

Siswoyo

TEKNIK LISTRIK INDUSTRI

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 LISTRIK INDUSTRI JILID 2

Untuk SMK

Penulis : Siswoyo

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

SIS SISWOYO

t Teknik Listrik Industri Jilid 2 untuk SMK /oleh Siswoyo ----
Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan,
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah,
Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
iii , 194 hlm

ISBN : 978-979-060-081-2

ISBN : 978-979-060-083-6

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 d 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

Era persaingan dimasa sekarang dan masa yang akan datang mensyaratkan bahwa bangsa yang unggul adalah yang memiliki kualitas sumber daya manusia yang unggul. Keunggulan SDM hanya dapat diraih melalui pendidikan. Pemerintah melalui UU Sisdiknas No 20/ 2003, jenjang pendidikan menengah kejuruan termasuk program vokasional yang mendapatkan perhatian.

Buku Teknik Listrik Industri ini disusun berdasarkan profil standar kompetensi dan kompetensi dasar untuk bidang Teknik Listrik Industri. 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 lima belas bab, yaitu: (1) Pengetahuan Listrik dasar (2) Kemagnetan dan elektromagnetis (3) Dasar Listrik arus bolak-balik (4) Transformator (5) Motor Listrik arus bolak balik (6) Mesin arus searah (7) Pengendalian motor listrik (8)Alat ukur dan pengukuran listrik (9) Elektronika dasar (10) Elektronika daya (11) Sistem pengamanan bahaya listrik (12) Teknik pengaturan otomatis (13) Generator sinkron (14) Distribusi tenaga listrik (15) Pembangkit listrik Mikrohidro.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Pembinaan SMK, Kasubdit Pembelajaran, beserta staf atas kepercayaan dan kerjasamanya dalam penulisan buku ini. Kritik dari pembaca dan kalangan praktisi akan kami perhatikan.

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

Amin

Penulis

Daftar Isi :

BAB 1

1.1	Fenomena Elektrostatik	1-2
1.2	Generator Elektrostatik Van de Graff	1-3
1.3	Tegangan Listrik.....	1-4
1.4	Arus Listrik.....	1-7
1.5	Arus Listrik pada Penghantar Logam	1-8
1.6	Mengukur Arus Listrik	1-9
1.7	Kerapatan Arus Listrik	1-9
1.8	Tahanan Pengantar.....	1-11
1.9	H u k u m Ohm	1-12
1.10	Tahanan Konduktor	1-13
1.11	Resistor	1-16
1.12	Hubungan Seri Resistor	1-16
1.13	Hubungan Paralel Resistor	1-17
1.14	Hukum Kirchoff-Tegangan	1-18
1.15	Hukum Kirchoff-Arus	1-19
1.16	Mengukur Resistansi dengan Tegangan dan Arus	1-20
1.17	Tahanan Dalam Baterai	1-21
1.18	Ekivalen Sumer Tegangan dan Sumber Arus	1-22
1.19	Rangkaian Resistor Gabungan	1-24
1.20	Konversi Hubungan Bintang-Segitiga	1-27
1.21	Hubungan Seri Baterai	1-28
1.22	Rangkuman	1-32
1.23	Soal-Soal	1-34

BAB 2

2.1	Prinsip Kemagnetan	2-2
2.2	Fluksi Medan Magnet	2-7
2.3	Kuat Medan Magnet	2-8
2.4	Kerapatan Fluk Magnet.....	2-9
2.5	Bahan Ferromagnet	2-10
2.6	Rangkaian Magnetik	2-14
2.7	Aplikasi Kemagnetan & Elektromagnet	2-16
2.8	Rangkuman	2-23
2.9	Soal-soal	2-25

BAB 3

3.1	Prinsip Pembangkitan Listrik AC	3-2
3.2	Prinsip Dasar Listrik AC	3-4

3.3 K o m p o n e n Pasif D a l a m Listrik AC	3-12
3.4 Bilangan Komplek	3-17
3.5 Rangkaian Resistor Seri Induktor dengan Listrik AC	3-21
3.6 Rangkaian Resistor Seri dengan Kapasitor	3-33
3.7 Resonansi	3-40
3.8 Sistem Listrik Tiga Fasa	3-45
3.9 Pengukuran Daya Listrik Tiga Phasa	3-53
3.10 Kompensasi Daya	3-55
3.11 Rangkuman	3-58
3.12 Soal-soal	3-61

BAB 4

4.1 M e s i n Listrik	4-2
4.2 Transformator	4-3
4.3 Prinsip kerja Transformator	4-3
4.4 Tranformator Ideal	4-4
4.5 Inti Transformator	4-7
4.6 Rangkaian Listrik Transformator	4-9
4.7 Diagram Vektor Tegangan	4-9
4.8 Rugi-rugi Transformator	4-10
4.9 Efisiensi Transformator	4-12
4.10 Akibat Hubung Singkat	4-13
4.11 Autotransformator	4-14
4.12 Transformator khusus	4-15
4.13 Transformator Pengukuran	4-16
4.14 Trafo Pengukuran Tegangan	4-16
4.15 Trafo Pengukuran Arus	4-17
4.16 Transformator 3 Phasa	4-18
4.17 Inti Transformator 3 Phasa	4-20
4.18 Hubungan belitan Transformator	4-20
4.19 Hubungan J a m Belitan Trafo	4-21
4.20 Minyak Trafo dan Relay Buchholz	4-21
4.21 Konfigurasi Transformator 3 phasa	4-22
4.22 Transformator dalam Jaringan Asimetris	4-23
4.23 Pengelompokan Hubungan Transformator	4-24
4.24 Paralel Dua Transformator	4-25
4.25 Rangkuman	4-27
4.26 Soal-soal	4-28

BAB 5

5.1 Mengukur Kecepatan Putaran	5-2
5.2 Mengukur Torsi	5-2
5.3 Hubungan Kecepatan, Torsi dan Daya Motor	5-3
5.4 Prinsip Kerja Motor Induksi	5-4
5.5 Konstruksi Motor Induksi	5-7
5.6 Rugi-rugi dan Efisiensi Motor Induksi	5-7
5.7 Putaran Motor Induksi	5-9
5.8 Karakteristik Torsi Motor Induksi	5-9
5.9 Pengasutan Motor Induksi	5-10
5.10 Pengasutan Hubungan Langsung (DOL)	5-11
5.11 Pengasutan Resistor Stator	5-12
5.12 Pengasutan Saklar Bintang-Segitiga	5-14
5.13 Pengasutan Soft Starting	5-15
5.14 Pengasutan Motor Slipring	5-16
5.15 Motor Dua Kecepatan (Dahlander)	5-19
5.16 Prinsip kerja Motor AC Satu Phasa	5-20
5.17 Motor Kapasitor	5-22
5.18 Motor Shaded Pole	5-23
5.19 Motor Universal	5-24
5.20 Motor Tiga Phasa Suply Tegangan Satu Phasa	5-25
5.21 Rangkuman	5-25
5.22 Soal-soal	5-27

BAB 6

6.1 Mesin Arus Searah	6-2
6.2 Prinsip kerja Generator DC	6-4
6.3 Generator penguat terpisah	6-7
6.4 Generator belitan Shunt	6-8
6.5 Generator belitan Kompound	6-8
6.6 Konstruksi Generator DC	6-9
6.7 Reaksi Jangkar	6-10
6.8 Arah Putaran Mesin DC	6-12
6.9 Prinsip kerja Motor DC	6-13
6.10 Starting Motor DC	6-15
6.11 Pengaturan Kecepatan Motor DC	6-16
6.12 Reaksi Jangkar pada Motor DC	6-18
6.13 Motor belitan Seri	6-19
6.14 Motor DC penguat terpisah	6-20
6.15 Motor DC belitan Shunt	6-21

6.16 Motor DC belitan Kompond	6-21
6.17 Belitan Jangkar	6-22
6.18 Rugi-rugi Daya dan Efisiensi Motor DC	6-29
6.19 Rangkuman	6-30
6.20 Soal-soal	6-33

BAB 7

7.1 Sistem Pengendalian	7-2
7.2 Komponen Sistem Pengendalian	7-3
7.3 Pengendalian Kontaktor Elektromagnetik	7-7
7.4 Pengendalian Hubungan Langsung, Direct ON Line	7-8
7.5 Pengendalian Bintang-Segitiga	7-10
7.6 Pengendalian Putaran Kanan-Kiri	7-14
7.7 Pengendali Dua Motor Bekerja Bergantian	7-17
7.8 Pengendalian Motor Soft Starter	7-19
7.9 Panel Kontrol Motor	7-21
7.10 Instalasi Motor Induksi Sebagai Water Pump	7-24
7.11 Rangkaian Kontrol Motor	7-26
7.12 Rangkuman	7-33
7.13 Soal-soal	7-34

BAB 8

8.1. Alat Ukur Listrik	8-2
8.2. Sistem Satuan	8-3
8.3. Ukuran Standar Kelistrikan	8-4
8.4. Sistem Pengukuran	8-4
8.5. Alat Ukur Listrik Analog	8-5
8.6. Multimeter Analog	8-7
8.7. Alat Ukur Digital	8-7
8.8. Alat Ukur Analog Kumparan Putar	8-8
8.9. Alat Ukur Besi Putar	8-9
8.10. Alat Ukur Elektrodinamik	8-10
8.11. Alat Ukur Piringan Putar	8-12
8.12. Pengukuran Tegangan DC	8-14
8.13. Pengukuran Arus DC	8-14
8.14. Pengukuran Tahan	8-16
8.15. Jembatan Wheatstone	8-17
8.16. Osiloskop	8-18
8.17. Data Teknik Osiloskop	8-19
8.18. Osiloskop Analog	8-19
8.19. Osiloskop Dua Kanal	8-21
8.20. Osiloskop Digital	8-22

8.21. Pengukuran Dengan Osiloskop	8-24
8.22. Metode Lissajous	8-28
8.23. Rangkuman	8-29
8.24. Soal-Soal	8-31

BAB 9

9.1 Bahan Semikonduktor	9-1
9.2 Struktur Atom Semikonduktor	9-2
9.3 Semikonduktor Tipe N	9-3
9.4 Semikonduktor Tipe P	9-4
9.5 Sambungan PN	9-4
9.6 Diode	9-5
9.7 Diode Zener	9-6
9.8 Transistor Bipolar	9-8
9.9 Transistor dalam Praktek	9-10
9.10 Garis Beban Transistor	9-11
9.11 Rangkuman	9-20
9.12 Soal-soal	9-21

BAB 10

10.1 Konversi Daya	10-1
10.2 Komponen Elektronika Daya	10-4
10.3 Diode	10-4
10.4 Transistor	10-6
10.5 Thyristor	10-9
10.6 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)	10-11
10.7 Penyearah Diode	10-12
10.8 Penyearah Terkendali Thyristor	10-18
10.9 Modul Trigger TCA 785	10-25
10.10 Aplikasi Elektronika Daya	10-26
10.11 Rangkuman	10-30
10.12 Soal-soal	10-31

BAB 11

11.1. Sistem Pengamanan Bahaya Listrik	11-2
11.2. Kode International Protection	11-4
11.3. Jenis Gangguan Listrik	11-7
11.4. Tindakan Pengamanan untuk Keselamatan	11-8
11.5. Proteksi Tegangan Ekstra Rendah	11-9
11.6. Proteksi dengan Isolasi Bagian Aktif	11-10
11.7. Proteksi dengan Rintangan	11-11

11.8. Proteksi dari Sentuhan Tidak Langsung	11-11
11.9. Jenis Sistem Distribusi	11-12
11.10. Sistem Pembumian TN	11-13
11.11. Pengukuran Pengaman Sistem Pembumian TN	11-14
11.12. Proteksi Gawai Proteksi Arus Sisa (ELCB)	11-15
11.13. Pengukuran Pengaman Sistem Pembumian TT	11-17
11.14. Pengukuran Pengaman Sistem Pembumian IT	11-18
11.15. Proteksi dengan Isolasi Ganda	11-19
11.16. Proteksi lokasi tidak Konduktif	11-20
11.17. Proteksi pemisahan Sirkuit Listrik	11-21
11.18. Pengukuran Tahanan Pembumian	11-22
11.19. Pengukuran Tahanan Isolasi Lantai dan Dinding	11-23
11.20. Pengujian Sistem Pembumian TN	11-24
11.21. Pengukuran Tahanan Pembumian dengan Voltmeter dan Amperemeter	11-24
11.22. Pengukuran Arus Sisa dan Tegangan pada ELCB	11-25
11.23. Rangkuman	11-25
11.24. Soal-soal	11-27

BAB 12

12.1. Pengertian sistem Pengaturan	12-2
12.2. Diagram Blok Sistem Kontrol	12-5
12.3. Perilaku Sistem Kontrol	12-10
12.4. Tipe Kontroler	12-17
12.5. Kontroler Dua Posisi	12-17
12.6. Kontroler Tiga Posisi	12-18
12.7. Kontroler Proporsional (P)	12-20
12.8. Kontroler Integral (I)	12-22
12.9. Kontroler Proporsional Integral (PI)	12-23
12.10. Kontroler Derivatif (D)	12-23
12.11. Kontroler Proporsional Derivatif (PD)	12-24
12.12. Kontroler PID	12-25
12.13. Karakteristik Osilasi pada Sistem Kontrol	12-26
12.14. Seleksi tipe Kontroler untuk Aplikasi Tertentu	12-27
12.15. Optimisasi Kontroler	12-27
12.16. Elektropneumatik	12-28
12.17. Komponen Elektro Pneumatik	12-29
12.18. Rangkaian Dasar	12-35
12.19. Rangkuman	12-36
12.20. Soal-soal	12-37

BAB 13

13.1. Pendahuluan	13-1
13.2. Konstruksi Mesin Sinkron	13-2
13.3. Prinsip Kerja	13-10
13.4. Generator Tanpa Beban	13-12
13.5. Generator Berbeban	13-13
13.6. Menentukan Resistansi dan Reaktansi	13-15
13.7. Pengaturan Tegangan	13-18
13.8. Kerja Paralel Generator	13-23
13.9. Rangkuman	13-26
13.10. Soal-soal	13-27

BAB 14

14.1. Penggunaan Energi	14-2
14.2. Sejarah Penyediaan Tenaga Listrik	14-2
14.3. Peranan Tenaga Listrik	14-3
14.4. Instalasi Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik	14-5
14.5. Jaringan Listrik	14-9
14.6. Alat Pengukur dan Pembatas (APP)	14-18
14.7. Panel Hubung Bagi (PHB)	14-20
14.8. Penghantar	14-26
14.9. Beban Listrik	14-27
14.10. Rangkuman	14-31
14.11. Soal-soal	14-32

BAB 15

15.1. Pembangkit Mikrohidro	15-2
15.2. Sistem Mikrohidro	15-2
15.3. Langkah Pertama Keselamatan	15-4
15.4. Peringatan Tentang Pengoperasian Mikrohidro	15-4
15.5. Memilih Lokasi Mikrohidro	15-4
15.6. Desain Bendungan	15-8
15.7. Komponen Generator Mikrohidro	15-9
15.8. Instalasi Mikrohidro	15-10
15.9. Pengoperasian	15-13
15.10. Perawatan Dan Perbaikan	15-14
15.11. Spesifikasi Teknik	15-16
15.12. Rangkuman	15-17
15.13. Soal-soal	15-17

BAB 5

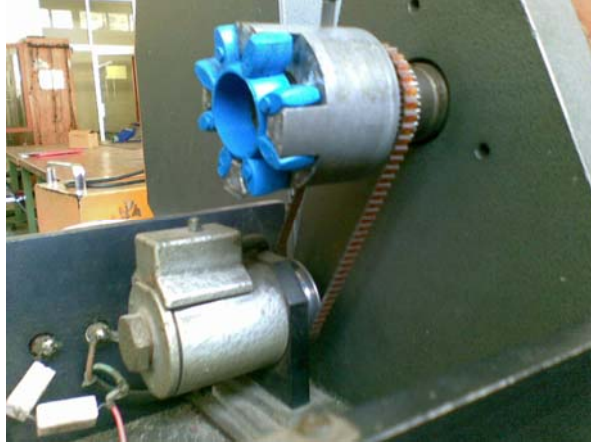
Motor Listrik Arus Bolak Balik

Daftar Isi

5.1	Mengukur Kecepatan Putaran	5-2
5.2	Mengukur Torsi	5-2
5.3	Hubungan Kecepatan, Torsi dan Daya Motor.....	5-3
5.4	Prinsip Kerja Motor Induksi.....	5-4
5.5	Konstruksi Motor Induksi.....	5-7
5.6	Rugi-rugi dan Efisiensi Motor Induksi	5-7
5.7	Putaran Motor Induksi.....	5-9
5.8	Karakteristik Torsi Motor Induksi.....	5-9
5.9	Pengasutan Motor Induksi	5-10
5.10	Pengasutan Hubungan Langsung (DOL).....	5-11
5.11	Pengasutan Resistor Stator	5-12
5.12	Pengasutan Saklar Bintang-Segitiga.	5-14
5.13	Pengasutan Soft Starting.....	5-15
5.14	Pengasutan Motor Slipring.....	5-16
5.15	Motor Dua Kecepatan (Dahlander)	5-19
5.16	Prinsip kerja Motor AC Satu Phasa	5-20
5.17	Motor Kapasitor	5-22
5.18	Motor Shaded Pole	5-23
5.19	Motor Universal.....	5-24
5.20	Motor Tiga Phasa Suply Tegangan Satu Phasa	5-25
5.21	Rangkuman	5-25
5.22	Soal-soal.....	5-27

5.1. Mengukur Kecepatan Putaran

Kecepatan putaran motor sama dengan jumlah putaran motor dalam periode tertentu, misalnya putaran per menit (Rpm) atau kecepatan per detik (Rps). Alat ukur yang digunakan adalah *indikator kecepatan* sering disebut *tachometer* **gambar-5.1**. Tachometer di tempelkan langsung pada poros sebuah motor dan dibaca putarannya pada skala yang ada. *Tachometer* yang modern menggunakan prinsip sinar laser, bekerjanya lebih sederhana berkas sinar laser ditembakkan pada poros dan display digital akan menunjukkan putaran poros motor.



Gambar 5.1 : Pengukuran poros dengan Tachogenerator

Kecepatan motor diukur dengan alat tachometer, pengukuran dilakukan pada poros rotor, ada tachometer analog dan tachometer digital.

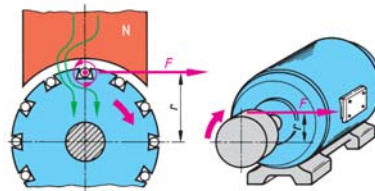
5.2. Mengukur Torsi

Torsi sering disebut momen (M) merupakan perkalian gaya F (Newton) dengan panjang lengan L (meter) **gambar-5.2**.

$$M = F \cdot L \text{ (Nm)}$$

Gaya F yang dihasilkan dari motor listrik dihasilkan dari interaksi antara medan magnet putar pada stator dengan medan induksi dari rotor.

$$F = B \cdot I \cdot L$$



Gambar 5.2 : Torsi Motor

Jumlah belitan dalam rotor Z dan jari-jari polly rotor besarnya r (meter), maka torsi yang dihasilkan motor

$$M = B.I.L.Z.r \quad (\text{Nm})$$

5.3. Hubungan Kecepatan, Torsi dan Daya Motor

Pengukuran hubungan kecepatan, torsi dan daya motor dilakukan di laboratorium Mesin Listrik **gambar-5.3**. Torsi yang dihasilkan oleh motor disalurkan lewat poros untuk menjalankan peralatan industri. Hubungan antara torsi dan daya motor dapat diturunkan dengan persamaan :

$$P = \frac{M}{t} \quad \text{sedangkan} \quad M = F.L \quad (\text{Nm})$$

$$P = \frac{F.L}{t} \quad \text{kecepatan} \quad v = \frac{L}{t}$$

Dalam satu putaran poros jarak ditempuh
 $L = 2.r.\pi$, sehingga kecepatan
 $v = n. 2. r.\pi$

Dengan memasukkan gaya F yang terjadi pada poros, diperoleh persamaan

$$P = n. 2. r.\pi.F$$

Akhirnya diperoleh hubungan daya motor P dengan torsi poros M dengan persamaan :

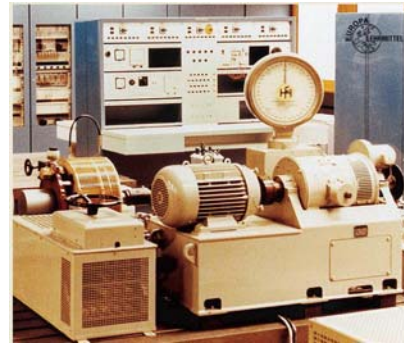
$$P = 2.\pi.n.M \quad (\text{Nm/menit})$$

Daya P dalam satuan Nm/menit dipakai jika torsi M yang diukur menggunakan satuan Nm. Dalam satuan daya listrik dinyatakan dalam Watt atau kWatt maka persamaan harus dibagi dengan 60 detik dan bilangan 1000.

$$P = \frac{2.\pi}{60.1000}.n.M \quad (\text{kW}) \quad \text{dimana} \quad 1.000 \text{ Nm/detik} = 1 \text{ kW}$$

Persamaan akhir daya P dan torsi M secara praktis didapatkan :

$$P = \frac{n.M}{9549} \quad (\text{kW})$$

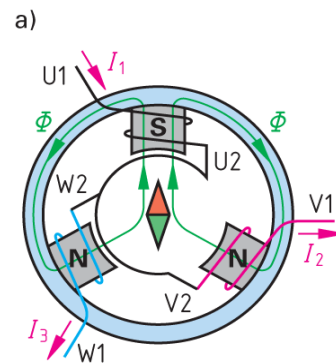


Gambar 5.3 : Pengujian Motor Listrik di Laboratorium

5.4. Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi adalah alat listrik yang mengubah *energi listrik* menjadi *energi mekanik*. Listrik yang diubah adalah listrik 3 fasa. Motor induksi sering juga disebut motor tidak serempak atau *motor asinkron*. Prinsip kerja motor induksi lihat **gambar-5.4**.

Ketika tegangan *phasa U* masuk ke belitan stator menjadikan kutub S (south=selatan), garis2 gaya mahnet mengalir melalui stator, sedangkan dua kutub lainnya adalah N (north=utara) untuk *phasa V* dan *phasa W*. Kompas akan saling tarik menarik dengan kutub S.

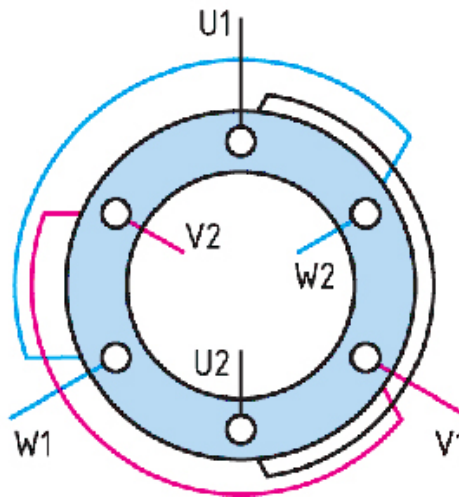


Gambar 5.4 : Prinsip kerja motor induksi

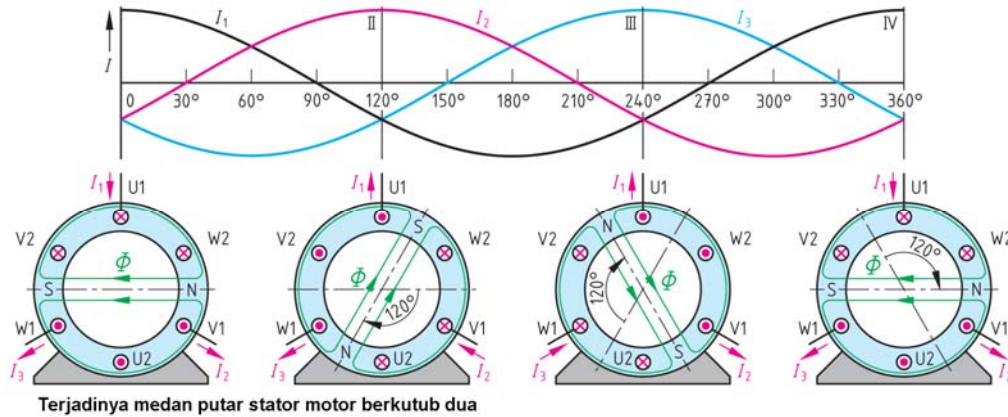
Berikutnya kutub S pindah ke *phasa V*, kompas berputar 120° , dilanjutkan kutub S pindah ke *phasa W*, sehingga pada belitan stator timbul *medan magnet putar*. Buktinya kompas akan memutar lagi menjadi 240° . Kejadian berlangsung silih berganti membentuk medan magnet putar sehingga kompas berputar dalam satu putaran penuh, proses ini berlangsung terus menerus. Dalam motor induksi kompas digantikan oleh rotor sangkar yang akan berputar pada porosnya. Karena ada perbedaan putaran antara medan putar stator dengan putaran rotor, maka disebut motor induksi tidak serempak atau motor asinkron.

Susunan belitan stator motor induksi dengan dua kutub, memiliki tiga belitan yang masing-masing berbeda sudut 120° **gambar-5.5**. Ujung belitan phasa pertama adalah *U1-U2*, belitan phasa kedua adalah *V1-V2* dan belitan phasa ketiga yaitu *W1-W2*.

Prinsip kerja motor induksi dijelaskan dengan gelombang sinusoidal **gambar5.6**, terbentuk-nya medan putar pada stator motor induksi. Tampak stator dengan dua kutub, dapat diterangkan dengan empat kondisi.



Gambar 5.5 : Belitan stator motor induksi 2 kutub



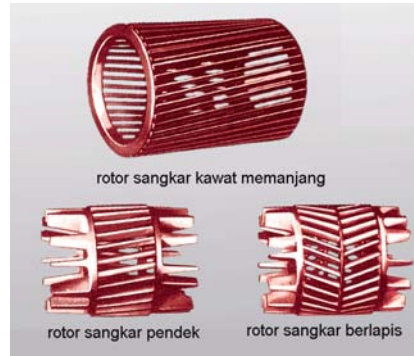
Gambar 5.6 : Bentuk gelombang sinusoida dan timbulnya medan putar pada stator motor induksi

1. **Saat sudut 0°.** Arus I_1 bernilai positif dan arus I_2 dan arus I_3 bernilai negatif dalam hal ini belitan V_2 , U_1 dan W_2 bertanda silang (*arus meninggalkan pembaca*), dan belitan V_1 , U_2 dan W_1 bertanda titik (*arus listrik menuju pembaca*). terbentuk fluk magnet pada garis horizontal sudut 0°. kutub S (south=selatan) dan kutub N (north=utara).
2. **Saat sudut 120°.** Arus I_2 bernilai positif sedangkan arus I_1 dan arus I_3 bernilai negatif, dalam hal ini belitan W_2 , V_1 dan U_2 bertanda silang (*arus meninggalkan pembaca*), dan kawat W_1 , V_2 dan U_1 bertanda titik (*arus menuju pembaca*). Garis fluk magnet kutub S dan N bergeser 120° dari posisi awal.
3. **Saat sudut 240°.** Arus I_3 bernilai positif dan I_1 dan I_2 bernilai negatif, belitan U_2 , W_1 dan V_2 bertanda silang (*arus meninggalkan pembaca*), dan kawat U_1 , W_2 dan V_1 bertanda titik (*arus menuju pembaca*). Garis fluk magnet kutub S dan N bergeser 120° dari posisi kedua.
4. **Saat sudut 360°.** posisi ini sama dengan saat sudut 0°. dimana kutub S dan N kembali keposisi awal sekali.

Dari keempat kondisi diatas saat sudut 0°, 120°, 240°, 360°, dapat dijelaskan terbentuknya *medan putar* pada stator, *medan magnet putar stator* akan memotong belitan rotor. Kecepatan medan putar stator ini sering disebut kecepatan sinkron, tidak dapat diamati dengan alat ukur tetapi dapat dihitung secara teoritis besarnya $n_s = \frac{f \times 120}{p}$ putaran per menit.

Motor Listrik Arus Bolak Balik

Rotor ditempatkan didalam rongga stator, sehingga garis medan magnet putar stator akan memotong belitan rotor. Rotor motor induksi adalah beberapa batang penghantar yang ujung-ujungnya dihubung singkatkan menyerupai sangkar tupai, maka sering disebut *rotor sangkar tupai* **gambar-5.7**, Kejadian ini mengakibatkan pada rotor timbul induksi elektromagnetis. Medan magnet putar dari stator saling berinteraksi dengan medan magnet rotor, terjadilah *torsi putar* yang berakibat rotor berputar.



Gambar 5.7 : Bentuk rotor sangkar

Kecepatan medan magnet putar pada stator:

$$n_s = \frac{f \times 120}{p} \text{ Rpm}$$

$$\text{slip} = \frac{n_s - nr}{n_s} \times 100\%$$

n_s kecepatan sinkron medan stator (rpm)

f frekuensi (Hz)

nr kecepatan poros rotor (rpm)

slip selisih kecepatan stator dan rotor

Contoh : Motor induksi pada *nameplate* tertera frekuensi 50 Hz, putaran rotor 1440 Rpm memiliki jumlah kutub 4 buah. Hitung besarnya putaran medan magnet putar pada stator dan slip motor induksi tersebut,

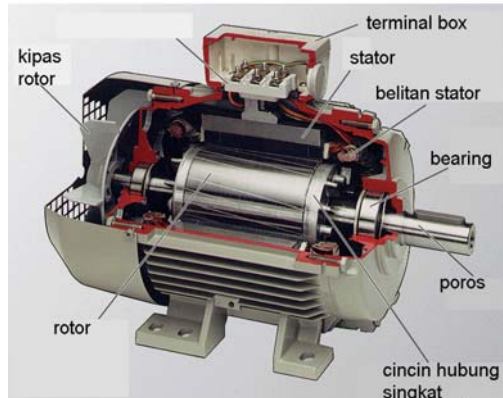
Jawaban :

$$n_s = \frac{f \times 120}{p} = \frac{50 \text{ Hz} \times 120}{2} = \mathbf{1.500 \text{ Rpm}}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100\% \\ &= \frac{1500 \text{ Rpm} - 1440 \text{ Rpm}}{1500 \text{ Rpm}} \cdot 100\% = \mathbf{4\%} \end{aligned}$$

5.5. Konstruksi Motor Induksi

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri atas dua bagian, yaitu: bagian *stator* dan bagian *rotor* **gambar-5.8**. Stator adalah bagian motor yang diam terdiri : *badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan terminal box*. Bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas *rotor sangkar, poros rotor*. Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan bagian stator, karena dalam motor induksi tidak komutator dan sikat arang.



Gambar 5.8 : Fisik motor induksi

Konstruksi motor induksi lebih sederhana dibandingkan dengan motor DC, dikarenakan *tidak ada komutator dan tidak ada sikat arang* **gambar-5.9**. Sehingga pemeliharaan motor induksi hanya bagian mekanik saja, dan konstruksinya yang sederhana motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik. Bagian motor induksi yang perlu dipelihara rutin adalah pelumasan bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box karena kendur atau bahkan lepas akibat pengaruh getaran secara terus menerus.

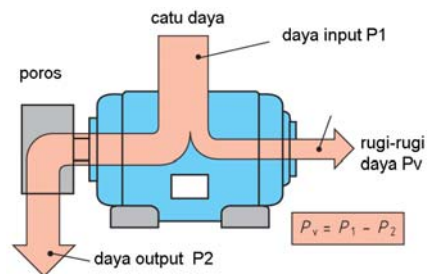
Rumus menghitung daya input motor induksi :

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \quad (\text{Watt})$$

- P_1 : Daya input (Watt)
- U : Tegangan (Volt)
- I : Arus (Amper)
- $\cos \varphi$: Faktor kerja

5.6. Rugi-rugi dan Efisiensi Motor Induksi

Motor induksi **gambar-5.9** memiliki rugi-rugi yang terjadi karena dalam motor induksi terdapat komponen tahanan tembaga dari belitan stator dan komponen induktor belitan stator. Pada motor induksi terdapat *rugi-rugi tembaga, rugi inti dan rugi karena gesekan dan hambatan angin*.



Gambar 5.9 : Rugi-rugi daya motor induksi

Motor Listrik Arus Bolak Balik

Besarnya rugi tembaga sebanding dengan $I^2 \cdot R$, makin besar arus beban maka rugi tembaga makin besar juga. Daya input motor sebesar P_1 , maka daya yang diubah menjadi daya output sebesar P_2 .

Persamaan menghitung rugi-rugi motor induksi :

$$\text{Rugi-rugi motor} = P_1 - P_2$$

Persamaan menghitung efisiensi motor induksi :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

P_1 Daya input (Watt)

P_2 Daya output (Watt)

Menghitung momen torsi yang dihasilkan motor induksi lihat **gambar-10**,

$$M = F \cdot r \quad (\text{Nm})$$

$$P_2 = M \cdot \omega \quad (\text{Watt})$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$$

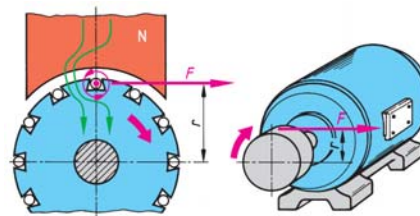
M Torsi (Nm)

F Gaya (Newton)

P_2 Daya output (Watt)

ω Kecepatan sudut putar

n Kecepatan motor (Putaran/detik)



Gambar 5.10 : Torsi motor pada rotor dan torsi pada poros

Contoh : Nameplate motor induksi **gambar-5.11** dengan daya output 5,5 kW, tegangan 400 V dan arus 10,7 A, $\cos \phi$ 0,88. Putaran motor 1425 Rpm. Dapat dihitung daya input, efisiensi motor dan momen torsi motor tsb.

pabrik pembuat	
3~ Motor	Nr.:
Δ 400V	10,7A
5,5kW S1	$\cos \phi$ 0,88
1450 /min	50 Hz
Isol.-Kl.F	IP 55
DIN VDE 0530	EN 60034

Gambar 5.11 : Nameplate motor Induksi

Jawaban :

Daya output motor $P_2 = 5,5$ kW

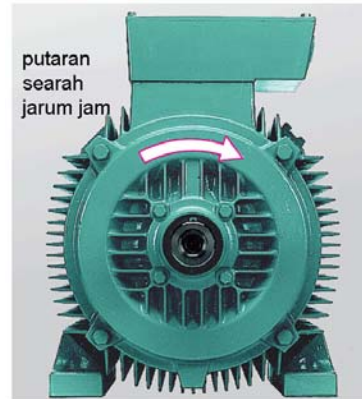
$$\text{a) } P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \phi = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 10,7 \text{ A} \cdot 0,88 = \mathbf{6,52 \text{ kW}}$$

$$\text{b) } \eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = 5,5 \text{ kW} / 6,52 \text{ kW} = 0,84 = \mathbf{84\%}$$

$$\text{c) } M = \frac{P_2}{\omega} = \frac{P_2}{2 \cdot \pi \cdot n} = \frac{55.000 \text{ W}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1450}{60} \cdot \frac{1}{s}} = \mathbf{36 \text{ Nm}}$$

5.7. Putaran Motor Induksi

Motor induksi memiliki dua arah putaran motor, yaitu putaran searah jarum jam (kanan) **gambar-5.12**, dan putaran berlawanan jarum jam (kekiri) dilihat dari poros motor. Putaran motor induksi tergantung jumlah kutubnya, motor induksi berkutub dua memiliki putaran poros sekitar 2.950 Rpm, yang berkutub empat memiliki putaran poros mendekati 1450 Rpm.



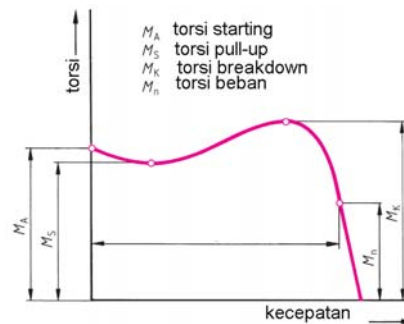
Gambar 5.12 : Putaran motor dilihat dari sisi poros

Putaran arah jarum jam (kanan) didapat dengan cara menghubungkan L1- terminal U, L2-terminal V dan L3 – terminal W. Putaran arah berlawanan jarum jam (kiri) didapat dengan menukarkan salah satu dari kedua kabel fasa, misalkan L1-terminal U, L2-terminal W dan L3-terminal V. Dengan memasang dua buah kontaktor, sebuah motor induksi dapat dikontrol untuk putaran kanan, dan putaran kekiri. Aplikasi praktis untuk membuka dan menutup pintu garasi dengan motor induksi dapat memanfaatkan kaidah putaran kanan dan kiri ini, dengan melengkapi dengan sensor cahaya atau saklar manual motor dapat dihidupkan untuk membuka dan menutup pintu garasi.

5.8. Karakteristik Torsi Motor Induksi

Karakteristik torsi motor induksi **gambar-5.13**, disebut torsi fungsi dari slip ($T=f(slip)$). Garis vertikal merupakan parameter torsi (0–100%) dan garis horizontal parameter slip (1,0–0,0). Dikenal ada empat jenis torsi, yaitu :

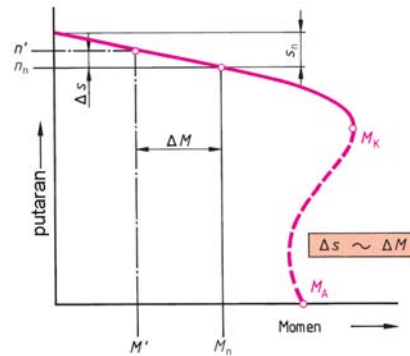
1. *MA*, momen torsi awal,
2. *MS*, momen torsi pull-up,
3. *MK*, momen torsi maksimum
4. *MB*, momen torsi kerja.



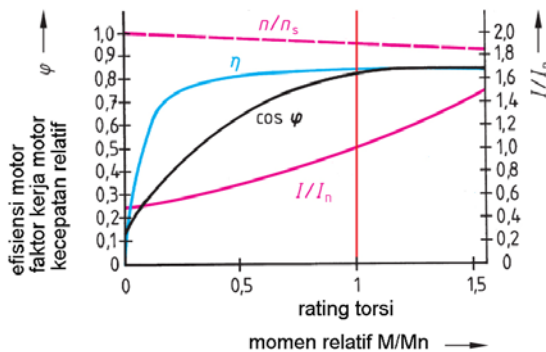
Gambar 5.13 : Karakteristik Torsi motor induksi

Torsi awal terjadi saat motor pertama dijalankan (slip 1,0), torsi pull-up terjadi saat slip 0,7, torsi maksimum terjadi slip 0,2 dan torsi kerja berada ketika slip 0,05. Torsi beban harus lebih kecil dari torsi motor. Bila torsi beban lebih besar dari torsi motor, akibatnya motor dalam kondisi kelebihan beban dan berakibat belitan stator terbakar. Untuk mengatasi kondisi beban lebih dalam rangkaian kontrol dilengkapi dengan pengaman beban lebih disebut thermal overload, yang dipasang dengan kontaktor.

Karakteristik torsi juga bisa disajikan dalam bentuk lain, kita kenal karakteristik *putaran = fungsi torsi*, $n = f(\text{torsi})$ lihat **gambar-5.14**. Garis vertikal menunjukkan parameter putaran, garis horizontal menunjukkan parameter torsi. Ketika motor berputar pada garis n' didapatkan torsi di titik M' . Ketika putaran berada di n_n didapatkan torsi motor di M_n . Daerah kerja putaran motor induksi berada pada area n' dan n_n sehingga torsi kerja motor induksi juga berada pada area M' dan M_n . Berdasarkan grafik $n = \text{fungsi}(\text{torsi})$ dapat juga disimpulkan ketika putaran rotor turun dari n' ke n_n pada torsi justru terjadi peningkatan dari M' ke M_n .



Gambar 5.14 : Karakteristik putaran fungsi torsi beban



Gambar 5.15 : Karakteristik parameter efisiensi, putaran, faktor kerja dan arus beban

Karakteristik motor induksi lainnya lihat **gambar-5.15** mencakup parameter efisiensi, faktor kerja, ratio arus dan ratio putaran. Dengan membaca karakteristik motor induksi dapat diketahui setiap parameter yang dibutuhkan. Saat torsi mencapai 100% dapat dibaca ratio arus $I/I_o = 1$; faktor kerja $\cos \phi : 0,8$, efisiensi motor $0,85$ dan ratio putaran $n/n_s : 0,92$.

5.9. Pengasutan Motor Induksi

Saat motor induksi di starting secara langsung, arus awal motor besarnya antara *500% sd 700%* dari arus nominal. Ini akan menyebabkan drop tegangan yang besar pada pasokan tegangan PLN. Untuk motor daya kecil sampai 5 KW, arus starting tidak berpengaruh besar terhadap drop tegangan. Pada motor dengan daya diatas 30 KW sampai dengan 100 KW akan menyebabkan drop tegangan yang besar dan menurunkan kualitas listrik dan pengaruhnya pada penerangan yang berkedip.

Pengasutan motor induksi adalah cara menjalankan pertama kali motor, tujuannya agar arus starting kecil dan drop tegangan masih dalam batas toleransi. Ada beberapa cara teknik pengasutan, diantaranya :

1. Hubungan langsung (*Direct On Line = DOL*)
2. Tahanan depan Stator (*Primary Resistor*)
3. Transformator
4. Segitiga-Bintang (*Start-Delta*)
5. Pengasutan *Soft starting*
6. Tahanan Rotor lilit

5.10. Pengasutan Hubungan Langsung (DOL)

Pengasutan hubungan langsung atau dikenal dengan istilah *Direct On Line (DOL)* **gambar-5.16**. Jala-jala tegangan rendah 380 V melalui pemutus rangkaian atau kontaktor Q1 langsung terhubung dengan motor induksi. Sekering berfungsi sebagai pengaman hubung singkat, jika terjadi beban lebih diamankan oleh relay pengaman beban lebih (*overload relay*).

