatan putaran motor dideteksi dan diukur dengan menggunakan transduser kecepatan. Transduser ini mengubah variabel putaran menjadi sinyal analog atau digital yang proporsional terhadap kecepatan putaran motor.
6. Hasil pengukuran oleh transduser ini diinformasikan kepada elemen kendali.
7. Elemen kendali membandingkan antara sinyal hasil pengukuran (analog atau digital) dengan nilai putaran yang dikehendaki (setpoint). Bila antara keduanya ada perbedaan maka elemen kontrol akan mengirimkan sinyal kontrol ke rangkaian trigger.
8. Rangkaian trigger ini akan memberikan sudut penyulutan sesuai dengan perintah elemen kontrol kepada penyearah dan inverter sehingga keluaran inverter berubah.

Proses ini terus berlanjut sampai tercapai putaran motor sama dengan yang dikehendaki (*setpoint*).

4.2.6 Persiapan, Pengoperasian dan Pemeriksaan Pengendali Elektronika Daya

Seperti yang telah dibahas pada bagian sebelumnya bahwa pengendali elektronika daya memungkinkan dilakukannya pengaturan daya listrik dalam bermacam-macam cara guna memenuhi kebutuhan. Peralatan ini tergolong modern dan mahal. Oleh karena itu, dalam pemakaiannya membutuhkan pengetahuan dan keterampilan yang sangat memadai. Pengetahuan tentang konsep dan prinsip seperti yang telah diuraikan di atas, baik yang terkait dengan komponen-komponen, seperti dioda, thyristor, diac dan triac, maupun unit seperti penyearah tak terkendali, penyearah terkendali dan juga pengatur listrik ac. Tanpa pengetahuan dasar dan konsep yang memadai adalah mustahil untuk dapat menggunakan pengendali elektronika daya dengan baik.

Di samping konsep-konsep dasar, ada tiga kemampuan penting yang harus Anda miliki untuk dapat menggunakan peralatan ini dengan baik, yaitu: persiapan, pengoperasian dan pemeriksaan. Langkah persiapan perlu dilakukan untuk menyakinkan bahwa komponen dan rangkaian berada dalam keadaan baik dan aman. Kemampuan pengoperasian merupakan kemampuan yang harus dimiliki oleh setiap teknisi di lapangan sedangkan kemampuan pemeriksaan sebagai dasar seseorang untuk mengevaluasi performa suatu sistem dan juga mencari kesalahan (*trouble-shooting*) yang terjadi pada sistem.

4.2.6.1 Persiapan Pengendali Elektronika Daya

Dalam mempersiapkan pengendali elektronika daya, ada beberapa hal yang harus Anda lakukan, di antaranya memahami spesifikasi alat, dan mengetahui kondisi alat.

- **Spesifikasi alat**
Setiap alat pasti dilengkapi dengan spesifikasi kerja alat yang memberitahukan kepada para pengguna alat tentang kondisi-kondisi kerjanya sehingga dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan penggunaan alat dan kondisi kerjanya. Spesifikasi kerja yang sangat penting dari pengendali elektronika daya, minimal harus meliputi: jenis (penyearah, tak terkendali, terkendali, regulator ac, dan lain-lain), tegangan masukan, tegangan dan daya keluaran alat. Sebagai contoh: penyearah fasa tiga tidak terkendali mempunyai tegangan masukan fasa tiga 380 V ac, tegangan keluaran 400 V dan daya keluaran 5 kW. Ini memberitahu kita bahwa alat ini bila diberi sumber fasa-tiga 380 V, akan memberikan tegangan keluaran 400 V dc dan daya nominal 5 kW.

Contoh lain misalnya, alat pengatur ac (ac regulator) fasa tunggal mempunyai spesifikasi sebagai berikut: tegangan masukan 220 V, 50 Hz, tegangan keluaran 0-220 V ac dan daya nominal 1 kW. Ini menunjukkan kepada kita bahwa alat tersebut kalau diberi tegangan masukan 220 V akan memberikan tegangan keluaran yang bisa diatur mulai dari nol (0) sampai dengan 220 V ac dengan daya sampai dengan 1 kW.

- **Pengecekan fungsi alat**
Setelah diketahui spesifikasi alat, langkah berikutnya adalah pemerik-

saan fungsi alat. Pemeriksaan fungsi ini dilakukan dengan melakukan pengukuran pada tegangan keluarannya setelah alat dihubungkan ke sumbernya. Sebagai contoh seperti untuk alat penyearah. Setelah dihubungkan ke sumber tegangan, tegangan keluaran bisa diukur dengan voltmeter. Bila tegangan keluarannya 400 V dc maka alat dapat dikatakan berfungsi dengan baik.

4.2.6.2 Pengoperasian pengendali elektronika daya

Setelah dilakukan persiapan seperti yang telah dijelaskan di atas, kita sampai pada tahap pengoperasian. Agar dapat mengoperasikan alat, kita harus telah memiliki pemahaman tentang prinsip kerja alat yang akan dioperasikan dan memahami petunjuk operasi alat.

- **Pemahaman prinsip kerja alat**
Pemahaman terhadap prinsip kerja alat yang akan dioperasikan merupakan modal utama dalam pengoperasiannya. Dengan mengetahui prinsip kerja alat, kita telah mempunyai bayangan tentang apa yang akan terjadi di dalam alat bila kita mengoperasikannya. Ini juga akan sangat membantu dalam pengoperasian alat secara aman dan optimal.
- **Pemahaman petunjuk operasi alat**
Setiap alat selalu memiliki petunjuk operasi yang dibuat oleh pabrik pembuatnya. Walaupun kita sudah mempunyai pengetahuan yang memadai tentang alat tersebut, kita tetap harus mempelajari petunjuk operasi alat tersebut. Petunjuk operasi ini disusun oleh pabrik pembuat alat berdasarkan pengetahuan dan pengalaman yang dimilikinya, baik yang terkait aspek kea-

manan alat dan keselamatan manusia. Indikator kompetensi seseorang dalam mengoperasikan alat adalah berdasarkan petunjuk operasi alat. Petunjuk operasi dari pabrik bisa dimodifikasi atau disederhanakan sesuai dengan kebutuhan.

- Pemahaman terhadap operasi alat yang dikendalikan
Sebagai contoh, suatu pengatur listrik ac fasa satu aka digunakan untuk mengoperasikan motor induksi fasa satu. Sebagaimana yang telah diketahui bahwa arus asut motor (starting current) beberapa kali lipat arus nominalnya. Oleh karena itu, dalam pengendalian motor ini kita tidak boleh memulai dengan tegangan nominalnya, namun perlu dilakukan pengaturan tegangan secara bertahap melalui knob pengatur yang ada pada pengendali elektronika daya, yang dalam hal ini adalah dengan mengatur sudut penyalan thyristor atau triac, misalnya. Jadi, di samping operasi alat kendalinya, pemahaman terhadap beban yang akan dikendalikan juga penting untuk menghindari kondisi yang membahayakan baik bagi alat pengendalinya maupun alat yang dikendalikannya.

4.2.6.3 Pemeriksaan pengendali elektronika daya

Untuk mengetahui kebenaran kerja dari penyearah ini perlu dilakukan pemeriksaan sebagai berikut:

- Periksa tegangan keluaran dengan menggunakan voltmeter dc/ac. Bila tegangan keluaran sesuai dengan tegangan yang dikehendaki berarti rangkaian bekerja dengan baik seperti yang telah dijelaskan pada tahap persiapan pada bagian pengecekan fungsi alat. Namun bila tidak maka perlu pemeriksaan lebih

lanjut pada rangkaian dan komponen-komponennya.

- Pemeriksaan lebih akurat dapat dilakukan dengan menggunakan osiloskop pada tegangan keluaran (perhatikan cara pemakaian osiloskop). Jika tegangan keluaran tidak sesuai dengan yang seharusnya (biasanya lebih rendah), perlu dilakukan pada rangkaian. Atau bila dilakukan dengan osiloskop maka akan dapat diketahui bentuk gelombang tegangan keluaran. Atas dasar bentuk gelombang keluaran ini dapat diketahui bagian mana yang tidak bekerja dengan baik. Untuk dapat menganalisis secara cermat terhadap permasalahan ini perlu pemahaman terhadap konsep pengendali elektronika daya.
- Bila sudah diketahui permasalahan baru diidentifikasi permasalahan-permasalahan yang ada pada rangkaian. Permasalahan-permasalahan yang sering terjadi adalah sebagai berikut:
 1. Jumlah pulsa atau gelombang keluaran tidak lengkap. Bila kita menjumpai hal seperti ini, maka perlu diperiksa: sumber tegangan masukan, sekering pengaman rangkaian/komponen, kabel-kabel dan koneksinya, komponen elektronika daya seperti dioda thyristor, atau lainnya, dan pengendali yang memiliki rangkaian penyulut (rangkaian trigger) perlu diperiksa rangkaian trigger-nya. Pemeriksaan rangkaian trigger memerlukan pengetahuan tentang rangkaian trigger dan sistem pembangkitan pulsa trigger-nya. Bila salah satu komponen ini tidak dalam keadaan baik, sudah dapat

- dipastikan bahwa rangkaian tidak akan bekerja dengan baik.
2. Panas pada bagian-bagian rangkaian. Suhu panas yang berlebihan identik dengan ketidaknormalan kerja rangkaian. Panas ini bisa akibat dari longgarnya sambungan, arus lebih, atau sistem pendinginannya yang tidak memadai. Longgarnya sambungan menimbulkan efek pengelasan pada terminal-terminal sambungannya sehingga menimbulkan efek panas yang berlebih. Bila ini berjalan dalam waktu lama bisa membahayakan komponen-komponen semikonduktornya dan bahkan bisa menimbulkan bahaya kebakaran. Panas akibat arus beban lebih ini bisa diakibatkan oleh permasalahan pada beban dan bisa juga akibat dari kapasitas daya alat yang lebih rendah dari yang diserap oleh beban. Namun bila alat pengamanannya sesuai dengan kemampuan alat seharusnya hal ini sudah dapat diatasi melalui pemutusan alat pengaman.

Sistem pendinginan sangat berperan pada performa kerja alat. Sistem pendinginan bisa berupa heatsink dan atau fan. Heatsink biasanya dipilih berdasarkan kapasitas komponen semikonduktor yang digunakan. Oleh karena itu permasalahan terbesarnya adalah pada faktor rekatannya dengan komponen semikonduktornya. Untuk pendinginan yang menggunakan fan dapat dengan mudah diketahui bekerja tidaknya.

3. Thyristor tidak dapat dikendalikan. Bila menjumpai unit pengendali elektronika daya, ketika dihidupkan, tegangan keluarannya langsung tinggi, maka perlu diperiksa pulsa trigger dan rangkaian snubbernya. Pengaturan pulsa trigger langsung pada sudut penyalan nol akan menyebabkan tegangan keluaran langsung tinggi. Permasalahan ini bisa terjadi akibat kegagalan pada rangkaian triggernya (lihat Gambar 4.48). Rangkaian snubber (Gambar 4.31) digunakan untuk membatasi agar tingkat kenaikan tegangan awal dv/dt rangkaian tidak melampaui dv/dt thyristor. Jika dv/dt komponen terlampaui maka thyristor akan langsung "on" dan tidak bisa dikendalikan lagi. Rusaknya rangkaian snubber biasanya adalah karena umur. Biasanya ditandai dengan pecahnya kapasitornya.

Demikianlah persiapan yang perlu dilakukan sebelum, pengoperasian pengendali elektronika daya. Pengoperasian perlu mengikuti petunjuk operasi alat dan bila terjadi ketidaknormalan kerja alat bisa dilakukan pemeriksaan terhadap fungsi komponen-komponen rangkaian pengendali elektronika daya.

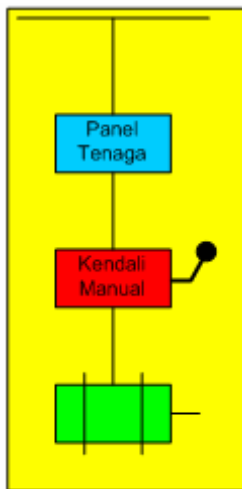
4.3 Sistem Pengendalian Motor

Tahapan mengoperasikan motor pada dasarnya dibagi menjadi 3 tahap, yaitu :

- Mulai Jalan (*starting*)
Untuk motor yang dayanya kurang dari 4 KW, pengoperasian motor dapat disambung secara langsung (*direct on line*). Sedangkan untuk daya yang besar pengasutannya dengan pengendali awal motor (*motor starter*) yang bertujuan untuk meredam arus awal yang besarnya 5 sampai 7 kali arus nominal.
- Berputar (*running*)
Beberapa saat setelah motor mulai jalan, arus yang mengalir secara bertahap segera menurun ke posisi arus nominal. Selanjutnya motor dapat dikendalikan sesuai kebutuhan, misalnya dengan pengaturan kecepatan, pembalikan arah perputaran, dan sebagainya.
- Berhenti (*stopping*)
Tahap ini merupakan tahap akhir dari pengoperasian motor dengan cara memutuskan aliran arus listrik dari sumber tenaga listrik, yang prosesnya bisa dikendalikan sedemikian rupa (misalnya dengan pengereman / *break*), sehingga motor dapat berhenti sesuai dengan kebutuhan.

Jenis kendali motor ada 3 macam, yaitu :

• Kendali Manual

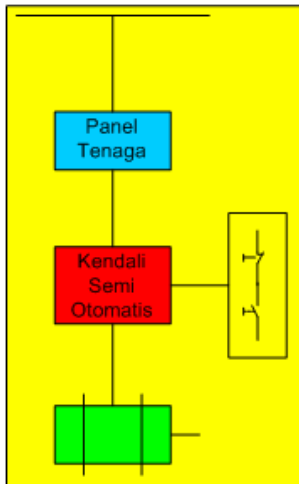


Instalasi listrik tenaga pada awalnya menggunakan kendali motor konvensional secara manual. Untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik digunakan saklar manual mekanis, diantaranya adalah saklar togel (*Toggle Switch*).

Saklar ini merupakan tipe saklar yang sangat sederhana yang banyak digunakan pada motor-motor berdaya kecil. Operator yang mengoperasikannya harus mengeluarkan tenaga otot yang kuat.

Gambar 4.59 Kendali motor manual

- **Kendali Semi Otomatis**

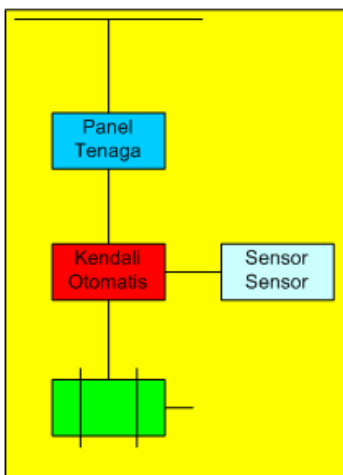


Pada kendali semi otomatis, kerja operator sedikit ringan (tidak mengeluarkan tenaga besar), cukup dengan jari menekan tombol tekan *start* saat awal menggerakkan motor dan menekan tombol *stop* saat menghentikan putaran motor.

Untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik menggunakan konduktor magnet, yang bisa dilengkapi rele pengaman arus lebih (*Thermal Overload Relay*) sebagai pengaman motor.

Gambar 4.60 Kendali motor Semi otomatis

- **Kendali Otomatis**



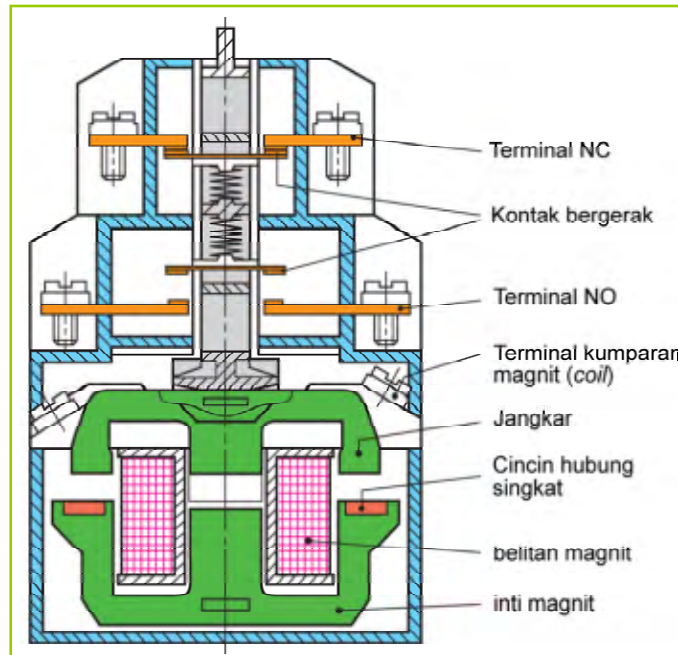
Dengan kendali otomatis, kerja operator semakin ringan, yaitu cukup memonitor kerja dari sistem, sehingga dapat menghemat energi fisiknya.

Deskripsi kerja dari sistem kendali otomatis dibuat dengan suatu program dalam bentuk rangkaian konduktor magnet yang dikendalikan oleh sensor-sensor, sehingga motor dapat bekerja maupun berhenti secara otomatis.

Gambar 4.61 Kendali motor otomatis

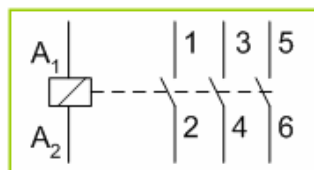
4.3.1 Kontaktor Magnet

Kontaktor merupakan saklar daya yang bekerja berdasarkan kemagnitan. Bila koil (kumparan magnet) dialiri arus listrik, maka inti magnet menjadi jangkar, sekaligus menarik kontak-kontak yang bergerak, sehingga kontak NO (*normally open*) menjadi sambung, dan kontak NC (*normally close*) menjadi lepas.



Gambar 4.62 Kontaktor magnet

Gambar di samping adalah kontaktor magnet arus bolak-balik, pada inti magnet dipasang cincin hubung singkat dengan tujuan agar jangkar saat ditarik inti magnet tidak bergetar yang menimbulkan bunyi dengung (karena pada arus bolak-balik frekuensi 50 Hz, berarti dalam 1 detik inti magnet menarik dan mele-pas jangkar sebanyak 50 periode, sehingga menimbulkan getaran).

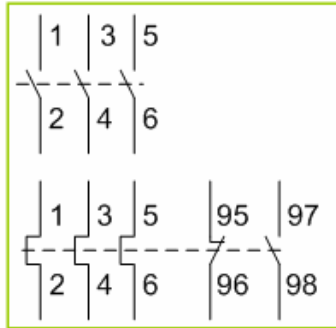


Gambar 4.63 Simbol kontaktor magnet

Simbol koil konduktor magnet seperti pada gambar di samping dengan terminal kumparan A₁ dan A₂ yang disambungkan pada rangkaian kontrol. Sedangkan pada bagian sebelah kanan adalah kontak-kontak sebagai saklar daya yang berfungsi untuk mengalirkan arus beban yang relatif besar.

Terminal 1, 3, dan 5 disambungkan ke sumber jaringan 3 fasa dan terminal 2, 4, dan 6 disambungkan ke beban (motor).