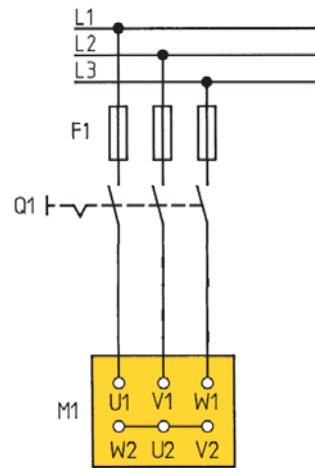
Saat pemutus rangkaian/ kontaktor di ON kan motor induksi akan menarik arus starting antara 5 sampai 6 kali arus nominal motor. Untuk motor induksi dengan daya kecil 5 KW, hubungan langsung bisa dipakai. Arus starting yang besar akan menyebabkan drop tegangan disisi suply. Rangkaian jenis ini banyak dipakai untuk motor2 penggerak mekanik seperti *mesin bubut, mesin bor, mesin freis*.

$$Torsi = I_2^2 /s$$

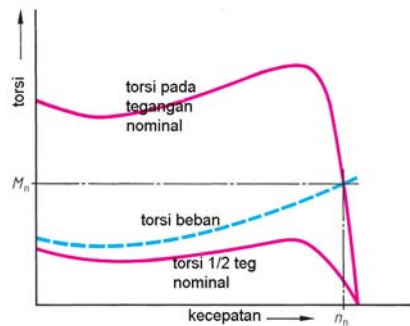
Motor di starting pada tegangan nominal, akan mengalir arus mendekati arus hubung singkat = 7 In. jika slip = 4% = 0,04

$$(T_{st}/T) = (I_{st}/I)^2 \cdot s = (7)^2 \times 0,04 = 1,96$$

Besarnya torsi starting = **1,96 kali** torsi nominalnya. Kesimpulannya, saat arus starting 5 s/d 6 kali arus nominal hanya menghasilkan 1,96 x Torsi nominalnya. **gambar-5.17**.

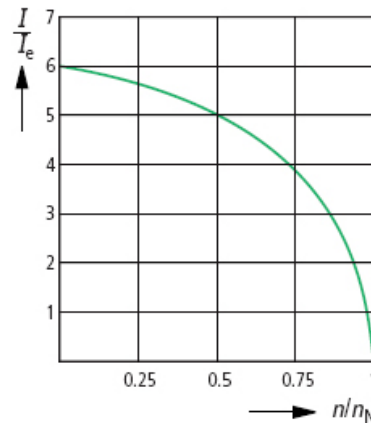


Gambar 5.16 : Pengasutan Motor Induksi Pengasutan Langsung (DOL)



Gambar 5.17 : Karakteristik Torsi, Pengasutan DOL

Karakteristik pengasutan langsung hanya sesuai untuk motor induksi berdaya kecil, karena untuk motor daya besar akan menyebabkan pengaruh drop tegangan yang besar. Ketika starting dimulai motor induksi akan menarik arus yang besarnya *sampai 6 kali* arus nominalnya, Secara berangsur-angsur ketika kecepatan motor mendekati nominalnya maka arus motor akan berada pada kondisi nominalnya ***gambar-5.18***

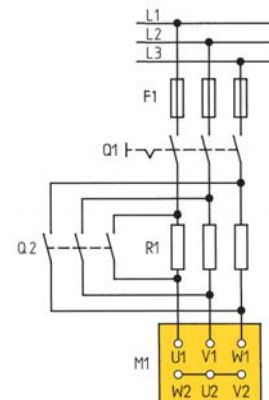


Gambar 5.18 : Karakteristik Arus fungsi putaran, Pengasutan DOL

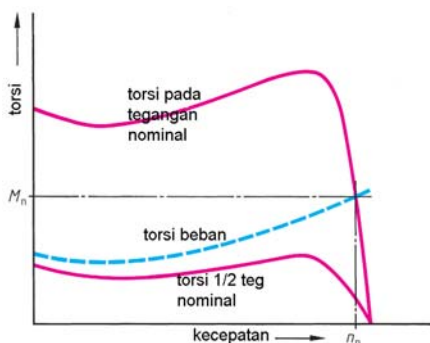
Pengasutan hubungan langsung (DOL) akan menarik arus 5 s/d 6 kali arus nominal, menghasilkan torsi starting 1,96 kali torsi nominal

5.11. Pengasutan Resistor Stator

Pengasutan dengan memasang *resistor* pada rangkaian stator ***gambar-5.19***. Pertama kali kondisi starting kontaktor Q_1 ON, maka tegangan jala-jala PLN ke rangkaian stator dengan melewati resistor R_1 . Fungsi resistor untuk menurunkan tegangan ke stator. Jika tegangan ke stator berkurang 50%, maka arus starting ditekan menjadi 50% yang akan menyebabkan torsi menjadi 25% dari torsi nominalnya ***gambar-5.20***.



Gambar 5.19 : Pengawatan Pengasutan Resistor Stator



Setelah proses starting selesai, kontaktor Q_2 di ON kan sehingga stator mendapat tegangan nominal dan motor akan menarik arus nominal dan hasilnya adalah torsi nominal. Belitan stator motor induksi dalam hubungan bintang, dimana terminal W_2 , U_2 dan V_2 dihubung-singkatkan.

Gambar 5.20 : Karakteristik Torsi Pengasutan Resistor Stator

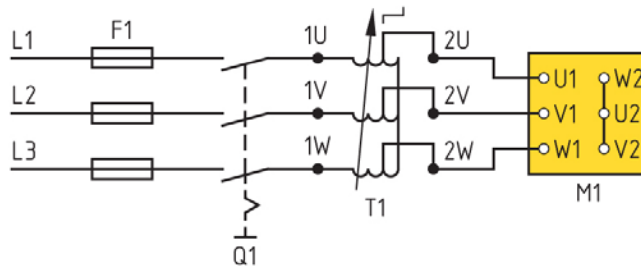
Jika x adalah faktor pengurangan tegangan, maka :

$$I_{starting} = x \cdot I_{hs} \quad \text{dan} \quad T_{starting} = x^2 \cdot T_{hs}$$

$$\text{Torsi} = I_2^2 / s$$

Motor di starting pada tegangan nominal, akan mengalir arus mendekati arus hubung singkat = 7 In. jika slip = 4% = 0,04; $x = 0,5$

Pengasutan resistor dapat digantikan dengan **autotransformator** tiga fase, yang dihubungkan seri dengan belitan stator **gambar-5.21** Tegangan ke stator dapat diatur sesuai kebutuhan, misalkan $k = 80\%$, 70% atau 50% .



Gambar 5.21 : Pengawatan Pengasutan Tegangan dengan Autotransformator

$$T_{starting} = k^2 \cdot T_{hs}$$

Misalkan $k = 50\%$. $T_{hs} = 1,96$

$$T_{starting} = (0,5)^2 \cdot 1,96 = 0,5$$

Pengasutan stator dengan memasang resistor secara seri dengan belitan stator. Resistor gunanya untuk menurunkan tegangan ke stator. Jika tegangan diturunkan 50%, arus starting turun 50% dan torsi starting turun 25%.

5.12. Pengasutan Saklar Bintang-Segitiga.

Motor induksi dengan pengasutan segitiga-bintang dengan saklar manual **gambar-5.22**. Rangkaian bintang segitiga juga dapat dilaksanakan dengan menggunakan kontaktor secara elektromagnetik. Motor induksi dirangkai dengan saklar manual *bintang-segitiga*.

Saat saklar posisi tuas 0, semua rangkaian terbuka, sehingga motor dalam kondisi tidak bertegangan. Saat saklar posisi bintang (tanda Y), L1-U1; L2-V1 dan L3-W1, sementara W2-U2-V2 dihubung singkatkan. Tegangan ke stator :

$$V_{stator} = V_{phasa} = \frac{V_{line}}{\sqrt{3}}$$

$$I_{stator} = I_{phasa} = \frac{I_{line}}{\sqrt{3}}$$

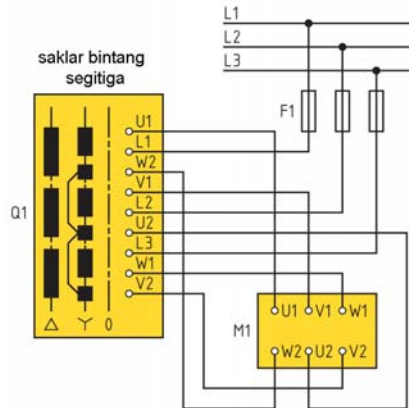
$$T_{starting} = \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 \times T_{hs}$$

Jika diketahui $T_{hs} = 1,96 T$ nominal

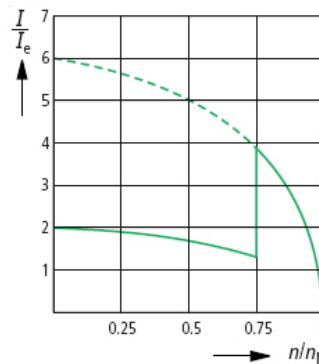
$$T_{starting} = 1/3 \times 1,96 = 0,65$$

Ketika saklar posisi *segitiga* (tanda Δ), motor induksi bekerja pada tegangan normal, arus nominal dan torsi nominal. Belitan stator mendapatkan tegangan sebesar tegangan phasa ke phasa. Harus diperhatikan nameplate motor untuk hubungan segitiga bintang harus disesuaikan dengan tegangan kerja yang digunakan, jika salah menggunakan belitan akan terbakar.

Karakteristik arus fungsi putaran $I = f(n)$ pengasutan bintang-segitiga **gambar-5.23** ketika motor terhubung bintang, arus starting *dua kali arus nominalnya* sampai 75% dari putaran nominal. Ketika motor terhubung segitiga arus motor meningkat *empat kali arus nominalnya*. Secara berangsur-angsur arus motor menuju nominal saat putaran motor nominal.

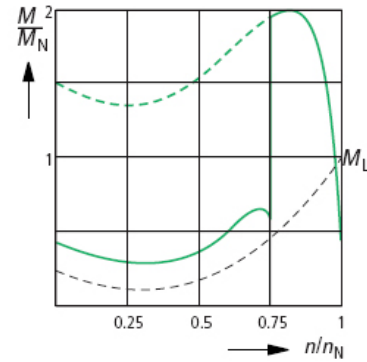


Gambar 5.22 : Pengawatan Pengasutan Bintang-Segitiga



Gambar 5.23 : Karakteristik Arus Pengasutan Bintang-Segitiga

Karakteristik torsi fungsi putaran $T = f(n)$ pengasutan bintang-segitiga **gambar-5.24** memperlihatkan ketika motor terhubung bintang, torsi starting sebesar setengah dari torsi *nominalnya* sampai 75% dari putaran nominal. Ketika motor terhubung segitiga torsi motor meningkat menjadi *dua kali lipat torsi nominalnya*. Secara berangsur-angsur torsi motor mendekati nominal saat putaran motor nominal.

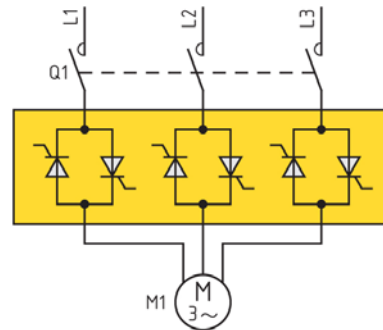


Gambar 5.24 : Karakteristik Torsi Pengasutan Bintang-Segitiga

Pengasutan **segitiga bintang** menggunakan saklar segitiga-bintang. Saat hubungan segitiga arus ke stator $1/\sqrt{3}$ dari arus start DOL. Torsi starting $1/3$ dari T starting DOL = 0,65.

5.13. Pengasutan Soft Starting

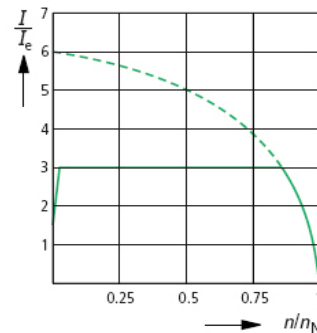
Pengasutan *Soft starting* menggunakan komponen *solid-state*, yaitu enam buah *Thyristor* yang terhubung antiparalel **gambar-5.25**. Saat saklar Q1 di ON kan tegangan akan dipotong gelombang sinusoidanya oleh enam buah *Thyristor* yang dikendalikan oleh *rangkaian triger*. Dengan mengatur sudut *penyalan triger Thyristor*, sama mengatur tegangan ke belitan stator motor. Dengan k sebagai ratio tegangan asut dengan tegangan nominal besarnya torsi motor starting.



Gambar 5.25 : Pengawatan Pengasutan Soft Starting

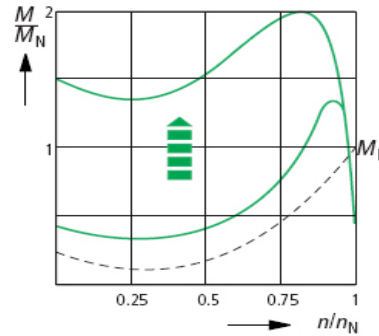
$$T_{starting} = k^2 \cdot T_{hs}$$

Karakteristik arus fungsi putaran pada pengasutan soft starting, memperlihatkan grafik arus starting besarnya tiga kali arus nominalnya sampai motor mencapai putaran mendekati 85% **gambar-5.26**. Arus motor berangsur anggur menuju arus nominalnya ketika putaran motor mendekati nominalnya. Pengasutan solid state makin diminati karena harganya ekonomis dan handal.



Gambar 5.26 : Karakteristik Arus Pengasutan Soft Starting

Karakteristik torsi fungsi putaran $T = f(n)$ pengasutan soft starting, memperlihatkan torsi starting sebesar setengah dari torsi *nominalnya*, berangsur-angsur torsi meningkat mendekati 140% torsi saat putaran mendekati 90% nominalnya **gambar-5.27**. Secara berangsur-angsur torsi motor mendekati nominal saat putaran motor nominal.



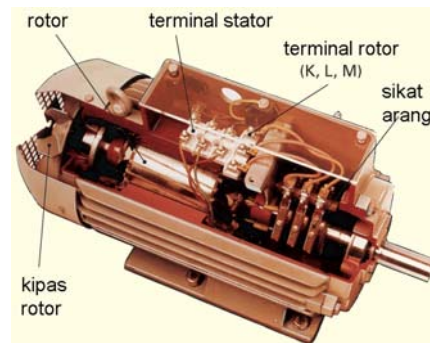
Gambar 5.27 : Karakteristik Torsi Pengasutan Soft Starting

Pengasutan *Soft starting* menggunakan komponen solid state Thyristor terpasang antiparalel pada rangkaian belitan stator. Dengan mengatur sudut penyalaaan triger α , tegangan dan arus starting terkendali.

5.14. Pengasutan Motor Slipring

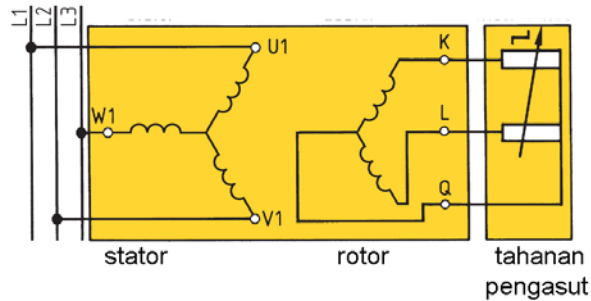
Motor slipring **gambar-5.28** atau sering disebut motor rotor lilit termasuk motor induksi 3 fasa dengan rotor belitan dan dilengkapi dengan slipring yang dihubungkan dengan sikat arang ke terminal. *Motor slipring* dirancang untuk daya besar.

Motor slipring pada terminal box memiliki sembilan terminal, enam terminal terhubung dengan tiga belitan stator masing-masing ujungnya ($U1-U2$, $V1-V2$ dan $W1-W2$), tiga terminal ($K-L-M$) terhubung ke belitan rotor melalui slipring. Ada tiga cincing yang disebut slipring yang terhubung dengan sikat arang. Sikat arang ini secara berkala harus diganti karena akan memendek karena aus.



Gambar 5.28 : Bentuk fisik Motor Induksi Rotor Slipring

Pengasutan rotor lilit **gambar-5.29** belitan rotor yang ujungnya terminal $K-L-M$ dihubungkan dengan resistor luar yang besarnya bisa diatur. Dengan mengatur resistor luar berarti mengatur besarnya resistor total yang merupakan jumlah resistansi rotor dan resistansi luar ($R_{rotor} + R_{luar}$), sehingga arus rotor I_2 dapat diatur.



Gambar 5.29 : Belitan Stator dan Rotor Motor Slipring berikut Resistor pada Rangkaian Rotor

Ketika resistor berharga maksimum, arus rotor yang mengalir minimum, sekaligus memperbaiki faktor kerja motor. Kelebihan pengasutan rotor lilit yaitu diperoleh torsi starting yang tinggi, dengan arus starting yang tetap terkendali.

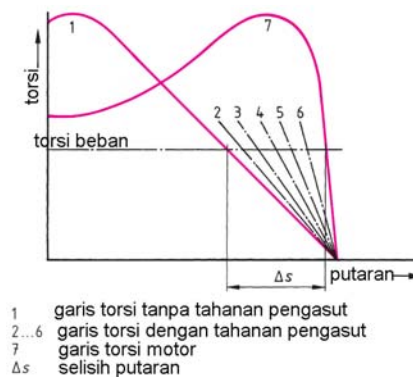
Data teknis motor rotor lilit dalam name plate **gambar-5.30** menjelaskan informasi :

Tegangan stator	400 V
Arus stator	178 A
Daya input	100 kW
Faktor kerja	0,89
Putaran	1460 Rpm
Ferkuensi	50 Hz
Tegangan rotor	245 V
Arus rotor	248 A
Indek proteksi	44
Klas isolasi	F

pabrik pembuat	
Typ DA 80	
D - Motor	Nr. 7660
Δ 400	V 178 A
100 kW S3	cos φ 0,89
1460 / min	50 Hz
rotor Υ	245 V 248 A
Isol.- Kl.F	IP 44 1,1 t
DIN VDE 0530 EN 60034	

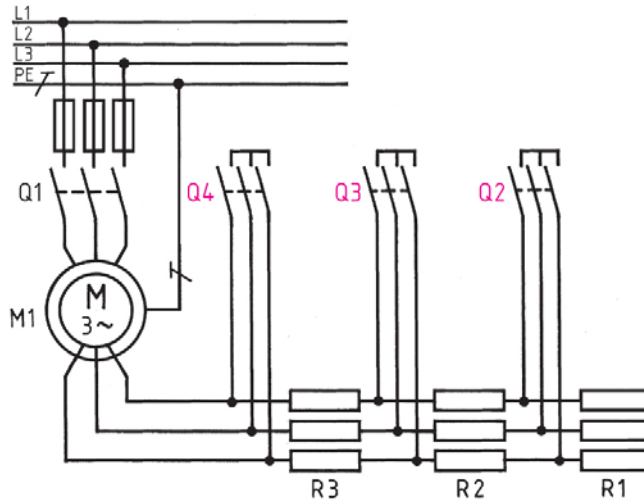
Gambar 5.30 : Nameplate Motor Induksi Jenis Slipring

Resistansi rotor luar dibuat bertahap **gambar-5.31** dengan tujuh tahapan. Saat tahap-1 nilai resistor maksimum kurva torsi terhadap slip, berikutnya tahap 2, 3, 4, 5, 6 dan tahap 7. Antara tahap-1 sampai tahap-7 selisih slip sebesar Δs . Dengan demikian pengaturan resistor rotor juga berfungsi mengatur putaran rotor dari putaran rendah saat tahap-1 menuju putaran nominal pada tahap-7.



Gambar 5.31 : Karakteristik torsi Motor Slipring

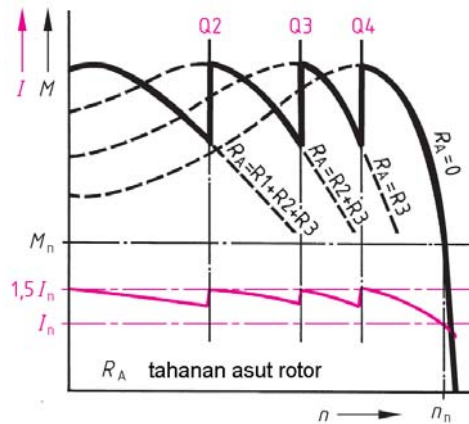
Pengaturan resistor rotor dapat menggunakan kontaktor elektromagnet **gambar-5.32** dengan menggunakan 3 tahap. Kontaktor Q1 menghubungkan stator dengan sumber daya listrik.



Gambar 5.32 :
Pengawatan Motor Slipring dengan tiga tahapan Resistor

1. Ketika Q2, Q3, Q4 OFF resistansi rotor maksimum ($R_A = R1+R2+R3$).
2. Saat Q2 ON resistansi luar $R_A = R2+R3$.
3. Ketika Q3 ON resistansi $R_A = R3$ saja.
4. Ketika Q4 ON rotor kondisi terhubung singkat $R_A = 0$, motor bekerja nominal.

Grafik momen motor rotor lilit **gambar-5.33** dengan empat tahapan. Tahap pertama yang saat Q1 kondisi ON dan Q2+Q3+Q4 posisi OFF. maka rangkaian tahanan rotor besarnya maksimum, besarnya arus starting $1,5 I_n$ sampai beberapa saat ke tahap kedua. Tahap kedua Q2 kondisi ON dan Q3+Q4 posisi OFF, arus starting $1,5 I_n$ menuju I_n sampai tahap ketiga. Tahap ketiga Q3 kondisi ON dan Q4 posisi OFF, arus starting kembali ke posisi $1,5 I_n$ dan terakhir posisi tahap keempat saat Q4 ON semua resistor dihubungsingkatkan, dan motor slipring bekerja kondisi nominal.

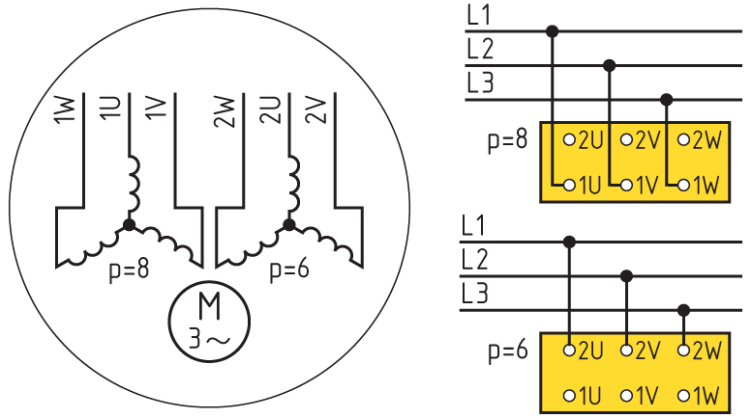


Gambar 5.33 : Karakteristik Torsi dengan tiga tahapan

Pengasutan *Slipring* termasuk pengasutan dengan menambahkan tahanan pada rangkaian rotornya, hanya bisa dilakukan pada motor 3 fasa jenis rotor lilit. Dengan mengatur besaran tahanan rotor, arus dan torsi starting dapat diatur besarnya.

5.15. Motor Dua Kecepatan (Dahlander)

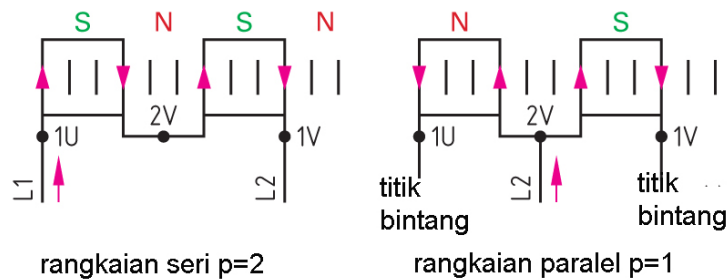
Motor dua kecepatan (*Dahlander*) dirancang khusus memiliki dua kelompok belitan yang berbeda. Belitan pertama memiliki delapan pasang kutub ($p=8$, kecepatan 370 Rpm) dengan ujung terminal 1U, 1V dan 1W yang dihubungkan dengan sumber listrik tiga fase L1, L2 dan L3. Belitan kedua memiliki enam pasang kutub ($p=6$, kecepatan 425 Rpm) dengan ujung belitan 2U, 2V dan 2W



Gambar 5.34 :
Rangkaian Belitan Motor dua kecepatan (*Dahlander*)

Penjelasan cara kerja motor dua kecepatan terletak pada cara pemasangan belitan statornya. Perhatikan belitan stator yang memiliki empat kutub atau 2 pasang kutub utara-selatan ($p=2$, kecepatan 1450 Rpm), belitan stator dihubungkan secara seri. Aliran arus listrik dari L1 menuju terminal 1U memberikan arus pada koil pertama, secara seri masuk ke koil kedua menghasilkan dua pasang kutub, terminal 1V terhubung dengan L2 **gambar-5.35a**.

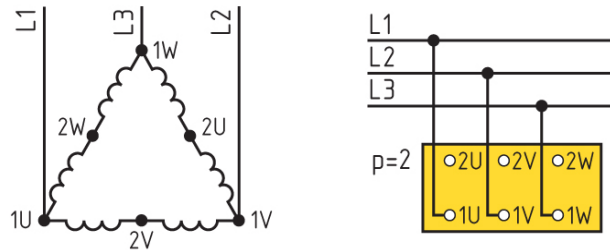
Sedangkan pada pada stator dengan dua kutub atau satu pasang kutub ($p=1$, kecepatan 2950 Rpm), belitan stator disambungkan secara paralel. Aliran arus listrik dari L2 menuju terminal 2V memberikan arus pada koil pertama, dan koil kedua secara paralel menghasilkan satu pasang kutub saja dan terminal 1U dan 1V terhubung dengan L1 **gambar-5.35b**.



Gambar 5.35 : Hubungan Belitan Motor Dahlander

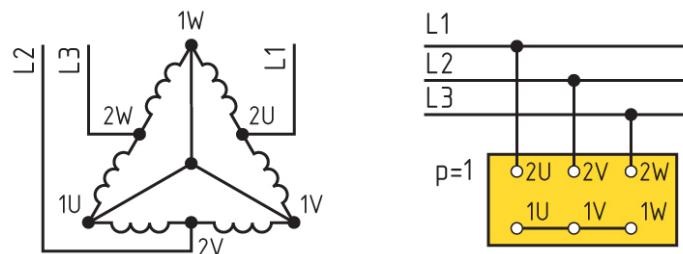
Motor Listrik Arus Bolak Balik

Penjelasan saat ($p=2$, kecepatan 1450 Rpm) bagian belitan motor terhubung *segitiga* dimana sumber daya L1 keterminal 1U, L2 menuju terminal 1V dan L3 terhubung ke terminal 1W. Sementara ujung terminal 2U, 2V dan 2W tidak dibiarkan terbuka **gambar-5.36**. Perhatikan tiap fasa terdapat dua belitan yang terhubung secara seri yang akan menghasilkan dua pasang kutub.



Gambar 5.36 : Hubungan belitan Segitiga Dahlander berkutub empat ($p=2$)

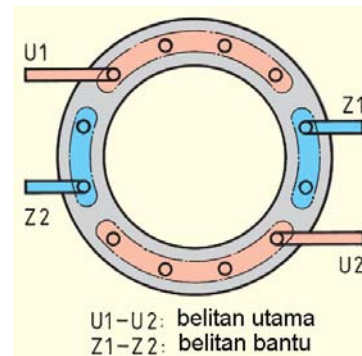
Pada saat ($p=1$, kecepatan 2950 Rpm) bagian belitan motor terhubung secara *paralel bintang* dimana sumber daya L1 keterminal 2U, L2 menuju terminal 2V dan L3 terhubung ke terminal 2W. Sementara ujung terminal 1U, 1V dan 1W dihubungkan singkatkan **gambar-5.37**. Perhatikan tiap fasa terdapat dua belitan yang terhubung *bintang paralel* yang akan menghasilkan satu pasang kutub saja.



Gambar 5.37 : Hubungan belitan Bintang Ganda, berkutub dua ($p=1$)

5.16. Prinsip kerja Motor AC Satu Fasa

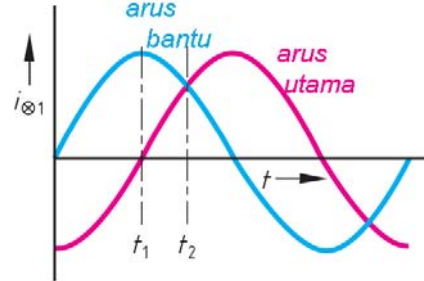
Motor AC satu fasa berbeda cara kerjanya dengan motor AC tiga fasa. Pada motor AC tiga fasa, belitan stator terdapat tiga belitan yang menghasilkan medan putar dan pada rotor sangkar terjadi induksi dan interaksi torsi yang menghasilkan putaran. Pada motor satu fasa memiliki dua belitan stator, yaitu belitan fasa utama (belitan U1-U2) dan belitan fasa bantu (belitan Z1-Z2) **gambar-5.38**.



Gambar 5.38 : Prinsip Medan Magnet Utama dan Medan magnet Bantu Motor Satu Fasa

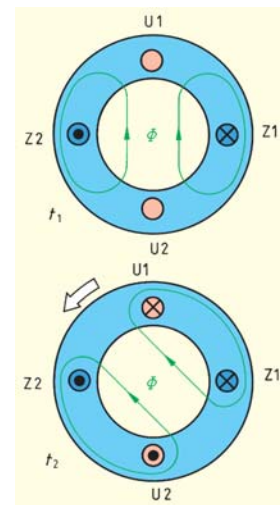
Belitan utama menggunakan penampang kawat tembaga lebih besar sehingga memiliki impedansi lebih kecil. Sedangkan belitan bantu dibuat dari tembaga berpenampang kecil dan jumlah belitannya lebih banyak, sehingga impedansinya lebih besar dibanding impedansi belitan utama.

Grafik arus belitan bantu I_{bantu} dan arus belitan utama I_{utama} berbeda fase sebesar ϕ **gambar-5.39**, hal ini disebabkan karena perbedaan besarnya impedansi kedua belitan tersebut. Perbedaan arus beda fase ini menyebabkan arus total, merupakan penjumlahan vektor arus utama dan arus bantu. Medan magnet utama yang dihasilkan belitan utama juga berbeda fase sebesar ϕ dengan medan magnet bantu.



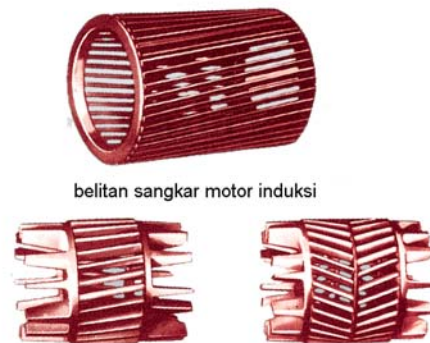
Gambar 5.39 : Gelombang arus medan bantu dan arus medan utama

Belitan bantu Z1-Z2 pertama dialiri arus I_{bantu} menghasilkan fluk magnet Φ tegak lurus, beberapa saat kemudian belitan utama U1-U2 dialiri arus utama I_{utama} yang bernilai positif. Hasilnya adalah medan magnet yang bergeser sebesar 45° dengan arah berlawanan jarum jam **gambar-5.40**. Kejadian ini berlangsung terus sampai satu siklus sinusoida, sehingga menghasilkan medan magnet yang berputar pada belitan statornya.



Gambar 5.40 : Medan magnet pada Stator Motor satu Phasa

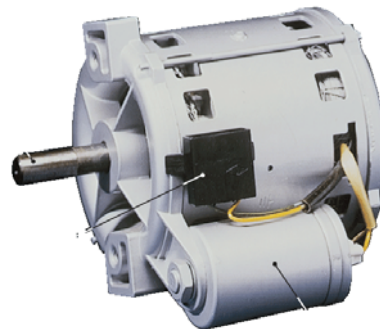
Rotor motor satu phasa sama dengan rotor motor tiga phasa berbentuk batang-batang kawat yang ujung-ujungnya dihubungkan singkatkan dan menyerupai bentuk sangkar tupai, maka sering disebut rotor sangkar **gambar-5.41** Belitan rotor yang dipotong oleh medan putar stator, menghasilkan tegangan induksi, interaksi antara medan putar stator dan medan magnet rotor menghasilkan torsi putar pada rotor.



Gambar 5.41 : Rotor sangkar

5.17. Motor Kapasitor

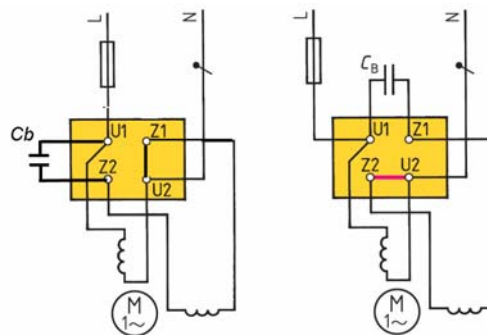
Motor kapasitor satu fasa banyak digunakan dalam peralatan rumah tangga seperti motor pompa air, motor mesin cuci, motor lemari es, motor air conditioning **gambar-5.42**. Konstruksinya sederhana dengan daya kecil dan bekerja dengan suplay PLN 220 V menjadikan motor kapasitor banyak dipakai pada peralatan rumah tangga.



Gambar 5.42 : Bentuk fisik Motor Kapasitor

Belitan stator terdiri atas belitan utama dengan notasi terminal $U1-U2$, dan belitan bantu dengan notasi terminal $Z1-Z2$ **gambar-5.40**. Jala-jala L1 terhubung dengan terminal $U1$, dan kawat netral N terhubung dengan terminal $U2$. Kondensator kerja berfungsi agar perbedaan sudut fasa belitan utama dengan belitan bantu mendekati 90^0 .

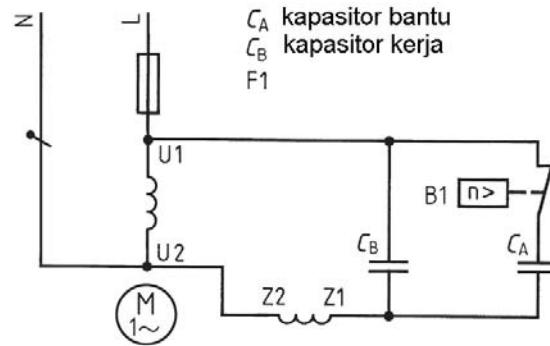
Untuk menghasilkan putaran ke kiri (*berlawanan jarum jam*) kondensator kerja C_B disambungkan ke terminal $U1$ dan $Z2$ dan terminal $Z1$ dikopel dengan terminal $U2$ **gambar-5.43a**). Putaran ke kanan (*searah jarum jam*) kondensator kerja disambung kan ke terminal $Z1$ dan $U1$ dan terminal $Z2$ dikopel dengan terminal $U1$. **gambar-5.43b**).



Gambar 5.43 : Pengawatan Motor Kapasitor Pembalikan Putaran

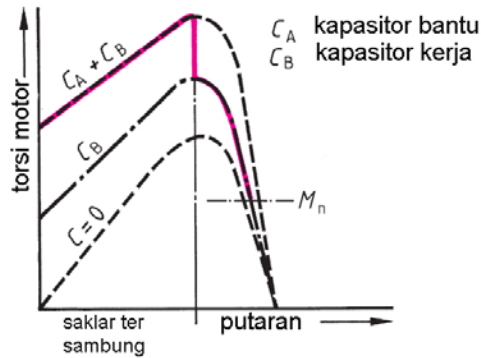
Motor kapasitor dengan daya diatas 1 KW di lengkapi dengan dua buah kondensator dan satu buah saklar sentrifugal. Belitan utama $U1-U2$ dihubungkan dengan jala-jala L1 dan Netral N. Belitan bantu $Z1-Z2$ disambungkan seri dengan kondensator kerja C_B , dan sebuah kondensator starting C_A diseri dengan kontak normally close dari saklar sentrifugal **gambar-5.44**.

Awalnya belitan utama dan belitan bantu mendapat suply dari jala-jala L1 dan Netral. Dua buah kondensator C_B dan C_A kedua membentuk loop tertutup, rotor mulai berputar ketika putaran mendekati 70% putaran nominalnya saklar sentrifugal akan membuka dan kontak normally close memutuskan kondensator bantu C_A .



Gambar 5.44 : Pengawatan dengan Dua Kapasitor

Fungsi dari dua kondensator disambungkan paralel $C_A + C_B$ untuk meningkatkan nilai torsi awal untuk mengangkat beban. Setelah putaran motor mencapai 70% putaran, saklar sentrifugal terputus sehingga hanya kondensator kerja C_B saja yang tetap bekerja. Jika kedua kondensator rusak maka torsi motor akan menurun drastis **gambar-5.45**.

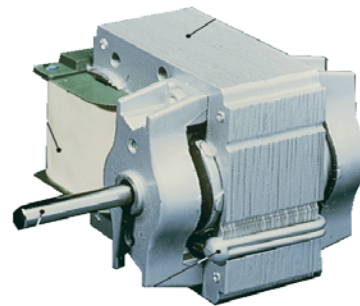


Gambar 5.45 : Karakteristik Torsi Motor kapasitor

5.18. Motor Shaded Pole

Motor shaded pole atau motor fasa terbelah termasuk motor satu fasa daya kecil, banyak digunakan untuk peralatan rumah tangga sebagai motor penggerak kipas angin, blender.

Konstruksinya sangat sederhana, pada kedua ujung stator ada dua kawat yang terpasang dan dihubung singkatkan fungsinya sebagai pembelah fasa **gambar-5.46** Belitan stator dibelitkan sekeliling inti membentuk seperti belitan transformator. Rotornya berbentuk sangkar tupai dan porosnya ditempatkan pada rumah stator ditopang dua buah bearing.

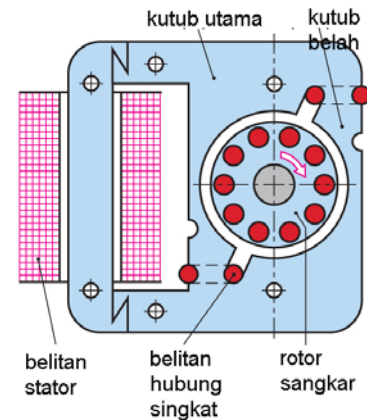


Gambar 5.46 : Bentuk fisik Motor Shaded Pole

Motor Listrik Arus Bolak Balik

Irisan penampang motor shaded pole memperlihatkan dua bagian, yaitu bagian stator dengan belitan stator dan dua kawat shaded pole. Bagian rotor sangkar ditempatkan di tengah-tengah stator. Torsi putar dihasilkan oleh adanya pembelahan fasa oleh kawat shaded pole **gambar-5.47**.

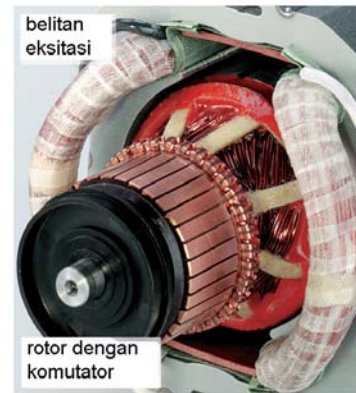
Konstruksi yang sederhana, daya yang kecil, handal, mudah dioperasikan, bebas perawatan dan cukup di supply dengan AC 220 V jenis motor shaded pole banyak digunakan untuk peralatan rumah tangga kecil.



Gambar 5.47 : Penampang Motor Shaded Pole

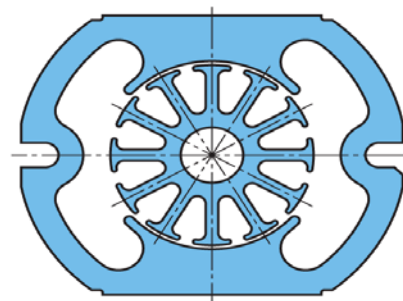
5.19. Motor Universal

Motor Universal termasuk motor satu fasa dengan menggunakan belitan stator dan belitan rotor. Motor universal dipakai pada mesin jahit, motor bor tangan. Perawatan rutin dilakukan dengan mengganti sikat arang yang memendek atau peas sikat arang yang lembek. Kontruksinya yang sederhana, handal, mudah dioperasikan, daya yang kecil, torsi yang cukup besar motor universal dipakai untuk peralatan rumah tangga.



Gambar 5.48 : Komutator pada Motor Universal

Bentuk stator dari motor universal terdiri dari dua kutub stator. Belitan rotor memiliki dua belas alur belitan **gambar-5.49**, dilengkapi komutator dan sikat arang yang menghubungkan secara seri antara belitan stator dengan belitan rotornya. Motor universal memiliki kecepatan tinggi sekitar 3000 rpm. Aplikasi motor universal untuk mesin jahit, untuk mengatur kecepatan dihubungkan dengan tahanan geser dalam bentuk pedal yang ditekan dan dilepaskan.