4.3.2 Kontak Utama dan Kontak Bantu



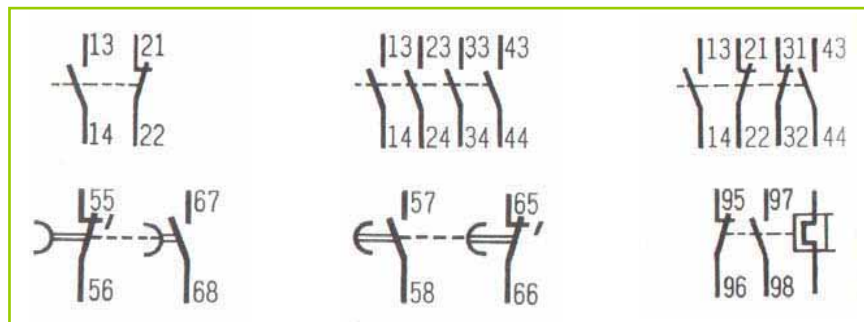
Gambar 4.64 Kontak Utama dan TOR

Berdasarkan fungsinya, kontak-kontak pada kontaktor magnetik ada 2 macam, yaitu kontak utama dan kontak bantu.

Kontak Utama :

Konstruksi kontak-kontaknya dimensinya lebih luas dan tebal, sehingga mampu dialiri arus listrik yang relatif besar (arus beban). Terminal keluarnya yang ke beban (2, 4, dan 6) bisa disambungkan ke rele pengaman arus lebih (*Thermal Overload Relay*).

Kontak Bantu :



Gambar 4.65 Kontak-kontak Bantu

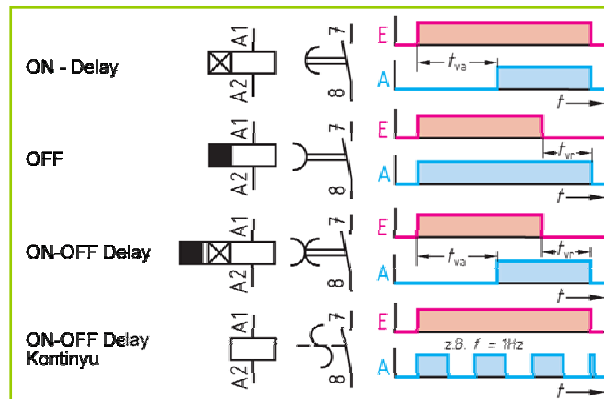
Konstruksi kontak-kontaknya berdimensi lebih sempit dan tipis, karena arus yang melaluinya relatif kecil (arus untuk rangkaian kontrol). Penulisan terminal kontak-kontak bantu pada kontaktor magnetik ditulis dengan angka dan digit, yaitu untuk kontak-kontak *NC*, digit kedua dari terminal-terminalnya dengan angka 1 dan 2 untuk kontak-kontak *NO*, digit kedua dari terminal-terminalnya dengan angka 3 dan 4.

Sedangkan kontak-kontak bantu untuk fungsi tertentu (misal dengan *timer*), kontak-kontak *NC*, digit kedua dengan angka 5 – 6. dan untuk kontak-kontak *NC* nya, digit kedua dengan angka 7 – 8.

Penulisan kontak bantu *NC* maupun *NO* sebagai berikut :

- Untuk kontak bantu biasa
 - NC* .1 - .2
 - NO* .3 - .4
- Untuk kontak bantu dengan fungsi tertentu
 - NC* .5 - .6
 - NO* .7 - .8

4.3.3 Kontaktor Magnet dengan Timer



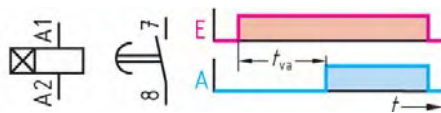
Gambar 4.66 Kontaktor Magnet dan Timer

Untuk memenuhi diskripsi kerja dari suatu rangkaian terprogram (misal untuk mengendalikan beberapa motor dengan waktu kerja yang berbeda / berurutan), maka diperlukan alat penunda waktu kerja kontak (*timer*) yang bekerja sama dengan kontaktor magnet.

Dari gambar di samping dari atas ke bawah berturut-turut adalah :

1. kontaktor magnet dengan waktu tunda hidup (*on delay*)
2. kontaktor magnet dengan waktu tunda mati (*off delay*)
3. kontaktor magnet dengan waktu tunda kombinasi hidup-mati
4. kontaktor magnet dengan waktu tunda hidup-mati kontinyu

4.3.3.1 Kontaktor Magnet dengan Waktu Tunda Hidup (On Delay)



Gambar 4.67 Timer on Delay

Dari gambar di samping, *timer on delay* diset pada t_{va} , sehingga bila kontaktor magnet aktif, kontak bantu NO-nya akan merespon (bergerak ke kanan / terminal 7 – 8 akan sambung) setelah waktu t_{va} , dan akan lepas bila kontaktor magnet tidak bekerja.

Untuk mudah mengingat, perhatikan pada tanda " (" seperti payung. Bila tuas bergerak ke kanan, payung akan menahan / menunda gerakan tersebut.

4.3.3.2 Kontaktor Magnet dengan Waktu Tunda Mati (Off Delay)

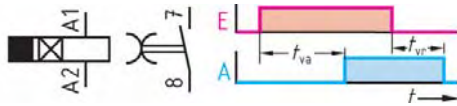


Gambar 4.68 Timer Off Delay

Timer off delay diset pada t_{vr} . Bila kontaktor magnet aktif, maka kontak bantu NO langsung aktif juga (terminal 7 – 8 sambung). Selanjutnya bila kontaktor magnet tidak aktif, kontak bantu NO tetap aktif sampai waktu t_{vr} (waktu t_{vr} adalah waktu tunda dari kontaktor magnet tidak aktif sampai dengan kontak bantu NO lepas).

Perhatikan dalam gambar saat tuas bergerak ke kiri terlihat adanya payung ") ".

4.3.3.3 Kontaktor Magnet dengan Waktu Tunda Kombinasi Hidup-Mati



Gambar 4.69 Kontaktor magnet dengan waktu tunda kombinasi hidup-mati

Bila *timer on delay* diset pada t_{va} dan *timer off delay* diset pada t_{vr} , maka kontak bantu NO akan aktif setelah waktu t_{va} dari mulainya kontaktor magnet aktif.

Dan akan lepas setelah waktu t_{vr} dari tidak aktifnya kontaktor magnet.

Perhatikan pada gambar, gerakan tuas ke kanan maupun ke kiri akan tertahan dengan adanya tanda payung " (" dan ") ".

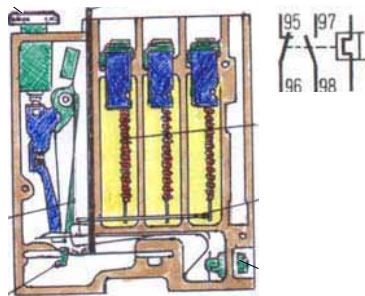
4.3.3.4 Kontaktor Magnet dengan Waktu Tunda Hidup-Mati Kontinyu



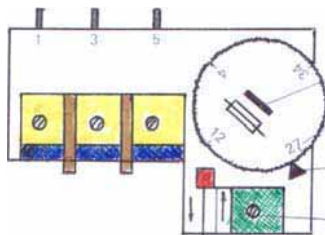
Gambar 4.70 Kontaktor magnet dengan waktu tunda hidup-mati kontinyu

Pada *timer* ini dapat diatur di frekuensi tertentu, misalnya 1 Hz. Bila kontaktor magnet aktif, maka kontak bantu NO akan langsung aktif sambung-lepas / hidup-mati secara periodik / kontinyu sampai dengan kontaktor magnet tidak aktif.

4.3.4 Rele Pengaman Arus Lebih (Thermal Overload Relay)



Gambar 4.71 Konstruksi TOR



Gambar 4.72 Permukaan TOR

Rele pengaman arus lebih merupakan pengamanan motor akibat adanya arus lebih/ beban lebih. Beberapa penyebab terjadinya beban lebih antara lain :

- Arus *start* yang terlalu besar
- Beban mekanik motor terlalu besar
- Motor berhenti secara mendadak
- Terbukanya salah satu fasa dari saluran motor 3 fasa
- Terjadinya hubung singkat

TOR dipasang secara seri dengan kontak utama kontaktor magnet. Pada gambar bimetal dialiri arus utama. Jika terjadi arus lebih, maka bimetal akan membengkok dan secara mekanis akan mendorong kontak bantu NC 95-96. Oleh karena dalam prakteknya kontak bantu NC 95-96 disambung seri pada rangkaian koil kontaktor magnet, maka jika NC lepas, koil kontaktor tidak ada arus, kontaktor magnet tidak aktif dan memutuskan kontak utama.

Nilai pengaman arus lebih ini bisa diset dengan mengatur jarak pendorong kontak. Dalam prakteknya pada permukaan rele pengaman arus lebih terdapat bidang kecil yang berbentuk lingkaran, yang tengahnya bisa diputar dengan obeng minus. Juga terdapat tombol tekan untuk mereset.

4.3.5 Mengoperasikan dan Memelihara Sistem Pengendali Elektromagnetik

Dalam sistem pengendali elektromagnetik ada dua diagram gambar yang sering digunakan, yaitu diagram kontrol dan diagram daya.

Yang termasuk diagram kontrol antara lain :

- Pengaman arus kontaktor magnetik : sekering / MCB (kecil).
- Tombol tekan stop.
- Tombol tekan start : tombol kunci start, dll.
- Koil konduktor magnetik.
- Kontak-kontak bantu kontaktor magnetik NO, NC.
- Kontak-kontak bantu timer NO, NC.
- Kontak-kontak bantu TOR.
- Lampu tanda.

Arus yang mengalir pada rangkaian ini relatif kecil, karena beban listrik pada rangkaian ini adalah koil kontaktor magnetik saja.

Sedangkan yang termasuk diagram daya antara lain :

- Pengaman arus beban : sekering / MCB.
- Kontak-kontak utama kontaktor magnetik.
- Kontak-kontak pengaman arus lebih (TOR).
- Terminal-terminal transformator.
- Terminal-terminal resistor.
- Terminal-terminal induktor.
- Terminal-terminal kapasitor kompensasi.
- Terminal-terminal belitan motor / beban lainnya.

Selanjutnya secara berturut-turut diuraikan pengoperasian sistem pengendali elektromagnetik dengan diagram kontrol dan diagram daya pada kendali motor masing-masing sebagai berikut :

1. Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor langsung (Direct on line)
2. Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor langsung dengan TOR
3. Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor putar kanan-kiri
4. Diagram kontrol dan diagram daya pengendali starter motor dengan pengasutan $Y - \Delta$
5. Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali starter motor dengan pengasutan autotrafo
6. Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali starter motor rotor lilit dengan pengasutan resistor

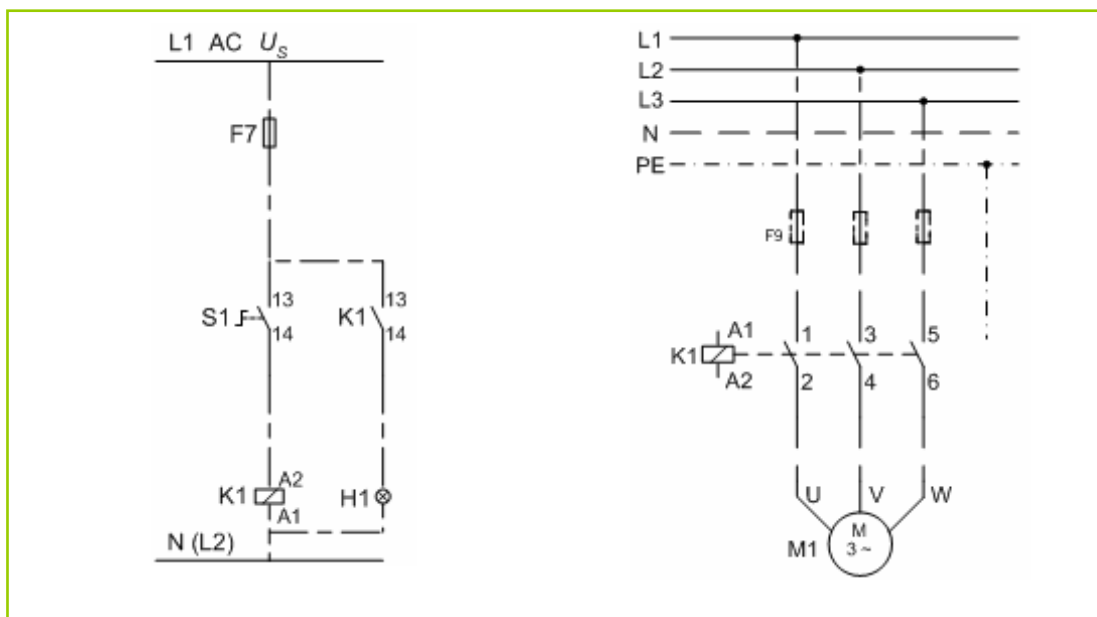
7. Diagram kontrol dan diagram daya pengendali motor dua kecepatan
8. Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor Dahlander

4.3.5.1 Pengendali motor langsung (Direct on line)

Pengendali DOL digunakan untuk motor-motor berkapasitas kecil (dibawah 4 kVA). Untuk mengoperasikan motor, cukup sederhana, yaitu dengan memutar saklar putar S1 ke posisi “on”, sehingga ada arus listrik pada “coil” K1 dan kontaktor menghubungkan jaringan dengan motor.

Motor berputar disertai kontak K1 menyambung, sehingga lampu tanda H1 menyala. Bila pada rangkaian motor terjadi hubung singkat, maka sekering F7 akan putus, sehingga motor berhenti. Sedangkan dalam kondisi normal, untuk menghentikan motor dengan memutar saklar S1 ke posisi “off”.

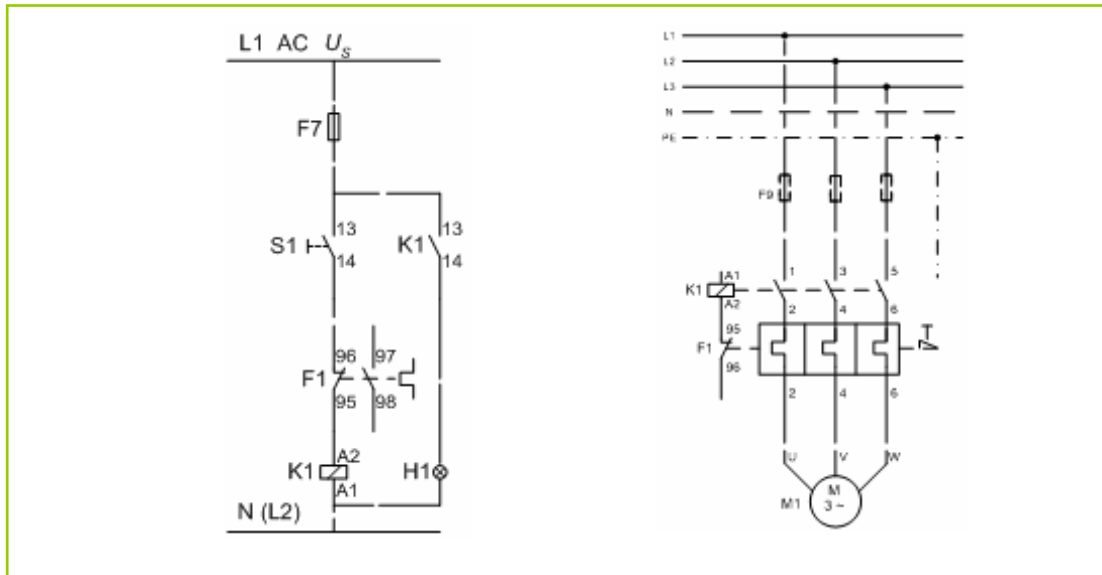
Untuk memelihara pengendali motor ini, rangkaian pengendalinya dikelilingi panel, sehingga bebas dari debu ataupun percikan air. Secara berkala yang perlu dilakukan untuk pemeliharaan antara lain semua sambungan pada terminal jangan sampai ada yang kendur, dan juga permukaan kontaktor dijaga tetap bersih dengan menyemprotkan “*contact cleaner*”.



Gambar 4.73
Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor langsung (Direct on line)

4.3.5.2 Pengendali Motor Langsung Dengan TOR

Pengendali motor ini hampir sama dengan Pengendali Motor Langsung (DOL), hanya yang membedakan adalah adanya tambahan pengaman arus lebih TOR (*Thermal Overload Relay*). Jadi pengaman arusnya ada dua yaitu pengaman arus lebih oleh TOR dan pengaman arus hubung singkat oleh F7. Rangkaian TOR disambungkan secara seri pada saklar magnet. Bila ada arus lebih, maka bimetal TOR menjadi panas dan melengkung, sehingga kontak NC F1 dan aliran arus listrik coil magnet terputus. Dengan demikian kontak saklar magnet lepas dan motor berhenti.



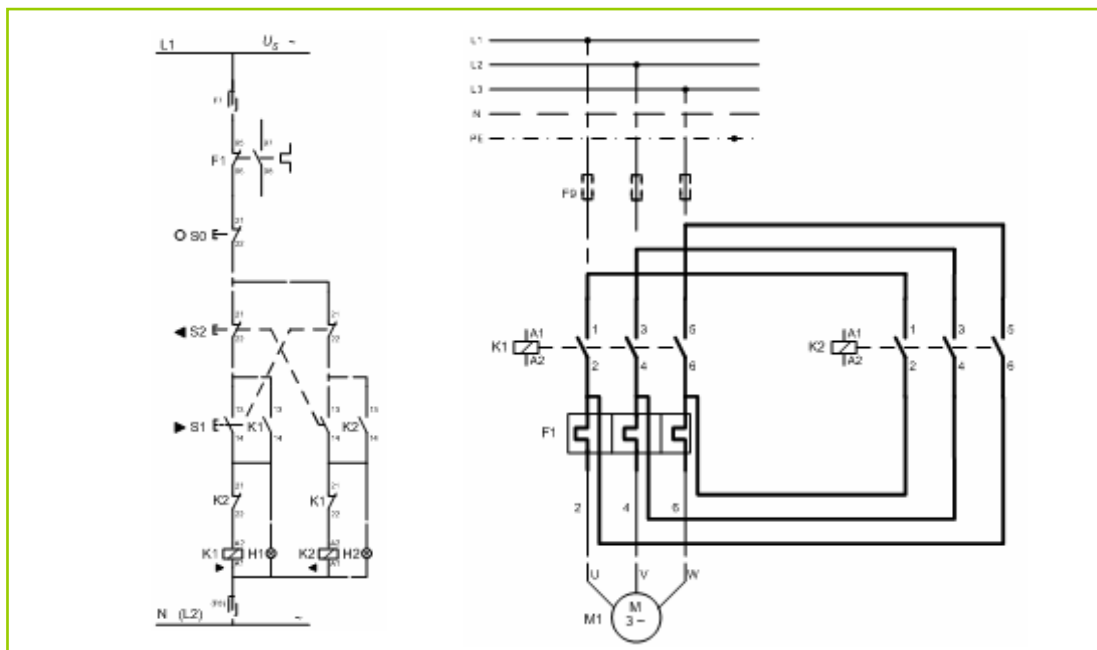
Gambar 4.74
Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor langsung dengan TOR

4.3.5.3 Pengendali Motor Putar Kanan-Kiri

Bila saklar S1 ditekan, maka coil k1 aktif karena adanya aliran arus ke coil. Saklar magnet bekerja dan putaran motor kearah kanan. Untuk menghentikan motor ada dua, yaitu kemungkinan pertama adanya gangguan / arus lebih sehingga F1 lepas dan k1 trip, atau memang sengaja dihentikan dengan menekan tombol SO. Arah putaran motor berbalik menjadi kearah kiri jika tombol S2 ditekan. Pembalik arah putaran ini dikendalikan oleh 2 saklar magnet. Saklar magnet K1 menghubungkan L1 – U ; L2 – V ; L3 – W, sehingga motor berputar ke kanan. Sedangkan saklar magnet K2 menghubungkan L1 – W ; L2 – V ; L3 – U, sehingga motor bergerak ke kiri.