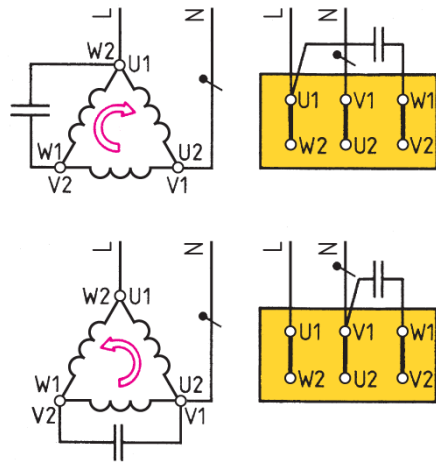


Gambar 5.49 : Stator dan Rotor Motor Universal

5.20. Motor Tiga Phasa dengan Suply Tegangan Satu Phasa

Kondisi darurat memungkinkan motor tiga phasa, bisa dioperasikan dengan supply tegangan satu phasa. Terminal motor dihubungkan secara segitiga, yaitu terminal U1 dikopel W2, V1 dikopel U2, W1 dikopel V2, dan ditambahkan kondensator $8\mu F/400V$ sebagai penggeser phasa **gambar5.50-**.

Untuk mendapatkan putaram ke kanan kondensator $8\mu F/400V$ disambungkan terminal U1 dan W1, sedangkan untuk putaran kekiri kondensator disambungkan terminal V1 dan W1. Daya beban maksimum hanya 70% dari daya nominal name plate.



Gambar 5.50 : Motor tiga Phasa disuply tegangan satu Phasa

5.21. Rangkuman

- Kecepatan motor diukur dengan alat tachometer, pengukuran dilakukan pada poros rotor, ada tachometer analog dan tachometer digital.
- Torsi sering disebut momen (M) merupakan perkalian gaya F (Newton) dengan panjang lengan L (meter).
- Motor induksi disebut juga motor asinkron adalah alat listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.
- Motor terdiri atas belitan stator yang diam dan bagian rotor yang berputar pada porosnya.
- Susunan belitan stator motor induksi dengan dua kutub, memiliki tiga belitan yang masing-masing berbeda sudut 120° .
- Bagian rotor merupakan batang penghantar yang bagian ujung-ujungnya dihubungkan dan disebut rotor sangkar tupai .
- Kecepatan medan putar stator ini sering disebut kecepatan sinkron, yang berlaku rumus :
$$n_s = \frac{f \times 120}{p}$$
- Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan bagian stator, karena dalam motor induksi tidak komutator dan sikat arang.

Motor Listrik Arus Bolak Balik

- Bagian motor induksi yang perlu dipelihara rutin mencakup pelumasan bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box karena kendor
- Rumus menghitung daya input motor induksi : $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi$ (Watt)
- Pada motor induksi terdapat *rugi-rugi tembaga*, *rugi inti* dan *rugi karena gesekan dan hambatan angin*.
- Efisiensi motor adalah perbandingan antara daya output pada poros rotor dengan daya input yang ditarik dari daya listrik.
- Besarnya rugi tembaga pada motor induksi sebanding dengan $I^2 \cdot R$, makin besar arus beban maka rugi tembaga makin besar juga.
- Spesifikasi teknik motor induksi terdapat pada nameplate, yang mengandung informasi: pabrik pembuat, jenis motor, tegangan nominal, arus nominal, putaran poros, frekuensi, daya motor, klas isolasi, klas IP.
- Membalik putaran motor, dilakukan dengan menukarkan posisi terminal yang terhubung dengan supply listrik 3 phasa.
- Dikenal ada empat jenis torsi, yaitu : MA = momen torsi awal, MS =momen torsi pull-up, MK =momen torsi maksimum, MB =momen torsi kerja.
- Ada beberapa cara teknik pengasutan, diantaranya : (a)Hubungan langsung (*Direct On Line = DOL*) (b)Tahanan depan Stator (*Primary Resistor*) (c) Transformator (d) Segitiga-Bintang (*Start-Delta*) (e) Pengasutan Soft starting (f)Tahanan Rotor lilit.
- Pengasutan hubungan langsung (DOL) akan menarik arus 5 s/d 6 kali arus nominal, menghasilkan torsi starting 1,96 kali torsi nominal.
- Pengasutan resistor stator dengan memasang resistor secara seri dengan belitan stator. Resistor gunanya untuk menurunkan tegangan ke stator. Jika tegangan diturunkan 50%, arus starting turun 50% dan torsi starting turun 25%.
- Pengasutan **segitiga bintang** menggunakan saklar segitiga-bintang. Saat hubungan segitiga arus ke stator $1/\sqrt{3}$ dari arus start DOL. Torsi starting $1/3$ dari T starting DOL = 0,65.
- Pengasutan *Soft starting* menggunakan komponen *Solid State Thyristor* terpasang antiparalel pada rangkaian belitan stator. Dengan mengatur sudut penyalaan α , tegangan dan arus starting dapat dikendalikan.
- Pengasutan *Slipring* termasuk pengasutan dengan menambahkan tahanan pada rangkaian rotornya, hanya bisa dilakukan pada motor 3 phasa *jenis*

rotor lilit. Dengan mengatur besaran tahanan rotor, arus dan torsi starting dapat diatur besarnya.

- Motor dua kecepatan (*Dahlander*) dirancang khusus memiliki dua belitan yang berbeda. Belitan pertama memiliki delapan pasang kutub ($p=8$, kecepatan 370 Rpm). Belitan kedua memiliki enam pasang kutub ($p=6$, kecepatan 425 Rpm).
- Pada motor satu fasa memiliki dua belitan stator, yaitu belitan fasa utama (belitan U1-U2) dan belitan fasa bantu (belitan Z1-Z2).
- Rotor motor satu fasa sama dengan rotor motor induksi berbentuk batang-batang kawat yang ujung-ujungnya dihubungkan singkatkan dan menyerupai bentuk sangkar tupai.
- Motor kapasitor satu fasa, belitan utama stator (U1-U2) dan belitan fasa bantu dihubungkan seri dengan sebuah kapasitor (Z1-Z2).
- Motor shaded pole atau motor fasa terbelah, belitan utama pada stator dan ada belitan pembelah fasa pada kedua ujung yang dekat rotor.
- Motor Universal termasuk motor satu fasa dengan menggunakan belitan stator memiliki komutator dan sikat arang yang dihubungkan seri dengan belitan rotor.
- Motor tiga fasa, bisa dioperasikan dengan supply tegangan satu fasa, dengan menambahkan kapasitor.

5.22. Soal-soal

1. Motor induksi pada *nameplate* tertera frekuensi 50 Hz, putaran rotor 1450 Rpm memiliki jumlah kutub 2 buah. Hitung besarnya putaran medan magnet putar pada stator dan slip motor induksi tersebut,
2. *Nameplate* motor induksi tertera daya output 7,5 KW, tegangan 400 V dan arus 18 A, $\cos\phi$ 0,85. Putaran motor 1440 Rpm. Dapat dihitung daya input, efisiensi motor dan momen torsi motor tsb.
3. *Nameplate* motor induksi dengan daya output 5,5 KW, tegangan 400 V dan arus 10,7 A, $\cos\phi$ 0,88. Putaran motor 1425 Rpm. Bila motor tersebut dihubungkan dengan starting DOL, hitung besarnya arus starting dan torsi startingnya.
4. Gambarkan pengawatan starting dengan bintang-segitiga, dan jelaskan cara kerjanya saat pengasutan terjadi, terangkan berapa besarnya arus starting dan torsi starting yang dihasilkan.

Motor Listrik Arus Bolak Balik

5. Motor induksi jenis rotor lilit dengan name plate sbb :

Tegangan stator	380 V
Arus stator	160 A
Daya input	90 KW
Faktor kerja	0,89
Putaran	1450 Rpm
Frekuensi	50 Hz
Tegangan rotor	245 V
Arus rotor	200 A

Hitunglah besarnya daya input, besarnya daya output dan efisiensi dari motor induksi.

6. Motor lilit 50 KW/380V di rancang untuk pengasutan dengan tahanan belitan rotor dengan tiga tahapan. Gambarkan pengawatan rangkaian power nya dan jelaskan cara kerjanya dari tahapan pengasutan.
7. Motor pompa dirancang untuk mengisi tangki reservoir dengan ukuran 1m x 2m x 2m dengan ketinggian dari permukaan tanah 10 meter, kedalaman sumur 15 meter, debit pompa 100 liter/menit. Tentukan daya pompa yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa tersebut.

Bab 6

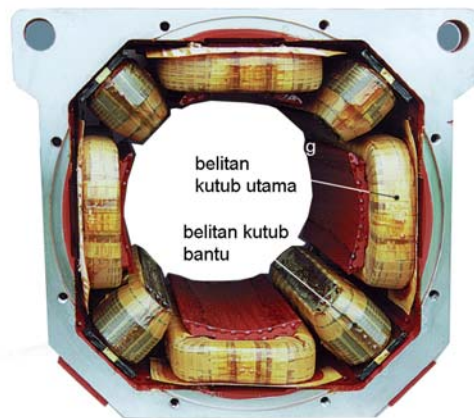
Mesin Listrik Arus Searah

Daftar Isi

6.1	Mesin Arus Searah	6-2
6.2	Prinsip kerja Generator DC.....	6-4
6.3	Generator penguat terpisah	6-7
6.4	Generator belitan Shunt.....	6-8
6.5	Generator belitan Kompound.....	6-8
6.6	Konstruksi Generator DC.....	6-9
6.7	Reaksi Jangkar	6-10
6.8	Arah Putaran Mesin DC.....	6-12
6.9	Prinsip kerja Motor DC.....	6-13
6.10	Starting Motor DC	6-15
6.11	Pengaturan Kecepatan Motor DC.....	6-16
6.12	Reaksi Jangkar pada Motor DC.....	6-18
6.13	Motor belitan Seri.....	6-19
6.14	Motor DC penguat terpisah.....	6-20
6.15	Motor DC belitan Shunt.....	6-21
6.16	Motor DC belitan Kompound.....	6-21
6.17	Belitan Jangkar	6-22
6.18	Rugi-rugi Daya dan Efisiensi Motor DC	6-29
6.19	Rangkuman	6-30
6.20	Soal-soal.....	6-33

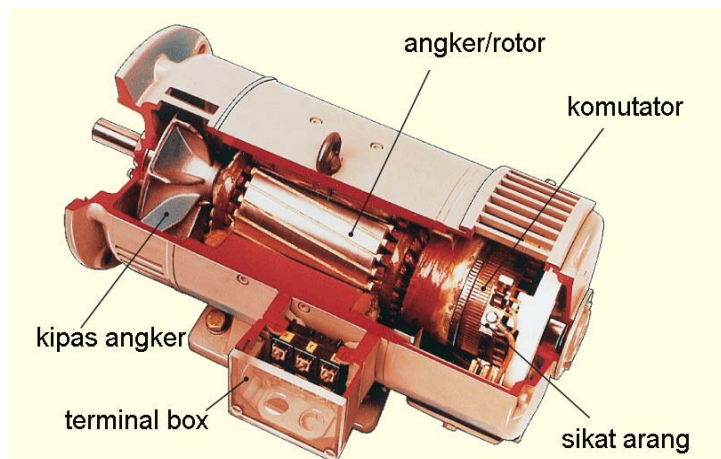
6.1. Mesin Arus Searah

Mesin arus searah dapat berupa *generator DC* atau *motor DC*. Untuk membedakan sebagai generator atau motor dari mesin difungsikan sebagai apa. *Generator DC* alat yang mengubah *energi mekanik* menjadi *energi listrik DC*. Motor DC alat yang mengubah energi listrik DC menjadi energi mekanik putaran. Sebuah motor DC dapat difungsikan sebagai generator, atau sebaliknya generator DC bisa difungsikan sebagai motor DC.



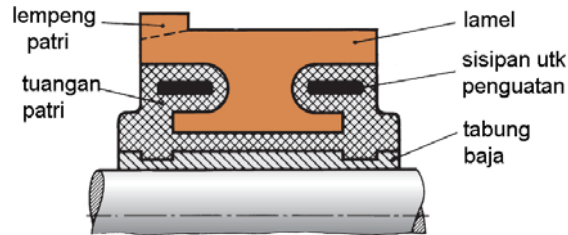
Gambar 6.1 : Stator Mesin DC dan Medan Magnet Utama dan Medan Magnet Bantu

Secara fisik mesin DC tampak jelas ketika rumah motor atau disebut stator dibongkar terdapat kutub-kutub magnet bentuknya menonjol **gambar-6.1**. Mesin DC yang sudah dipotong akan tampak beberapa *Kompunden* yang mudah dikenali. Bagian yang berputar dan berbentuk belitan kawat dan ditopang poros disebut sebagai rotor atau jangkar **gambar-6.2**.



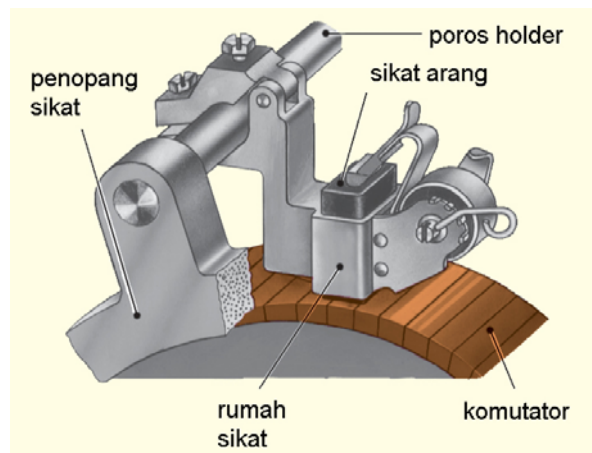
Gambar 6.2 : Fisik Mesin DC

Bagian rotor mesin DC salah satu ujungnya terdapat komutator yang merupakan kumpulan segmen tembaga yang tiap-tiap ujungnya disambungkan dengan ujung belitan rotor ***gambar-6.3***. Komutator merupakan bagian yang sering dirawat dan dibersihkan karena bagian ini bersinggungan dengan sikat arang untuk memasukkan arus dari jala-jala ke rotor.



Gambar 6.3 : Penampang Komutator

Sikat arang (*carbon brush*) dipegang oleh pemegang sikat (*brush holder*) ***gambar-6.4*** agar kedudukan sikat arang stabil. Pegas akan menekan sikat arang sehingga hubungan sikat arang dengan komutator tidak goyah. Sikat arang akan memendek karena usia pemakaian, dan secara periodik harus diganti dengan sikat arang baru.

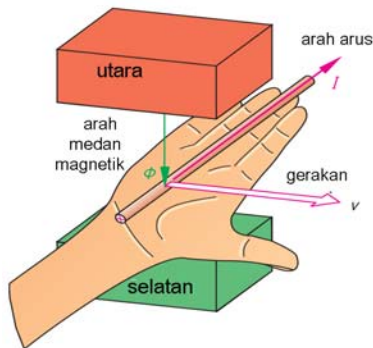


Gambar 6.4 : Pemegang Sikat Arang

Salah satu kelemahan dari mesin DC adalah kontak mekanis antara komutator dan sikat arang yang harus terjaga dan secara rutin dilakukan pemeliharaan. Tetapi mesin DC juga memiliki keunggulan khususnya untuk mendapatkan pengaturan kecepatan yang stabil dan halus. Motor DC banyak dipakai di industri *kertas, tekstil, kereta api diesel elektrik, dsb.*

Mesin DC dapat difungsikan sebagai generator DC maupun sebagai motor DC. Saat sebagai generator DC fungsinya mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Sedangkan sebagai Motor DC mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

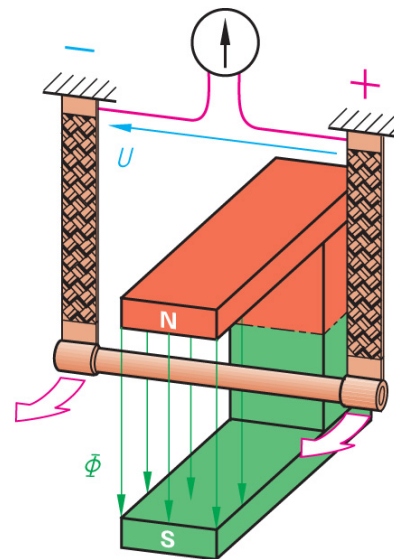
6.2. Prinsip Kerja Generator DC



Gambar 6.5 : Kaidah Tangan Kanan

Prinsip kerja generator DC berdasarkan pada *kaidah tangan kanan*. Sepasang magnet permanen utara-selatan menghasilkan garis medan magnet Φ , kawat penghantar di atas telapak tangan kanan ditembus garis medan magnet Φ . Jika kawat digerakkan ke arah ibu jari, maka dalam kawat dihasilkan arus listrik I yang searah dengan keempat arah jari tangan **gambar-6.5**. Bagaimana kalau posisi utara-selatan magnet permanen dibalik ? Ke mana arah arah arus listrik induksi yang dihasilkan ?

Percobaan secara sederhana dapat dilakukan dengan menggunakan sepasang magnet permanen berbentuk U, sebatang kawat digantung dikedua sisi ujungnya, pada ujung kawat dipasangkan Voltmeter **gambar-6.6**. Batang kawat digerakkan ke arah panah, pada kawat dihasilkan ggl induksi dengan tegangan yang terukur pada Voltmeter.



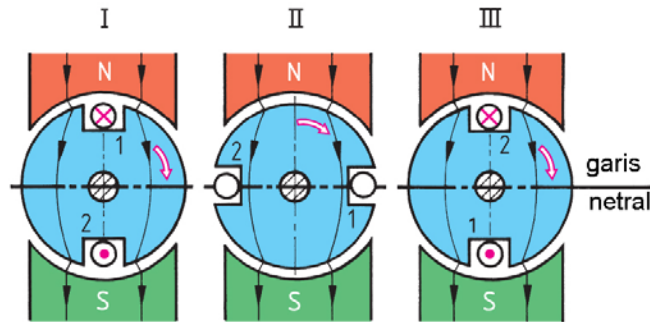
Gambar 6.6 : Model Prinsip Kerja Generator DC

Besarnya ggl induksi yang dibangkitkan :

$$u_i = B.L.v.z \quad \text{Volt}$$

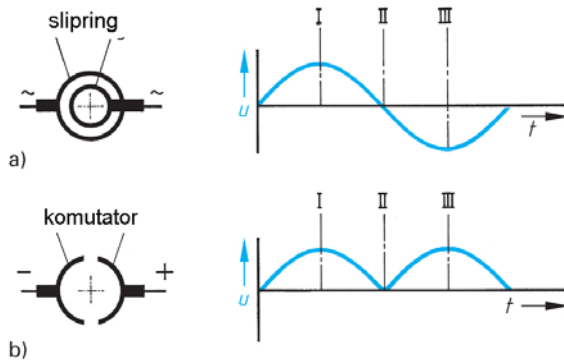
- u_i Tegangan induksi pada kawat, V
- B Kerapatan medan magnet, Tesla
- L Panjang kawat efektif, meter
- v Kecepatan gerak, m/detik
- z Jumlah belitan kawat

Belitan kawat generator berbentuk silinder dan beberapa kawat dibelitkan selanjutnya disebut belitan rotor atau belitan jangkar. Kedudukan I, ketika rotor digerakkan serah jarum jam, kawat 1 tanda silang (*menjauhi kita*), kawat 2 tanda titik (*mendekati kita*) ggl induksi maksimum. Posisi II kawat 1 dan kawat 2 berada pada garis netral ggl induksi sama dengan nol. Posisi III kawat kebalikan posisi I dan ggl induksi tetap maksimum **gambar-6.7**.



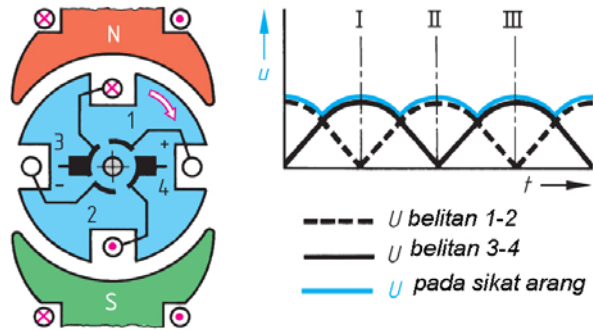
Gambar 6.7 : Pembangkitan Tegangan DC pada Angker

Posisi ini terjadi berulang-ulang selama rotor diputar pada porosnya, dan ggl induksi yang dihasilkan maksimum, kemudian ggl induksi menjadi nol, berikutnya ggl induksi menjadi maksimum terjadi berulang secara bergantian.



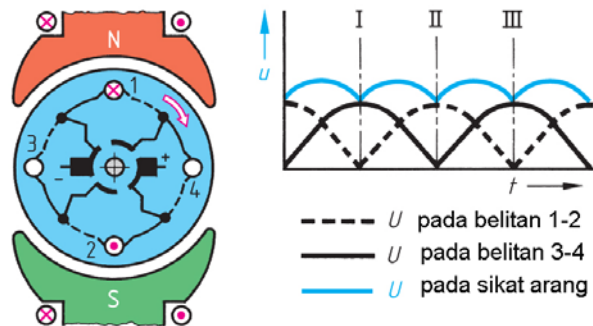
Gambar 6.8 : a) Bentuk tegangan AC dan Slipring; dan b) Tegangan DC pada Komutator

GGL induksi yang dihasilkan dari belitan rotor **gambar-6.7** dapat menghasilkan dua jenis listrik yang berbeda, yaitu listrik AC dan listrik DC. Jika ujung belitan rotor dihubungkan dengan slipring berupa dua cincin **gambar-6.8a**, maka dihasilkan listrik AC berbentuk sinusoidal. Bila ujung belitan rotor dihubungkan dengan komutator satu cincin **gambar-6.8b** dengan dua belahan, maka dihasilkan listrik DC dengan dua gelombang positif.



Gambar 6.9 : Prinsip pembangkitan tegangan DC

Mesin DC dikembangkan rotornya memiliki banyak belitan dan komutator memiliki beberapa segmen. Rotor memiliki empat belitan dan komutator empat segmen, sikat arang dua buah, akan menghasilkan ggl induksi dengan empat buah buah gelombang untuk setiap putaran rotornya **gambar 6.9**. Tegangan DC yang memiliki empat empat puncak.



Gambar 6.10 : Tegangan DC pada Komutator

Medan magnet yang sebelumnya adalah magnet permanen diganti menjadi elektromagnet, sehingga kuat medan magnet bisa diatur oleh besarnya arus penguatan medan magnet. Belitan rotor dikembangkan menjadi belitan yang memiliki empat cabang, komutator empat segmen dan sikat arang dua buah. Tegangan yang dihasilkan penjumlahan dari belitan 1-2 dan belitan 3-4 **gambar 6. 10**.

Dalam perkembangan berikutnya generator DC dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1. *Generator penguat terpisah*
2. *Generator belitan Shunt*
3. *Generator belitan Kompoundd*

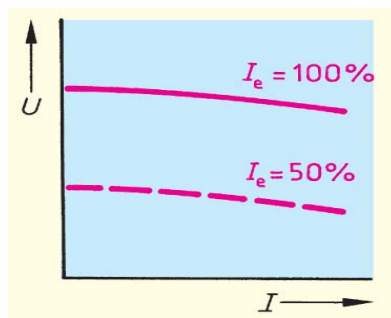
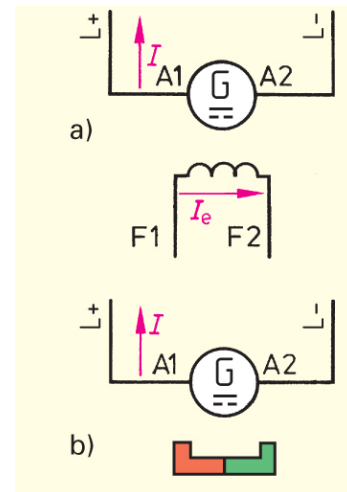
Penjelasan singkat mengenai diagram pengawatan, karakteristik tegangan fungsi arus dan pengaturan tegangan dapat dilihat pada tabel di bawah.

- Prinsip pembangkitan listrik mengikuti kaidah tangan kanan *Flemming*, Sepasang magnet permanen utara-selatan menghasilkan garis medan magnet Φ , kawat penghantar di atas telapak tangan kanan ditembus garis medan magnet Φ . Jika kawat digerakkan ke arah ibu jari, maka dalam kawat dihasilkan arus listrik I yang searah dengan keempat arah jari tangan.
- Komutator berfungsi untuk menyearahkan tegangan yang dihasilkan rotor menjadi tegangan DC.

6.3. Generator Penguat Terpisah

Jenis generator penguat terpisah ada dua jenis 1) penguat elektromagnetik ***gambar-6.11a*** 2) magnet permanen ***gambar-6.11b***. Penguat elektromagnetik melalui belitan F1-F2 diberi sumber listrik DC dari luar misalnya dengan baterai, dengan mengatur besarnya arus eksitasi I_e , maka tegangan terminal rotor A1–A2 dapat dikendalikan. Generator penguat terpisah dipakai dalam pemakaian khusus, misalnya pada Main Generator Lok Diesel Elektrik CC 201/CC203.

Gambar 6.11 : a) Rangkaian Generator DC Penguat terpisah dan b) Penguat magnet permanen

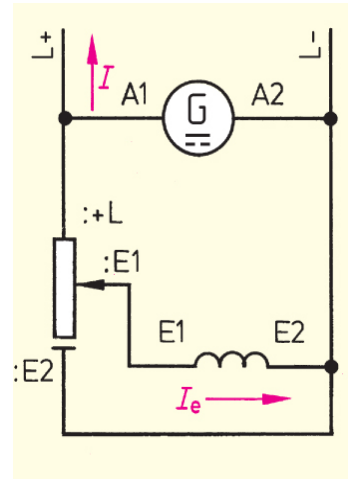


Gambar 6.12 : Karakteristik tegangan Generator Penguat Terpisah

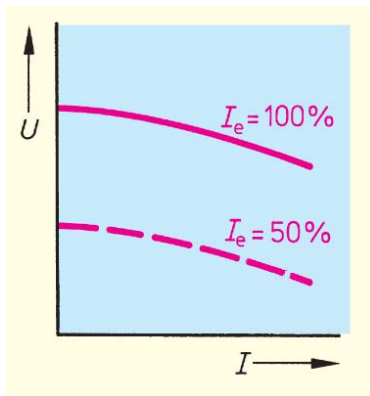
Penguat dengan magnet permanen tegangan keluaran generator terminal rotor A1-A2 konstan. Karakteristik tegangan U relatif konstan dan tegangan akan menurun sedikit ketika arus beban I dinaikkan mendekati harga nominalnya ***gambar 6.12***.

6.4. Generator Belitan Shunt

Generator belitan *Shunt* E1-E2 dipasang secara paralel dengan belitan rotor A1-A2 **gambar-6.13**. Tegangan awal generator diperoleh dari magnet sisa yang terdapat pada medan magnet stator. Rotor berputar dalam medan magnet yang lemah, dihasilkan tegangan yang akan memperkuat medan magnet stator, sampai dicapai tegangan nominalnya.



Gambar 6.13 : Rangkaian Generator Belitan Shunt

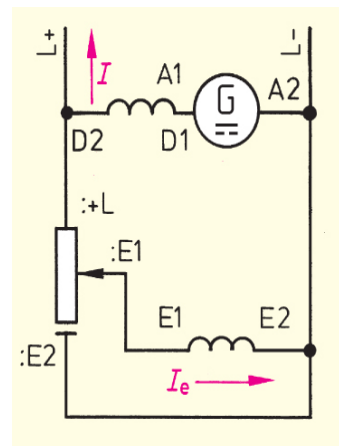


Pengaturan arus eksitasi yang melewati belitan *Shunt* E1-E2 diatur oleh tahanan geser. Makin besar arus eksitasi *Shunt* makin besar medan penguat *Shunt* dan tegangan terminal meningkat sampai pada tegangan nominalnya. Karakteristik tegangan U terhadap peningkatan arus relatif stabil, tegangan akan cenderung menurun ketika arus I mendekati harga nominalnya **gambar 6.14**.

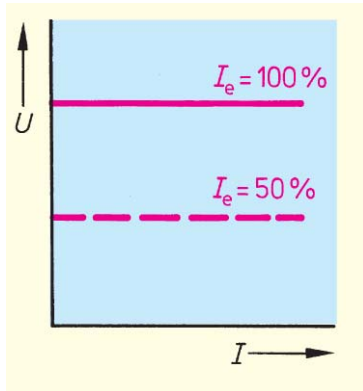
Gambar 6.14 : Karakteristik tegangan generator Shunt

6.5. Generator Belitan Kompound

Generator belitan *Kompound* disamping memiliki belitan rotor A1-A2, memiliki dua penguat magnet yaitu medan Seri notasi D1-D2 dan belitan penguat magnet *Shunt* notasi E1-E2 **gambar-6.15**. Belitan seri D1-D2 disambungkan seri dengan rangkaian rotor A1-A2, sehingga arus ke beban sekaligus sebagai penguat Seri. Belitan *Shunt* E1-E2 disambungkan paralel dengan rangkaian belitan rotor. Arus eksitasi magnet *Shunt* I_e diperoleh dengan mengatur tahanan geser.



Gambar 6.15 : Karakteristik tegangan generator Shunt



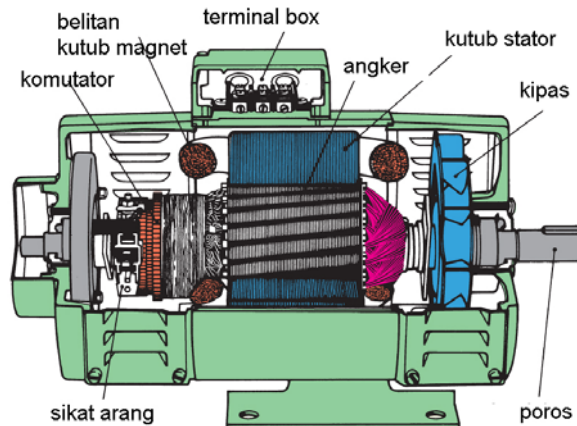
Generator penguat *compound* adalah kombinasi generator penguat *Shunt* dan generator seri. Karakteristik tegangan sebagai fungsi arus beban menghasilkan tegangan terminal yang konstan meskipun arus beban I mencapai harga nominalnya **gambar 6.16**.

Gambar 6.16 : Karakteristik Tegangan generator *compound*

6.6. Konstruksi Generator DC

Potongan melintang memperlihatkan konstruksi generator DC **gambar-6.17**. Generator DC terdiri dua bagian, yaitu *stator* bagian mesin DC yang diam, dan bagian *rotor* bagian mesin DC yang berputar.

Bagian stator terdiri atas : rangka motor, belitan stator, sikat arang, *bearing*, terminal *box*. Bagian rotor terdiri : komutator, belitan rotor, kipas rotor, poros rotor.



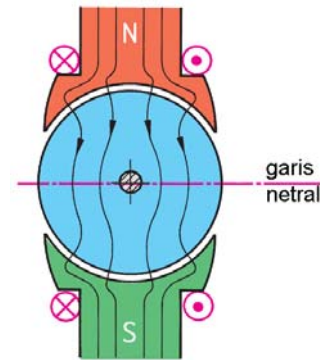
Gambar 6.17 : Bentuk Fisik Generator DC

Bagian yang harus menjadi perhatian untuk perawatan secara rutin adalah sikat arang yang akan memendek dan harus diganti secara periodik.

Komutator harus dibersihkan dari kotoran sisa sikat arang yang menempel dan serbuk arang yang mengisi celah-celah komutator, gunakan amplas halus untuk membersihkan noda bekas sikat arang.

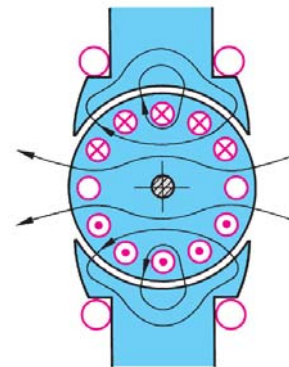
6.7. Reaksi Jangkar

Medan magnet untuk generator DC berasal dari kutub elektromagnet, berupa belitan kawat yang diberikan listrik DC, diperoleh kutub Utara (*North*)-Selatan (*South*). Medan magnet melewati rotor seperti ditunjukkan arah panah ***gambar-6.18***. Dengan mengatur besarnya arus eksitasi yang melewati belitan magnet, makin besar kuat medan magnet yang dihasilkan. Posisi garis netral tegak lurus dengan medan magnet.



Gambar 6.18 : Garis Netral Reaksi Jangkar

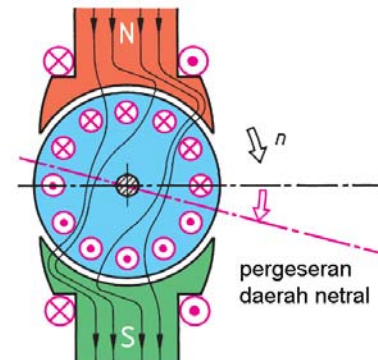
Dalam belitan rotor sesuai prinsip induksi dibangkitkan tegangan listrik, ketika generator diberikan beban mengalir arus listrik pada belitan rotor. Pada saat itu dalam rotor juga dibangkitkan medan elektromagnet, menurut prinsip hukum tangan kanan, arah medan magnetnya ke arah panah ***gambar-6.19***.



Gambar 6.19 : Garis medan Magnet jangkar

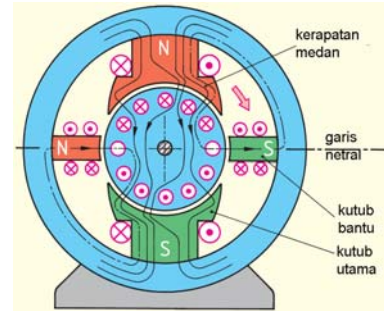
Besar kecilnya medan magnet di rotor berbanding lurus dengan besar kecilnya arus beban. Saat arus beban maksimum, medan magnet rotor maksimum, saat arus beban minimum maka medan magnet rotor juga minimum.

Interaksi antara medan magnet stator dengan medan elektromagnet rotor mengakibatkan jalannya medan magnet bergeser beberapa derajat ***gambar-6.20***. Pergeseran garis netral searah dengan arah putaran rotor. Untuk mendapatkan tegangan maksimum, maka sikat arang yang semula segaris dengan garis magnet utama, kini bergeser beberapa derajat dari garis netral teoritis.



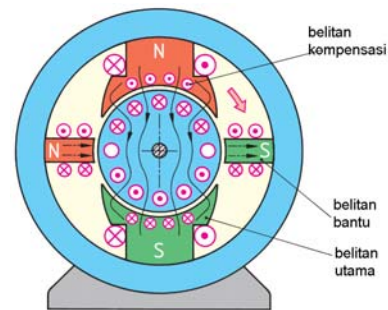
Gambar 6.20 : Pergeseran Garis Netral akibat Reaksi jangkar

Kutub bantu akan memperpendek jalannya garis medan magnet. Dengan dipasang kutub bantu kini garis netral kembali ke posisi semula, dan kedudukan sikat arang tegak lurus segaris dengan kutub utamanya **gambar-6.21**. Rangkaian kutub bantu disambungkan seri dengan belitan rotor, sehingga kuat medan magnet kutub bantu yang dihasilkan sebanding dengan arus ke beban.



Gambar 6.21 : Kutub Magnet Utama dan Kutub Bantu Mesin DC

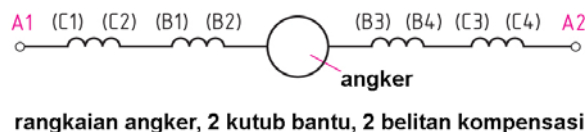
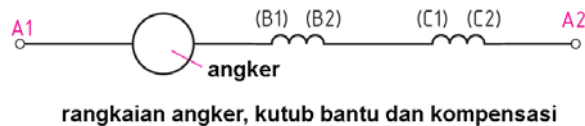
Untuk memperbaiki pengaruh reaksi jangkar, dikembangkan belitan kompensasi yang dipasangkan pada kaki kutub utama baik pada belitan kutub utara-maupun kutub selatan **gambar-6.22**. Kini dalam rangkaian generator DC memiliki tiga belitan magnet, yaitu belitan magnet utama, belitan magnet bantu (*interpole*) dan belitan magnet kompensasi.



Gambar 6.22 : Kutub Magnet Utama, Kutub bantu dan Belitan Kompensasi

Tabel 6.1 Notasi pengenal belitan Generator DC	
A	Belitan rotor/ jangkar
B	Belitan kutub magnet bantu
C	Belitan kutub magnet kompensasi
D	Belitan kutub seri
E	Belitan kutub Shunt
F	Belitan kutub terpisah

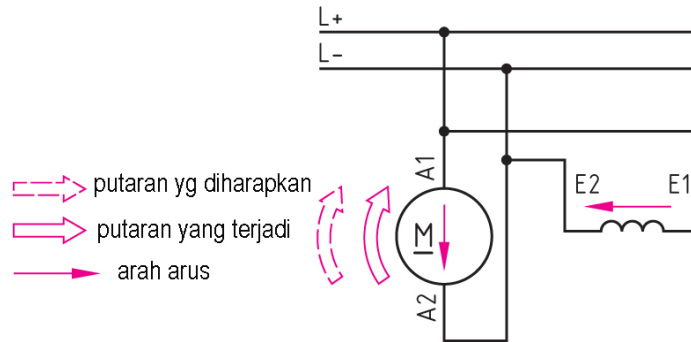
Rangkaian generator DC dapat dikenali dari diagram pengawatannya dan notasi pengenal kutub magnetnya. Pengawatan dengan belitan jangkar A1-A2, disambung seri dengan magnet kutub bantu B1-B2 dan diseri juga dengan belitan magnet kutub kompensasi **gambar-6.23a**.



Gambar 6.23 : Rangkaian belitan jangkar, belitan kutub bantu dan belitan kompensasi

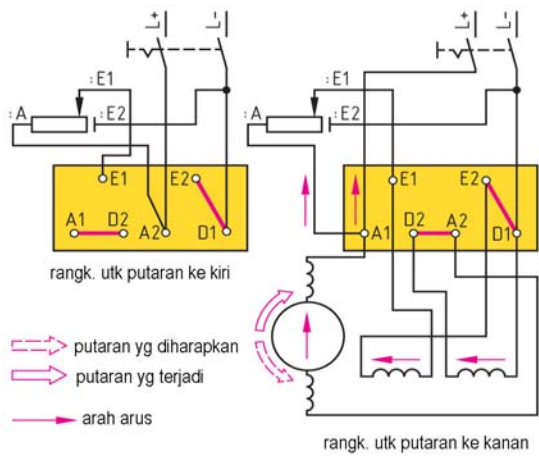
Pengawatan berikutnya terdiri kutub bantu kompensasi C1-C2 dan C3-C4 diseri dengan magnet bantu B1-B2 dan B3-B4 dan di tengah-tengah rangkaian terpasang belitan rotor, keseluruhannya disebut rangkaian jangkar / rotor A1-A2 **gambar-6.23b**.

6.8. Arah Putaran Mesin DC



Gambar 6.24 : Arah putaran Mesin DC

Sebuah mesin DC dengan belitan penguat *Shunt* E1-E2, disambungkan secara paralel dengan rangkaian jangkar A1-A2 **gambar-6.24**. Perhatikan terminal dengan notasi E1 dan A1 disatukan terhubung dengan sumber tegangan DC positif (+), berikutnya terminal notasi E2 dan A2 juga disatukan tersambung ke sumber DC negatif (-). Arah mesin DC ditunjukkan oleh arah panah searah jarum jam. Arah arus DC ditunjukkan panah dari E1 menuju E2 dan dari A1 menuju A2. Penyambungan tidak bisa dilakukan sembarangan tetapi dengan memperhatikan notasi angka dan jenis penguat magnetnya.



Gambar 6.25 : Membalik arah putaran Mesin DC

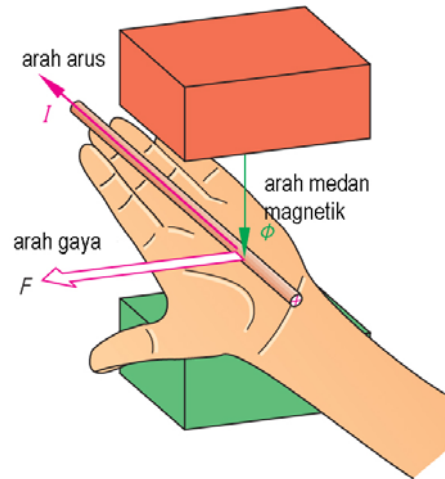
Berikut adalah diagram pengawatan mesin DC penguat *Kompound*. Terdiri dari penguat magnet *Seri* notasi D1-D2, penguat magnet *Shunt* E1-E2 yang tersambung dengan tahanan geser yang mengatur besaran arus eksitasi **gambar-6.25a**. Rangkaian jangkar dengan notasi terminal A1-A2.

Perhatikan konfigurasi pertama, sumber DC positif (+), terminal A2, belitan jangkar A1, ke terminal D2, belitan seri D1, kembali ke sumber DC negatif (-). Arus eksitasi dari tahanan geser ke E1, belitan *Shunt* E2, ke sumber DC negatif.

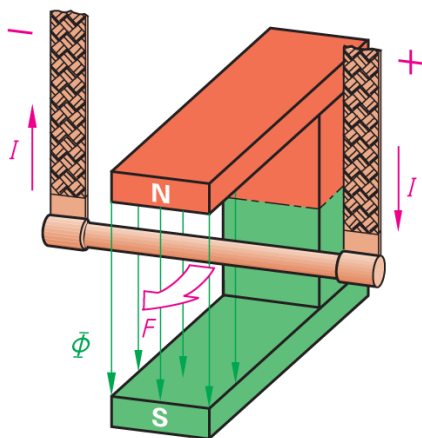
Konfigurasi kedua, ketika jangkar diputar arah panah (searah jarum jam), A1 menghasilkan tegangan positif (+) ke sumber DC. Arah arus DC pada belitan seri dari D1 menuju D2, dan arus di belitan *Shunt* dari E1 menuju E2. Terminal D1 dan E2 tersambung ke sumber DC negatif (-).

6.9. Prinsip kerja Motor DC

Prinsip motor listrik berdasarkan pada *kaidah tangan kiri*. Sepasang magnet permanen utara - selatan menghasilkan garis medan magnet Φ , kawat penghantar diatas telapak tangan kiri ditembus garis medan magnet Φ . Jika kawat dialirkan arus listrik DC sebesar I searah keempat jari tangan, maka kawat mendapatkan gaya sebesar F searah ibu jari **gambar-26**. Bagaimana kalau posisi utara-selatan magnet permanen dibalik ? Ke mana arah gaya yang dirasakan batang kawat ? lakukan peragaan dengan tangan kiri anda.



Gambar 6.26 : Aturan Tangan Kiri untuk Prinsip Kerja Motor DC



Percobaan sederhana prinsip kerja motor dapat dilakukan dengan menggunakan sepasang magnet permanen berbentuk U, sebatang kawat digantung di kedua sisi ujungnya, pada ujung kawat dihubungkan sumber listrik DC **gambar-6.27**. Arus listrik mengalir dari terminal positif (+) ke batang kawat sebesar I amper ke terminal negatif (-). Kawat yang dipotong garis medan magnet, pada batang dihasilkan gaya tolak sebesar F searah panah.

Gambar 6.27 : Model kerja Motor DC

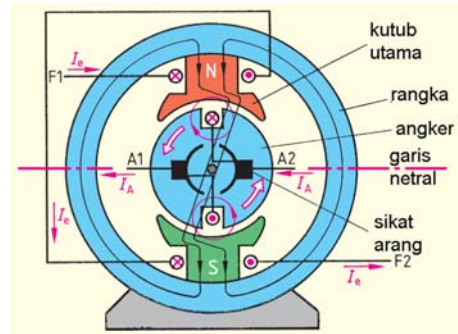
Besarnya gaya F yang dibangkitkan :

$$F = B \cdot I \cdot L \cdot z \quad \text{Newton}$$

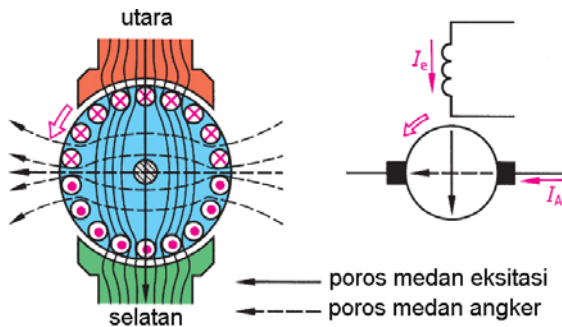
Mesin Listrik Arus Searah

- F Gaya pada kawat, Newton
- B Kerapatan medan magnet, Tesla
- I Arus mengalir di kawat, Amper
- L Panjang kawat efektif, meter
- z Jumlah belitan kawat

Konstruksi motor DC terdiri dari dua bagian, yaitu stator bagian motor yang diam dan rotor bagian motor yang berputar. Belitan stator merupakan elektromagnet, dengan penguat magnet terpisah F1-F2. Belitan jangkar ditopang oleh poros dengan ujung-ujungnya terhubung ke komutator dan sikat arang A1-A2 **gambar-6.28**. Arus listrik DC pada penguat magnet mengalir dari F1 menuju F2 menghasilkan medan magnet yang memotong belitan jangkar. Belitan jangkar diberikan listrik DC dari A2 menuju ke A1. Sesuai kaidah tangan kiri jangkar akan berputar berlawanan jarum jam.



Gambar 6.28: Hubungan belitan penguat medan dan Jangkar Motor DC



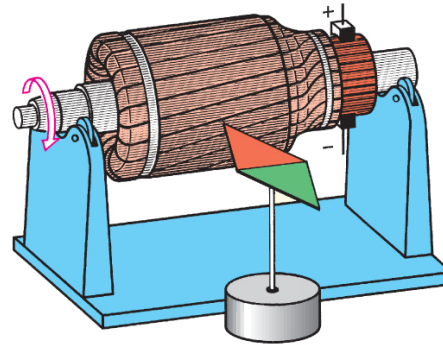
Gambar 6.29 : Proses pembangkitan Torsi Motor DC

Terjadinya gaya torsi pada jangkar disebabkan oleh hasil interaksi dua garis medan magnet. Kutub magnet menghasilkan garis medan magnet dari utara-selatan melewati jangkar. Belitan jangkar yang dialirkan arus listrik DC menghasilkan magnet dengan arah kekiri ditunjukkan panah **gambar-6.29**. Interaksi kedua magnet berasal dari stator dengan magnet yang dihasilkan jangkar mengakibatkan jangkar

mendapatkan gaya torsi putar berlawanan arah jarum jam. Untuk mendapatkan medan magnet stator yang dapat diatur, maka dibuat belitan elektromagnet yang dapat diatur besarnya arus eksitasinya.

Percobaan untuk mengecek apakah belitan jangkar berfungsi dengan baik, tidak ada yang putus atau hubungsingkat dengan inti jangkarnya periksa **gambar-6.30**. Poros jangkar ditempatkan pada kedudukan yang bisa berputar bebas.

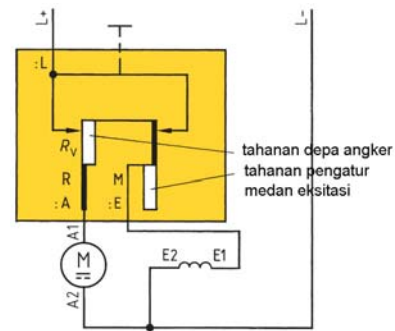
Alirkan listrik DC melalui komutator, dekatkan sebuah kompas dengan jangkar, lakukan pengamatan jarum kompas akan berputar ke arah jangkar. Hal ini membuktikan adanya medan elektromagnet pada jangkar, artinya belitan jangkar berfungsi baik. Tetapi jika jarum kompas diam tidak bereaksi, artinya tidak terjadi elektromagnet karena belitan putus atau hubung singkat ke inti jangkar.



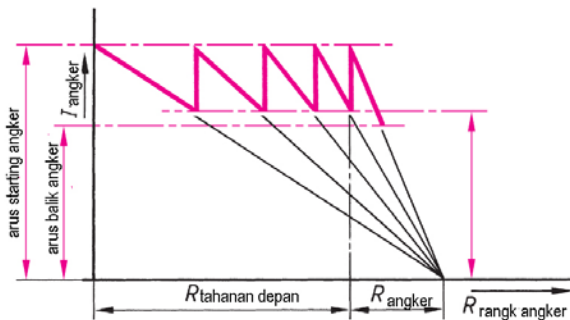
Gambar 6.30 : Pengecekan sifat elektromagnetik pada Jangkar Motor DC

6.10. Starting Motor DC

Belitan jangkar nilai tahanan sangat kecil, saat starting arus starting akan besar sekali mengalir pada rangkaian jangkar. Hal ini akan merusak belitan jangkar A1-A2, komutator dan sikat arang. Agar arus starting kecil, maka ditambahkan tahanan awal pada rangkaian jangkar R_v **gambar-6.31**. Setelah motor berputar sampai dicapai putaran nominalnya tahanan awal R_v tidak difungsikan.



Gambar 6.31 : Starting Motor DC dengan Tahanan Depan jangkar



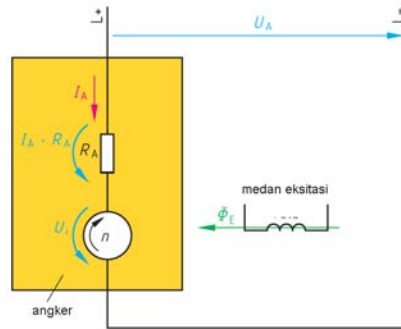
Gambar 6.32 Karakteristik arus Pemasangan Motor DC

Untuk mengatur putaran motor DC dilakukan dengan mengatur arus eksitasi penguat medan magnet dengan *tahanan geser* yang dipasang seri dengan belitan penguat *Shunt* E1-E2. Pengatur Starting dan pengatur putaran motor DC merupakan satu perangkat yang dipasang pada sebagai *pengendali motor DC*.

Tahanan pengendali motor DC disambungkan seri dengan jangkar motor DC, tahanan totalnya sebesar $(R_v + R_{jangkar})$. Tahanan depan Jangkar R_v dibuat dalam empat step, step pertama nilai tahanan maksimum, arus mengalir ke rangkaian jangkar sebesar $I = U/(R_v + R_{jangkar})$. Nilai tahanan digeser ke step kedua, berikutnya step tiga, step empat dan step terakhir arus mengalir ke

jangkar adalah arus nominalnya. Karakteristik arus jangkar fungsi tahanan $R_V + R_{\text{jangkar}}$ **gambar-6.32**.

Rangkaian motor DC dengan penguat magnet terpisah. Rangkaian jangkar terdiri dari tahanan jangkar R_A . Ketika belitan jangkar berada pada medan magnet dan posisi jangkar berputar, pada jangkar timbul gaya gerak listrik yang arahnya berlawanan **gambar-6.33**. Pada belitan jangkar terjadi drop tegangan sebesar $(I_A \cdot R_A)$.



Gambar 6.33 : Drop tegangan Penguat Medan Seri dan Jangkar Motor DC

Persamaan tegangan motor DC

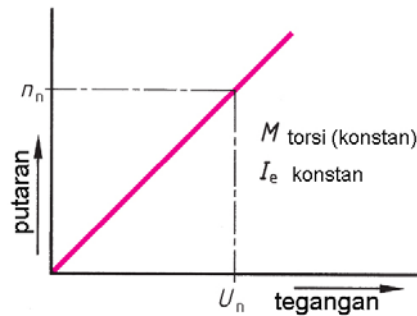
$$U_A = U_i + I_A \cdot R_A \quad \text{dan} \quad U_i \approx \Phi_E \cdot n$$

- U_A Tegangan sumber DC
- U_i Tegangan lawan
- I_A Arus jangkar
- R_A Tahanan belitan jangkar
- Φ_E Fluk Magnet
- n Putaran motor

6.11. Pengaturan Kecepatan Motor DC

Saat motor DC berputar maka dalam rangkaian jangkar terjadi ggl lawan sebesar U_i . Jika tegangan sumber DC yaitu U_A diatur besarnya, apa yang terjadi dengan putaran motor DC ? Besarnya tegangan lawan U_i berbanding lurus dengan putaran motor dan berbanding terbalik dengan medan magnetnya $U_i \approx \Phi_E \cdot n$.

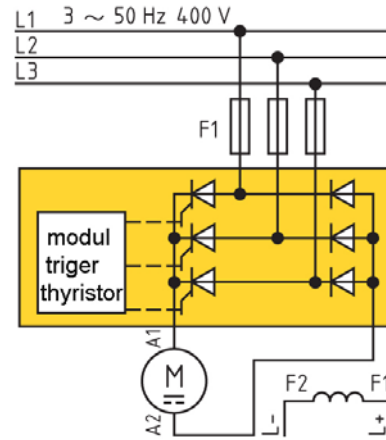
Jika arus eksitasi I_e dibuat konstan maka fluk medan magnet Φ_E akan konstan. Sehingga persamaan putaran motor berlaku rumus $n \approx U_i / \Phi_E$, sehingga jika tegangan sumber DC diatur besarnya, maka putaran motor akan berbanding lurus dengan tegangan ke rangkaian jangkar **gambar-6.34**.



Gambar 6.34 : Karakteristik putaran fungsi tegangan jangkar

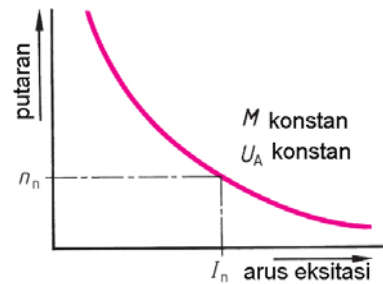
Pengaturan tegangan sumber DC yang menuju ke rangkaian jangkar menggunakan sumber listrik AC tiga fase dengan penyearah gelombang penuh tiga buah *diode* dan tiga buah *thyristor* **gambar-6.35**. Sekering F1 berguna untuk mengamankan rangkaian diode dan *thyristor* jika terjadi gangguan pada belitan motor DC.

Dengan mengatur sudut fase triger, maka penyalan *thyristor* dapat diatur besarnya tegangan DC yang menuju rangkaian jangkar A1-A2. Belitan penguat terpisah F1-F2 diberikan sumber DC dari luar, dan besarnya arus eksitasi dibuat konstan besarnya.



Gambar 6.35 : Pengaturan tegangan Jangkar dengan sudut penyalan Thyristor

Apa yang terjadi jika tegangan sumber DC dibuat konstan dan pengaturan putaran dilakukan dengan mengatur arus eksitasinya ? Persamaan tegangan jangkar $U_i \approx \Phi_E \cdot n$. atau putaran motor $n \approx U_i / \Phi_E$ dengan tegangan U_i konstan maka karakteristik putaran n berbanding terbalik dengan fluk magnet ($1 / \Phi_E$). Artinya ketika arus eksitasi dinaikkan dan harga fluk magnet Φ_E meningkat, yang terjadi justru putaran motor DC makin menurun **gambar-6.36**.



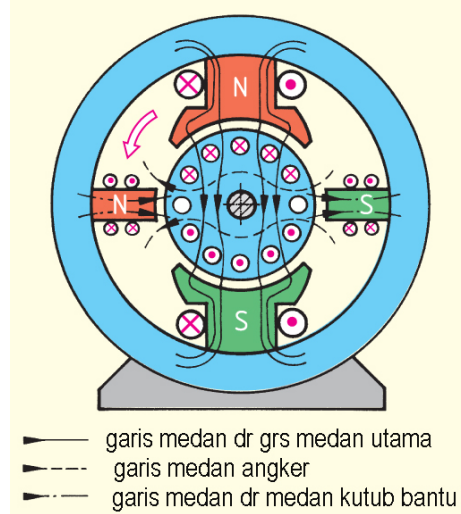
Gambar 6.36 : Karakteristik putaran fungsi arus eksitasi

Dari penjelasan dua kondisi diatas yang dipakai untuk mengatur putaran motor DC untuk mendapatkan momen torsi konstan adalah dengan pengaturan tegangan ke jangkar.

6.12. Reaksi Jangkar pada Motor DC

Reaksi jangkar pada motor DC kejadiannya mirip dengan reaksi jangkar pada generator DC yang telah dibahas sebelumnya. Reaksi jangkar akan menyebabkan garis netral bergeser beberapa derajat dari posisi awal. Agar garis netral kembali kondisi teoritis, dan sikat arang pada kedudukan semula maka dipasang kutub bantu yang ditempatkan diantara kutub magnet utama ***gambar-6.37***.

Belitan kutub bantu dirangkaiakan secara seri dengan rangkaian jangkar, gunanya agar setiap kenaikan beban maka arus yang menuju kutub bantu sama besarnya dengan arus yang menuju rangkaian jangkar. Sehingga reaksi jangkar pada motor terkendali secara otomatis oleh kutub bantu.



Gambar 6.37 : Kutub bantu untuk mengatasi akibat Reaksi jangkar pada Motor DC

Motor DC menurut belitan penguat magnetnya dapat dibagi menjadi empat jenis, yaitu : motor belitan seri D1-D2, motor penguat terpisah F1-F2, motor belitan *Shunt* E1-E2 dan motor belitan *Kompound* gabungan motor *Shunt* E1-E2 dan motor belitan seri D1-D2.

Tabel di bawah memperlihatkan diagram pengawatan keempat jenis motor DC berikut karakteristik putaran n terhadap perubahan momen torsi beban.

1. Motor Seri
2. Motor penguat terpisah
3. Motor penguat *Shunt*
4. Motor *Kompound*

Tabel 6.2 Rangkaian Motor-motor DC

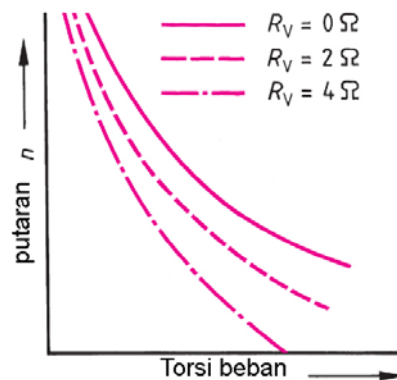
Motor Seri	Motor terpisah	Motor shunt	Motor kompon

6.13. Motor Belitan Seri

Motor DC Seri mudah dikenali dari terminal *box* memiliki belitan jangkar notasi A1-A2 dan belitan seri notasi D1-D2 **gambar-6.38**. Dalam rangkaian jangkar A1-A2 terdapat dua belitan penguat yaitu kutub bantu dan kutub kompensasi keduanya berfungsi untuk memperbaiki efek reaksi jangkar.

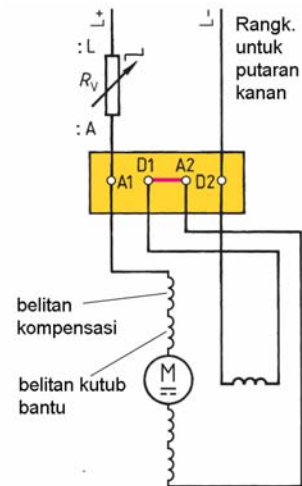
Aliran sumber DC positif (+), melewati tahanan depan RV yang fungsinya untuk starting awal motor seri, selanjutnya ke terminal A1, melewati jangkar ke terminal A2, dikopel dengan D1, melewati belitan seri, ke terminal D2 menuju ke terminal negatif (-).

Belitan seri D1-D2 memiliki penampang besar dan jumlah belitannya sedikit. Karena dihubungkan seri dengan belitan jangkar, maka arus eksitasi belitan sebanding dengan arus beban. Ketika beban dinaikkan, arus beban meningkat dan justru putaran akan menurun.



Gambar 6.38 : Karakteristik putaran Motor DC Seri

Motor seri harus selalu dalam kondisi diberikan beban, karena saat tidak berbeban dan arus eksitasinya kecil yang terjadi putaran motor akan sangat tinggi sehingga motor akan "terbang", dan sangat berbahaya. Motor seri banyak dipakai pada beban awal yang berat dengan momen gaya yang tinggi putaran motor akan rendah **gambar-6.39**, contohnya pada pemakaian motor stater mobil.

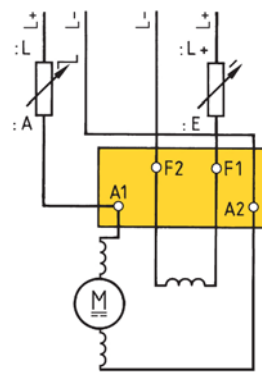


Gambar 6.39 : Rangkaian Motor DC Seri

6.14. Motor DC Penguat Terpisah

Motor DC penguat terpisah dikenal pada terminal box dimana belitan jangkarnya A1-A2 dan belitan penguat terpisah F1-F2 **gambar-6.40**.

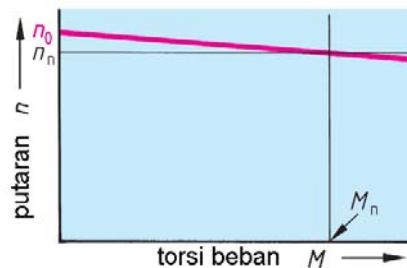
Aliran listrik dari sumber DC positif (+) melewati tahanan geser untuk starting awal, menuju terminal A1, ke belitan jangkar ke terminal A2 menuju negatif (-). Penguat terpisah dari sumber DC positif (+), menuju F2 belitan terpisah terminal F1 melewati tahanan geser pengatur arus eksitasi menuju negatif (-).



Gambar 6.40 : Rangkaian Motor DC Penguat Terpisah

Tahanan depan digunakan saat starting agar arus jangkar terkendali dan tidak merusak belitan jangkar atau merusak komutatornya. Tahanan geser pengatur arus eksitasi penguat terpisah F1-F2 mengatur putaran dalam range yang sempit, misalnya dari putaran maksimum 1500 rpm sampai 1400 rpm saja.

Karakteristik putaran terhadap pembebanan momen, saat beban nol putaran motor pada posisi n_0 , motor diberikan beban maksimum putaran motor menjadi n_n . Motor penguat terpisah digunakan pada beban relatif konstan dan tidak berubah secara drastis **gambar-6.41**.



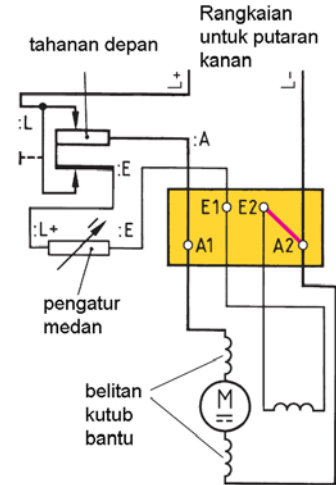
Gambar 6.41: Karakteristik putaran Motor Penguat Terpisah

6.15. Motor DC Belitan *Shunt*

Motor DC belitan *Shunt* dilihat dari terminal *box* terdapat rangkaian jangkar A1-A2 dan belitan *Shunt* E1-E2 **gambar-6.42**. Pengendali motor DC *Shunt* terdiri dua tahanan geser yang memiliki fungsi berbeda.

Satu tahanan geser difungsikan untuk starting motor DC, disambungkan seri dengan jangkar A1-A2 tujuannya agar arus starting terkendali. Satu tahanan geser dihubungkan dengan belitan *Shunt* E1-E2, untuk mengatur arus eksitasi *Shunt*.

Aliran dari sumber DC positif (+) melewati tahanan geser ke terminal A1, melewati rangkaian jangkar dengan belitan bantu, ke terminal A2, menuju sumber DC negatif (-). Dari positif sumber DC setelah melewati tahanan geser, menuju terminal E1, ke belitan *Shunt*, ke terminal E2 selanjutnya kembali ke sumber DC negatif (-).



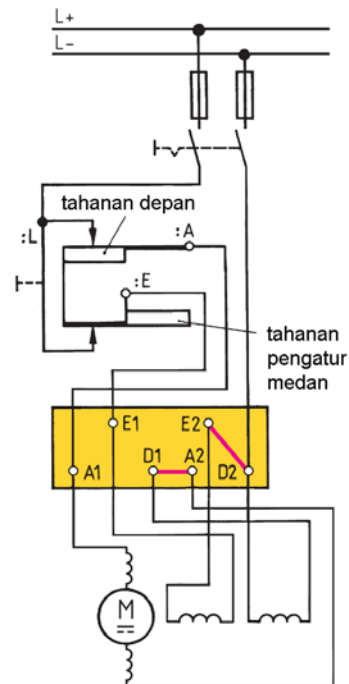
Gambar 6.42 : Rangkaian Motor DC Belitan *Shunt*

6.16. Motor DC Belitan *Kompound*

Motor DC Belitan *Kompound* merupakan penggabungan dua karakteristik dari motor DC belitan seri dengan motor DC belitan *Shunt* **gambar-6.43**. Pada terminal *box* memiliki enam terminal, terdiri rangkaian jangkar A1-A2, belitan *Shunt* E1-E2 dan belitan seri D1-D2.

Memiliki dua tahanan geser, satu tahanan geser untuk mengatur starting motor diseri dengan rangkaian jangkar A1-A2. Tahanan geser satunya mengatur arus eksitasi menuju belitan *Shunt* E1-E2.

Aliran sumber DC positif (+) melewati tahanan geser untuk starting, menuju terminal A1, ke rangkaian jangkar dan belitan kutub bantu, ke terminal A2, dikopel terminal D1, ke belitan seri, ke terminal D2 ke sumber DC negatif (-).



Gambar 6.43 : Rangkaian Motor DC Belitan *Kompound*

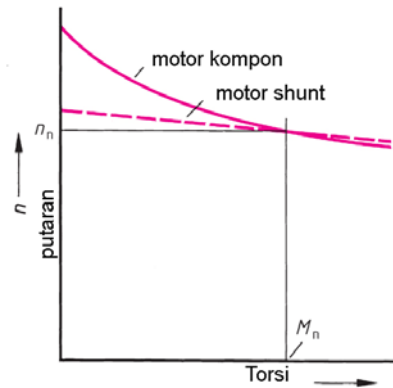
Rangkaian untuk putaran kekanan

Mesin Listrik Arus Searah

Sumber DC positif (+) melewati tahanan geser mengatur arus eksitasi ke terminal E1, ke belitan *Shunt*, ke terminal E2, dikopel terminal D2 kembali ke sumber DC negatif (-).

Karakteristik putaran n sebagai fungsi momen torsi beban merupakan gabungan dari karakteristik motor *Shunt* yang memiliki putaran relatif konstan, dan karakteristik seri pada momen kecil putaran relatif tinggi **gambar-6.44**.

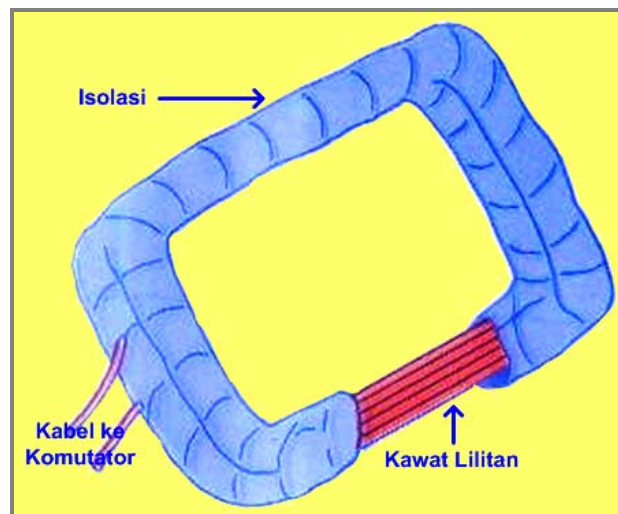
Pengaturan putaran dilakukan dengan pengaturan medan *Shunt*, dengan range putaran relatif rendah dalam orde ratusan rpm, putaran maksimal 1500 rpm dan putaran minimal 1400 rpm. Untuk mendapatkan range pengaturan putaran yang lebar dilakukan dengan mengatur tegangan yang masuk ke rangkaian jangkarnya.



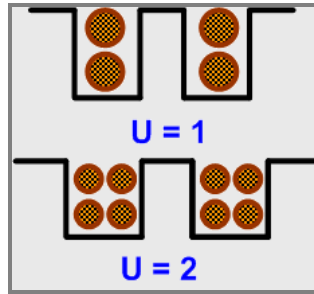
Gambar 6.44 : Karakteristik putaran Motor DC Kompound

6.17. Belitan Jangkar

Belitan jangkar Motor DC berfungsi sebagai tempat terbentuknya ggl imbas. Belitan jangkar terdiri atas beberapa kumparan yang dipasang di dalam alur jangkar. Tiap-tiap kumparan dapat terdiri atas belitan kawat atau belitan batang.



Gambar 6.45 Belitan Jangkar



Gambar 6.46 Letak Sisi-sisi Kumparran dalam Alur Jangkar

Z = Jumlah penghantar/kawat jangkar atau batang jangkar.

Z_s = Jumlah kawat tiap sisi kumparan

S = Jumlah sisi kumparan.

Tiap-tiap kumparan mempunyai dua sisi kumparan dan jumlahnya harus genap. Pada tiap-tiap alur bisa dipasang dua sisi kumparan atau lebih dalam dua lapisan bertumpuk **gambar 6.46**. Dalam tiap-tiap alur terdapat $2U$ sisi kumparan, maka jumlah alur G adalah :

$$G = \frac{S}{2U}$$

Bila dalam tiap-tiap kutub mempunyai 8 s/d 18 alur , maka :

$$G = (8 - 18) 2p$$

Tiap-tiap kumparan dihubungkan dengan kumparan berikutnya melalui lamel komutator, sehingga semua kumparan dihubung seri dan merupakan rangkaian tertutup. Tiap-tiap lamel dihubungkan dengan dua sisi kumparan sehingga jumlah lamel k , adalah :

$$S = 2 \cdot k$$

$$\frac{Z}{Z_s} = 2 \cdot k$$

$$k = \frac{Z}{2 \cdot Z_s}$$

Bila dalam tiap-tiap alur terdapat dua sisi kumparan ($U = 1$) maka jumlah lamel juga sama dengan jumlah alur

$$G = \frac{S}{2 \cdot U} = \frac{2 \cdot k}{2 \cdot u} \Rightarrow k = U \cdot G$$

❖ **Belitan Gelung**

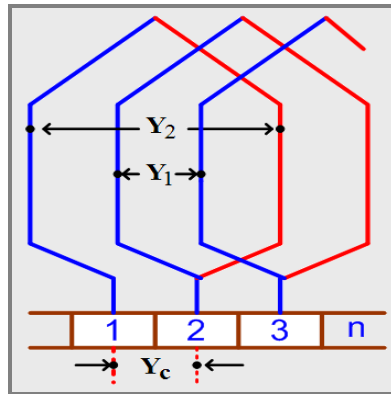
Jika kumparan dihubungkan dan dibentuk sedemikian rupa sehingga setiap kumparan menggantung kembali ke sisi kumparan berikutnya maka hubungan itu disebut belitan gelung. Perhatikan **gambar 6.47** Prinsip Belitan gelung.

Y = *kisar belitan*, yang menyatakan jarak antara lamel permulaan dan lamel berikutnya melalui kumparan.

Y_C = *kisar komutator*, jumlah lamel yang melalui komutator.

Y_1, Y_2 = *kisar bagian*.

$$Y = Y_1 + Y_2 = 2 \cdot Y_C$$



Gambar 6.47 Prinsip Belitan Gelung

Pada belitan gelung kisar bagian Y_2 mundur atau negatif. Tiap kumparan mempunyai satu sisi bernomor ganjil dan satu sisi bernomor genap, karena itu Y_1 dan Y_2 selamanya harus merupakan bilangan ganjil.

Kisar bagian Y_1 ditetapkan oleh lebar kumparan, diperkirakan sama dengan jarak kutub-kutub. Bila lebar kumparan dinyatakan dengan jumlah alur, biasanya dinyatakan dengan kisar Y_g .

$$Y_g = \frac{G}{2p} \Rightarrow Y_g < \frac{G}{2p}$$

Kisar bagian Y_1 biasanya dinyatakan dengan sejumlah sisi kumparan yang harus dilalui supaya dari sisi yang satu sampai pada sisi berikutnya. Di dalam tiap-tiap alur dimasukkan sisi kumparan $2U$ dan secara serempak beralih dari lapisan atas ke lapisan bawah, karena itu

$$Y_1 = 2 \cdot U \cdot Y_g + 1$$

Kisar bagian Y_1 menentukan cara menghubungkan ujung kumparan yang satu dengan kumparan berikutnya melalui lamel komutator, kisar Y_2 biasa disebut juga **kisar hubung**.

$$Y_2 = 2 \cdot Y_C - Y_1$$

Contoh :

$2p = 2$, $G = k = 8$, $S = 16$, dan $U = 1$ rencanakan belitan gelung tunggalnya :

$$Y_g = \frac{G}{2p} = \frac{8}{2} = 4 \quad Y_C = 1$$

$$Y_1 = 2 \cdot U \cdot Y_g + 1 \quad Y_2 = 2 \cdot Y_C - Y_1$$

$$= 2 \cdot 1 \cdot 4 + 1 \quad = 2 \cdot 1 - 9$$

$$= 9 \quad = -7$$

Tabel 6.3

Hubungan Sisi Kumparan dengan Lamel Belitan Gelung

LAMEL	SISI KUMPARAN	LAMEL
1	1 - 10	2
2	3 - 12	3
3	5 - 14	4
4	7 - 16	5
5	9 - 2	6
6	11 - 4	7
7	13 - 6	8
8	15 - 8	1

❖ Belitan Gelung Majemuk

Belitan Gelung Majemuk terdiri dari dua belitan gelung tunggal atau lebih yang dililit secara simetris antara yang satu dengan yang lainnya. Pada belitan gelung tunggal banyaknya cabang paralel sama dengan banyaknya jumlah kutub ($2p$) dari mesin tersebut, sedangkan pada belitan gelung majemuk yang mempunyai m gelung tunggal, banyaknya cabang paralel adalah:

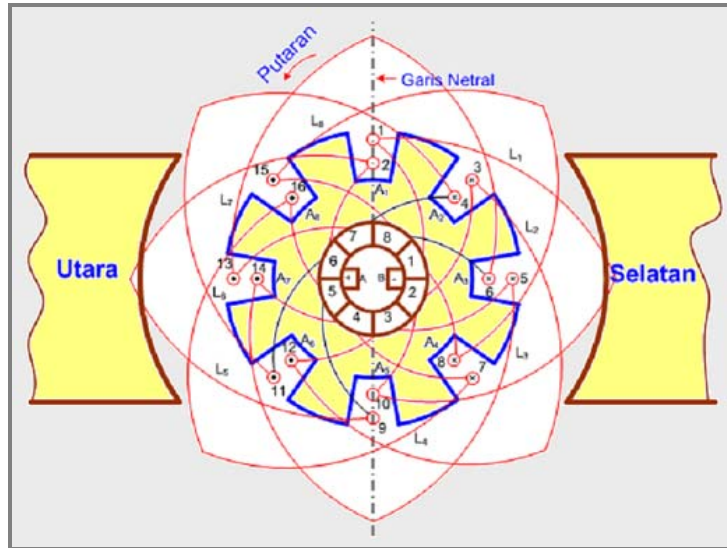
$$a = m \cdot p$$

$$Y_C = m$$

$$Y_2 = 2 \cdot m - Y_1$$

Sedangkan untuk menentukan Y_1 sama seperti pada belitan gelung tunggal.

Untuk mendapatkan belitan gelung majemuk tertutup ujung belitan terakhir harus kembali lagi ke lamel permulaan.

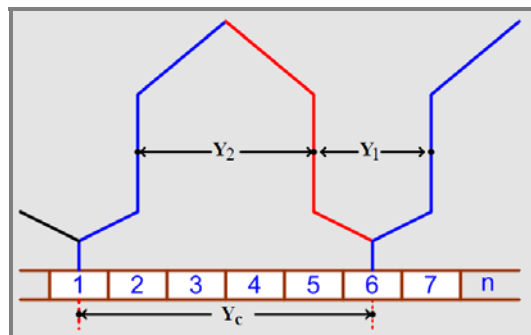


Gambar 6.48 Belitan Gelung Tunggal

❖ **Belitan Gelombang**

Belitan Gelombang Tunggal

Pada belitan gelombang kisar komutator Y_c lebih besar bila dibandingkan dengan Y_c pada belitan gelung .



Gambar 6.49 Prinsip Belitan Gelombang

Kisar bagian pada belitan gelombang mempunyai nilai positif (maju) .

$$Y_c = \frac{k \pm 1}{p}$$

Contoh :

$$2p = 4 ; S = 42 ; G = k = 21 ; u = 1$$

$$Y_c = \frac{21+1}{2} \Rightarrow Y_c = 10 \text{ atau } 11,$$

kita ambil $Y_c = 10$

$$Y_G = \frac{G}{2p} = \frac{21}{4} = 5\frac{1}{4},$$

kita bulatkan menjadi 5

$$Y_1 = 2 \cdot u \cdot Y_G + 1 = 2 \cdot 1.5 + 1 = 11$$

dan

$$Y_2 = 2 \cdot Y_c - Y_1 = 2 \cdot 10 - 11 = 9$$

Tabel 6.4

Hubungan Sisi Kumparan dengan Lamel Belitan Gelombang

LAMEL	SISI KUMPARAN	LAMEL
1	1 - 12	11
11	21 - 32	21
21	41 - 10	10
10	19 - 30	20
20	39 - 8	9
9	17 - 28	19
19	37 - 6	8
8	15 - 26	18
18	35 - 4	7
7	13 - 24	17
17	33 - 2	6
6	11 - 22	16
16	31 - 42	5
5	9 - 20	15
15	29 - 40	4
4	7 - 18	14
14	27 - 38	3
3	5 - 16	13
13	25 - 36	2
2	3 - 14	12
12	23 - 34	1

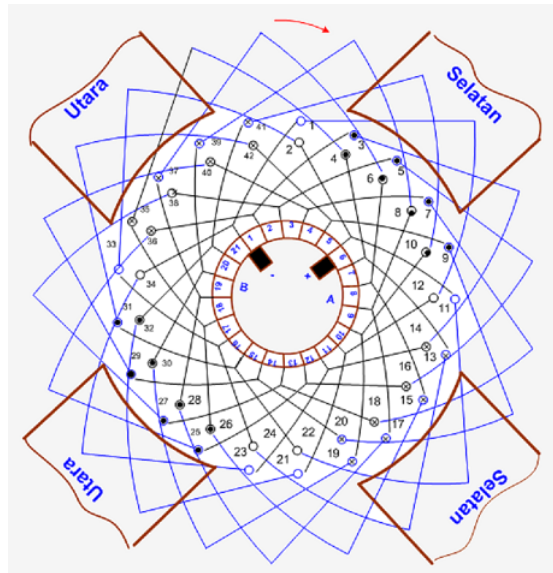
Pada belitan gelombang tunggal banyaknya sikat yang dibutuhkan hanya dua buah, tidak tergantung pada jumlah kutubnya.

Belitan Gelombang Majemuk

Apabila nilai arus atau tegangan yang diperlukan tidak bisa dipenuhi dengan belitan gelung atau gelombang tunggal, maka diatasi dengan belitan gelombang majemuk.

Belitan gelombang majemuk terdiri dari dua belitan gelombang tunggal atau lebih. Tiap-tiap belitan gelombang tunggal terdiri dari dua cabang paralel, untuk gelombang majemuk $a = 2 \cdot m$

$$Y_c = \frac{k \pm m}{p} =$$



Gambar 6.50 Belitan Gelombang Tunggal

Berdasarkan penjelasan di atas maka dapat dilihat perbedaan-perbedaan yang terdapat pada belitan gelung dan gelombang yaitu :

Belitan Gelung

1. Untuk generator bertegangan rendah, arus besar.
2. Ujung-ujung kumparan disambung pada lamel yang berdekatan.
3. Pada belitan gelung tunggal, arus yang mengalir pada jangkar terbagi sesuai dengan jumlah kutub.
4. Pada belitan gelung majemuk, arus yang mengalir terbagi sesuai dengan rumusan $a = m \cdot p$.
5. Sisi kumparan terbagi pada dua bagian, yaitu terletak dihadapan kutub utara dan kutub selatan.

Belitan Gelombang

1. Untuk generator bertegangan tinggi, arus rendah.
2. Pada belitan gelombang tunggal ujung-ujung kumparan dihubungkan pada lamel komutator dengan jarak mendekati 360° Listrik.
3. Jumlah cabang paralel pada belitan gelombang tunggal adalah 2 (dua), walaupun jumlah kutubnya > 2 .
4. Pada belitan gelombang tunggal penghantar-penghantar pada masing-masing cabang, diletakkan terbagi rata pada seluruh permukaan kutub-kutubnya.
5. Belitan gelombang majemuk digunakan jika dengan belitan gelung atau gelombang tunggal arus atau tegangan yang diperlukan tidak tercapai.

6.18. Rugi-rugi Daya dan Efisiensi Motor DC

Rugi-rugi daya yang terjadi pada sebuah motor arus searah dapat dibagi ke dalam :

- Rugi- rugi tembaga atau listrik.
- Rugi-rugi besi atau magnet.
- Rugi-rugi mekanis.

❖ Rugi-rugi Tembaga atau Listrik

Rugi tembaga terjadi karena adanya resistansi dalam belitan jangkar dan belitan medan magnet. Rugi tembaga akan diubah menjadi panas dalam kawat jangkar maupun kawat penguat magnet. Desain Motor DC dilengkapi dengan kipas rotor tujuannya untuk menghembuskan udara luar masuk kedalam jangkar dan mendinginkan panas yang terjadi akibat rugi-rugi tembaga.

Rugi tembaga dari belitan dibagi atas:

- ✓ Rugi tembaga terjadi pada jangkar $\Rightarrow I_a^2 \cdot R_a$ Watt
- ✓ Rugi tembaga medan terdiri dari:

$I_{sh}^2 \cdot R_{sh}$ Watt \Rightarrow Motor *Shunt*/ Motor *Kompound*

$I_s^2 \cdot R_s$ Watt \Rightarrow Motor *Seri*/ Motor *Kompound*

❖ Rugi-rugi Besi atau Magnet**- Rugi Histerisis**

$$P_h = \eta \cdot B_{\max} \times f \cdot V \text{ Watt}$$

$$\eta = \text{Steinmetz Hysterisis Coefficient}$$

$$B_{\max} = \text{Kerapatan fluks}$$

$$\text{maksimum} \left[\frac{Wb}{m^2} \right]$$

$$f = \text{Frekuensi dlm Hertz}$$

Mesin Listrik Arus Searah

V = Volume inti (m^3)
nilai x = antara 1,6 s/d 2

- Arus Pusar (*Eddy Current*)

Inti pada stator dan inti pada jangkar motor terdiri dari tumpukan pelat tipis dari bahan *ferro* magnetis. Tujuan dari pemilihan plat tipis adalah untuk menekan rugi-rugi arus *eddy* yang terjadi pada Motor DC.

$$P_e = K_e \cdot B_{\max}^2 \cdot f^2 \cdot V \cdot t^2 \text{ Watt}$$

K_e = Konstanta arus pusar

t = Ketebalan dari inti magnet (m)

❖ Rugi Mekanis

Rugi mekanis yang terjadi pada motor disebabkan oleh adanya gesekan dan hambatan angin, seperti pada bagian poros motor.