Untuk mengantisipasi kejadian hubung singkat pada rangkaian pengendali, maka saat S1 ditekan (sambung), maka rangkaian yang ke K2 terputus akibat kontak NC dari S1 yang dihubung seri kondisi lepas. Demikian juga sebaliknya, saat S2

ditekan, kontak NC yang disambung seri pada K1 akan lepas. Pengendali motor ini diproteksi pengaman arus hubung singkat F9 dan pengaman arus lebih TOR F1.



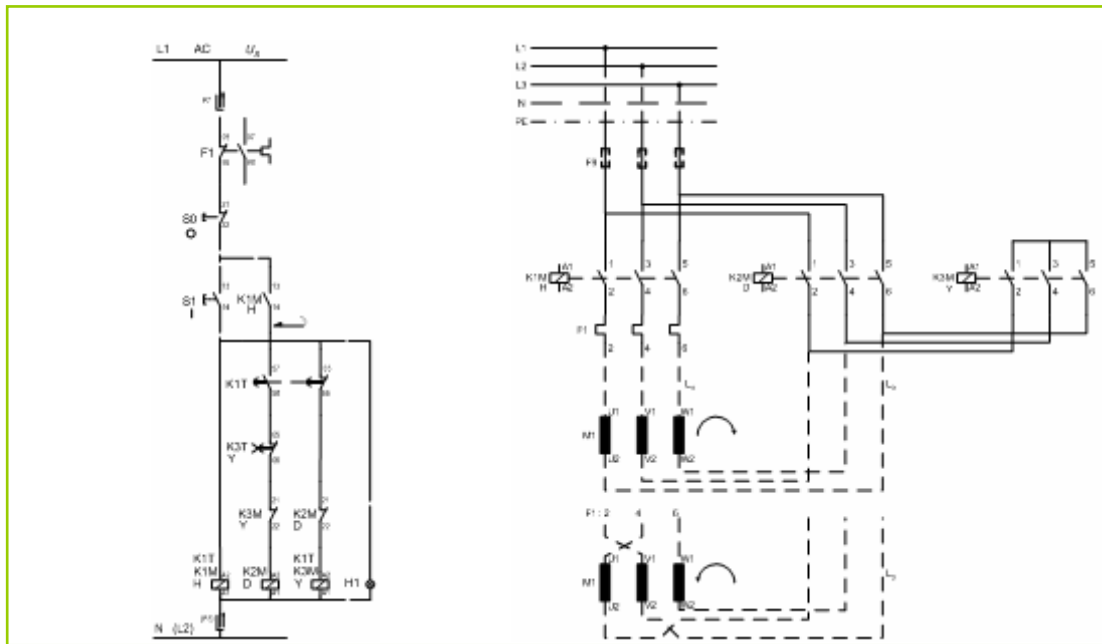
Gambar 4.75

Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali motor putar kanan-kiri

4.3.5.4 Pengendali Starter Motor Dengan Pengasutan Y – Δ

Pada motor-motor yang berdaya besar (khususnya lebih besar dari 4kVA), untuk mengurangi kejutan pada saat start, salah satu peredamnya dengan menggunakan kendali Y – Δ . Saklar magnet k1M berfungsi untuk menghubungkan L1 – V ; L2 – V ; L3 – W, (dengan kondisi putaran motor ke kanan jika k2M / k3M bekerja) atau menghubungkan L1 – V1 ; L2 – V1 ; L3 – W3 (dengan kondisi putar motor ke kiri jika k2M / k3M bekerja). K1M dikopel dengan timer K1T yang bias diset satuan waktu (missal 7 detik). Saklar magnet k2M berfungsi untuk hubung bintang / Y yaitu menghubungkan U2 – V2 – V3 sebagai titik bintang. Sedangkan k2M berfungsi untuk menghubungkan U2 – W1 ; V2 – U1 ; dan W2 – V1.

Saat S1 ditekan, maka yang bekerja k1M dan k3M (hubung Y) dan lampu tanda H1 menyala. Setelah 7 detik k1T bekerja sehingga k2M bekerja (hubung Δ) dan k3M lepas karena kontak NC k1T setelah 7 detik lepas dan memutus rangkaian k3M. Untuk mengantisipasi agar k2M dan k3M tidak bekerja bersamaan, maka di kontak NC k3M dirangkai seri k2M dan kontak NC k2M dirangkai seri dengan k3M.



Gambar 4.76

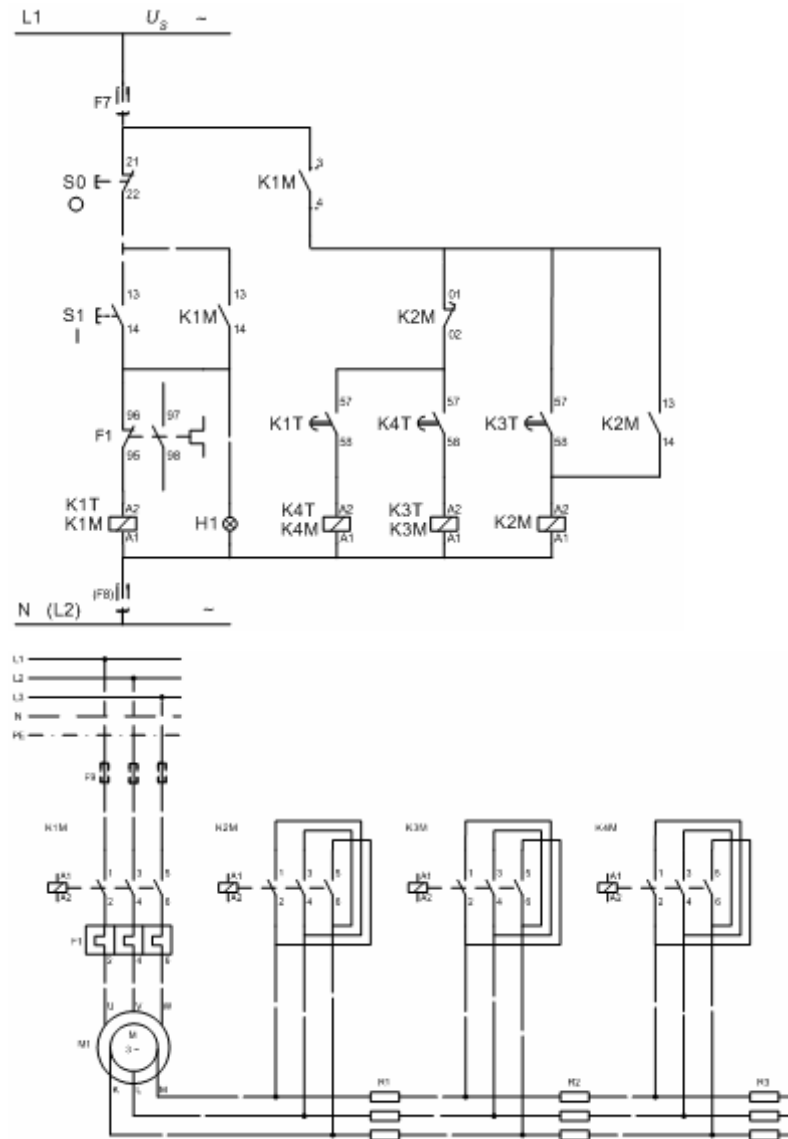
Diagram kontrol dan diagram daya pengendali starter motor dengan pengasutan Y – Δ

4.3.5.5 Pengendali Starter Motor Rotor Lilit Dengan Pengasutan Resistor

Untuk mengendalikannya diperlukan 4 buah saklar magnet. Saklar magnet K1M berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke belitan stator yaitu L1 – U ; L2 – V ; L3 – W. Dalam gambar ini resistor yang digunakan ada 4 tahap. Saklar magnet k2M/k3M/k4M masing-masing berfungsi untuk mengatur arus rotor dari k1M secara bertahap.

Pengaturan kontaknya masing-masing dengan timer yaitu kerja k4M diatur oleh timer k1T, saklar magnet k3M oleh k4T dan saklar magnet k2M diatur oleh k3T. jika masing-masing timer diatur bekerja dengan tanda waktu 7 detik, maka setelah S1 ditekan (posisi on) motor langsung bekerja dengan putaran lambat dan ada arus minimum pada rotor (k1M).

Setelah 7 detik, saklar magnet k4M bekerja karena kontak NO k1T sambung. Demikian seterusnya setelah 7 detik, k3M bekerja setelah kontak NO k4T sambung, k2M bekerja setelah kontak NO k3T sambung. Saat yang terakhir ini kondisi arus rotor dalam keadaan hubung singkat dan motor bekerja normal. Motor ini dapat berhenti secara otomatis bila terjadi arus lebih akibat kerja dari TOR atau terjadi hubung singkat, sehingga sekering F7 putus. Untuk menghentikan secara manual dengan menekan tombol SO.



Gambar 4.77
Diagram kontrol dan diagram daya Pengendali starter motor rotor lilit dengan pengasutan resistor

4.4 Elektro Pneumatik

4.4.1 Pendahuluan

Pneumatik mempunyai peranan yang penting dalam industri modern, penggunaannya meningkat seiring dengan perkembangan teknologi di dunia industri, khususnya di bidang teknologi kontrol instrument. Kata “PNEUMA” berasal dari bahasa Yunani kuno, yang berarti nafas atau angin. Istilah pneumatik berarti ilmu mengenai gerakan udara dan gejala-gejalanya dan elektro pneumatik merupakan gabungan fungsi antara gerakan udara dan aliran listrik.

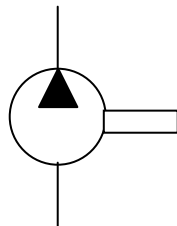
Modul ini memuat simbol-simbol pneumatik dasar dan metode yang sistematis untuk membuat rangkaian-rangkaian (*circuit*) dengan maksud untuk mendapatkan gambaran yang jelas dari pemakaiannya di industri.

4.4.2 Simbol-Simbol

4.4.2.1 Bagian Pensuplai

- **Kompresor**

Simbol :



Fungsi: Fungsi kompresor adalah untuk mensuplai udara bertekanan ke sistem kontrol pneumatik.

4.4.2.2 Bagian Aktuator (Penggerak)

- **Aktuator Linier**

1. **Silinder**

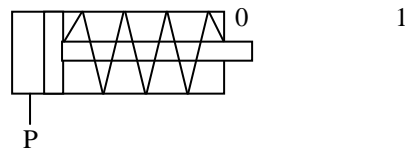
Fungsi: Untuk mengubah tekanan udara menjadi gerakan translasi dari batang piston.

Jenis Silinder

- a. **Single Acting Cylinder (SAC)**
Gerakan keluar dari batang piston dilakukan oleh udara bertekanan, sedangkan gerakan balik dilakukan oleh pegas.
- b. **Double Acting Cylinder (DAC)**
Gerakan keluar maupun gerakan balik dari batang piston dilakukan oleh udara bertekanan.

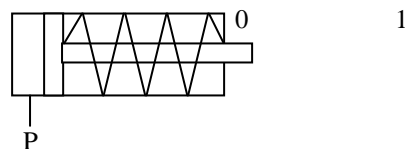
Simbol:

Single Acting Cylinder (SAC)



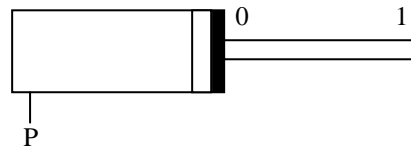
Prinsip kerja:

Pada kondisi normal posisi silinder seperti pada gambar di bawah ini, yaitu batang piston selalu berada pada posisi “0” karena adanya gaya dorong dari pegas.



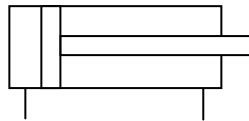
Apabila udara bertekanan dimasukkan ke lubang P maka gaya tekan udara akan mengalahkan gaya dorong pegas sehingga

batang piston akan bergerak dari posisi "0" ke posisi "1" seperti gambar berikut ini

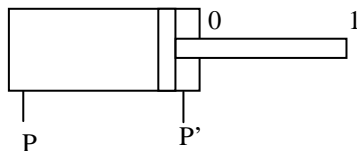
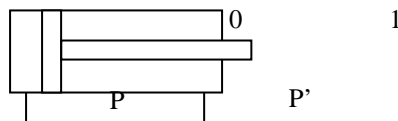


Apabila aliran udara bertekanan pada lubang P dihentikan maka posisi silinder kembali seperti gambar a karena mendapat gaya dorong dari pegas.

Simbol:
Double Acting Cylinder (DAC)



Prinsip kerja:
Kondisi normal silinder, batang piston bias terletak pada posisi "0" seperti gambar berikut (Gambar atas) atau terletak pada posisi "1" (Gambar bawah).



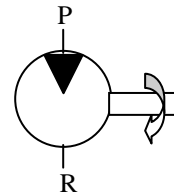
Apabila udara bertekanan dimasukkan ke lubang P maka piston akan bergerak dari posisi "0" ke

posisi "1" jika dalam keadaan normal piston berada pada posisi "0" (Gambar c). Sedangkan apabila udara bertekanan dimasukkan ke lubang P' maka piston akan bergerak dari posisi "1" ke posisi "0" apabila dalam keadaan normal piston berada pada posisi "1" (Gambar d).

• Aktuator rotasi

Fungsi : Untuk mengubah tekanan udara menjadi gerakan rotasi dari poros aktuator.

Simbol :



Prinsip kerja :
Aktuator rotasi (rotational actuator) pada hakekatnya adalah sama seperti turbin yang terdiri dari tiga komponen utama yaitu *casing*, *blade* (sudu) dan poros. Apabila udara bertekanan dialirkan ke lubang P maka udara akan mendorong sudu-sudu yang menempel pada poros sehingga poros akan berputar dan udara buangan akan keluar melalui lubang R.

4.4.2.3 Simbol-simbol untuk sambungan

A, B, C : Garis kerja
P : Persediaan udara, hubungan dengan udara kompresi (udara yang dimampatkan)
R, S, T : Saluran, titik pembuangan
L : Garis kebocoran

Z, Y, X : Garis-garis pengontrol

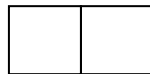
4.4.2.4 Katup

Katup digambarkan dengan segi empat, banyaknya segi empat menentukan banyaknya posisi yang dimiliki oleh sebuah katup.

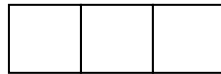
Contoh :



1 posisi



2 posisi



3 posisi

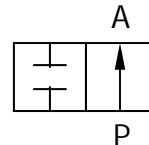


Tanda panah menunjukkan arah aliran udara



Huruf T mengindikasikan aliran udara tertutup

udara bertekanan ke dalam katup sedangkan lubang A adalah lubang keluaran udara dari dalam katup, dan katup tersebut mempunyai 2 posisi yaitu posisi tertutup (kotak sebelah kanan) dan posisi terbuka (kotak sebelah kiri) sedangkan pada posisi normal katup tersebut berada pada posisi tertutup (Kotak sebelah kanan alirannya tertutup).

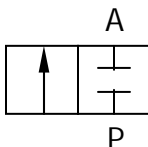


Katup 2/2 normal terbuka

Katup di atas mempunyai dua lubang yaitu lubang P dan lubang A dimana lubang P adalah tempat masuknya udara bertekanan ke dalam katup. Lubang A adalah lubang keluaran udara dari dalam katup, dan katup tersebut mempunyai 2 posisi yaitu posisi terbuka (kotak sebelah kanan) dan posisi tertutup (kotak sebelah kiri). Pada posisi normal katup tersebut berada pada posisi terbuka (terdapat anak panah dari P ke A menandakan aliran terbuka).

Penamaan katup ditentukan berdasarkan banyaknya lubang pada salah satu posisi per banyaknya posisi dalam setiap lubang juga posisi awal dari katup. Posisi normal katup selalu berada pada posisi sebelah kanan, sehingga simbol-simbol sambungan selalu diletakkan pada kotak sebelah kanan.

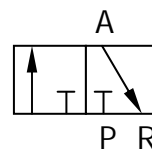
Contoh :



Katup 2/2 normal tertutup

Katup di atas mempunyai dua lubang yaitu lubang P dan lubang A dimana lubang P adalah tempat masuknya

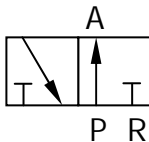
4.4.2.5 Katup pengontrol arah (directional control valve)



Katup 3/2, normal tertutup

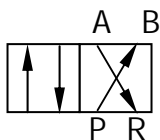
Katup di atas mempunyai tiga lubang yaitu lubang P, lubang A dan lubang R dimana lubang P adalah tempat masuknya udara bertekanan ke dalam katup sedangkan lubang A adalah lubang keluaran udara dari dalam katup yang akan dihubungkan ke komponen berikutnya dan Lubang R adalah lubang pembuangan udara ke atmosfer.

Katup tersebut mempunyai 2 posisi yaitu posisi tertutup (kotak sebelah kanan) dan posisi terbuka (kotak sebelah kiri) sedangkan pada posisi normal katup tersebut berada pada posisi tertutup (karena aliran udara dari lubang P ke lubang A ditutup) sedangkan lubang A tersambung ke lubang pembuangan (R) artinya udara yang telah melakukan kerja dibuang melalui lubang A ke lubang R.



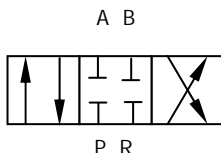
Katup 3/2, normal terbuka

Pada katup di atas antara lubang P ke lubang terbuka sedang lubang R tertutup.

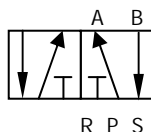


Katup 4/2

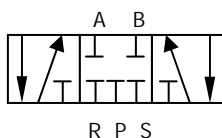
Katup di atas mempunyai 4 lubang dan 2 posisi



Katup 4/3, posisi tengah tertutup

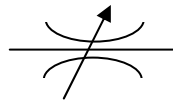


Katup 5/2



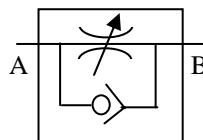
Katup 5/3, posisi tengah tertutup

4.4.2.6 Katup Pengontrol Aliran



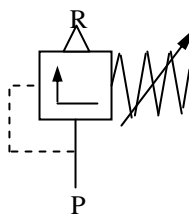
Katup penghambat dengan pembatas tetap (*throttle valve with constant restriction*)

Katup di atas berfungsi untuk membatasi laju aliran fluida yang masuk ke dalam silinder sehingga gerakan piston dalam silinder bisa diperlambat.



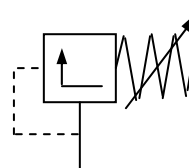
Katup pengontrol arus searah dapat distel

Katup di atas berfungsi untuk membatasi atau mengontrol laju aliran fluida tetapi hanya satu arah saja, aliran dari lubang A ke lubang B bisa dikontrol sedang aliran sebaliknya dari lubang B ke lubang A tidak bisa dikontrol.



Katup pembatas tekanan dapat distel

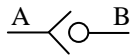
Katup di atas berfungsi untuk membatasi tekanan dengan cara mengatur laju udara pembuangan.



Katup pembatas tekanan dapat distel tanpa pembuangan

Katup di atas berfungsi untuk membatasi tekanan dengan cara mengatur laju udara yang mengalir ke system pneumatik.