❖ Efisiensi Motor

Efisiensi adalah prosentase perbandingan daya keluar dan daya masuk yang terjadi pada motor.

$$\eta = \frac{\text{Daya Keluar}}{\text{Daya Masuk}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{\text{Daya Keluar}}{\text{Daya Masuk} + \Sigma \text{rugi}}$$

6.19. Rangkuman

- Mesin arus searah dapat berupa *generator DC* atau *motor DC*. *Generator DC* alat yang mengubah *energi mekanik* menjadi *energi listrik DC*. *Motor DC* alat yang mengubah energi listrik DC menjadi energi mekanik putaran.
- Mesin DC terdiri dua bagian, yaitu bagian stator dan bagian rotor.
- Komutator merupakan kumpulan segmen tembaga yang tiap-tiap ujungnya disambungkan dengan ujung belitan rotor.
- Prinsip kerja generator DC berdasarkan pada *kaidah tangan kanan Fleming*.
- Hukum tangan kanan Fleming, jika telapak tangan kanan ditembus garis medan magnet Φ . Dan kawat digerakkan ke arah ibu jari, maka dalam kawat dihasilkan arus listrik I yang searah dengan keempat arah jari tangan.
- Besarnya ggl induksi yang dibangkitkan : $u_i = B.L.v.z$ Volt

- Jika ujung belitan rotor dihubungkan dengan *slipring berupa dua cincin*, maka dihasilkan listrik AC berbentuk sinusoidal.
- Komutator berfungsi untuk menyearahkan tegangan yang dihasilkan rotor menjadi tegangan DC.
- Sikat arang berhubungan dengan komutator, tekanan sikat arang diatur oleh tekanan pegas yang ditentukan.
- Dalam perkembangan berikutnya generator DC dibagi menjadi tiga jenis, yaitu: *Generator Penguat Terpisah*, *Generator Belitan Shunt*, *Generator Belitan Compound*.
- Generator penguat terpisah ada dua jenis 1) penguat elektromagnetik 2) magnet permanen. Generator DC penguat terpisah dengan penguat elektromagnetik dipakai pada Lokomotif Diesel Elektrik jenis CC201 dan CC203.
- Generator belitan *Shunt*, penguat medan *Shunt* E1-E2 dipasangkan secara paralel dengan belitan rotor A1-A2. Dengan mengatur arus eksitasi *Shunt* dapat mengatur tegangan terminal generator.
- Generator belitan *Compound* memiliki belitan rotor A1-A2, memiliki dua penguat magnet yaitu medan Seri notasi D1-D2 yang tersambung seri dan belitan penguat magnet *Shunt* notasi E1-E2 yang tersambung paralel.
- Bagian stator motor DC terdiri atas : rangka motor, belitan stator, sikat arang, *bearing*, terminal *box*, sedangkan bagian rotor terdiri : komutator, belitan rotor, kipas rotor, poros rotor.
- Komutator secara periodik dibersihkan dari kotoran sisa sikat arang yang menempel dan serbuk arang yang mengisi celah-celah komutator, gunakan amplas halus untuk membersihkan noda bekas sikat arang.
- Pergeseran garis netral hasil interaksi antara medan magnet stator dengan medan elektromagnet rotor mengakibatkan jalannya medan magnet bergeser beberapa derajat.
- Dengan dipasang kutub bantu garis netral kembali ke posisi semula.
- Notasi belitan pada mesin DC dikenali dengan huruf A, B, C, D, E dan F. Huruf A menyatakan belitan jangkar, B belitan kutub magnet Bantu, C belitan kutub magnet kompensasi, D belitan kutub Seri dan F belitan kutub *Shunt*.
- Motor DC untuk mengubah arah putaran rotor, dilakukan dengan membalik aliran arus yang melalui rangkaian jangkarnya.
- Prinsip motor listrik berdasarkan pada *kaidah tangan kiri* Fleming.
- Kaidah tangan kiri Flemming menyatakan jika kawat penghantar di atas telapak tangan kiri ditembus garis medan magnet Φ . Pada kawat dialirkan

arus listrik DC sebesar I searah keempat jari tangan, maka kawat mendapatkan gaya sebesar F searah ibu jari.

- Besarnya gaya F yang dibangkitkan : $F = B.I. L.z$ *Newton*.
- Konstruksi motor DC terdiri dari dua bagian, yaitu stator bagian motor yang diam dan rotor bagian motor yang berputar.
- Percobaan untuk mengecek apakah belitan jangkar berfungsi dengan baik, tidak ada yang putus atau hubungsingkat, hubungkan komutator dengan sumber DC, tempatkan kompas disekeliling jangkar. Jika jarum kompas menunjuk ke arah jangkar belitan jangkarnya bagus. Jika kompas tidak bereaksi apapun, dipastikan belitan jangkarnya putus.
- Untuk menghambat arus starting yang besar, dipasang tahanan seri pada rangkaian belitan jangkar.
- Persamaan putaran motor berlaku rumus $n \approx Ui/\Phi_E$, sehingga jika tegangan sumber DC diatur besarnya, maka putaran motor akan berbanding lurus dengan tegangan ke rangkaian jangkar.
- Pengaturan tegangan jangkar dari sumber listrik AC, menggunakan *thyristor* dengan mengatur arus gate nya, maka tegangan ke jangkar dapat diatur dan putaran motor dapat dikendalikan.
- Reaksi jangkar akan menyebabkan garis netral bergeser beberapa derajat dari posisi awal, untuk mengatasinya dipasangkan kutub bantu untuk meminimalkan akibat dari reaksi jangkar.
- Ada empat jenis motor DC berikut karakteristik putaran n terhadap perubahan momen torsi beban. a) Motor Seri b) Motor penguat terpisah c) Motor penguat *Shunt* d) Motor *Kompound*.
- Motor Seri banyak dipakai pada beban awal yang berat dengan momen gaya yang tinggi putaran motor akan rendah, contoh motor stater mobil.
- Motor penguat terpisah digunakan pada beban relatif konstan dan tidak berubah secara drastis.
- Belitan jangkar Motor DC berfungsi sebagai tempat terbentuknya ggl imbas.
- Belitan jangkar ada dua jenis, yaitu belitan gelung dan belitan gelombang
- Jika kumparan menggolong kembali ke sisi kumparan berikutnya maka hubungan itu disebut belitan gelung.
- Pada belitan gelombang kisar komutator Y_c lebih besar bila dibandingkan dengan Y_c pada belitan gelung.
- Rugi-rugi daya yang terjadi pada sebuah motor arus searah dapat dibagi kedalam : a). Rugi-rugi tembaga atau listrik. b).Rugi-rugi besi atau magnet. c) Rugi-rugi mekanis.

- Rugi tembaga ($I_a^2 \cdot R_a$) akan diubah menjadi panas dalam kawat jangkar maupun kawat penguat magnet.
- Rugi besi dan magnet terjadi pada besi inti stator dan rotor, tumpukan pelat tipis dari bahan *ferro* magnetis, tujuan dari pemilihan plat tipis adalah untuk menekan rugi-rugi arus Eddy
- Rugi mekanis yang terjadi pada motor disebabkan oleh adanya gesekan dan hambatan angin
- Efisiensi adalah prosentase perbandingan daya keluar dan daya masuk yang terjadi pada motor

6.20. Soal-soal

1. Jelaskan pengertian mesin DC dan berikan alasannya secara singkat.
2. Sebutkan perbedaan generator DC dan motor DC dari fungsinya.
3. Dapatkah mesin DC difungsikan sebagai generator ? apa syarat agar berfungsi sebagai generator DC. Jelaskan dengan gambar skematik.
4. Bila mesin DC difungsikan sebagai motor DC apa syarat yang harus dipenuhi ? Jelaskan dengan gambar skematik.
5. Peragakan dengan tangan anda, bagaimana prinsip pembangkitan ggl dalam segua generator. Jelaskan singkat dan benar.
6. Peragakan juga dengan tangan anda, bagaimana prinsip terjadinya torsi putar pada motor DC. Jelaskan singkat dan benar.
7. Komutator pada motor DC apa fungsinya ? Terangkan juga cara kerja sikat arang berikut komutator pada mesin DC.
8. Gambarkan skematik pengawatan generator *Shunt* dan generator *Kompound*.
9. Jelaskan bagian *Kompounden-Kompounden* yang termasuk kelompok stator dan kelompok rotor pada segua motor DC, berikut fungsi masing-masing.
10. Terangkan dengan gambar skematik prinsip dasar terjadinya reaksi jangkar pada generator DC.
11. Mengapa pemasangan kutub bantu dapat meminimumkan terjadinya reaksi jangkar ?
12. Sebuah mesin DC terdiri atas belata jangkar, belitan kutub bantu dan belitan kutub kompensasi terhubung seri. Anda gambarkan skematik pengawatan berikut berikan notasi yang tepat pada masing-masing *Kompounden* tsb.

13. Mesin DC penguat *Kompound*. terdiri dari penguat magnet *Seri* notasi D1-D2, penguat magnet *Shunt* E1-E2, belitan jangkar A1-A2. Gambarkan pengawatannya dengan benar berikut supply tegangan jala-jala. Gambarkan kapan motor berputar searah jarum jam dan kapan motor berputar berlawanan jarum jam.
14. Gambarkan skematik pemeriksaan belitan jangkar apakah putus atau masih berfungsi baik, jelaskan dengan singkat prosedurnya.
15. Motor DC *Shunt* dipasang tahanan depan pengasutan dan tahanan pengatur eksitasi. Gambarkan skematik hubungannya dan jelaskan cara kerja pengasutan motor *Shunt* tersebut.
16. Jelaskan terjadinya reaksi jangkar pada motor DC. Jelaskan akibat negatif terjadinya reaksi jangkar.
17. Pada terminal *box* memiliki enam terminal, terdiri rangkaian jangkar A1-A2, belitan *Shunt* E1-E2 dan belitan seri D1-D2. Juga dilengkapi dengan tahanan pengasutan dan tahanan pengatur eksitasi. Gambarkan hubungan pengawatan secara lengkap dan cara kerja rangkaian tersebut.
18. Gambarkan prinsip belitan jangkar *tipe gelung* dengan jumlah alur 8 dan jumlah lamel komutator 8.
19. Gambarkan prinsip belitan jangkar *tipe gelombang* dengan jumlah 8 alur dan jumlah lamel komutator 8.

Bab 7

Pengendalian Motor Listrik

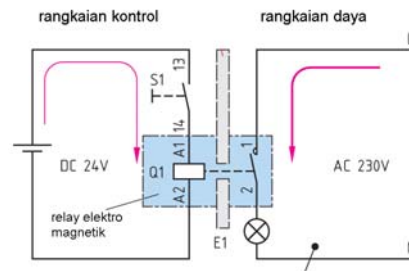
Daftar Isi:

7.1	Sistem Pengendalian	7-2
7.2	Komponen Sistem Pengendalian.....	7-3
7.3	Pengendalian Kontaktor Elektromagnetik	7-7
7.4	Pengendalian Hubungan Langsung, Direct ON Line	7-8
7.5	Pengendalian Bintang-Segitiga.....	7-10
7.6	Pengendalian Putaran Kanan-Kiri.....	7-14
7.7	Pengendali Dua Motor Bekerja Bergantian.....	7-17
7.8	Pengendalian Motor Soft Starter.....	7-19
7.9	Panel Kontrol Motor	7-21
7.10	Instalasi Motor Induksi Sebagai Water Pump	7-24
7.11	Rangkaian Kontrol Motor	7-26
7.12	Rangkuman	7-33
7.13	Soal-soal.....	7-34

7.1. Sistem Pengendalian

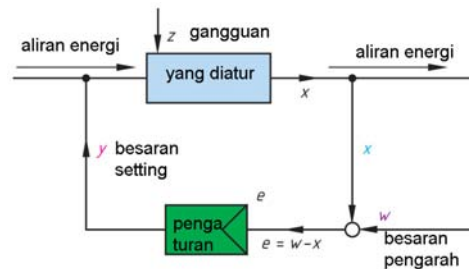
Dalam sistem kelistrikan dikenal dua istilah yaitu *sistem pengendalian* dan *sistem pengaturan*. Sistem pengendalian yang akan dibahas yang menggunakan perangkat kontaktor dan alat kendali saklar ON, saklar OFF, timer, dsb.

Dalam *sistem pengendalian* ada dua bagian yaitu yang disebut rangkaian kontrol (DC 24 V) dan sistem daya (AC 230 V) **gambar-7.1**. Ketika saklar S1 di ON kan relay Q1 akan *energized* sehingga kontak 1-2 tertutup dan lampu menyala karena mendapat *supply* listrik AC 230 V. Jika saklar S1 di-OFF-kan maka Q1 dan lampu akan OFF.



Gambar 7.1 : Sistem Pengendalian terdiri rangkaian daya dan rangkaian kontrol

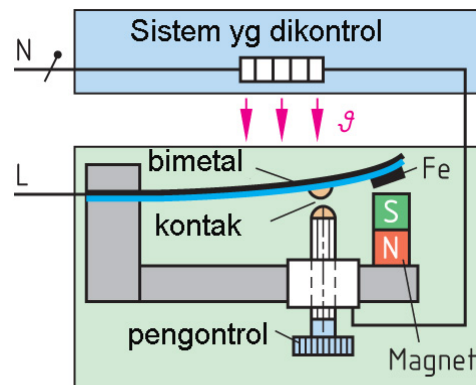
Dalam *sistem pengaturan* dikenal pengaturan *loop terbuka* dan *loop tertutup* dengan *feedback*. Sistem *pengaturan loop terbuka* hasil keluaran tidak bisa dikendalikan sesuai dengan setting, karena dalam sistem *loop terbuka* tidak ada umpan balik.



Gambar 7.2 : Dasar Sistem Pengaturan Otomatik

Sistem *pengaturan loop tertutup*, terdapat *umpan balik* yang menghubungkan masukan dengan hasil keluaran. Sehingga hasil akhir keluaran akan selalu dikoreksi sehingga hasilnya selalu mendekati dengan besaran yang diinginkan **gambar-7.2**

Setrika Listrik atau *Rice Cooker* adalah contoh sistem pengaturan *loop tertutup* temperatur dengan Bimetal **gambar-7.3** Kondisi awal bimetal pada kondisi masih dingin akan menutup sehingga kontak tertutup sehingga arus listrik mengalir ke elemen pemanas. Sampai temperatur setting dicapai, maka bimetal akan terputus dan arus listrik terputus pula. Bila temperatur kembali dingin bimetal terhubung kembali dan kembali pemanas akan bekerja lagi, kejadian berulang-ulang kondisi ON dan OFF secara otomatis.



Gambar 7.3 : Kontrol ON-OFF dengan bimetal

7.2. Komponen Sistem Pengendalian

Dalam *sistem pengendalian* ada dua kelompok komponen listrik yang dipakai, yaitu *komponen kontrol* dan *komponen daya*. Yang termasuk komponen kontrol diantaranya : *saklar ON, saklar OFF, timer, relay overload* dan *relay*. Komponen daya diantaranya *kontaktor, kabel daya, sekering* atau *circuit breaker*. Berikut ini akan dijelaskan konstruksi beberapa komponen kontrol dan komponen daya yang banyak digunakan dalam sistem pengendalian.

Tabel di bawah menunjukkan ada empat tipe kontak yang umum dipakai pada sistem pengendalian, yaitu *Normally Open (NO), Normally Close (NC)*, Satu Induk dua Cabang ***gambar 7-4***.

Kontak Normally Open (NO), saat koil dalam kondisi tidak *energized* kontak dalam posisi terbuka (*open, OFF*) dan saat koil diberikan arus listrik dan 1 maka kontak dalam posisi menutup *ON*.

Kontak Normally Close (NC), kebalikan dari kontak NO saat koil dalam kondisi tidak *energized* kontak dalam posisi tertutup (*close, ON*) dan saat koil diberikan arus listrik dan *energized* maka kontak dalam posisi membuka *OFF*.

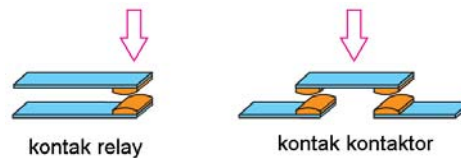
Kontak Single pole double trough, memiliki satu kontak utama dan dua kontak cabang, saat koil tidak *energized* kontak utama terhubung dengan cabang atas, dan saat koil *energized* justru kontak utama terhubung dengan kontak cabang bawah.

Kontak bantu, Dikenal dua jenis ujung kontak, jenis pertama kontak dengan dua kontak hubung dijumpai pada kontak relay ***gambar-7.5***. Jenis kedua adalah kontak dengan empat kontak hubung, ada bagian yang diam dan ada kontak yang bergerak ke bawah jenis kedua ini terpasang pada kontaktor.

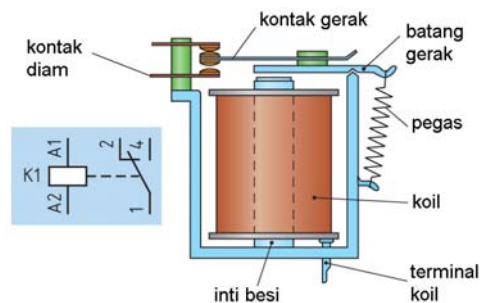
Komponen relay ini bekerja secara elektromagnetis, ketika koil K terminal

Tabel Jenis kontak pada relay		
Nama	Simbol	Bentuk fisik
Normally open		
Normally close		
Saklar utama 2 cabang		
Saklar utama 2 cabang		

Gambar 7.4 : Jenis-jenis kontak



Gambar 7.5 : Bentuk fisik kontak diam dan kontak bergerak

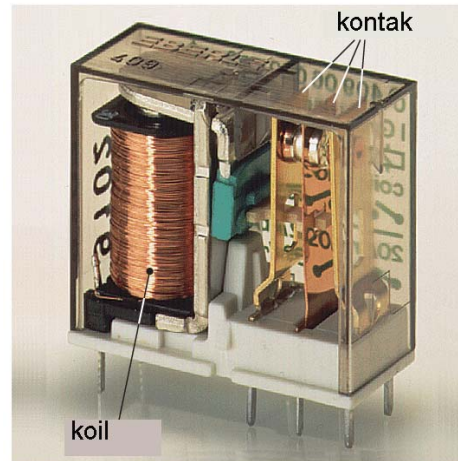


Gambar 7.6 : Simbol dan bentuk fisik relay

Pengendalian Motor Listrik

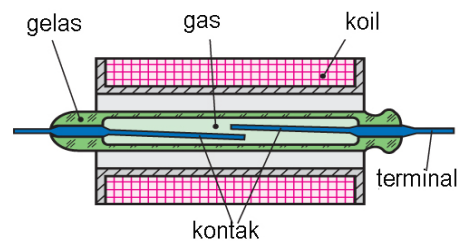
A1 dan A2 diberikan arus listrik angker akan menjadi magnet dan menarik lidah kontak yang ditahan oleh pegas, kontak utama 1 terhubung dengan kontak cabang 4 **gambar-7.6**. Ketika arus listrik putus (*unenergized*), elektromagnetiknya hilang dan kontak akan kembali posisi awal karena ditarik oleh tekanan pegas, kontak utama 1 terhubung kembali dengan kontak cabang 2. Relay menggunakan tegangan DC 12V, 24V, 48V dan AC 220V.

Bentuk fisik relay dikemas dengan wadah plastik transparan, memiliki dua kontak SPDT (*Single Pole Double Throgh* **gambar-7.7**, satu kontak utama dan dua kontak cabang). Relay jenis ini menggunakan tegangan DC 6V, 12V, 24V dan 48V. Juga tersedia dengan tegangan AC 220V. Kemampuan kontak mengalirkan arus listrik sangat terbatas kurang dari 5 Amper. Untuk dapat mengalirkan arus daya yang besar untuk mengendalikan motor induksi, relay dihubungkan dengan kontaktor yang memiliki kemampuan hantar arus dari 10–100 Amper.



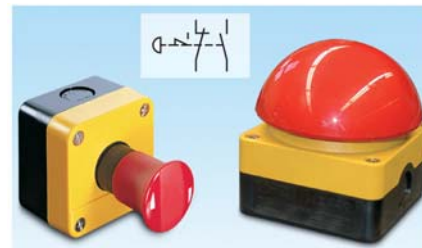
Gambar 7.7 : Relay dikemas plastik tertutup

Komponen *Reed Switch* merupakan saklar elektromagnetik yang cukup unik karena bisa bekerja dengan dua cara. Cara pertama *reed switch* dimasukkan dalam belitan kawat dan dihubungkan dengan sumber tegangan DC. Ketika koil menjadi elektromagnet *reed switch* berfungsi sebagai kontak, ketika listrik di-OFF-kan maka *reed switch* juga akan OFF **gambar-7.8**. Cara kedua *reed switch* di belitkan dalam beberapa belitan kawat yang dialiri listrik DC yang besar. Misalkan jumlah belitan 5 lilit, besarnya arus DC 10 A, *reed switch* akan ON jika ada kuat magnet sebesar 50 Amper-lilit (5 lilit x 10 Amper).



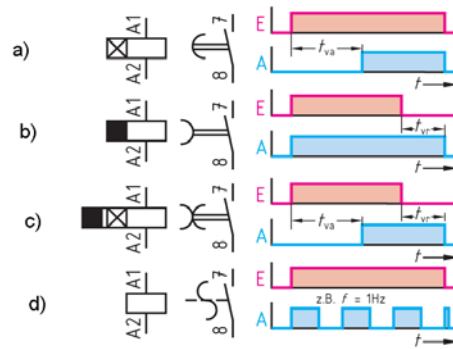
Gambar 7.8 : Komponen Reed Switch

Komponen **tombol tekan** atau disebut saklar ON/OFF banyak digunakan sebagai alat penghubung atau pemutus rangkaian kontrol **gambar-7.9**. Memiliki dua kontak, yaitu NC dan NO. Artinya saat saklar tidak digunakan satu kontak terhubung *Normally Close*, dan satu kontak lainnya *Normally Open*. Ketika kontak ditekan secara manual kondisinya berbalik posisi menjadi NO dan NC.



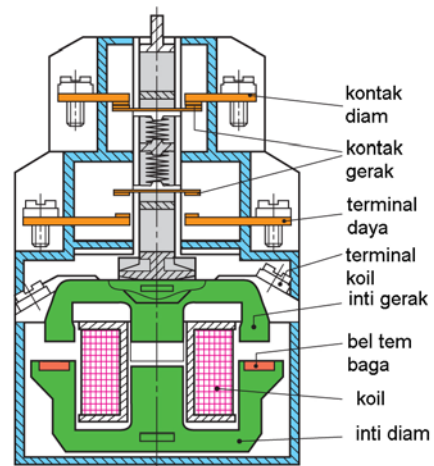
Gambar 7.9 : Tombol tekan

Komponen *timer* digunakan dalam rangkaian kontrol pengendalian, gunanya untuk mengatur kapan suatu kontaktor harus *energized* atau mengatur berapa lama kontaktor *energized*. Ada empat jenis timer yang sering digunakan yang memiliki karakteristik kerja seperti pada **gambar-7.10**.



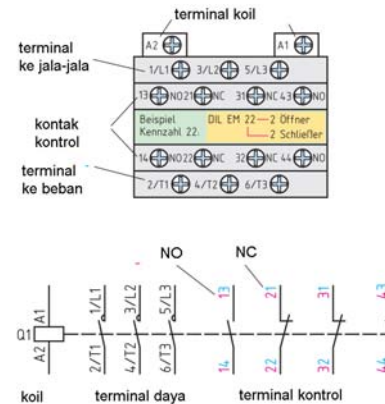
Gambar 7.10 : Simbol timer dan karakteristik timer

Kontaktor merupakan saklar daya yang bekerja dengan prinsip elektromagnetik **gambar-7.11**. Sebuah koil dengan inti berbentuk huruf E yang diam, jika koil dialirkan arus listrik akan menjadi magnet dan menarik inti magnet yang bergerak dan menarik sekaligus kontak dalam posisi *ON*. Batang inti yang bergerak menarik paling sedikit 3 kontak utama dan beberapa kontak bantu bisa kontak NC atau NO. Kerusakan yang terjadi pada kontaktor, karena belitan koil terbakar atau kontak tipnya saling lengket atau ujung2 kontaknya terbakar.



Gambar 7.11 : Tampak samping irisan kontaktor

Susunan kontak dalam **Kontaktor gambar-7.12** secara skematik terdiri atas belitan koil dengan notasi A2-A1. Terminal ke sisi sumber pasokan listrik 1/L1, 3/L2, 5/L3, terminal ke sisi beban motor atau beban listrik lainnya adalah 2/T1, 4/T2 dan 6/T3. Dengan dua kontak bantu NO *Normally Open* 13-14 dan 43-44, dan dua kontak bantu NC *Normally Close* 21-22 dan 31-32. Kontak utama harus digunakan dengan sistem daya saja, dan kontak bantu difungsikan untuk kebutuhan rangkaian kontrol tidak boleh dipertukarkan. Kontak bantu sebuah kontaktor bisa dilepaskan atau ditambahkan secara modular.



Gambar 7.12 : Simbol, kode angka dan terminal kontaktor

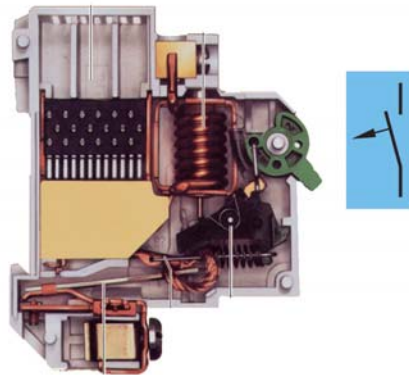
Pengendalian Motor Listrik

Bentuk fisik Kontaktor terbuat dari bahan plastik keras yang kokoh **gambar-7.13**. Pemasangan ke panel bisa dengan menggunakan rel atau disekrupkan. Kontaktor bisa digabungkan dengan beberapa pengaman lainnya, misalnya dengan pengaman bimetal atau *overload* relay. Yang harus diperhatikan adalah kemampuan hantar arus kontaktor harus disesuaikan dengan besarnya arus beban, karena berkenaan dengan kemampuan kontaktor secara elektrik.



Gambar 7.13 : Bentuk fisik kontaktor

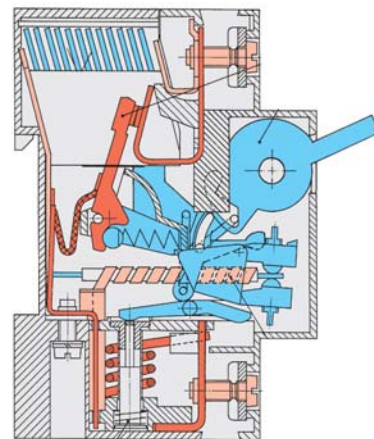
Pengaman sistem daya untuk beban motor-motor listrik atau beban lampu berdaya besar bisa menggunakan sekering atau *Miniatur Circuit Breaker* (MCB) **gambar-7.14**. MCB adalah komponen pengaman yang kompak, karena di dalamnya terdiri dua pengaman sekaligus.



Gambar 7.14 : Tampak irisan Miniatur Circuit Breaker

Pertama pengaman beban lebih oleh bimetal, kedua pengaman arus hubung singkat oleh relay arus. Ketika salah satu pengaman berfungsi maka secara otomatis sistem mekanik MCB akan trip dengan sendirinya. Pengaman bimetal bekerja secara *thermis*, fungsi kuadrat arus dan waktu sehingga ketika terjadi beban lebih reaksi MCB menunggu beberapa saat.

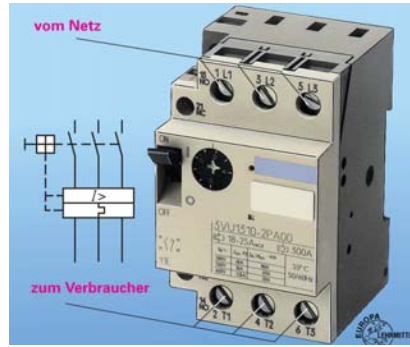
Komponen *Motor Control Circuit Breaker*¹ (MCCB) memiliki tiga fungsi sekaligus, fungsi pertama sebagai *switch* ing, fungsi kedua pengamanan motor dan fungsi ketiga sebagai isolasi rangkaian primer dengan beban **gambar-7.15** Pengaman beban lebih dilakukan oleh bimetal, dan pengamanan hubung singkat dilakukan oleh koil arus hubung singkat yang secara mekanik bekerja mematikan *Circuit Breaker*. Rating arus yang ada di pasaran 16 A sampai 63 A.



Gambar 7.15 : Tampak irisan Motor Control Circuit Breaker

¹ Moeller-Wiring Manual Automation and Power Distribution, hal 246, edisi 2006

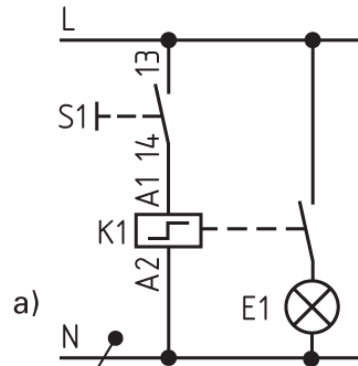
Bentuk fisik *Motor Control Circuit Breaker (MCCB)* terbuat dari *casing* plastik keras yang melindungi seluruh perangkat koil arus hubung singkat, bimetal, dan kontak utama **gambar-7.16**. Pengaman beban lebih *bimetal* dan *koil arus hubung singkat* terpasang terintegrasi. Memiliki tiga terminal ke sisi pemasok listrik 1L1, 3L2 dan 5L3. Memiliki tiga terminal terhubung ke beban yaitu 2T1, 4T2 dan 6T3. Terminal ini tidak boleh dibalikkan pemakaiannya, karena akan mempengaruhi fungsi alat pengaman.



Gambar 7.16 : Fisik MCCB

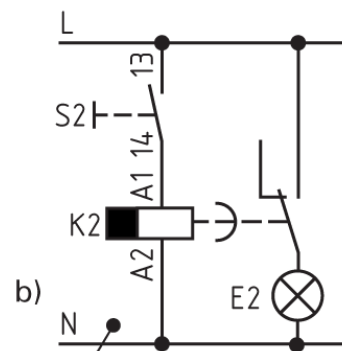
7.3. Pengendalian Kontaktor Elektromagnetik

Komponen kontrol *relay impuls* bekerja seperti saklar *toggle* manual, bedanya relay *impuls* bekerja secara elektromagnetik **gambar-7.17**. Ketika saklar S1 di-ON-kan relay impuls K1 dengan terminal A1 dan A1 akan *energized* sehingga kontak posisi ON. maka lampu E1 akan menyala. ketika saklar S1 posisi OFF mekanik pada relay impuls tetap mengunci tetap ON. Saat S1 di ON yang kedua, mekanik impuls lepas dan kontak akan OFF, lampu akan mati.



Gambar 7.17 : Kontrol relay impuls

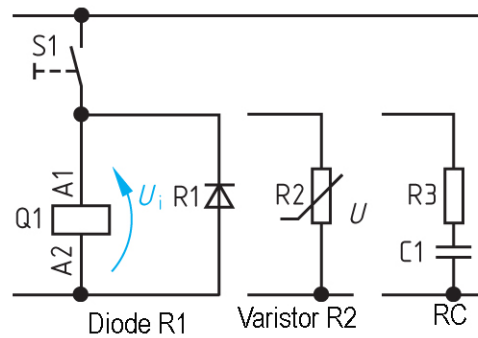
Komponen *timer OFF-delay* bekerja secara elektromagnetik **gambar-7.18**. Saklar S2 di-ON-kan, koil *timer OFF-delay* K2 akan *energized* dan mengakibatkan saklar akan ON dan lampu menyala. Timer di setting pada waktu tertentu misalkan lima menit. Setelah waktu lima menit dicapai dari saat timer *energized*, mekanik timer OFF delay akan meng-OFF-kan saklar dan mengakibatkan lampu mati. Dalam pemakaiannya timer dikombinasikan dengan kontaktor, sehingga waktu ON dan OFF kontaktor bisa disetting sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 7.18 : Timer OFF

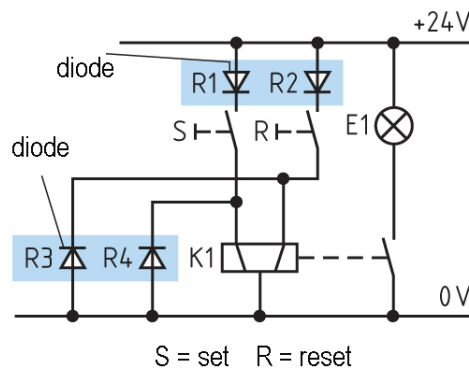
Pengendalian Motor Listrik

Koil kontaktor Q_1 dalam aplikasinya dihubungkan paralel dengan *diode* R_1 , *Varistor* R_2 atau *seri* R_3C_1 **gambar-7.19**. Koil Q_1 yang diparalel dengan diode R_1 gunanya untuk menekan timbulnya ggl induksi yang ditimbulkan oleh induktor pada koil Q_1 . Sedangkan *varistor* R_2 memiliki karakteristik untuk menekan arus induksi pada koil agar minimal dengan mengatur besaran resistansinya. Koil Q_1 yang diparalel dengan R_3C_1 akan membentuk impedansi sehingga arus yang mengalir ke koil minimal dan aman.



Gambar 7.19 : Diode, Varistor dan RC sebagai pengaman relay

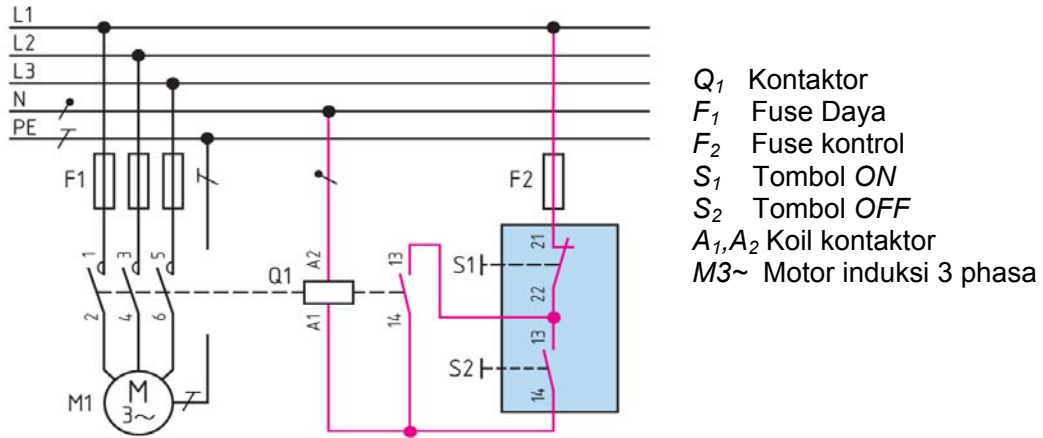
Bentuk *Koil Set-Reset* dengan dua belitan dan dapat melayani dua saklar yang berfungsi sebagai saklar *Setting* (*tombol* S) dan saklar *Reset* (*tombol* R) **gambar-7.20**. Ketika tombol S di ON mekanik koil akan meng-ON-kan saklar dan lampu akan menyala. Diode R_1 , berpasangan dengan K_1 dan diode R_4 . Ketika tombol R di ON koil energized dan sistem mekanik akan meng OFF kan saklar dan lampu akan mati. Diode R_2 , berpasangan dengan K_1 dan diode R_3 .



Gambar 7.20 : Koil set-reset

7.4. Pengendalian Hubungan Langsung

Pengendalian hubungan langsung dikenal dengan istilah *Direct On Line* (DOL) dipakai untuk mengontrol motor induksi dengan kontaktor Q_1 . Rangkaian daya **gambar-7.21** memperlihatkan ada lima kawat penghantar, yaitu L_1 , L_2 , L_3 , N dan PE , ada tiga buah *fuse* F_1 yang gunanya sebagai pengaman hubung singkat jika ada gangguan pada rangkaian daya. Sebuah kontaktor memiliki enam kontak, sisi supply terminal 1, 3 dan 5, sedangkan disisi beban terhubung ke motor terminal 2, 4 dan 6. notasi ini tidak boleh dibolakbalikkan.



Gambar 7.21 : Rangkaian daya dan kontrol motor induksi

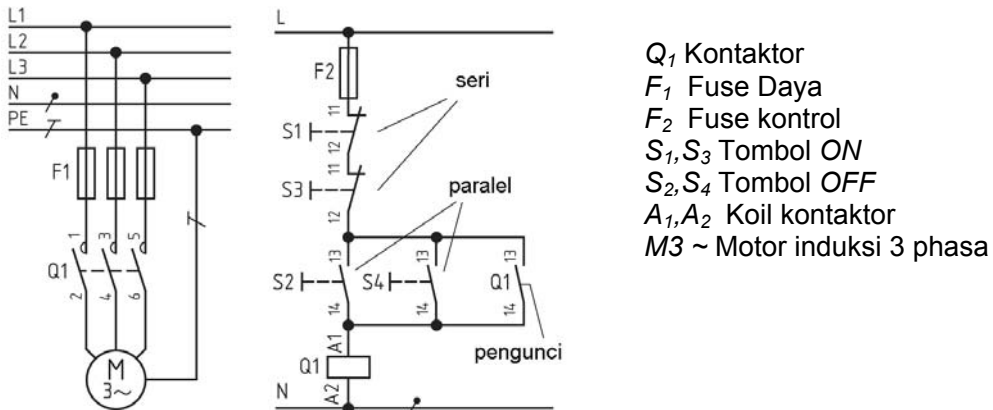
Rangkaian kontrol dipasangkan fuse F_2 sebagai pengaman jika terjadi hubung singkat pada rangkaian kontrol.

Posisi menghidupkan atau ON

Jika tombol *Normally Open* S_1 di ON kan listrik dari jala-jala L akan mengalir melewati fuse F_2 , S_1 , S_2 melewati terminal koil A_1A_2 dari koil Q_1 ke netral N. Akibatnya koil kontaktor Q_1 akan energized dan mengaktifkan kontak *Normally Open* Q_1 terminal 13,14 akan ON dan berfungsi sebagai pengunci. Sehingga ketika salah satu tombol S_1 posisi OFF aliran listrik ke koil Q_1 tetap energized dan motor induksi berputar.

Posisi mematikan atau OFF

Tombol tekan *Normally Close* S_2 ditekan, maka loop tertutup dari rangkaian akan terbuka, hilangnya aliran listrik pada koil kontaktor Q_1 akan de-energized. Akibatnya koil kontaktor OFF maka kontak-kontak daya memutuskan aliran listrik ke motor.



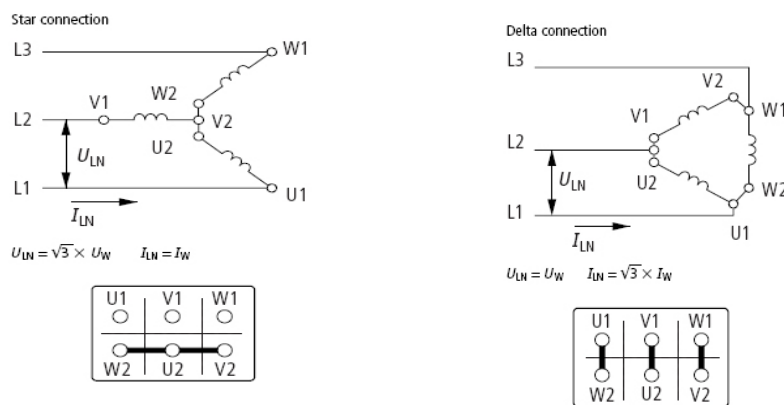
Gambar 7.22 : Rangkaian daya dan kontrol Direct ON Line (DOL)

Pengendalian Motor Listrik

Rangkaian daya dan kontrol **gambar-7.22** di atas, secara prinsip bekerja sama dengan rangkaian **gambar-7.21**. yang membedakan adalah terdapat dua tombol *Normally Open* S_1 dan S_3 untuk menghidupkan rangkaian. Juga terdapat dua tombol *Normally Close* S_2 dan S_4 untuk mematikan rangkaian.

7.5. Pengendalian Bintang-Segitiga

Hubungan langsung atau *Direct On Line* dipakai untuk motor induksi berdaya dibawah 5 KW. Motor induksi dengan daya menengah dan besar antara 10 KW sampai 50 KW menggunakan pengendalian bintang segitiga untuk starting awalnya. Saat motor terhubung bintang arus starting hanya mengambil sepertiga dari arus starting jika dalam hubungan segitiga.



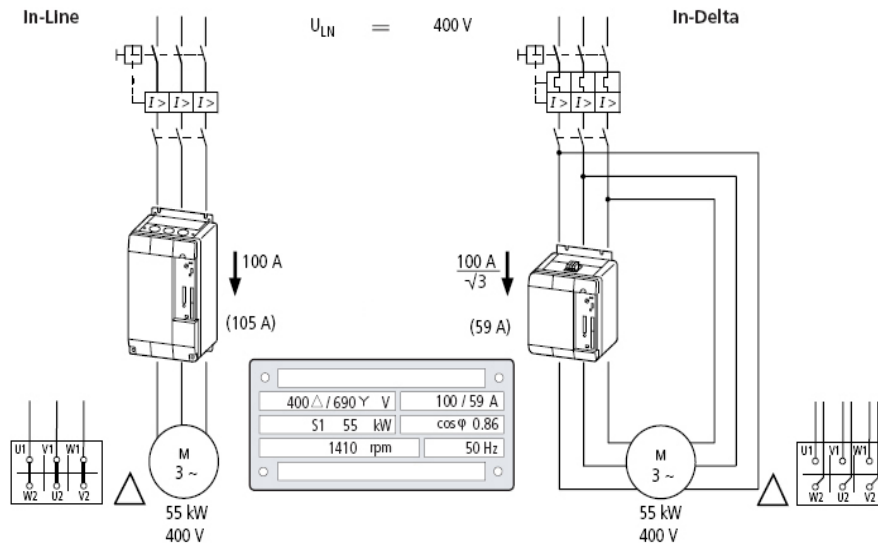
Gambar 7.23 : Hubungan terminal a) Bintang b) Segitiga

Hubungan bintang sebuah motor dapat diketahui dari hubungan kawat pada terminal motor. Terminal W2, U2 dan V2 di kopel jadi satu, sedangkan terminal U1 dihubungkan ke jala-jala L1, terminal V1 ke jala-jala L2 dan terminal W1 ke jala-jala L3 **gambar-7.23a**). Besar tegangan yang terukur pada belitan stator, sebesar $U_{belitan} = 1/\sqrt{3} U_{\text{fase-fase}}$ sedangkan $I_{belitan} = I_{\text{fase-fase}}$.