4.4.2.7 Katup-katup yang tidak dapat dibalik.

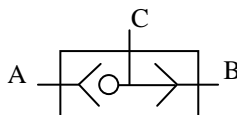


Katup aliran searah tanpa pegas
(*check valve without spring*)

Katup di atas berfungsi untuk menyearahkan aliran, udara bertekanan hanya bisa mengalir dari lubang A ke lubang B tapi sebaliknya aliran dari lubang B ke lubang A terhambat. Fungsi dari katup mirip dengan fungsi diode pada peralatan elektronika yaitu menyearahkan arus



Katup aliran searah berpegas
(*check valve with spring*)



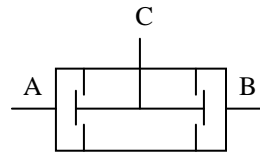
Katup gerbang OR
(*shuttle valve (OR Gate)*)

Katup diatas berfungsi sebagai gerbang OR sama seperti gerbang OR pada komponen elektronika digital yang cara kerjanya bisa disimpulkan pada table kebenaran seperti berikut :

A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1

1	1	1
---	---	---

Keterangan : "0" menunjukkan tidak ada aliran udara dan "1" menunjukkan ada aliran udara

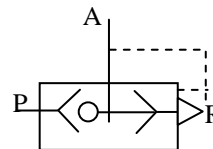


Katup tekanan ganda (katup gerbang AND)
(*Two pressure valve (AND gate)*)

Katup di atas berfungsi sebagai gerbang AND sama seperti gerbang AND pada komponen elektronika digital yang cara kerjanya bisa disimpulkan pada table kebenaran seperti berikut:

A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Keterangan : "0" menunjukkan tidak ada aliran udara dan "1" menunjukkan ada aliran udara



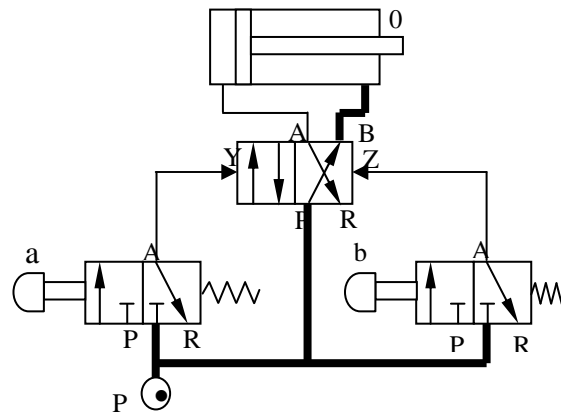
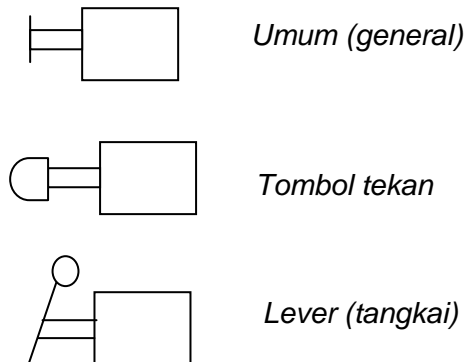
Katup pembuang cepat
(*quick exhaust valve*)

Fungsi katup ini sama dengan katup searah kelebihanannya adalah ketika ada aliran balik aliran tersebut akan dibuang lewat lubang pembuangan R.

4.4.2.8 Mekanisme Pengontrol

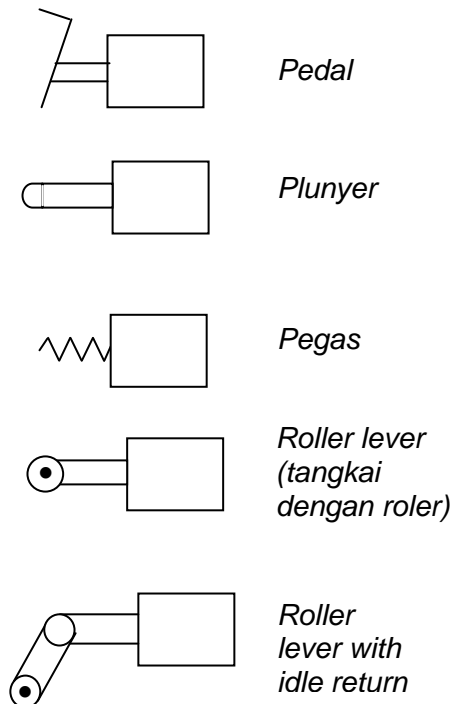
Contoh Pemakaian :

- Dengan penggerak tangan

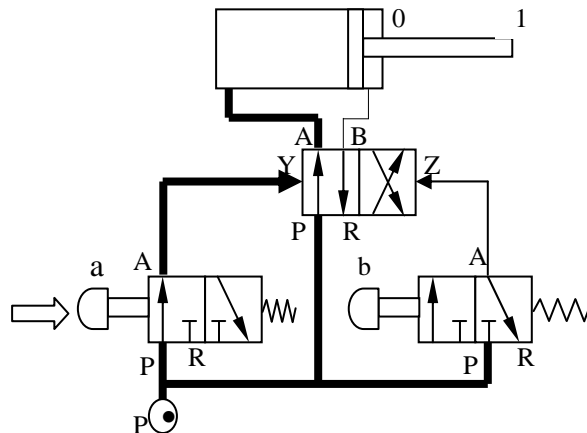


Gambar 4.78 Contoh pemakaian 1

- Penggerak mekanis

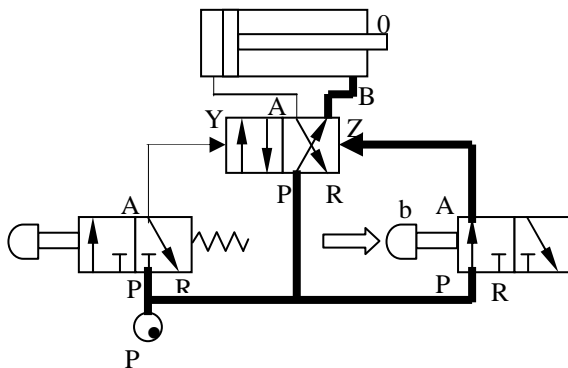


Perhatikan gambar diatas pada kondisi normal (katup "a" maupun katup "b") belum diberikan aktuasi, piston berada pada posisi "0" karena udara bertekanan (garis tebal) dari kompresor (P) yang menuju katup "a" dan katup "b" alirannya tertutup oleh katup 3/2 Normally Close (katup "a" dan katup "b"), udara bertekanan mengalir ke silinder pneumatic melalui katup 4/2 yang posisinya sedang mengalirkan udara lubang sebelah kanan yang memposisikan piston berada pada posisi "1".



Gambar 4.79 Contoh pemakaian 2

Ketika katup “a” (ditandai dengan anak panah) diaktuasi maka katup tersebut akan terbuka sehingga mengalirkan udara bertekanan yang akan merubah posisi katup 4/2 ke posisi sebelah kiri sehingga udara bertekanan dari kompresor mengalir ke sisi kiri dari katup 4/2 dan keluar dari lubang A yang menyebabkan piston bergerak ke posisi “1”. Sedangkan udara yang terdapat pada sisi kanan silinder akan dibuang melalui lubang pembuangan katup 4/2 (lubang R).



Gambar 4.80 Contoh pemakaian 3

Ketika katup “b” (dan katup “a” dibiarkan bebas) di aktuasi maka katup tersebut akan terbuka sehingga mengalirkan udara bertekanan yang akan merubah posisi katup 4/2 ke posisi sebelah kanan sehingga udara bertekanan dari kompresor mengalir ke sisi kiri dari katup 4/2 dan keluar dari lubang B yang menyebabkan piston bergerak ke posisi “0”. Sedangkan udara yang terdapat pada sisi kiri silinder akan dibuang melalui lubang pembuangan katup 4/2 (lubang R)

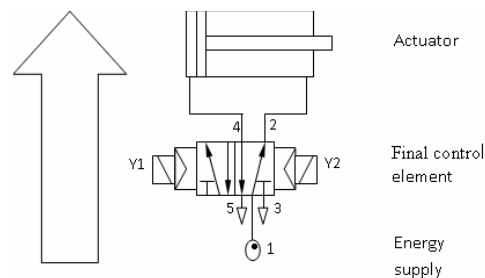
4.4.3 Sistem Komponen

Pada sistem elektro pneumatik terdapat 4 kelompok dasar yaitu :

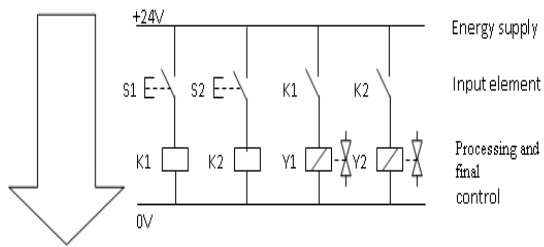
1. Power Supply (Pasokan energi)
 - Arus listrik
 - Udara bertekanan
2. Elemen-elemen masukan (Sensor)
 - Limit switch
 - Tombol tekan
 - Proximity sensor
3. Elemen pemroses (Processor)
 - Switching logic
 - Katup solenoid
 - Converter Pneumatik ke Elektrik
4. Aktuator dan elemen kontrol akhir
 - Silinder
 - Motor
 - Katup kontrol akhir

Komponen-komponen alat kontrol di atas digambarkan oleh simbol-simbol yang mewakili fungsinya. Simbol-simbol tersebut dikombinasikan dan dirangkai sesuai dengan disain fungsi dari suatu sistem atau mesin untuk melakukan tugas tertentu.

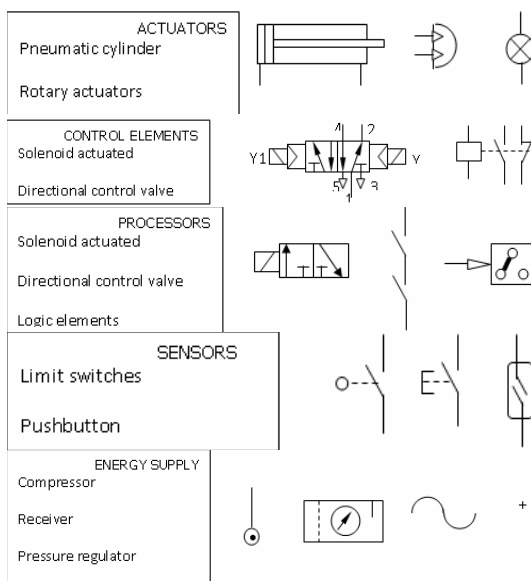
Dalam menggambar rangkaian, simbol-simbol komponen secara umum ditempatkan sesuai dengan tingkatan suatu sistem. Tingkatan suatu struktur sistem dalam gambar rangkaian diatur sesuai dengan aliran sinyal.



Gambar 4.81 Instalasi komponen Pneumatik



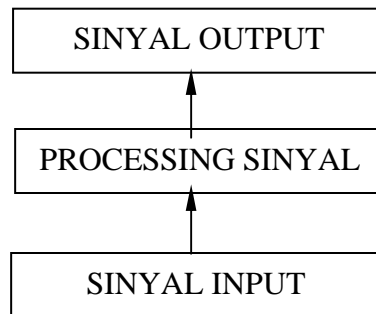
Gambar 4.82 Instalasi Komponen Elektrik



Gambar 4.83 Elemen-elemen Elektro-pneumatik

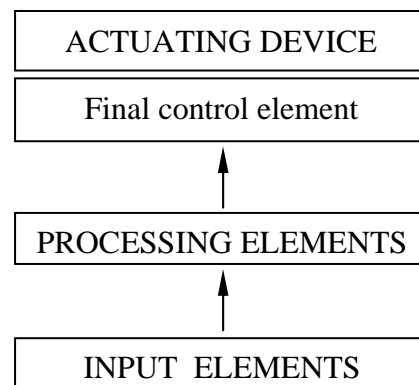
Solenoid mengaktivasikan katup kontrol arah dan relay bisa sebagai pemroses atau fungsi kontrol aktuator. Sebagai contoh: jika katup kontrol arah digunakan untuk mengontrol silinder, maka katup kontrol arah adalah elemen kontrol untuk kelompok aktuator. Jika elemen tersebut didefinisikan sebagai sinyal prosesor, maka harus ditempatkan pada kelompok prosesor.

ALIRAN SINYAL



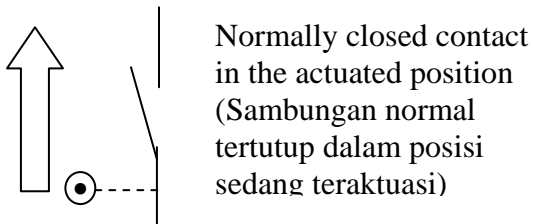
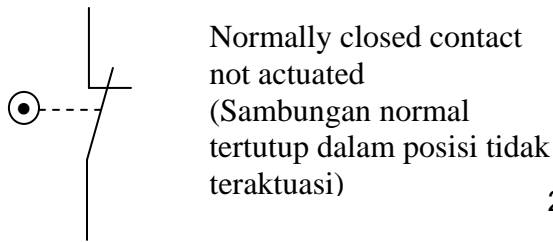
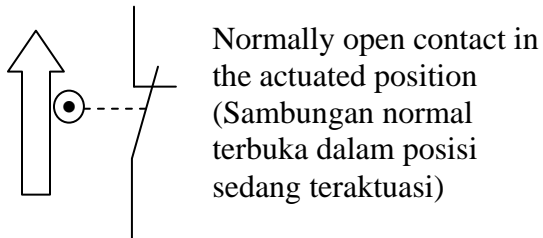
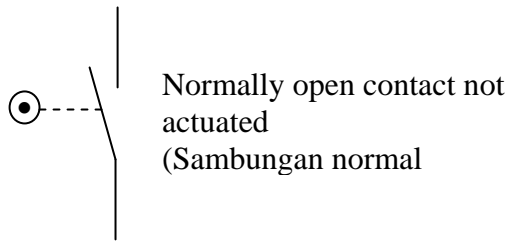
Gambar 4.84 Pemrosesan sinyal

JABARAN PERANGKAT KERAS



Gambar 4.85 Rantai kontrol

Posisi swithes



Contoh :

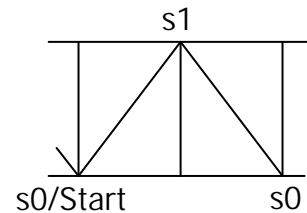
Kita akan membangun suatu sistem pengontrol posisi Double Acting Cylinder, dengan menggunakan katup 5/2 single solenoid dan katup 5/2 double solenoid yang kendalikan dengan sistem kontrol elektro pneumatik. "Ketika tombol Start ditekan batang piston akan bergerak keluar (dari posisi s0 ke posisi s1), ketika piston sudah mencapai posisi maksimal (posisi s1)

secara otomatis piston akan bergerak mundur ke posisi semula (posisi s1).

Penyelesaian :

1. Tentukan arah gerakan piston :

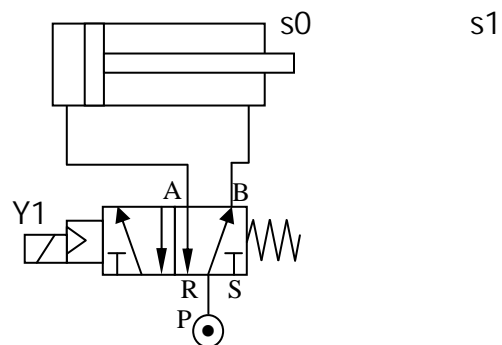
- Dengan diagram notasi A+ A-
A + adalah piston bergerak dari posisi "0" ke posisi "1"
- Atau dengan diagram tangga



Garis dengan gradient positif menunjukkan piston bergerak dari posisi "s0" ke posisi "s1"
Garis dengan gradient negative menunjukkan piston bergerak dari posisi "s1" ke posisi "s0"

2. Gambarkan Instalasi Komponen Pneumatik yang terdiri dari :

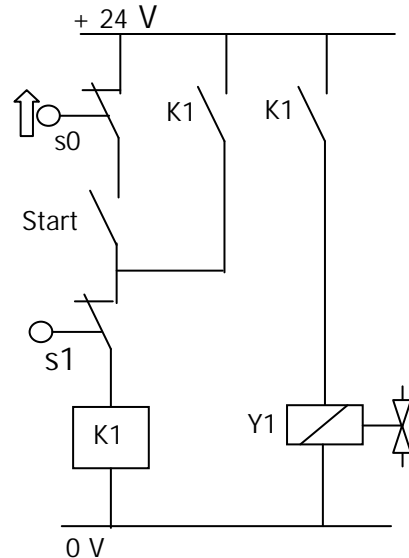
- Actuator
- Final Control Element
- Energy supply



Gambar 4.86 Rangkaian komponen pneumatik 1

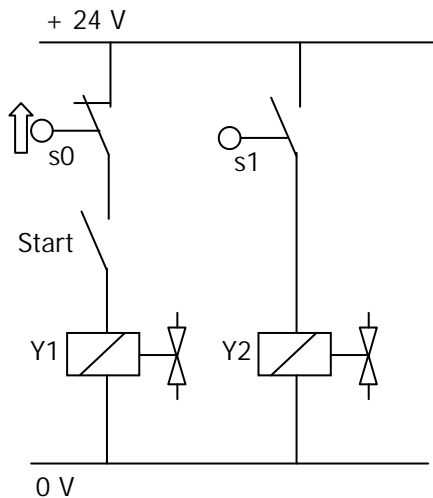
3. Gambarkan Instalasi Komponen Pneumatik yang terdiri dari :

- Energy Supply
- Input Element
- Processing dan Final Control Elemen



Gambar 4.87 Instalasi komponen pneumatik 2

Untuk katup 5/2 double solenoid

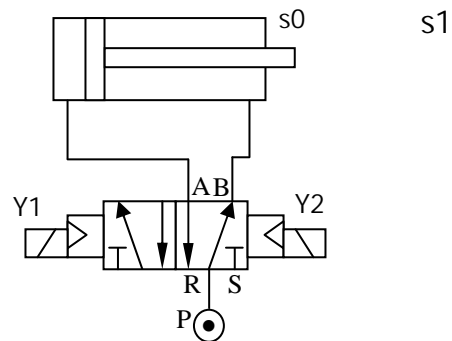


Gambar 4.88 Instalasi komponen pneumatik 3

Cara kerja :

Pada kondisi awal piston berada pada posisi "s0" sehingga *limit switch* s1 yang mempunyai kondisi Normally Open dalam keadaan teraktuator sehingga berada pada kondisi aktif mengalirkan arus listrik.

Ketika tombol Start ditekan maka arus listrik mengalir dari polaritas + 24 V ke polaritas 0 V sehingga koil relay Y1 aktif yang akan merubah posisi katup 5/2 ke pada posisi Y1 sehingga udara bertekanan akan mengalir melalui katup 5/2 dari P ke A akibatnya piston akan bergerak dari posisi "s0" ke posisi "s1".



Ketika piston meninggalkan posisi "s1" *limit switch* s1 lepas dari aktuasi dan kondisinya terbuka sehingga aliran arus listrik ke koil relay Y1 terputus.

Ketika piston mencapai posisi "s1" maka *limit switch* s1 aktif sehingga terjadi aliran arus listrik melalui koil relay Y2 akibatnya solenoid Y2 aktif yang akan merubah posisi katup 5/2 ke posisi Y2 sehingga terjadi aliran udara bertekanan dari P ke B yang membuat piston kembali bergerak menuju posisi "s0".

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 Hutaaruk, 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 Zuhal, 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://kaijieli.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 978-979-060-095-9

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. 11,682.00