Hubungan segitiga dalam hubungan terminal motor diketahui dari kombinasi hubungan jala-jala L1-U1-W2, jala-jala L2- V1-U2 dan jala-jala L3-W1-V2 **gambar-7.23b**). Tegangan terukur pada belitan stator sama besarnya dengan jala-jala, $U_{belitan} = U_{\text{fase-fase}}$. Sedangkan besarnya $I_{belitan} = 1/\sqrt{3} I_{\text{fase-fase}}$.

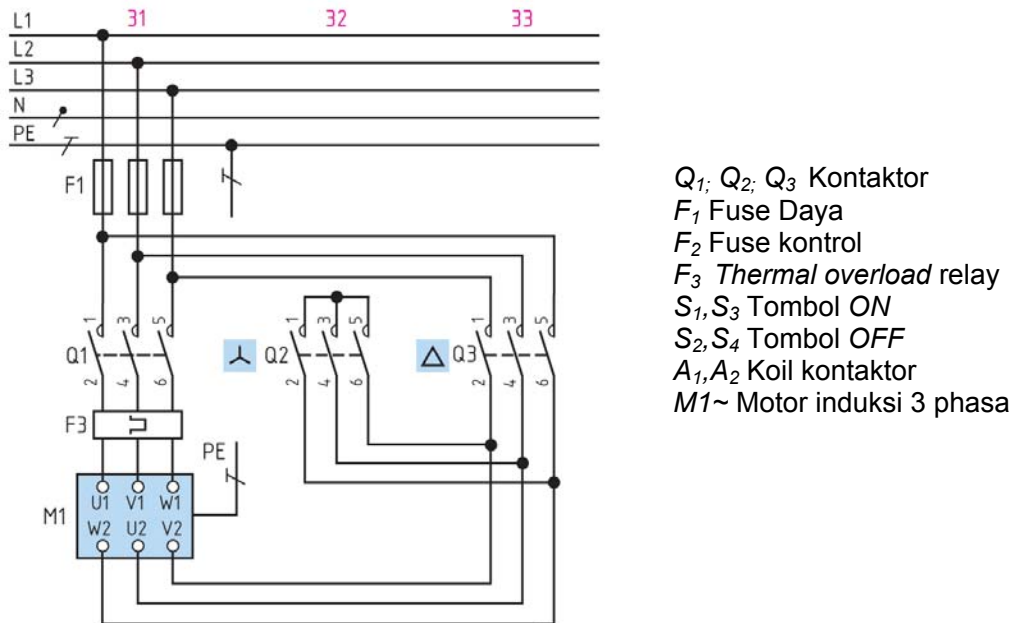
Perbandingan antara instalasi *Direct On Line* atau sering juga disebut *In-Line* dan hubungan bintang segitiga lihat **gambar-7.24**. Saat terhubung langsung dengan daya motor 55 Kw dan tegangan *nameplate* 400 V akan ditarik arus nominal 100 A - 105 A. Motor yang sama ketika terhubung segitiga, belitan stator hanya akan mengalirkan arus $1/\sqrt{3} \times 100 \text{ A} = 59 \text{ A}$. Dengan penggunaan rangkaian bintang-segitiga dapat dipilih rating daya kontaktor atau

circuit breaker yang lebih kecil dan secara ekonomis biaya instalasi lebih kecil. Alasan teknis lainnya dengan hubungan langsung (*in-line*) arus starting akan mencapai 600% - 700% arus nominalnya ($700 \text{ A} = 7 \times 100 \text{ A}$).



Gambar 7.24 : Perbandingan DOL dan Bintang Segitiga

A. Bintang-Segitiga tanpa Timer



Gambar 7.25 : Pengawatan Daya Bintang - Segitiga

Pengendalian Motor Listrik

Rangkaian daya hubungan bintang-segitiga manual **gambar-7.25**, maksudnya perpindahan dari hubungan bintang ke hubungan segitiga dilakukan secara manual oleh operator. Fuse F_1 untuk mengamankan jika terjadi hubungan singkat pada rangkaian daya, *thermal overload* relay F_3 berfungsi sebagai pengaman beban lebih. Saat kontaktor Q_1 dan Q_2 posisi ON motor terhubung secara bintang. Operator harus menekan tombol tekan S_3 ditekan maka Q_1 tetap ON, kontaktor Q_2 akan OFF sementara kontaktor Q_3 akan ON dan motor kini terhubung segitiga. Untuk mematikan tombol S_1 ditekan, maka rangkaian kontrol terputus, koil Q_1 , Q_2 dan Q_3 akan OFF, rangkaian daya dan kontrol terputus. Jika terjadi beban lebih *thermal overload* relay berfungsi kontak F3 akan membuka rangkaian kontrol dan rangkaian daya terputus.

Rangkaian kontrol bintang-segitiga manual **gambar-7.26**, fuse F_2 mengamankan hubung singkat rangkaian kontrol.

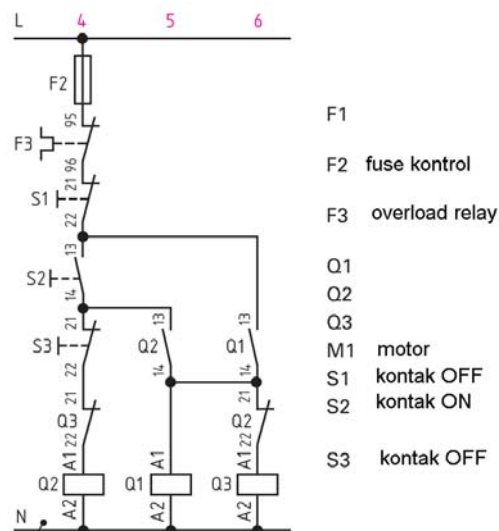
Posisi Hubungan Bintang

Tombol tekan *Normally Open* S_1 ditekan, terjadi loop tertutup pada rangkaian koil Q_1 dan koil Q_2 . Saat tersebut motor terhubung bintang. Perhatikan koil Q_2 seri dengan kontak Q_3 dan koil Q_3 seri dengan kontak Q_2 artinya kedua koil saling terkunci dan keduanya bekerja bergantian tidak akan pernah bekerja bersamaan.

Posisi Hubungan Segitiga

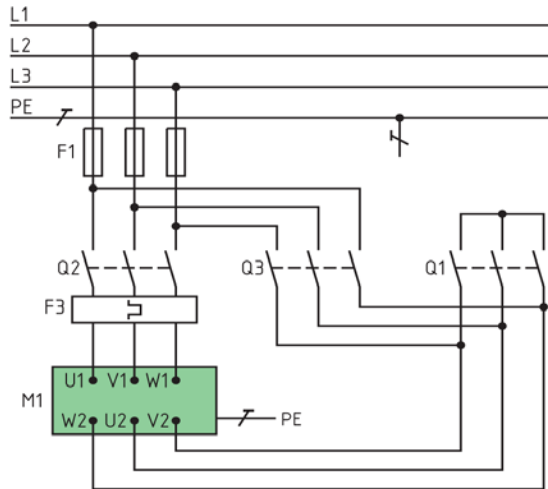
Jika operator menekan tombol *Normally Close* S_3 , Q_1 tetap ON, Q_2 akan OFF dan berikutnya Q_3 justru ON. Saat tersebut motor terhubung segitiga. Pergantian dari posisi hubungan bintang menuju hubungan segitiga dilakukan oleh operator. Dengan menambahkan sebuah timer maka perpindahan secara manual dapat dilakukan secara otomatis dengan melakukan setting waktu antara 30 detik sampai 60 detik.

Untuk mematikan rangkaian dengan menekan tombol *Normally Close* S_1 , rangkaian kontrol akan terbuka, akibatnya rangkaian daya dan rangkaian kontrol terputus. Jika terjadi gangguan beban lebih maka *thermal overload relay* F_3 kontakannya terbuka, hasilnya baik rangkaian daya dan rangkaian kontrol akan terputus dan motor aman.



Gambar 7.26 : Pengawatan kontrol bintang-segitiga

B. Hubungan Bintang-Segitiga Otomatis

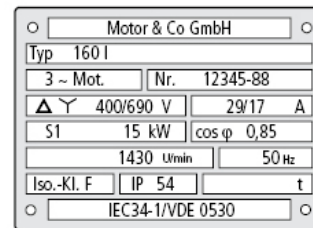


- Q₁; Q₂; Q₃ Kontaktor
- F₁ Fuse Daya
- F₂ Fuse kontrol
- F₃ Thermal overload relay
- S₁, S₃ Tombol ON
- S₂, S₄ Tombol OFF
- A₁, A₂ Koil kontaktor
- M1~ Motor induksi 3 phase

Gambar 7.27 : Hubungan Bintang Segitiga

Rangkaian daya hubungan bintang segitiga menggunakan tiga buah kontaktor Q₁, Q₂ dan Q₃ **gambar-7.27**. Fuse F₁ berfungsi mengamankan jika terjadi hubungsingkat pada rangkaian motor. Saat motor terhubung bintang kontaktor Q₁ dan Q₂ posisi ON dan kontaktor Q₃ OFF. Beberapa saat kemudian timer yang disetting waktu 60 detik energized, akan meng-OFF-kan Q₁, sementara Q₂ dan Q₃ posisi ON, dan motor terhubung segitiga. Pengaman beban lebih F₃ (thermal overload relay) dipasang seri dengan kontaktor, jika terjadi beban lebih disisi beban, relay bimetal akan bekerja dan rangkaian kontrol berikut kontaktor akan OFF.

Tidak setiap motor induksi bisa dihubungkan bintang-segitiga, yang harus diperhatikan adalah tegangan name plate motor harus mampu diberikan tegangan sebesar tegangan jala-jala **gambar-7.28**, khususnya pada saat motor terhubung segitiga. Jika ketentuan ini tidak dipenuhi, akibatnya belitan stator bisa terbakar karena tegangan tidak sesuai.



Gambar 7.28 : Nameplate motor induksi bintang segitiga

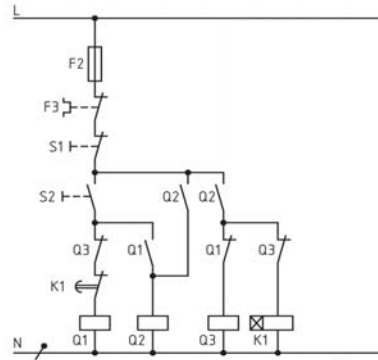
Rangkaian kontrol bintang-segitiga **gambar-7.29**, dipasang fuse F₂ untuk pengaman hubungsingkat pada rangkaian kontrol.

Hubungan Bintang

Tombol S_2 di-ON-kan terjadi loop tertutup pada rangkaian koil Q_1 dan menjadi *energized* bersamaan dengan koil Q_2 . Kontakor Q_1 dan Q_2 *energized* motor terhubung bintang. Koil timer K_1 akan *energized*, selama setting waktu berjalan motor terhubung bintang.

Hubungan Segitiga

Saat Q_1 dan Q_2 masih posisi ON dan timer K_1 masih *energized*, sampai setting waktu berjalan motor terhubung bintang. Ketika setting waktu timer habis, kontak *Normally Close* K_1 dengan akan OFF menyebabkan koil kontakor Q_1 OFF, bersamaan dengan itu Q_3 pada posisi ON. Posisi akhir kontakor Q_2 dan Q_3 posisi ON dan motor dalam hubungan segitiga. Untuk mematikan rangkaian cukup dengan meng-OFF-kan tombol tekan S_1 rangkaian kontrol akan terputus dan seluruh kontakor dalam posisi OFF dan motor akan berhenti bekerja.



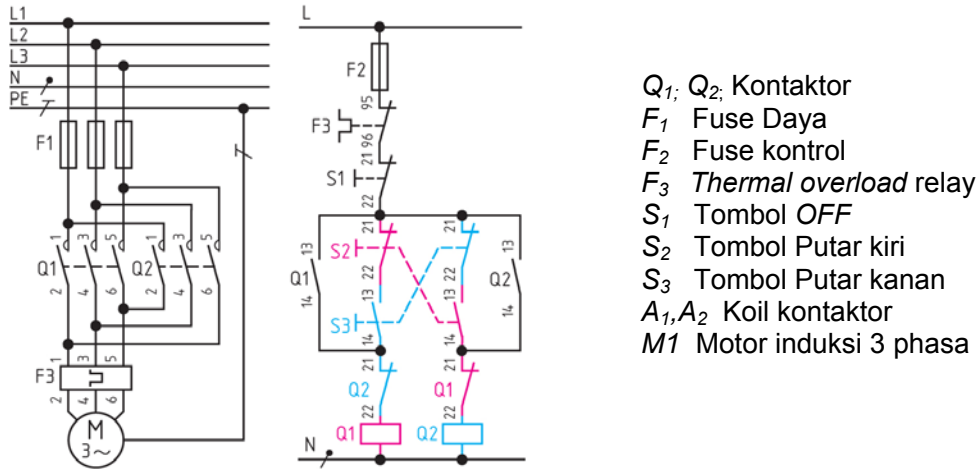
Gambar 7.29 : Pengawatan kontrol otomatis bintang-segitiga

Kelengkapan berupa lampu-lampu indikator dapat dipasangkan, baik indikator saat rangkaian kondisi ON, maupun saat saat rangkaian kondisi OFF, caranya dengan menambahkan kontak bantu *normally open* yang diparalel dengan koil kontakor dan sebuah lampu indikator.

7.6. Pengendalian Putaran Kanan-Kiri

Motor induksi dapat diputar arah kanan atau putar arah kiri, caranya dengan mempertukarkan dua kawat terminal *box*. Putaran kanan kiri diperlukan misalkan untuk membuka atau menutup pintu garasi.

Rangkaian daya putaran kanan-putaran kiri motor induksi terdiri atas dua kontakor yang bekerja bergantian, tidak bisa bekerja bersamaan **gambar-7.30**. Fuse F_1 digunakan untuk pengaman hubungsingkat rangkaian daya. Ketika kontakor Q_1 posisi ON motor putarannya ke kanan, saat Q_1 di OFF kan dan Q_2 di ON kan maka terjadi pertukaran kabel supply menuju terminal motor, motor akan berputar ke kiri. Rangkaian daya dilengkapi pengaman *thermal overload relay* F_3 , yang akan memutuskan rangkaian daya dan rangkaian kontrol ketika motor mendapat beban lebih.



Gambar 7.30 : Pengawatan Daya Pembalikan Putaran Motor Induksi

Cara kerja rangkaian kontrol, posisi stand by jala-jala mendapat supply 220 V dengan titik netral N.

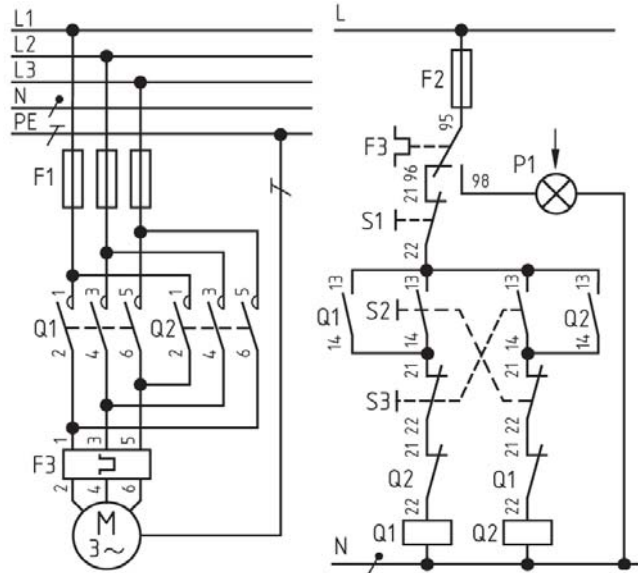
Posisi Putaran Arah Kanan

Saat tombol *Normally Open* S_3 (*Forward*) di tekan terjadi loop tertutup pada rangkaian koil kontaktor Q_1 , sehingga kontaktor Q_1 *energized*. Pada posisi ini motor berputar ke kanan. Perhatikan koil Q_1 di serikan dengan kontak *Normally Close* Q_2 , dan sebaliknya koil Q_2 di seri dengan kontak *Normally Close* Q_1 , ini disebut saling mengunci (*interlocking*). Artinya ketika koil Q_1 ON, maka koil Q_2 akan terkunci selalu OFF. Atau saat koil Q_2 sedang ON, maka koil Q_1 akan selalu OFF. Karena koil Q_1 akan bergantian bekerja dengan Q_2 atau sebaliknya, dan keduanya tidak akan bekerja secara bersamaan.

Posisi Putaran Arah Kiri.

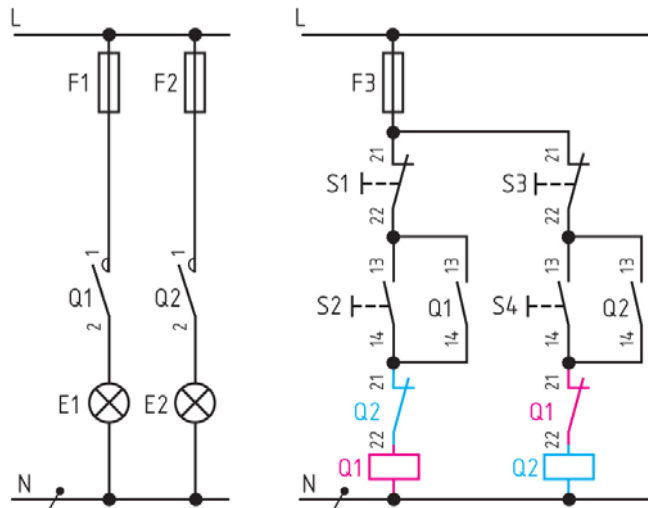
Kontak *Normally Open* S_2 (*Reverse*) ditekan, loop tertutup terjadi pada rangkaian koil Q_2 . Kontaktor Q_2 akan ON dan dengan sendirinya koil kontaktor Q_1 akan OFF, terjadi pertukaran dua kabel fasa pada terminal motor dan motor berputar ke kiri.

Untuk mematikan rangkaian, tekan tombol *normally close* S_1 , maka rangkaian kontrol terbuka dan aliran listrik ke koil Q_1 dan koil Q_2 terputus dan rangkaian dalam kondisi mati. Jika terjadi beban lebih kontak F_3 akan terbuka, maka rangkaian akan terputus aliran listriknya dan rangkaian kontrol dan daya akan terputus.



Gambar 7.31 : Pengawatan kontrol pembalikan putaran

Sebuah lampu P_1 disambungkan ke kontak 98 dari F_3 berfungsi sebagai indikator beban lebih, lampu P_1 akan ON jika terjadi gangguan beban lebih **gambar-7.31**.



Gambar 7.32 : Kontrol pembalikan motor dilengkapi lampu indikator

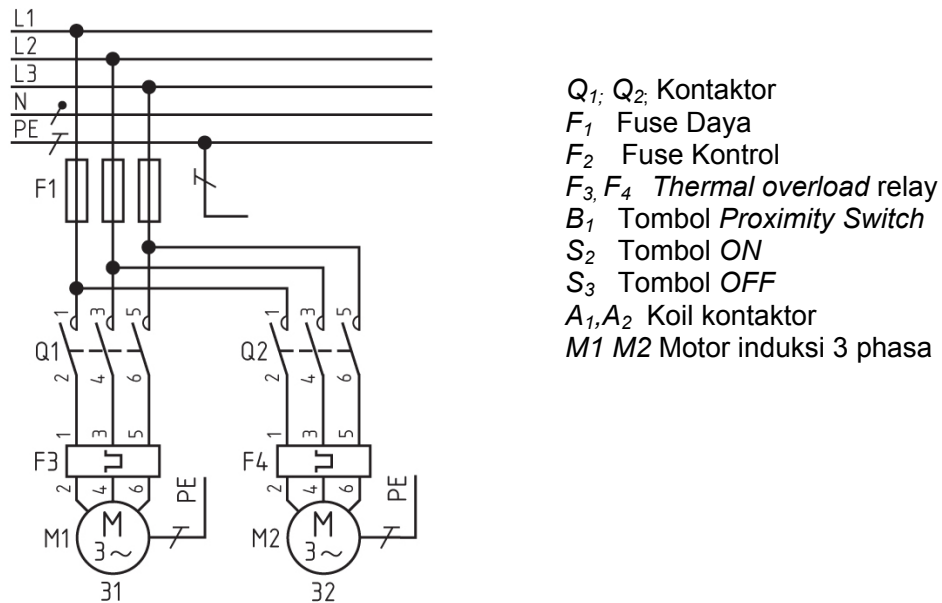
Rangkaian kontrol dikembangkan dengan menambahkan dua lampu indikator E_1 akan ON ketika motor berputar ke kanan, dan lampu indikator E_2 akan ON ketika motor berputar ke kiri **gambar-7.32**. Pada rangkaian kontrol dikembangkan tombol NC (Normally Close) S_1 dan tombol NC S_3 untuk

mematikan rangkaian. Tombol NO (*Normally Open*) S_2 untuk meng-energized koil Q_1 (*Forward*), dan tombol NO S_4 untuk meng-energized koil Q_2 (*Reverse*). Tiap lampu indikator diamankan dengan *fuse*, F_1 untuk lampu E_1 dan F_2 untuk lampu E_2 , sedangkan *fuse* F_3 untuk pengaman rangkaian kontrol.

7.7. Pengendali Dua Motor Bekerja Bergantian

Dalam proses diperlukan kerja dua atau beberapa motor induksi bekerja secara bergantian sesuai kebutuhan. Berikut ini dua motor induksi dirancang untuk bekerja secara bergantian, dengan interval waktu tertentu.

Rangkaian daya dua motor bekerja bergantian, *fuse* F_1 berfungsi sebagai pengaman jika terjadi gangguan hubung singkat rangkaian daya baik motor-1 dan motor-2 **gambar-7.33**. Kontaktor Q_1 mengendalikan motor-1 dan kontaktor Q_2 mengendalikan motor-2. Masing-masing motor dipasang *thermal overload* F_3 dan F_4 . Kontaktor Q_1 dan kontaktor Q_2 dirancang *interlocking*, artinya mereka akan bekerja secara bergantian.

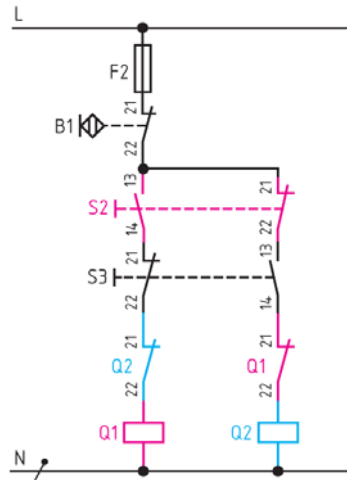


Gambar 7.33 : Pengawatan daya dua motor bekerja bergantian

Rangkaian kontrol motor bekerja bergantian **gambar-7-34** dipasang *fuse* F_2 sebagai pengaman gangguan di rangkaian kontrol.

Menjalankan Motor-1

Tombol tekan *Normally Open* S_2 jika ditekan akan mengakibatkan koil Q_1 *energized*, sehingga motor-1 bekerja. Koil Q_1 diseri dengan kontak *Normally Close* Q_2 , dan koil Q_2 diseri dengan kontak *Normally Close* Q_1 , menandakan bahwa keduanya terhubung *interlocking*. Jika *proximity switch* B_1 posisi open maka aliran listrik terputus akibatnya koil Q_1 atau koil Q_2 akan *de-energized* sehingga rangkaian kontrol dan rangkaian daya terputus.



Gambar 7.34 : Pengawatan kontrol dua motor bergantian

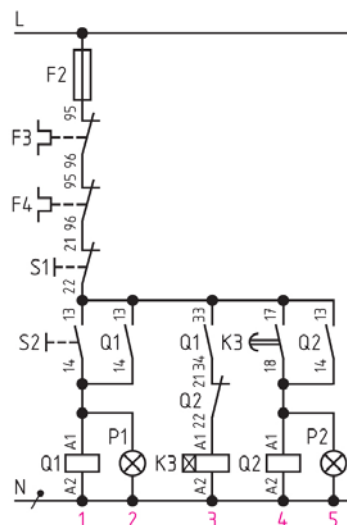
Menjalankan Motor-2

Tombol tekan *Normally Close* S_3 di tekan secara bersamaan aliran koil Q_1 terputus dan aliran listrik ke koil Q_2 tersambung, kontaktor Q_2 akan *energized* dan motor-2 bekerja.

Jika terjadi gangguan beban lebih dari salah satu motor, maka *thermal overload* relay F_3 atau F_4 akan bekerja, rangkaian daya menjadi loop terbuka, dan aliran listrik ke rangkaian motor terputus meskipun rangkaian kontrol masih bekerja.

Motor-1 dan Motor-2 bekerja dengan selang waktu

Agar tingkat keamanan lebih baik maka saat *thermal overload relay* F_3 dan F_4 bekerja, rangkaian kontrol juga harus terputus. Maka dilakukan kontak *Normally Close* F_3 dan F_4 di hubungkan seri dan menggantikan fungsi dari *proximity switch* B_1 **gambar-7.35**.



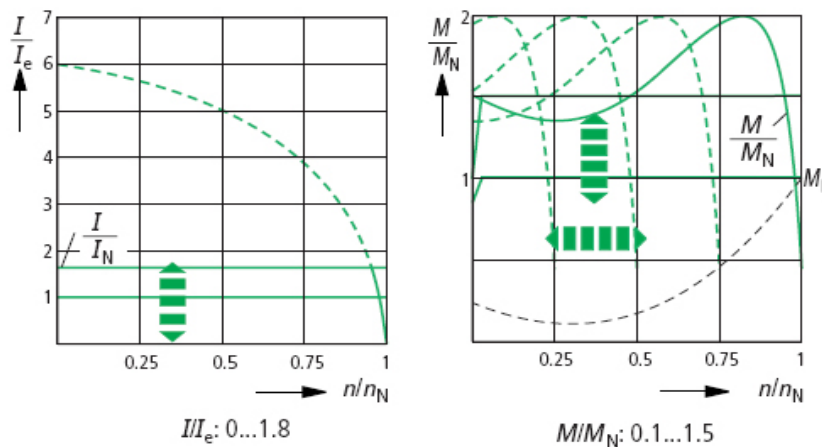
Gambar 7.35 : Pengaturan Selang Waktu Oleh Timer

Lampu indikator P_1 diparalelkan dengan koil Q_1 , berfungsi sebagai indikator saat koil Q_1 *energized* terdeteksi. Lampu indikator P_2 juga diparalel dengan koil Q_2 , sehingga saat koil Q_2 *energized* dapat diketahui dengan nyala lampu P_2 .

Timer K_3 ditambahkan seri dengan kontak NO koil Q_1 dan NC koil Q_2 , artinya koil kontaktor Q_2 akan *energized* jika koil Q_1 sudah bekerja dan setting waktu berjalan dicapai maka koil Q_2 akan *energized*, dan motor-1 dan motor-2 akan bekerja bersama-sama.

7.8. Pengendalian Motor Soft Starter

Perkembangan elektronika daya yang pesat kini pengendalian motor induksi menggunakan komponen elektronika seperti dengan *Thyristor*, *GTO* dsb. Kemampuan pengendaliannya sampai ratusan KW untuk pengasutan awal dan bahkan untuk pengaturan putaran. Karakteristik *Soft starter* memiliki kemampuan mengubah besaran tegangan dan frekuensi sesuai kebutuhan. Karakteristik arus fungsi putaran motor, akan menarik 600% arus nominal tanpa adanya pengasutan, dengan pengasutan *soft starter* mampu ditekan sampai hanya 200% arus nominalnya (***gambar-7.36a***). Karakteristik momen dengan *soft starter* mampu diatur dari 10% sampai 150% torsi nominal motor (***gambar-7.36b***).



Gambar 7.36 : Karakteristik a) Arus Fungsi Putaran b) Torsi Fungsi Putaran

Kemampuan *soft starter* lainnya adalah mampu mengubah frekuensi jala-jala 50 Hz menjadi frekuensi lebih kecil dari 25%, 50%, 75% dari frekuensi nominalnya. Motor induksi yang memiliki putaran nominal 1450 Rpm dapat diatur putarannya dari minimal 25% (360 Rpm) sampai frekuensi nominalnya 100% (1450 Rpm) lihat grafik (***gambar-7.36b***).

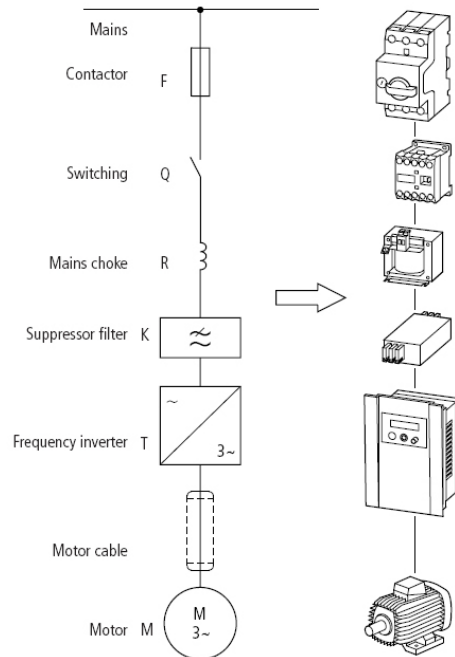
Pengendalian Motor Listrik

Gambar satu garis prinsip instalasi perangkat *soft starter* terdiri atas beberapa tingkatan, mencakup *fuse* atau *kontaktor utama*, *saklar*, *induktor*, *filter*, *inverter frekuensi*, *kabel* dan *motor induksi* **gambar-7.37**.

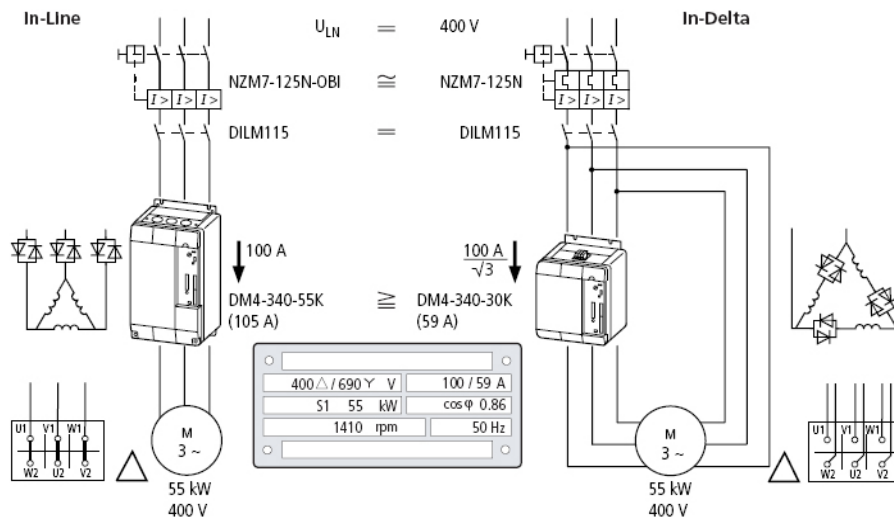
Perangkat induktor dan filter digunakan untuk menjaga agar kualitas listrik tidak berubah dengan adanya perangkat inverter frekuensi. Jika kedua komponen ini dihilangkan akan terjadi munculnya interferensi frekuensi pada listrik jala-jala.

Inverter frekuensi memiliki kemampuan mengubah dari frekuensi jala-jala 50 Hz menjadi frekuensi lebih rendah dan bahkan frekuensi yang lebih tinggi sesuai kebutuhan. Dengan mengubah besaran frekuensi maka putaran motor induksi dapat diatur.

Instalasi *soft starter* untuk motor 55 kW tegangan 400 V dibandingkan antara hubungan *in-line* dan hubungan segitiga **gambar-7.38**.



Gambar 7.37 : Diagram Satu Garis Instalasi Pengasutan Soft Starting



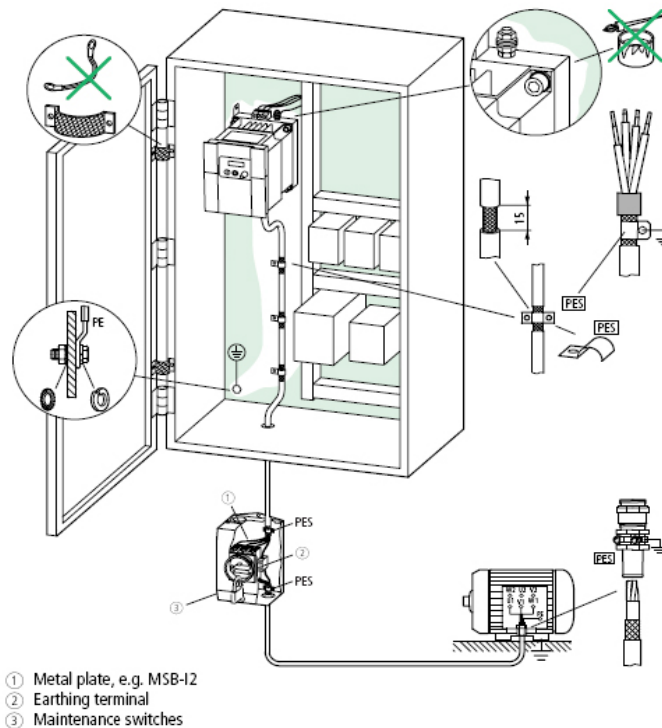
Gambar 7.38 : Pengawatan soft starting a) DOL b) Bintang segitiga

7.9. Panel Kontrol Motor

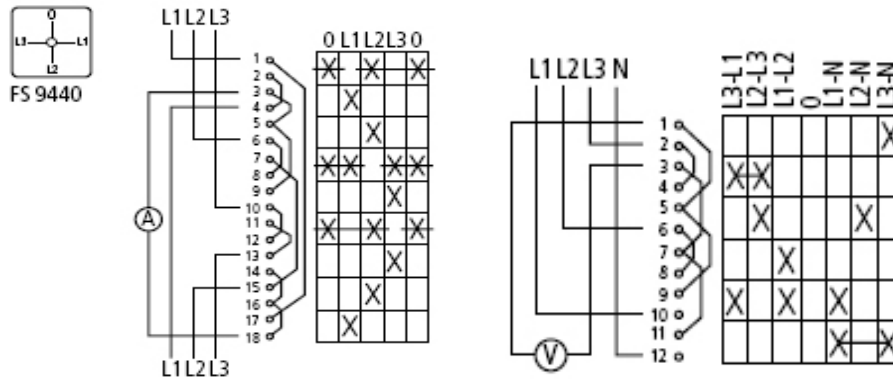
Rangkaian daya dan rangkaian kontrol motor dipasang dalam sebuah panel yang terbuat dari bahan metal. Ukuran panjang lebar dan tinggi disesuaikan dengan kebutuhan. Panel kontrol motor di bagian pintu dilengkapi dengan beberapa lampu indikator, Voltmeter, Ampermeter dan beberapa tombol tekan ON, tombol OFF, tombol Auto.

Komponen kontaktor disusun rapi dikelompokkan menurut fungsi. Komponen pengaman seperti *fuse* dan *circuit breaker* ditempatkan menyatu **gambar-7.39**. Penampang kabel daya disesuaikan dengan daya motor, minimal 10 mm^2 . Penampang kabel kontrol dipakai $2,5 \text{ mm}^2$ dari jenis kabel serabut. Pemasangan kabel dalam panel ditempatkan dalam *duck* kabel sehingga tersusun rapi dan mudah dirawat. Panel kontrol motor diketanahkan dengan kawat tembaga penampang 16 mm^2 , disambungkan dengan elektrode pentanahan.

Instalasi pengawatan alat ukur untuk ampermeter menggunakan *rotary switch* dapat mengukur arus L1, arus L2 dan arus L3 cukup dengan satu buah ampermeter saja. Pengawatan alat ukur tegangan dengan voltmeter juga menggunakan *rotary switch*, dengan berbagai jenis pengukuran tegangan, yaitu tegangan fasa-netral L1-N, L2-N, L3-N dan tegangan fasa-fasa L1-L2, L2-L3 dan L3-L1 **gambar-7.40**.



Gambar 7.39 : Tata letak komponen dalam bok panel

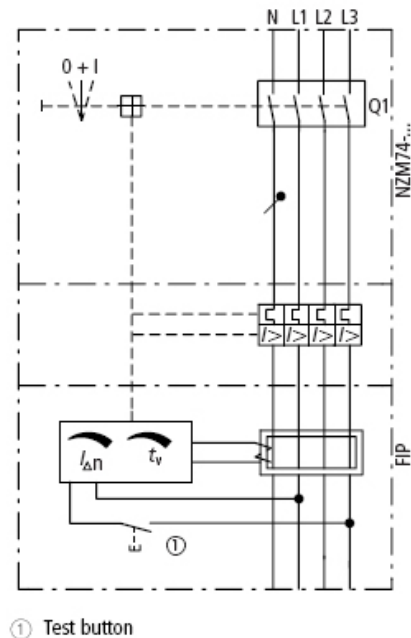


Gambar 7.40 Pengawatan a) Ampermeter Switch b) Voltmeter Switch

Kontrol motor dilengkapi dengan beberapa pengaman sekaligus berupa pengaman *thermal overload* relay dan pengaman *overcurrent* relay yang tersambung secara mekanik **gambar-7.41**. Pengaman *thermal overload* dan *overcurrent* relay, sifatnya tambahan artinya bisa dipasang jika diperlukan atau dilepas jika tidak diperlukan.

Bahkan bisa digabungkan dengan pengaman arus sisa yang bekerjanya seperti ELCB, berupa trafo arus yang dilewati oleh empat kawat sekaligus, yaitu L1, L2, L3 dan N. Dilengkapi dengan setting kepekaan arus sisa dalam orde 50 sd 300 mA yang dapat diatur dan pengaturan waktu berapa lama bereaksi sampai memutuskan rangkaian.

Motor induksi dengan daya besar diatas 50 Kw bekerja dengan arus nominal diatas 100 A. Pemasangan *thermal overload* relay tidak bisa langsung dengan *circuit breaker*, tetapi melewati alat *transformator arus CT* **gambar-42**. Ratio arus primer trafo arus CT dipilih 100A/5A. Sehingga *thermal overload* relay cukup dengan rating sekitar 5A saja. Jika terjadi beban lebih arus primer CT meningkat diatas 100A, arus sekunder CT akan meningkat juga dan mengerjakan *thermal overload* relay bekerja, sistem mekanik akan memutuskan *circuit breaker*.

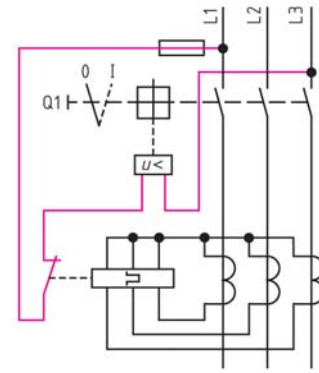


Gambar 7.41 Pengamanan bimetal overload dan arus hubung singkat

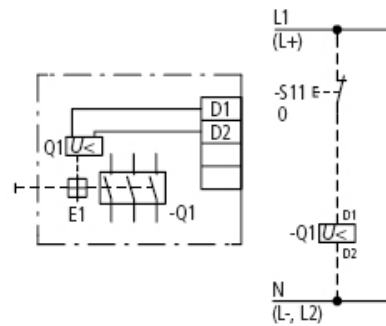
Beberapa alat listrik sensitif terhadap perubahan tegangan listrik baik tegangan lebih maupun tegangan dibawah nominal. Alat pengaman *under voltage* relay juga dipasang untuk mendeteksi jika tegangan jala-jala dibawah tegangan nominalnya. Maka relay secara mekanik akan memutuskan *circuit breaker*, sehingga peralatan listrik aman ***gambar-7.43***. Relay *undervoltage* juga dilengkapi dengan tombol reset S11.

Kini beberapa jenis motor induksi dilengkapi dengan sensor temperatur semikonduktor dari PTC/NTC yang dihubungkan dengan piranti penguat elektronik ***gambar-7.44***.

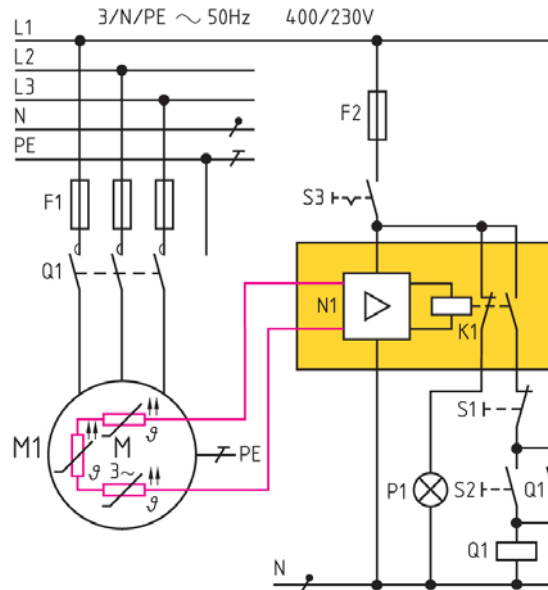
Pengaruh beban lebih pada motor akan menyebabkan temperatur stator meningkat. Jika motor bekerja di atas suhu kerjanya akan memanaskan PTC/NTC yang sensornya terpasang dalam *slot* stator motor akan meningkat nilai resistansinya. Setelah dikuatkan sinyalnya oleh perangkat elektronik, akan *de-energized* koil Q1. Sehingga kontaktor Q1 akan terputus dan motor aman dari pengaruh temperatur diatas normal.



Gambar 7.42 Pemakaian Trafo Arus CT Pengamanan Motor



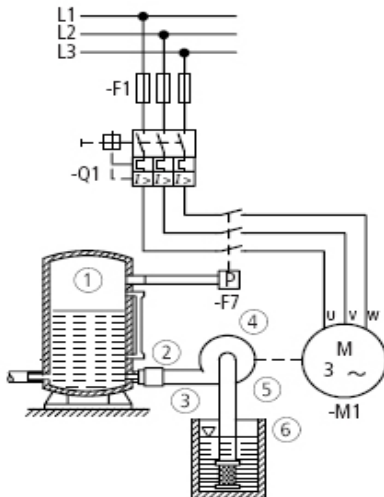
Gambar 7.43 : Pengaman under voltage



Gambar 7.44 : Pengaman beban lebih dengan PTC/NTC

7.10. Instalasi Motor Induksi Sebagai Water Pump

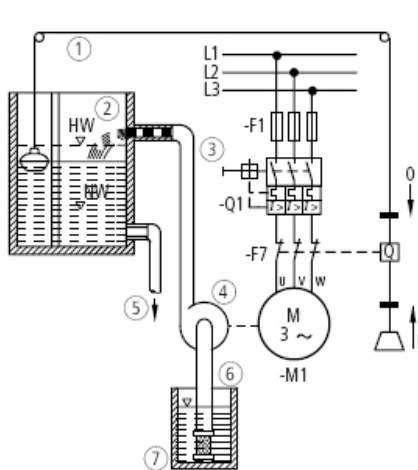
1. Instalasi pompa air menggunakan satu motor dengan kendali *pressure switch* **gambar 7.45**



- F1 Fuse
- Q1 Motor protective switch +overload + over current
- F7 Pressure switch 3 pole
- M1 Motor penggerak pompa
- Tangki udara bertekanan
- Valve
- Pipa tekanan
- Pompa sentrifugal
- Pipa hisap dengan filter
- Lubang sumur

Gambar 7.45 : Instalasi Pompa Air Dengan Kendali Pressure Switch

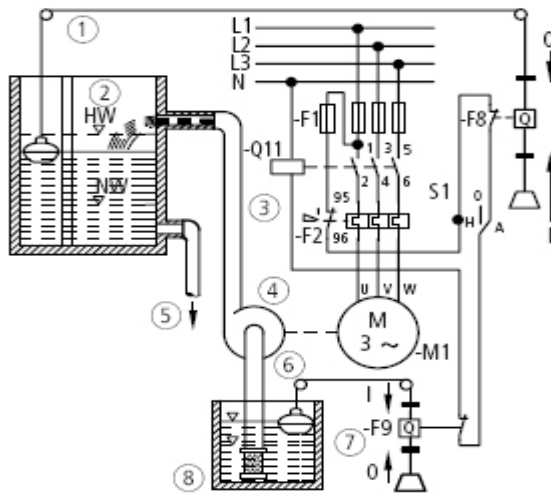
2. Instalasi pompa air digerakkan oleh satu motor dengan kendali level switch **gambar 7.46**



- F1 Fuse
- Q1 Motor protective switch +overload + over current
- F7 Pressure switch 3 pole
- M1 Motor penggerak pompa
- HW Level atas
- LW Level bawah
- Tali terikat pelampung, beban penyeimbang, klem dan pulley
- Tangki penimbun
- Tangki tekanan
- Pompa Centrifugal
- Keluaran
- Pipa hisap dengan filter
- Lubang sumur

Gambar 7.46 : Instalasi Pompa Air Dengan Kendali Level Switch

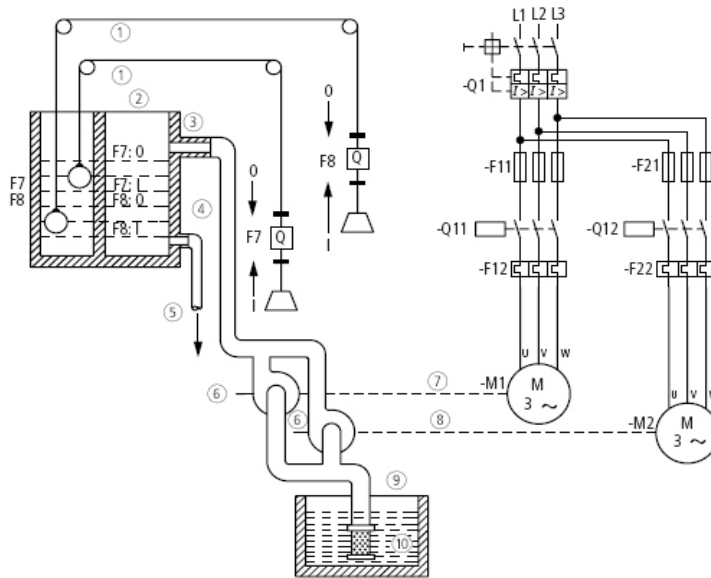
3 Instalasi pompa air digerakkan oleh satu motor dengan kendali dua level switch **gambar 7.47**



Gambar 7.47 : Instalasi pompa air dgn kendali dua buah level switch

- F1 Fuse
- Q1 Kontaktor (start-delta)
- F2 Overload relay (reset)
- F8 Switch pelampung 1 pole
- F9 Switch pelampung 1 pole
- S1 Switch Manual-OFF-Auto
- M1 Motor penggerak pompa
- Tali terikat pelampung, beban penyeimbang, klem dan pulley
- Tangki penimbun
- Tangki tekanan
- Pompa Centrifugal
- Keluaran
- Pipa hisap dengan filter
- Monitor gangguan pompa
- Lubang sumur

4. Instalasi pompa air menggunakan dua motor dengan kendali dua level switch **gambar 7.48**.



Gambar 7.48 : Instalasi pompa air dgn dua pompa

Pengendalian Motor Listrik

P1 Auto Pompa-1 prioritas kerja, pompa-2 saat beban puncak

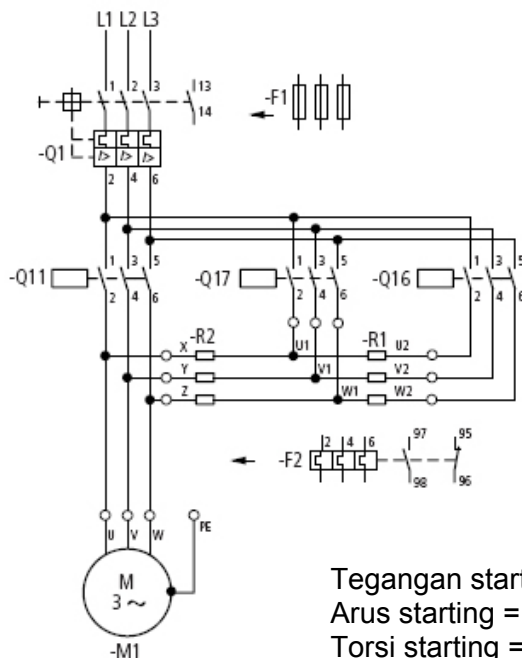
P2 Auto Pompa-2 prioritas kerja, pompa-1 saat beban puncak

P1 + P2 Pompa-1 /pompa-2 bekerja oleh *switch* pelampung

- Tali terikat pelampung, beban penyeimbang, klem dan *pulley*
- Tangki penimbun
- Pemasukan
- Tangki tekanan
- Keluaran
- Pompa Centrifugal
- Pompa-1
- Pompa-2
- Pipa hisap dengan filter
- Lubang sumur

7.11. Rangkaian Kontrol Motor Induksi

1. Rangkaian daya pengasutan resistor pada motor induksi, dilengkapi dengan menggunakan pengaman beban lebih bimetal *overload* relay dan pengaman arus hubung singkat pada kontaktor Q1 **gambar 7.49**. Rangkaian daya ini akan bekerja baik jika rangkaian kontrol berfungsi dengan baik **gambar 7.50**.

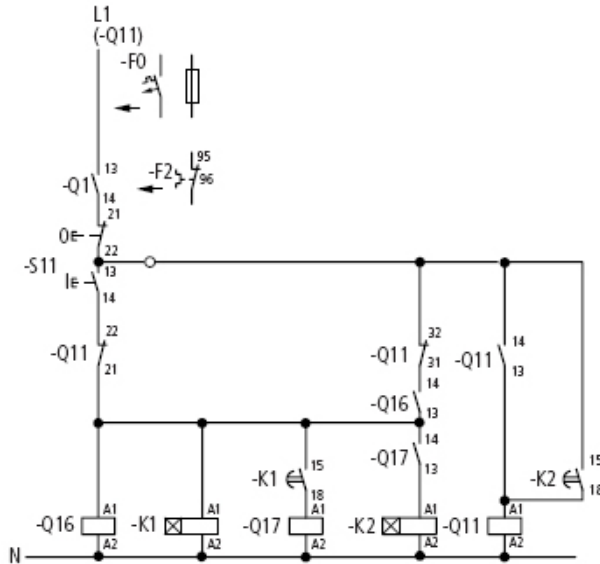


Gambar7.49 : Pengawatan daya pengasutan resistor dua tahap

Tegangan starting = $0,6 \times$ Tegangan *nameplate*

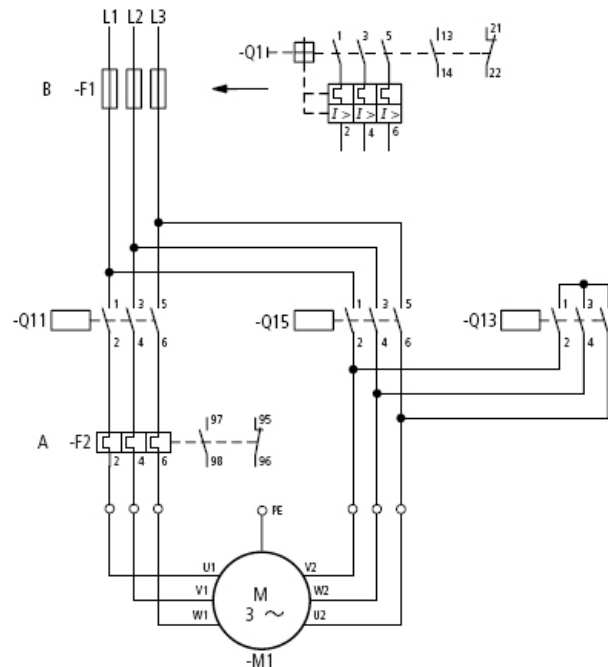
Arus starting = $0,6 \times$ Arus beban penuh

Torsi starting = $0,36 \times$ Torsi beban penuh



Gambar 7.50 Pengawatan kontrol pengasutan resistor dua tahap

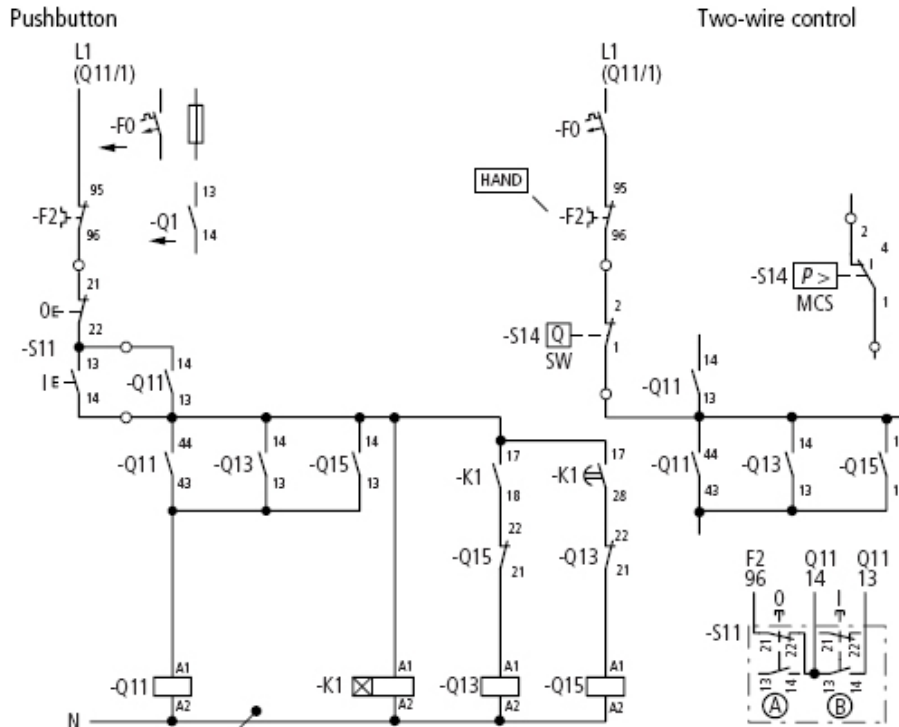
2. Rangkaian hubungan bintang segitiga menggunakan tiga kontaktor (Q11, Q13 dan Q15), untuk pengamanan bisa ditambahkan MCCB Q1 yang dilengkapi dengan pengaman bimetal *overload* dan pengaman arus hubung singkat **gambar 7.51**.



Gambar 7.51 Pengawatan daya bintang-segitiga

Pengendalian Motor Listrik

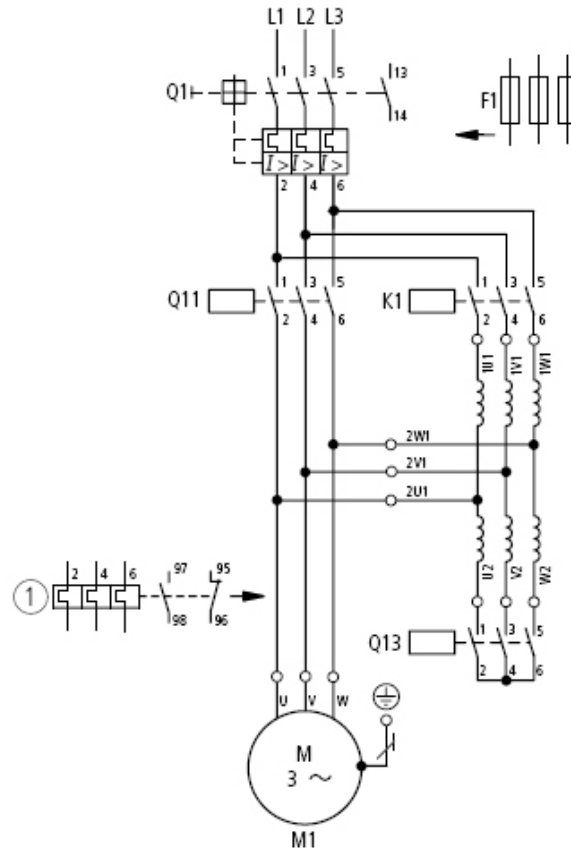
Rangkaian kontrol hubungan bintang segitiga **gambar 7.52**, awalnya rangkaian terhubung secara bintang, dengan setting waktu yang diatur oleh timer K1 akan beralih ke hubungan segitiga.



Gambar 7.52 Pengawatan kontrol bintang segitiga dengan timer

3. Rangkaian motor induksi dengan pengasutan autotransformator yang dipasang pada rangkaian stator. Kontakor Q13 mengatur kerja autotransformator bersama dengan timer K1. Beberapa saat berikutnya setelah setting waktu timer tercapai K1 akan OFF motor induksi bekerja secara dengan tegangan nominal **gambar 7.53**.

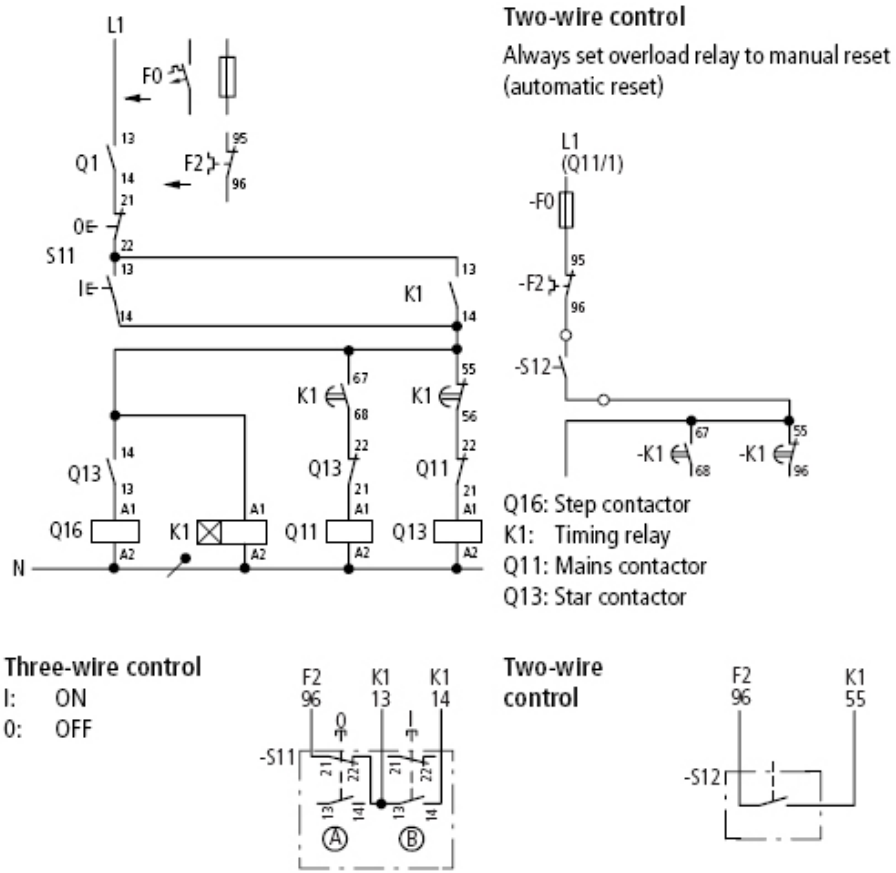
Rangkaian kontrol **gambar 7.54** dilengkapi dengan timer K1 yang mengatur setting waktu berapa lama pengasutan tegangan autotransformator bekerja. Setelah waktu timer tercapai K1 akan OFF dan motor memperoleh tegangan nominal.



Gambar 7.53 Pengawatan pengasutan dengan autotransformator

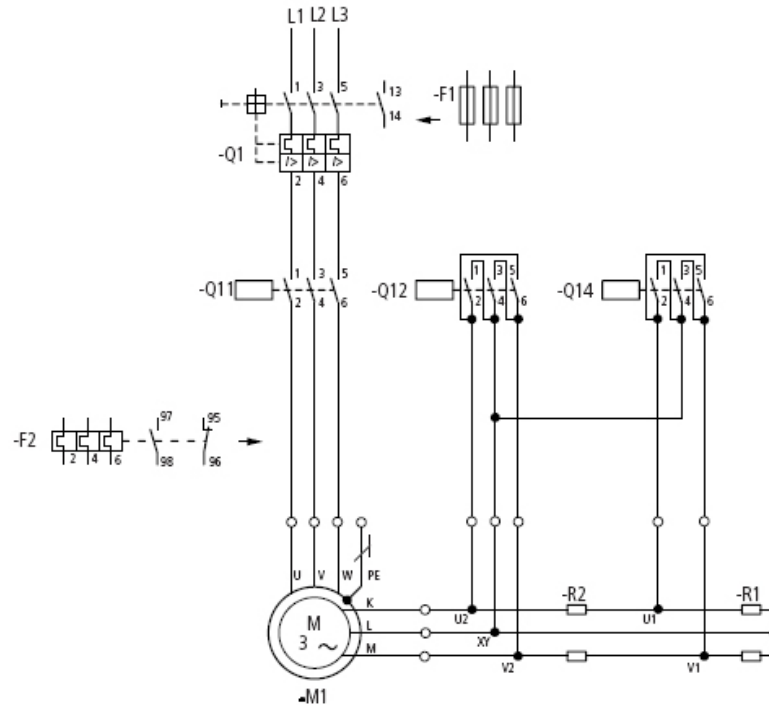
- Torsi starting = 0,36 x Torsi beban penuh
- Rating Q1, Q11 = 1 x Arus nominal
- Q16 = 0,6 x Arus nominal
- Q13 = 0,25 x Arus nominal

Pengendalian Motor Listrik



Gambar 7.54 Pengawatan kontrol autotransformator

- Rangkaian Motor Induksi *Slipring* , untuk starting awal motor *Slipring* digunakan jenis pengasutan resistor yang dipasang sisi rotor dengan dua tahap pengaturan. Kontakor Q12 dan Q14 merupakan kontakor yang mengatur hubungan tahapan resistor dengan rangkaian rotor melalui terminal K,L,M pada terminal *box*. Pemutus daya Q1 dari jenis MCCB yang dilengkapi dengan pengaman beban lebih bimetal *overload* relay dan pengaman arus hubung singkat **gambar 7.55**.

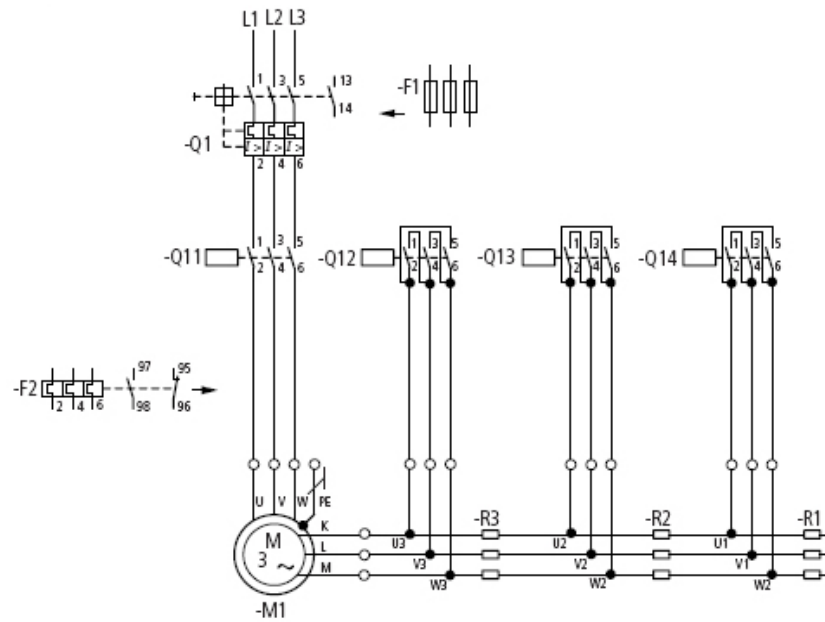


Gambar 7.55 Pengawatan motor slipring dua tahap resistor

Arus starting = $0,5.. 2,5 \times$ Arus beban penuh
 Torsi starting = $0,5..1,0 \times$ Torsi beban penuh
 Kontaktor pengasutan Q14 = $0,35 \times$ Arus rotor
 Kontaktor pengasutan Q12 = $0,58 \times$ Arus rotor
 Kontaktor utama Q1, Q11 = Arus beban penuh

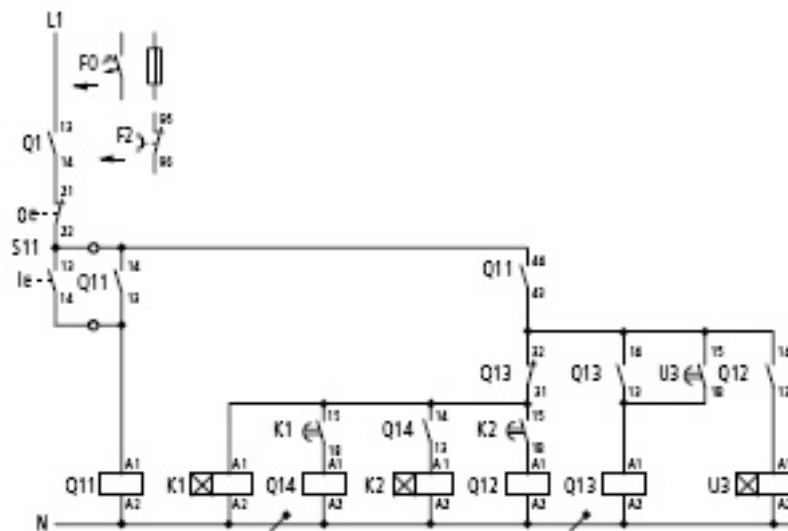
- Rangkaian daya Motor Induksi *Slipring* menggunakan tiga tahapan pengasutan resistor (R1, R2 dan R3) pada belitan rotor melalui tiga buah kontaktor Q12, Q13 dan Q14. Pemutus daya MCCB Q1 dilengkapi dengan pengaman beban lebih bimetal *overload* relay dan pengaman arus hubung singkat **gambar 7.56**.

Pengendalian Motor Listrik



Gambar 7.56 Pengawatan motor slipring tiga tahap resistor

Tegangan starting = $0,7 \times$ Tegangan nameplate
 Arus starting = $0,49 \times$ Arus beban penuh



Gambar 7.57 Pengawatan kontrol motor slipring

7.12. Rangkuman

- Dalam sistem kelistrikan dikenal dua istilah yaitu *sistem pengendalian* dan *sistem pengaturan*.
- Dalam *sistem pengendalian* ada dua bagian yaitu yang disebut rangkaian kontrol dan sistem daya.
- Dalam *sistem pengaturan* dikenal pengaturan *loop terbuka* dan *loop tertutup* dengan umpan balik.
- *Setrika Listrik* dan *Rice Cooker* adalah contoh sistem pengaturan loop tertutup temperatur dengan Bimetal.
- Yang termasuk komponen kontrol diantaranya : *saklar ON*, *saklar OFF*, *timer*, *relay overload* dan *relay*.
- Komponen daya diantaranya *kontaktor*, *kabel daya*, *sekring* atau *circuit breaker*.
- Ada empat tipe kontak yang umum dipakai pada sistem pengendalian, yaitu *Normally Open* (NO), *Normally Close* (NC), Satu Induk dua Cabang
- Komponen *timer* digunakan dalam rangkai kontrol pengaturan waktu *ON/OFF*.
- *Kontaktor* merupakan saklar daya yang bekerja dengan prinsip elektromagnetik memiliki kontak utama dan kontak bantu.
- Pengaman sistem daya untuk beban motor-motor listrik atau beban lampu berdaya besar bisa menggunakan *sekring* atau *Miniatur circuit breaker* (MCB).
- Komponen *Motor Control Circuit Breaker*² (MCCB) memiliki tiga fungsi, fungsi pertama sebagai switching, fungsi kedua pengamanan motor dan fungsi ketiga sebagai isolasi rangkaian primer dengan beban.
- Komponen kontrol *relay impuls* bekerja seperti saklar *toggle* manual.
- Komponen *timer OFF-delay* bekerja secara elektromagnetik.
- Pengendalian hubungan langsung dikenal dengan istilah *Direct ON Line* (DOL) dipakai untuk mengontrol motor induksi.
- Saat motor terhubung Bintang. besar tegangan yang terukur pada belitan stator, sebesar $U_{belitan} = 1/\sqrt{3} U_{\text{fase-fase}}$ sedangkan $I_{belitan} = I_{\text{fase-fase}}$.

² Moeller-Wiring Manual Automation and Power Distribution, hal 246, edisi 2006

Pengendalian Motor Listrik

- Saat motor induksi terhubung segitiga, tegangan terukur pada belitan stator sama besarnya dengan jala-jala, $U_{belitan} = U_{\text{phasa-phasa}}$ sedangkan besarnya $I_{belitan} = 1/\sqrt{3} I_{\text{phasa-phasa}}$.
- Motor induksi dapat dibalik arah putaran kanan atau putaran arah kiri, caranya dengan mempertukarkan dua kawat terminal *box*.
- Pengendalian motor secara *soft starter* (GTO, Thyristor) kapasitas daya puluhan sampai ratusan KW untuk pengasutan awal dan bahkan untuk pengaturan putaran.
- Prinsip instalasi perangkat *soft starter* terdiri atas beberapa tingkatan, mencakup *fuse* atau *kontaktor utama*, *saklar*, *induktor*, *filter*, *inverter frekuensi*, *kabel* dan *motor induksi*.
- Inverter frekuensi memiliki kemampuan mengubah dari frekuensi jala-jala 50 Hz menjadi frekuensi 0 sampai 180 Hz.
- Kontrol motor dilengkapi dengan beberapa pengaman sekaligus berupa pengaman *thermal overload* relay dan pengaman *overcurrent* relay.
- Alat pengaman *undervoltage* relay juga dipasang untuk mendeteksi jika tegangan jala-jala dibawah tegangan nominalnya.
- Motor induksi dapat dilengkapi dengan sensor temperatur semikonduktor dari PTC/NTC.
- Dalam rancangan perlu diperhatikan rating arus kontaktor, rating arus bimetal, rating *fuse* dan penampang kabel disesuaikan dengan rating daya motor induksi.

7.13. Soal-soal

1. Gambarkan skematik prinsip rangkaian kontrol dan rangkaian daya listrik kemudian jelaskan cara kerjanya.
2. Gambarkan blok diagram sistem pengaturan loop tertutup, jelaskan prinsip kerjanya.
3. Gambarkan skematik prinsip *setrika listrik* dengan pengaturan *bimetal*, jelaskan cara kerjanya.
4. Gambarkan rangkaian kontrol sebuah kontaktor yang dilengkapi satu tombol *ON* dan satu tombol *OFF*. Kemudian jelaskan prinsip kerjanya.
5. Motor induksi 10 HP/400 V di rangkaian secara DOL, tentukan penampang kabelnya, rating kontaktor, rating *overload* relay.
6. Gambarkan rangkaian kontrol dan rangkaian daya motor induksi DOL.

7. Rancanglah pintu garasi mobil yang digerakkan oleh motor induksi, ada dua tombol BUKA dan TUTUP diluar garasi, dan dua tombol tekan BUKA dan TUTUP yang ada di dalam garasi. Jelaskan cara kerjanya.
8. Motor induksi dirangkaian secara Bintang-Segitiga dengan tiga buah kontaktor, gambarkan rangkaian kontrol dan rangkaian dayanya. Tetapkan rating *fuse* , rating kontaktor dan rating *overload* relaynya.
9. Pompa air untuk sebuah Hotel digerakkan oleh dua pompa yang bekerja bergantian. Jika air di bak penampungan atas kurang dari 30% volume, kedua pompa bekerja otomatis, setelah 60% volume terisi hanya bekerja satu pompa sampai kondisi terisi penuh. Pompa bekerja secara otomatis, pada kondisi darurat dioperasikan secara manual.

BAB 8

ALAT UKUR DAN PENGUKURAN LISTRIK

Daftar Isi :

8.1. Alat Ukur Listrik	8-2
8.2. Sistem Satuan	8-3
8.3. Ukuran Standar Kelistrikan	8-4
8.4. Sistem Pengukuran	8-4
8.5. Alat Ukur Listrik Analog	8-5
8.6. Multimeter Analog	8-7
8.7. Alat Ukur Digital	8-7
8.8. Alat Ukur Analog Kumparan Putar	8-8
8.9. Alat Ukur Besi Putar	8-9
8.10. Alat Ukur Elektrodinamik	8-10
8.11. Alat Ukur Piringan Putar	8-12
8.12. Pengukuran Tegangan DC	8-14
8.13. Pengukuran Arus DC	8-14
8.14. Pengukuran Tahan	8-16
8.15. Jembatan Wheatstone	8-17
8.16. Osiloskop	8-18
8.17. Data Teknik Osiloskop	8-19
8.18. Osiloskop Analog	8-19
8.19. Osiloskop Dua Kanal	8-21
8.20. Osiloskop Digital	8-22
8.21. Pengukuran Dengan Osiloskop	8-24
8.22. Metode Lissajous	8-28
8.23. Rangkuman	8-29
8.24. Soal-Soal	8-31

8.1. Alat Ukur Listrik

Untuk mengetahui besaran listrik DC maupun AC seperti tegangan, arus, resistansi, daya, faktor kerja, frekuensi kita menggunakan alat ukur listrik.

Awalnya dipakai alat-alat ukur analog dengan penunjukan menggunakan jarum dan membaca dari skala. Kini banyak dipakai alat ukur listrik digital yang praktis dan hasilnya tinggal membaca pada layar display **gambar-8.1**

Bahkan dalam satu alat ukur listrik dapat digunakan untuk mengukur beberapa besaran, misalnya tegangan AC dan DC, arus listrik DC dan AC, resistansi kita menyebutnya Multimeter. Untuk kebutuhan praktis tetap dipakai alat ukur tunggal, misalnya untuk mengukur tegangan saja, atau daya listrik saja.

Kedepan alat ukur analog masih tetap digunakan karena handal, ekonomis dan praktis **gambar-8.2**. Namun alat ukur digital makin luas dipakai, karena harganya makin terjangkau, praktis dalam pemakaian, penunjukannya makin akurat dan presisi.

Ada beberapa istilah dan definisi pengukuran listrik yang harus dipahami, diantaranya *alat ukur*, *akurasi*, *presisi*, *kepekaan*, *resolusi* dan *kesalahan*.

- Alat ukur**, adalah perangkat untuk menentukan nilai atau besaran dari kuantitas atau variabel.
- Akurasi**, kedekatan alat ukur membaca pada nilai yang sebenarnya dari variabel yang diukur.
- Presisi**, hasil pengukuran yang dihasilkan dari proses pengukuran, atau derajat untuk membedakan satu pengukuran dengan lainnya.
- Kepekaan**, ratio dari sinyal output atau tanggapan alat ukur perubahan input atau variabel yang diukur



Gambar 8.1 : Tampilan meter Digital



Gambar 8.2: Meter listrik Analog

- e. **Resolusi**, perubahan terkecil dari nilai pengukuran yang mampu ditanggapi oleh alat ukur.
- f. **Kesalahan**, angka penyimpangan dari nilai sebenarnya variabel yang diukur.

8.2. Sistem Satuan

Pada awal perkembangan teknik pengukuran mengenal dua sistem satuan, yaitu *sistem metrik* (dipelopori Perancis sejak 1795), Amerika Serikat dan Inggris juga menggunakan sistem metrik untuk kepentingan internasional, tapi untuk kebutuhan lokal menggunakan sistem CGS (centimeter-gram-second). Sejak tahun 1960 dikenalkan Sistem Internasional (SI Unit) sebagai kesepakatan internasional. Enam besaran yang dinyatakan dalam sistem SI, yaitu

Tabel 8.1. Besaran Sistem Internasional

Besaran	Satuan	Simbol
Panjang	<i>meter</i>	m
Massa	<i>kilogram</i>	kg
Waktu	<i>detik</i>	s
Arus listrik	<i>amper</i>	A
Temperatur termodinamika	<i>derajat kelvin</i>	⁰ K
Intensitas cahaya	<i>candela</i>	Cd

Secara praktis besaran listrik yang sering digunakan adalah volt, amper, ohm, henry dsb. Kini sistem SI sudah membuat daftar besaran, satuan dan simbol dibidang kelistrikan dan kemagnetan berlaku internasional.

Tabel 8.2. Besaran dan Simbol Kelistrikan

Besaran dan simbol	Nama dan simbol	Persamaan
Arus listrik, I	amper A	-
Gaya gerak listrik, E	volt, V V	-
Tegangan, V	volt, V V	-
Resistansi, R	ohm, Ω	R = V/I
Muatan listrik, Q	coulomb C	Q = It
Kapasitansi, C	farad F	C = Q/V
Kuat medan listrik, E	- V/m	E = V/l
Kerapatan fluk listrik, D	- C/m ²	D = Q/l ²
Permittivity, ε	- F/m	ε = D/E
Kuat medan magnet, H	- A/m	∫ Hdl = nI
Fluk magnet, Φ	weber Wb	E = dΦ/dt
Kerapatan medan magnet, B	tesla T	B = Φ/l ²
Induktansi, L, M	henry H	M = Φ/I
Permeability, μ	- H/m	μ = B/H

8.3. Ukuran Standar Kelistrikan

Ukuran standar dalam pengukuran sangat penting, karena sebagai acuan dalam peneraan alat ukur yang diakui oleh komunitas internasional. Ada enam besaran yang berhubungan dengan kelistrikan yang dibuat sebagai standart, yaitu standar amper, resistansi, tegangan, kapasitansi, induktansi, kemagnetan dan temperatur.

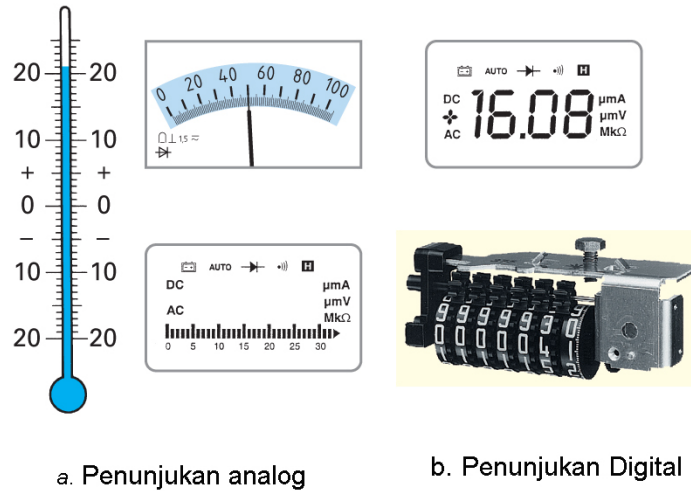
1. **Standar amper** menurut ketentuan Standar Internasional (SI) adalah *arus konstan yang dialirkan pada dua konduktor didalam ruang hampa udara dengan jarak 1 meter, diantara kedua penghantar menimbulkan gaya = 2×10^{-7} newton/m panjang.*
2. **Standar resistansi** menurut ketentuan SI adalah *kawat alloy manganin resistansi 1Ω yang memiliki tahanan listrik tinggi dan koefisien temperatur rendah, ditempatkan dalam tabung terisolasi yang menjaga dari perubahan temperatur atmospher.*
3. **Standar tegangan** ketentuan SI adalah *tabung gelas Weston mirip huruh H memiliki dua elektrode, tabung elektrode positif berisi elektrolit mercury dan tabung elektrode negatif diisi elektrolit cadmium, ditempatkan dalam suhu ruangan. Tegangan elektrode Weston pada suhu 20°C sebesar 1.01858 V.*
4. **Standar Kapasitansi** menurut ketentuan SI, diturunkan dari standart resistansi SI dan standar tegangan SI, dengan menggunakan sistem jembatan Maxwell, dengan diketahui resistansi dan frekuensi secara teliti akan diperoleh standar kapasitansi (Farad).
5. **Standar Induktansi** menurut ketentuan SI, diturunkan dari standar resistansi dan standar kapasitansi, dengan metode geometris, standar induktor akan diperoleh.
6. **Standart temperatur** menurut ketentuan SI, diukur dengan derajat Kelvin besaran derajat kelvin didasarkan pada tiga titik acuan air saat kondisi menjadi es, menjadi air dan saat air mendidih. Air menjadi es sama dengan $0^{\circ}\text{Celsius} = 273,16^{\circ}\text{Kelvin}$, air mendidih 100°C .
7. **Standar luminasi cahaya** menurut ketentuan SI,

8.4. Sistem Pengukuran

Ada dua sistem pengukuran yaitu sistem analog dan sistem digital. Sistem analog berhubungan dengan informasi dan data analog. Sinyal analog berbentuk fungsi kontinyu, misalnya penunjukan temperatur dalam ditunjukkan oleh skala, penunjuk jarum pada skala meter, atau penunjukan skala elektronik

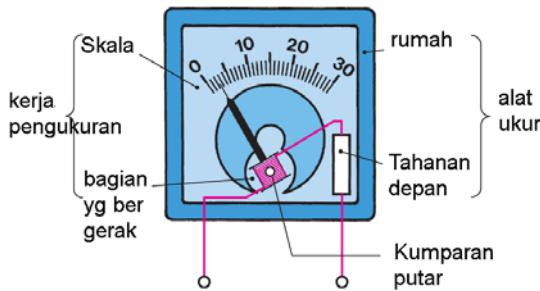
r-8.3a

Sistem digital berhubungan dengan informasi dan data digital. Penunjukan angka digital berupa angka diskret dan pulsa diskontinyu dberhubungan dengan waktu. Penunjukan display dari tegangan atau arus dari meter digital berupa angka tanpa harus membaca dari skala meter. Saklar pemindah frekuensi pada pesawat HT juga merupakan angka digital dalam bentuk digital **gambar-8.3b**



Gambar 8.3 Penunjukan meter analog dan meter digital

8.5. Alat Ukur Listrik Analog



Gambar 8.4 komponen alat ukur listrik analog

Alat ukur listrik analog merupakan alat ukur generasi awal dan sampai saat ini masih digunakan. Bagiannya banyak komponen listrik dan mekanik yang saling berhubungan. Bagian listrik yang penting adalah, magnet permanen, tahanan meter dan kumparan putar. Bagian mekanik meliputi jarum penunjuk, skala dan sekrup pengatur jarum penunjuk **gambar-8.4**

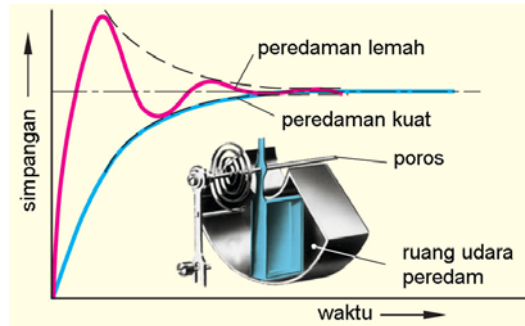
Mekanik pengatur jarum penunjuk merupakan dudukan poros kumparan putar yang diatur kekencangannya **gambar-8.5** Jika terlalu kencang jarum akan terhambat, jika terlalu kendur jarum akan mudah goncang. Pengaturan jarum penunjuk sekaligus untuk memposisikan jarum pada skala nol meter.



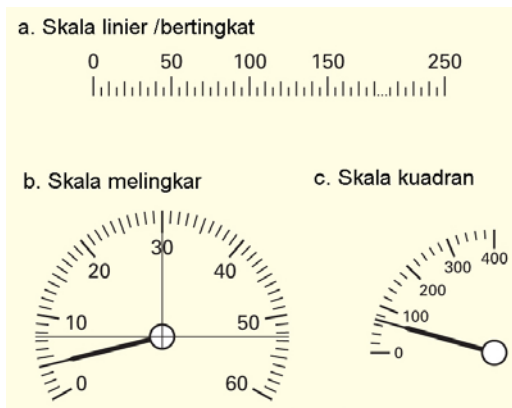
Gambar 8.5 : Dudukan poros jarum penunjuk

Alat ukur analog memiliki komponen putar yang akan bereaksi begitu mendapat sinyal listrik. Cara bereaksi jarum penunjuk ada yang menyimpang dulu baru menunjukkan angka pengukuran.

Atau jarum penunjuk bergerak ke angka penunjukan perlahan-lahan tanpa ada penyimpangan. Untuk itu digunakan peredam mekanik berupa pegas yang terpasang pada poros jarum atau bilah sebagai penahan gerakan jarum berupa bilah dalam ruang udara **gambar-8.6**. Pada meter dengan kelas industri baik dari jenis kumparan putar maupun jenis besi putar seperti meter yang dipasang pada panel meter banyak dipakai peredam jenis pegas.



Gambar 8.6 Pola penyimpangan jarum meter analog



Bentuk skala memanjang saat ini jarang ditemukan. Bentuk skala melingkar dan skala kuadran banyak dipakai untuk alat ukur Voltmeter dan Ampermeter pada panel meter **gambar 8.7**.

Gambar 8.7 Jenis skala meter analog

8.6. Multimeter Analog

Multimeter salah satu meter analog yang banyak dipakai untuk pekerjaan kelistrikan dan bidang elektronika **gambar-8.8**.



batas ukur teg 0...0,5V, 0...500V
 batas ukur teg 0...500V
 batas ukur arus 0...50 μA DC
 batas ukur arus 0...15A DC/AC
 Tahanan dalam 1Ω...1MΩ
 Klas 2,5

Multimeter memiliki tiga fungsi pengukuran, yaitu :

1. **Voltmeter** untuk tegangan AC dengan batas ukur 0-500 V, pengukuran tegangan DC dengan batas ukur 0-0,5V dan 0-500V.
2. **Ampermeter** untuk arus listrik DC dengan batas ukur 0-50μA dan 0-15A, pengukuran arus listrik AC 0-15A.
3. **Ohmmeter** dengan batas ukur dari 1Ω-1MΩ.

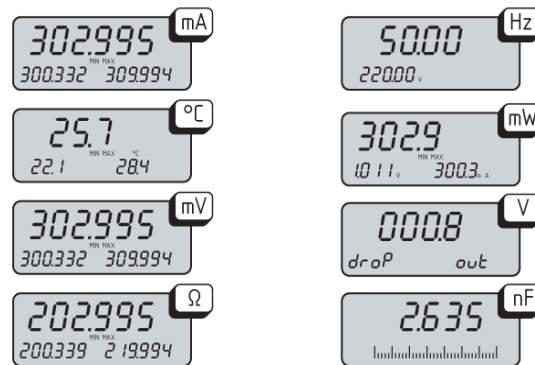
Gambar 8.8 : Multimeter analog

8.7. Alat Ukur Digital

Alat ukur digital saat sekarang banyak dipakai dengan berbagai kelebihanannya, murah, mudah dioperasikan dan praktis.

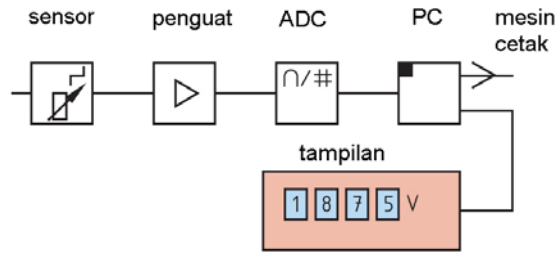
Multimeter digital mampu menampilkan beberapa pengukuran untuk arus *miliAmper*, *temperatur °C*, *tegangan miliVolt*, *resistansi Ohm*, *frekuensi Hz*, *daya listrik mW* sampai kapasitansi nF **gambar-8.9**

Pada dasarnya data /informasi yang akan diukur bersifat analog. Blok diagram alat ukur digital terdiri komponen sensor, penguat sinyal analog, Analog to Digital converter , mikroprosesor, alat cetak dan display digital **gambar-8.10**.



Gambar 8.9 :
Tampilan penunjukan digital

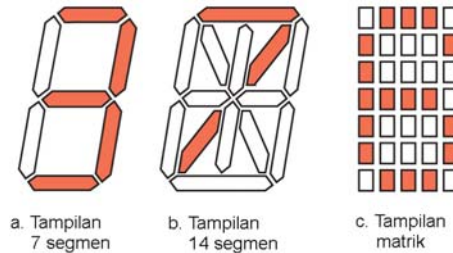
Sensor mengubah besaran listrik dan non elektrik menjadi tegangan, karena tegangan masih dalam orde mV perlu diperkuat oleh penguat input.



Gambar 8.10 : Prinsip kerja alat ukur digital

Sinyal input analog yang sudah diperkuat, dari sinyal analog diubah menjadi sinyal digital dengan (ADC) Analog to Digital akan diolah oleh perangkat PC atau mikroprocessor dengan program tertentu dan hasil pengolahan disimpan dalam sistem memori digital. Informasi digital ditampilkan dalam display atau dihubungkan dicetak dengan mesin cetak.

Display digital akan menampilkan angka diskrit dari 0 sampai angka 9 ada tiga jenis, yaitu 7-segmen, 14-segmen dan dot matrik 5x7 **gambar-8.11**. Sinyal digital terdiri atas 0 dan 1, ketika sinyal 0 tidak bertegangan atau OFF, ketika sinyal 1 bertegangan atau ON.



Gambar 8.11 : Tiga jenis display digital



Gambar 8.12 : Multimeter digital AC dan DC

Sebuah multimeter digital, terdiri dari tiga jenis alat ukur sekaligus, yaitu mengukur tegangan, arus dan tahanan. Mampu untuk mengukur besaran listrik DC maupun AC **gambar 8.12**.

Saklar pemilih mode digunakan untuk pemilihan jenis pengukuran, mencakup tegangan AC/DC, pengukuran arus AC/DC, pengukuran tahanan, pengukuran diode dan pengukuran kapasitor.

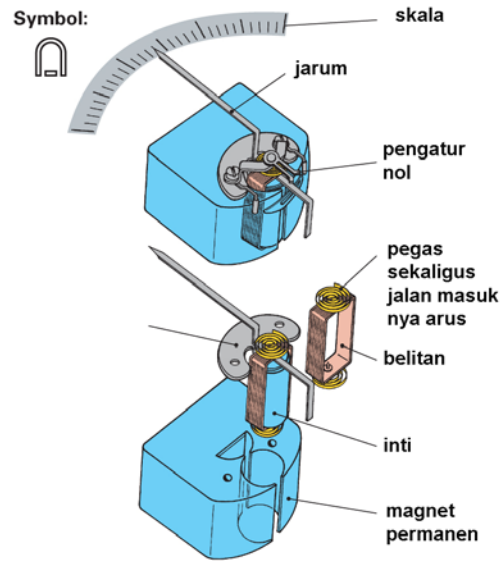
Terminal kabel untuk tegangan dengan arus berbeda. Terminal untuk pengukuran arus kecil 300mA dengan arus sampai 10A dibedakan.

8.8. Alat Ukur Analog Kumparan Putar

Konstruksi alat ukur kumparan putar terdiri dari permanen magnet, kumparan putar dengan inti besi bulat, jarum penunjuk terikat dengan poros dan inti besi putar, skala linear, dan pegas spiral rambut, serta pengatur posisi nol **gambar-8.13**. Torsi yang dihasilkan dari interaksi elektromagnetik sesuai persamaan :

$$T = B \times A \times I \times N$$

- T Torsi (Nm)
- B kerapatan fluk magnet (Wb/m^2)
- A luas efektif koil (m^2)
- I arus ke kumparan putar (A)
- N jumlah belitan



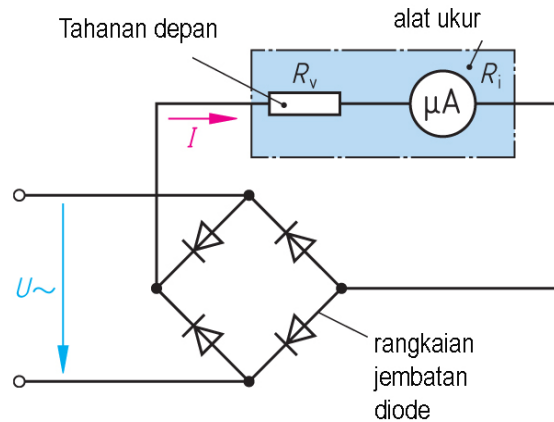
Gambar 8.13 : Prinsip Alat Ukur Kumparan Putar

Dari persamaan diatas, komponen B , A dan N adalah konstan, sehingga torsi berbanding lurus dengan arus mengalir ke kumparan putar. Data alat ukur kumparan putar dengan dimensi 31/2 in, arus 1mA, simpangan skala penuh 100 derajat memiliki $A : 1,72 \text{ cm}^2$, $B : 2.000 \text{ G}(0,2Wb/m^2)$, $N: 84$ lilit, $T : 2,92 \times 10^{-6}Nm$ R kumparan putar : 88Ω , disipasi daya : $88\mu W$.

Untuk pengukuran listrik AC alat ukur kumparan putar ditambahkan komponen tambahan, yaitu diode bridge sebagai penyearah AC ke DC **gambar-8.14**.

$$EDC = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot V_{rms} = 0,9 V_{rms}$$

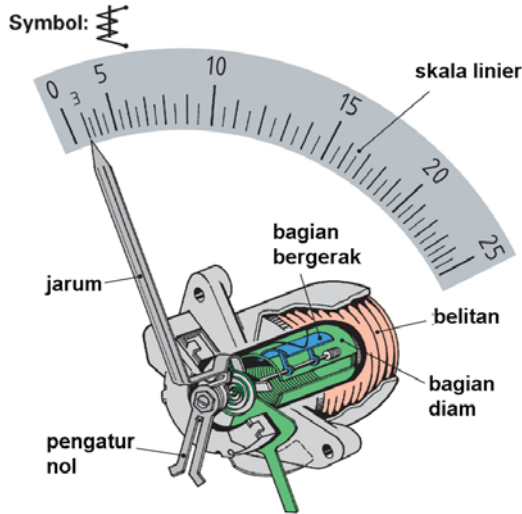
Tahanan seri R_V untuk mendrop tegangan sehingga batas ukur dan skala pengukuran sesuai. Sehingga tahanan total $R_T=R_V + R$. Multimeter menggunakan kumparan putar sebagai penggerak jarum penunjuknya.



Gambar 8.14 : Meter kumparan putar dengan diode penyearah

8.9. Alat Ukur Besi Putar

Alat ukur besi putar memiliki anatomi yang berbeda dengan kumparan putar. Sebuah belitan kawat dengan rongga tabung untuk menghasilkan medan elektromagnetik. **gambar-8.15.**

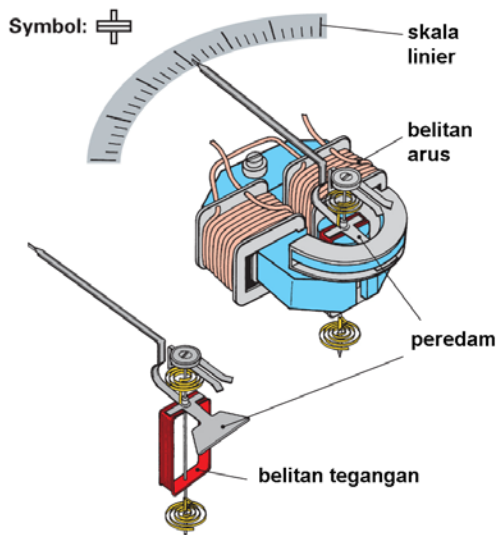


Gambar 8.15 : Prinsip alat ukur besi putar

Didalam rongga tabung dipasang sirip besi yang dihubungkan dengan poros dan jarum penunjuk skala meter. Jika arus melalui belitan kawat, timbul elektromagnetik dan sirip besi akan bergerak mengikuti hukum tarik menarik medan magnet.

Besarnya simpangan jarum sebanding dengan kuadrat arus yang melewati belitan. skala meter bukan linear tetapi jaraknya angka non-linear. Alat ukur besi putar sederhana bentuknya dan cukup handal.

8.10. Alat Ukur Elektrodinamik



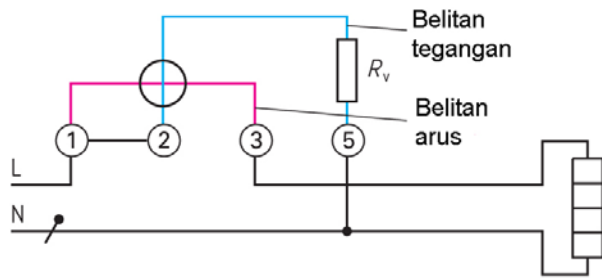
Gambar 8.16 : Prinsip elektrodinamik

Alat ukur elektrodinamik memiliki dua jenis belitan kawat, yaitu belitan kawat arus yang dipasang diam dua buah pada magnet permanen, dan belitan kawat tegangan sebagai kumparan putar terhubung dengan poros dan jarum penunjuk **gambar-8.16.**

Interaksi medan magnet belitan arus dan belitan tegangan menghasilkan sudut penyimpangan jarum penunjuk sebanding dengan daya yang dipakai beban :

$$P = V.I.\cos\theta$$

Pemakaian alat ukur elektrodinamik adalah sebagai *pengukur daya listrik* atau *Wattmeter*.



Gambar 8.17 : Pemasangan wattmeter

Pemasangan Wattmeter dengan notasi terminal 1,2,3 dan 5. Terminal 1-3 terhubung ke belitan arus Wattmeter, terhubung seri dengan beban. Terminal 2-5 terhubung ke belitan tegangan Wattmeter. Terminal 1-2 dikopel untuk mendapatkan catu tegangan supply tegangan **gambar-8.17**.

Pemasangan terminal meter tidak boleh tertukar, karena akibatnya meter tidak berfungsi. Untuk pengukuran daya besar, dimana arus beban besar dapat digunakan trafo CT untuk menurunkan arus yang mengalir belitan arus Wattmeter.



Gambar 8.18 : Pengawatan wattmeter dengan beban satu fasa

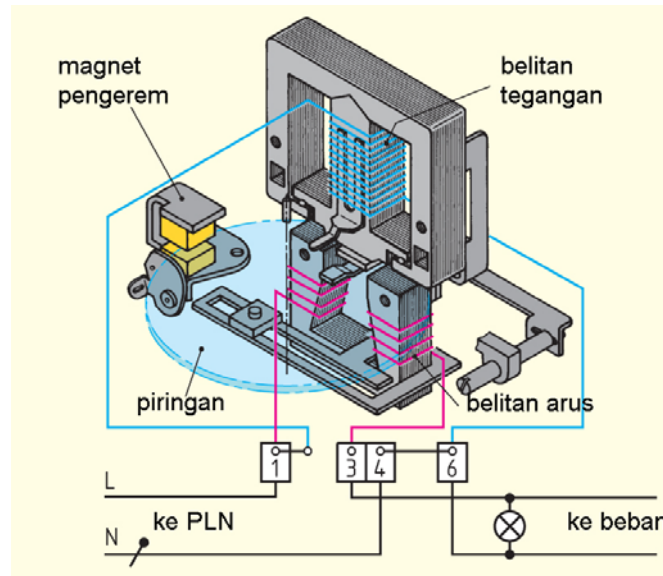
Misalkan daya motor 3 fasa 55 kW dengan tegangan 400V akan menarik arus jala-jala 100A. Kemampuan kWh meter maksimal dilalui arus hanya 10 A, maka digunakan trafo arus CT dengan rating 100/5A agar pengukuran daya motor dapat dilaksanakan.

Wattmeter portabel pengawatan dengan beban **gambar-8.18**. Ada tiga buah selektor switch, untuk pengaturan amper, pengaturan tegangan dan pemilihan skala batas ukur.

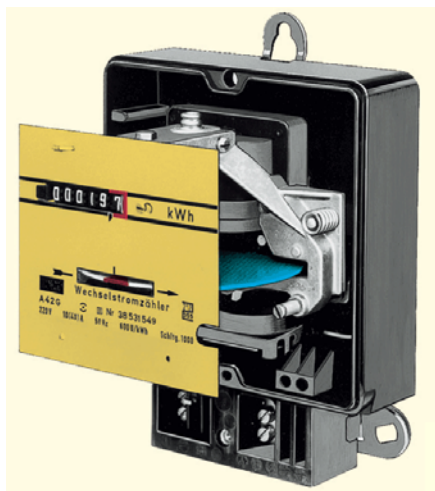
Untuk keamanan tempatkan selektor amper dan selektor tegangan pada batas ukur tertinggi. Jika jarum penunjuk sudut simpangannya masih kecil baru selektor switch arus atau tegangan diturunkan satu tahap.

8.11. Alat Ukur Piringan Putar

Alat ukur piringan putar tidak menggunakan jarum penunjuk. Konstruksi meter piringan putar memiliki dua inti besi **gambar 8.19**. Inti besi U dipasang dua buah belitan arus pada masing-masing kaki inti, menggunakan kawat berpenampang besar. Inti besi berbentuk E-I dengan satu belitan tegangan, dipasang pada kaki tengah inti besi, jumlah belitan tegangan lebih banyak dengan penampang kawat halus.



Gambar 8.19: Prinsip Alat ukur Piringan Putar (kWhmeter)



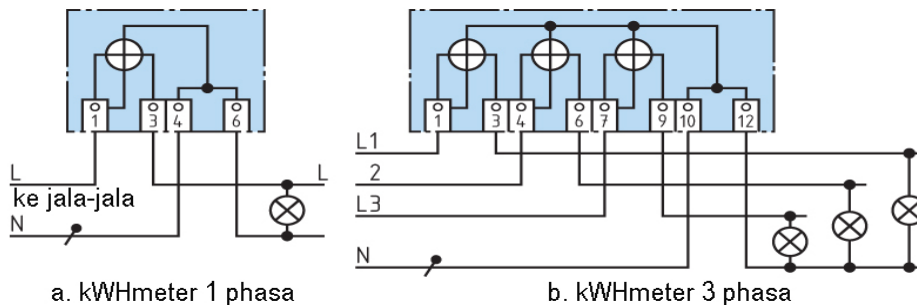
Gambar 8.20 : kWh meter

Piringan putar aluminium ditempatkan diantara dua inti besi U dan E-I. Akibat efek elektromagnetis kedua inti besi tersebut, pada piringan aluminium timbul arus eddy yang menyebabkan torsi putar pada piringan.

Piringan aluminium berputar bertumpu pada poros, kecepatan putaran sebanding dengan daya dari beban. Jumlah putaran sebanding dengan energi yang dipakai beban dalam rentang waktu tertentu. Meter piringan putar disebut *kilowatthours* (kWh) meter **gambar-8.20**.

Pengawatan kWhmeter satu fasa belitan arus dihubungkan ke terminal 1-3, belitan tegangan disambungkan terminal 2-6, Terminal 1-2 dikopel dan terminal 4-6 juga dikopel langsung. Pengawatan kWhmeter tiga fasa dengan empat kawat **gambar-8.21** L1, L2, L3 dan N memiliki tiga belitan arus dan tiga belitan tegangan.

1. Jala-jala L1, terminal-1 kebelitan arus-1 terminal-3 ke beban, terminal 1-2 dikopel untuk suply ke belitan tegangan-1.
2. Jala-jala L2, terminal-4 ke belitan arus-2 terminal 6 langsung beban, terminal 4-5 dikopel suply ke belitan tegangan-2.
3. Jala-jala L3, terminal-7 ke belitan arus-3 ke terminal 9 langsung beban, terminal 7-8 dikopel untuk suply ke belitan tegangan-3.
4. Terminal 10 dan 12, untuk penyambungan kawat netral N dan penyambungan dari ketiga belitan tegangan fasa 1,2 dan 3.



Gambar 8.21: Pengawatan kWh meter satu fasa dan tiga fasa

Bentuk fisik kWhmeter kita lihat disetiap rumah tinggal dengan instalasi dari PLN. Sebagai pengukur energi listrik kWhmeter mengukur daya pada interval waktu tertentu dalam konversi waktu jam. Setiap kWhmeter memiliki angka konstanta jumlah putaran /kWh.

$$Cz = \frac{n}{P}$$

Cz Konstanta jumlah putaran/kWh

n Putaran

P Daya listrik kW.

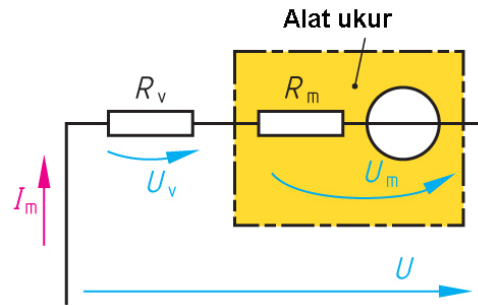
Contoh: kWhmeter satu fasa memiliki konstanta putaran 600 putaran/kWh dalam waktu 1 menit tercatat 33 putaran piringan. Hitunglah beban daya listrik dari ?

Jawaban :

$$P = \frac{n}{Cz} = \frac{60 \cdot 33 \cdot 1/h}{600 \cdot 1/kWh} = \mathbf{33 \text{ kW}}$$

8.12. Pengukuran Tegangan DC

Pengukur tegangan Voltmeter memiliki tahanan meter R_m **gambar-8.22**. Tahanan dalam meter juga menunjukkan kepekaan meter, disebut I_{fsd} (*full scale deflection*) arus yang diperlukan untuk menggerakkan jarum meter pada skala penuh. Untuk menaikkan batas ukur Voltmeter harus dipasang tahanan seri sebesar R_v .



Gambar 8.22 :Tahanan seri R_v pada Voltmeter

Persamaan tahanan seri meter R_v :

$$R_v = \frac{U_v}{I_m} = \frac{U - U_m}{I_m}$$

$$R_v = \{n - 1\} \cdot R_m$$

- R_v Tahanan seri meter
- R_m Tahanan dalam meter
- U Tegangan
- U_m Tegangan meter
- I_m Arus meter
- n Faktor perkalian

Contoh : Pengukur tegangan Voltmeter memiliki arus meter 0,6mA, tegangan meter 0,3V. Voltmeter akan digunakan untuk mengukur tegangan 1,5V. Hitung besarnya tahanan seri meter R_v .

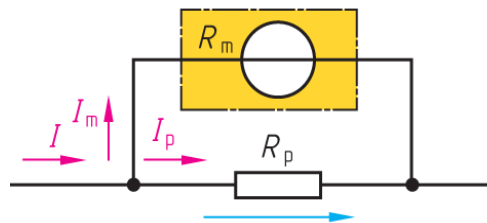
Jawaban :

$$R_v = \frac{U_v}{I_m} = \frac{U - U_m}{I_m}$$

$$= \frac{1,5V - 0,3V}{0,6mA} = 2k\Omega$$

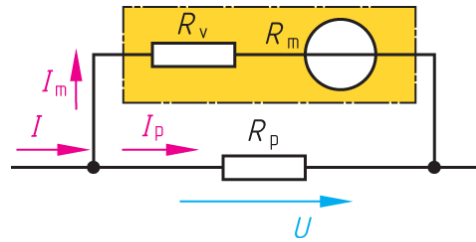
8.13. Pengukuran Arus DC

Pengukur arus listrik Ampermeter memiliki keterbatasan untuk dapat mengukur arus, tahanan dalam meter R_m membatasi kemampuan batas ukur. Menaikkan batas ukur dilakukan dengan memasang tahanan paralel R_p dengan Ampermeter **gambar-8.23**. Tahanan R_p akan dialiri arus sebesar I_p , arus yang melalui meter R_m sebesar I_m .



Gambar 8.23 :tahanan paralel ampermeter

Untuk menaikkan tahanan dalam meter, didepan tahanan meter R_m ditambah kan tahanan seri R_v . Sehingga tahanan dalam meter yang baru $(R_m + R_v)$ **gambar-8.24**. Tahanan paralel R_p tetap dialiri arus I_p , sedangkan arus yang melewati $(R_m + R_v)$ sebesar I_m .



Gambar 8.24 : Tahanan depan dan paralel ampermeter

Persamaan tahanan paralel R_p :

$$R_p = \frac{U}{I_p}; \quad R_p = \frac{U}{I - I_m}$$

$$R_p = R_m \cdot \frac{I_m}{I - I_m}$$

- R_p Tahanan paralel
- U Tegangan
- I Arus yang diukur
- I_m Arus melewati meter
- I_p Arus melewati tahanan paralel
- R_m Tahanan dalam meter

Contoh : Ampermeter dengan tahanan dalam $R_m=100\Omega$, arus yang diijinkan melewati meter $I_m=0,6mA$. Ampermeter akan mengukur arus $I = 6mA$. Hitung tahanan paralel R_p .

Jawaban :

$$U = I_m \cdot R_m = 0,6 \text{ mA} \cdot 100 \Omega = 60 \text{ mV}$$

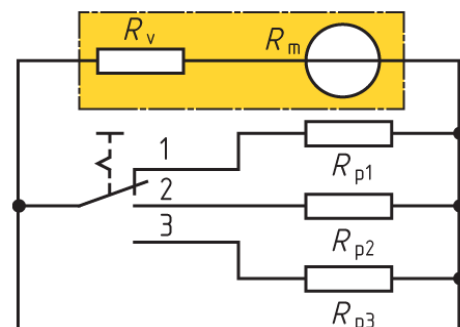
$$R_p = \frac{U}{I - I_m} = \frac{60 \text{ mV}}{6 \text{ mA} - 0,6 \text{ mA}} = 11,1\Omega$$

Atau dengan cara yang lain, didapatkan harga R_p yang sama

$$\frac{R_p}{R_m} = \frac{I_m}{I_p} = \frac{I_m}{I - I_m} \Rightarrow R_p = R_m \cdot \frac{I_m}{I - I_m}$$

$$R_p = 100 \Omega \cdot \frac{0,6 \text{ mA}}{6 \text{ mA} - 0,6 \text{ mA}} = 11,1\Omega$$

Secara praktis untuk mendapatkan batas ukur yang lebar dibuat menjadi tiga tingkatan **gambar-8.25**. Batas ukur skala pertama, saklar pada posisi 1 dipakai tahanan paralel R_{p1} . Batas ukur dengan

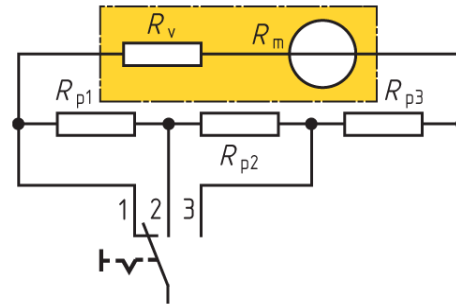


Gambar 8.25 : Batas ukur Ampermeter

Alat Ukur dan Pengukuran Listrik

skala2 posisi saklar 2 dipakai tahanan paralel R_{p2} . Batas ukur ketiga, posisi saklar 3 dipakai tahanan paralel R_{p3} .

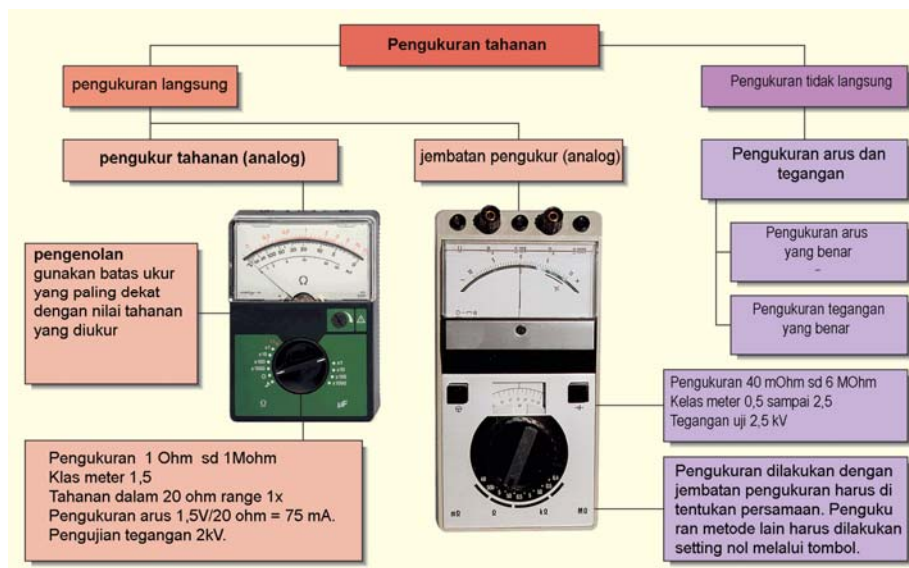
Dengan metoda berbeda dengan tujuan memperluas batas ukur, dipakai tiga tahanan paralel R_{p1} , R_{p2} dan R_{p3} yang ketiganya disambung seri ***gambar-8.26***. Saklar posisi 1, tahanan ($R_{p1}+R_{p2}+R_{p3}$) paralel dengan rangkaian (R_v+R_m). Saklar posisi 2, tahanan ($R_{p2}+R_{p3}$) paralel dengan rangkaian ($R_{p1}+R_v+R_m$). Saat saklar posisi 3, tahanan R_{p3} paralel dgn rangkaian ($R_{p1}+ R_{p2}+R_v+R_m$).



Gambar 8.26 :
Penambahan Batas Ukur meter

8.14. Pengukuran Tahanan

Pengukuran tahanan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu mengukur langsung nilai tahanan dan pengukuran tidak langsung dengan metode jembatan ***gambar-8.27***. Pengukuran tahanan secara langsung bisa menggunakan multimeter, dengan menempatkan selektor pemilih mode pada pengukuran tahanan. Resistor yang diukur dihubungkan dengan kedua kabel meter dan nilai tahanan terbaca pada skala meter. Pengukuran tidak langsung, menggunakan alat meter tahanan khusus dengan prinsip kerja seperti jembatan Wheatstone.



Gambar 8.28 : Jenis-jenis Pengukuran Tahanan

8.15. Jembatan Wheatstone

Pengembangan rangkaian resistor seri dan paralel menghasilkan prinsip Jembatan Wheatstone **gambar-8.29**. Sumber tegangan DC mencatu rangkaian empat buah resistor. R_1 seri dengan R_2 , dan R_3 seri dengan R_4 . Hukum Kirchoff tegangan menyatakan jumlah drop tegangan sama dengan tegangan sumber.

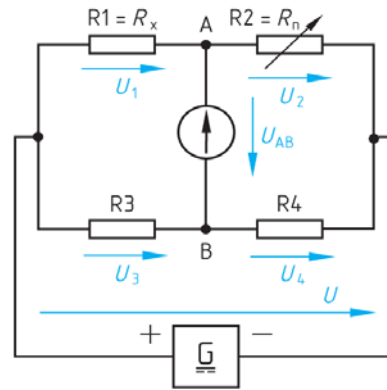
$$U = U_1 + U_2 \quad \text{dan} \quad U = U_3 + U_4$$

Titik A - B dipasang Voltmeter mengukur beda tegangan, jika meter menunjukkan nol, artinya tegangan $U_1 = U_3$ disebut kondisi seimbang. Jika $U_1 \neq U_3$ disebut kondisi tidak seimbang dan meter menunjukkan angka tertentu.

$$U_{AB} = 0V, \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_3}{U_4}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

- R_1, R_x Tahanan yang dicari
- R_2, R_n Tahanan variable
- R_3, R_4 Tahanan ditetapkan, konstan

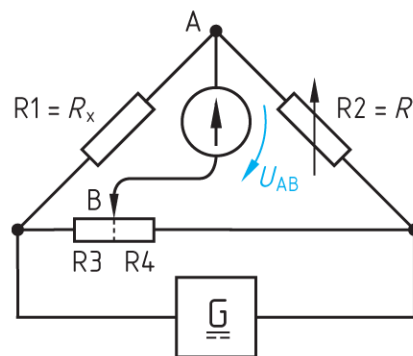


Gambar 8.29 : Rangkaian jembatan Wheatstone

Aplikasi praktis dipakai model **gambar-8.30**, $R_1=R_x$ merupakan tahanan yang dicari besarnya. $R_2 =R_n$ adalah tahanan yang bisa diatur besarnya. R_3 dan R_4 dari tahanan geser. Dengan mengatur posisi tahanan geser B, sampai Voltmeter posisi nol. Kondisi ini disebut setimbang, maka berlaku rumus kesetimbangan jembatan Wheatstone

Contoh :

Jembatan Wheatstone, diketahui besarnya nilai $R_2 = 40\Omega$, $R_3= 25\Omega$, $R_4 = 50\Omega$. Hitung besarnya R_1 dalam kondisi setimbang.



Gambar 8.30 : Pengembangan model Wheatstone

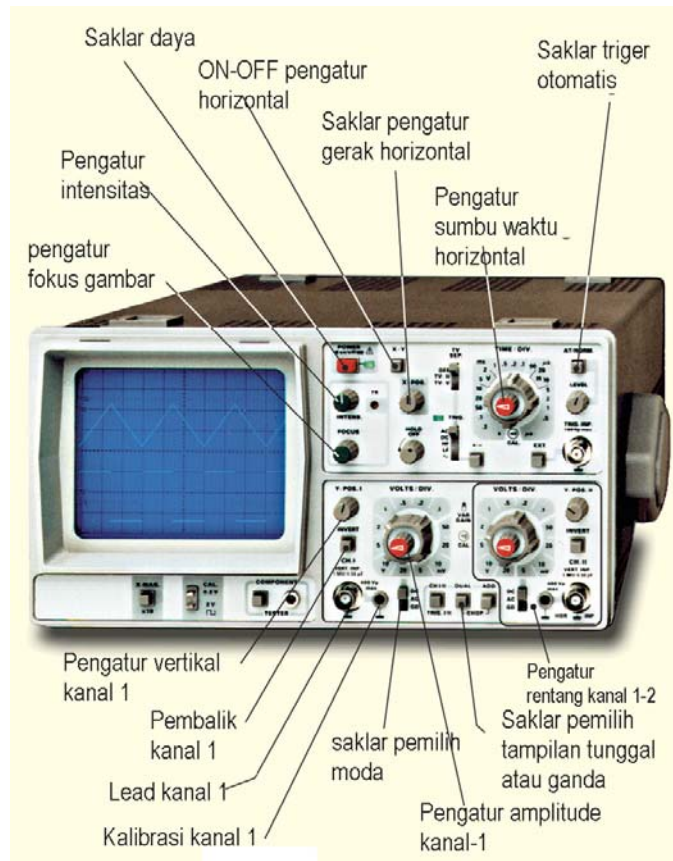
Jawaban :

$$U_{AB} = 0V$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \Rightarrow R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4} = \frac{40 \Omega \cdot 25 \Omega}{50 \Omega} = 20 \Omega$$

8.16. Osiloskop

Osiloskop termasuk alat ukur elektronik, digunakan untuk melihat bentuk gelombang, menganalisis gelombang dan fenomena lain dalam rangkaian elektronika **gambar 8.31**. Dengan osiloskop dapat melihat amplitudo tegangan dan gelombang kotak, oleh karena itu harga rata – rata, puncak, RMS(root mean square), maupun harga puncak ke puncak atau V_{p-p} dari tegangan dapat kita ukur. Selain itu juga hubungan antara frekuensi dan fasa antara dua gelombang juga dapat dibandingkan. Ada dua jenis osiloskop, yaitu osiloskop analog dan osiloskop digital.



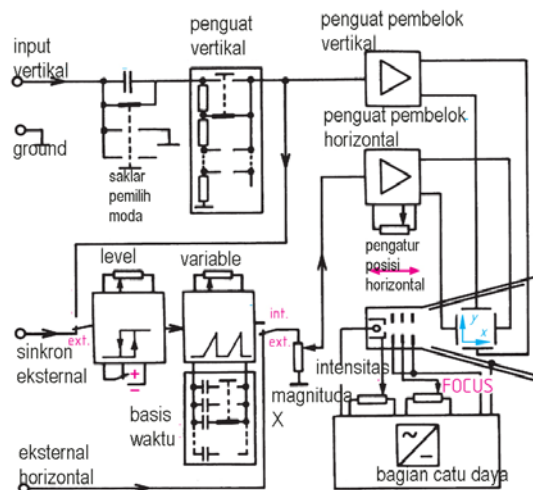
Gambar 8.31: Bentuk fisik Osiloskop

8.17. Data Teknik Osiloskop

- Arah Vertikal:**
 Menampilkan Kanal-1 (K-1) atau Kanal-2 (K-2), Kanal-1 dan Kanal-2 AC atau chop Menjumlah atau Mengurangkan nilai Kanal-1 dan Kanal-2
 Tampilan X-Y : Melalui K-1 dan K-2 (K-2 dapat dibalik/ diinvers)
 Lebar-Pita : 2 x 0.....40 MHz (-3dB)
 Kenaikan waktu : 7 ns, simpangan: < 1%
 Koefisien : di set 1 mV/cm...20V/cm ± 3%
 Impedansi Input : 1 MΩ || 20 pF
 Kopel Input : DC-AC-GND (Ground)
 Tegangan Input maks: 400 V
- Arah Horisontal:**
 Koefisien waktu: 21 x 0,5 s sampai 100 ns/cm ± 3% (1-2-5 bagian),
 Lebar-pita penguat-X: 0.....2,5 MHz (-3dB)
- Pembeda**
 Ukuran layar : 8 x 10 cm, raster dalam
 Tegangan akselerasi : 2000 V
 Kalibrator : generator kotak 1 kHz atau 1 MHz
 Output : 0,2 V ± 1%

8.18. Osiloskop Analog

- Blok diagram dasar osiloskop yang terdiri dari Pemancar Elektron (Electron Beam), Pembelok Vertikal (Penguat-Y), Pembelok Horisontal (penguat-X), Generator basis waktu (Sweep Generator), Catu Daya, Tabung Hampa (CRT) **gambar 8.32.**

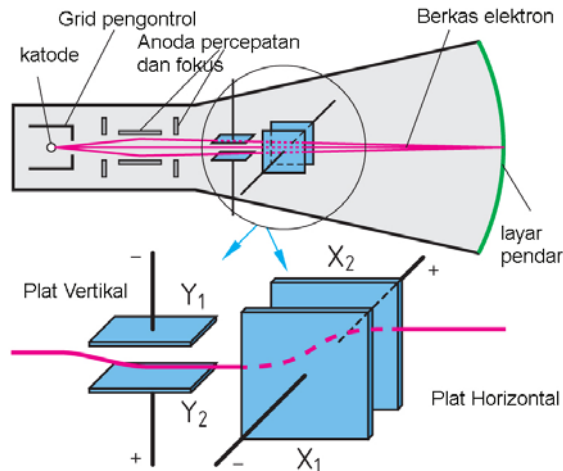


Gambar 8.32: Blok diagram sistem Osiloskop

Pemancar Elektron:

Merupakan bagian terpenting sebuah osiloskop. Katode di dalam CRT (*Cathode Ray Tube*) akan mengemisikan elektron-elektron ke layar CRT melalui elektrode-elektrode pemfokus. Intensitas pancaran elektron ditentukan oleh banyaknya elektron yang diemisikan oleh Katode ***gambar 8.33***.

Bahan yang memantulkan cahaya pada layar CRT dapat diperoleh dari Sulfid, Oksid atau silikat dari Kadmium, yang diaktifkan melalui bahan tambahan dari Perak, Emas atau Tembaga. Pada umumnya dipilih warna hijau untuk tampilan cahaya pada layar CRT, karena mata manusia pada umumnya peka terhadap warna ini.



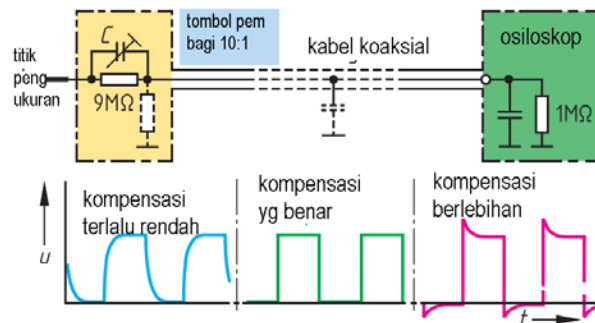
Gambar 8.33: Pancaran elektron ke layar pendar CRT

Penguat Vertikal:

Penguat ini dapat memberikan tegangan pada plat pengarah-Y hingga 100 V. Penguat ini harus dapat menguatkan tegangan DC maupun AC dengan penguatan yang sama. Pengukuran sinyal dapat diatur melalui tombol POS (position).

Input-Y (Vert. Input):

Bagian ini terhubung dengan tombol pembagi tegangan, untuk membagi tegangan yang akan diukur, dengan perbandingan 10:1 atau 100:1. ***gambar 8.34***. Tombol ini harus dibantu dengan sinyal kotak untuk kompensasi.



Gambar 8.34: Pembagi tegangan 10:1 pada Probe

Penguat Horizontal :

Penguat ini memiliki dua input, satu dari sweep generator, menghasilkan trace (sapuan) horizontal lewat CRT dan input yang lain menguatkan sinyal eksternal dan ditampilkan pada CRT hanya pada sumbu horizontal.

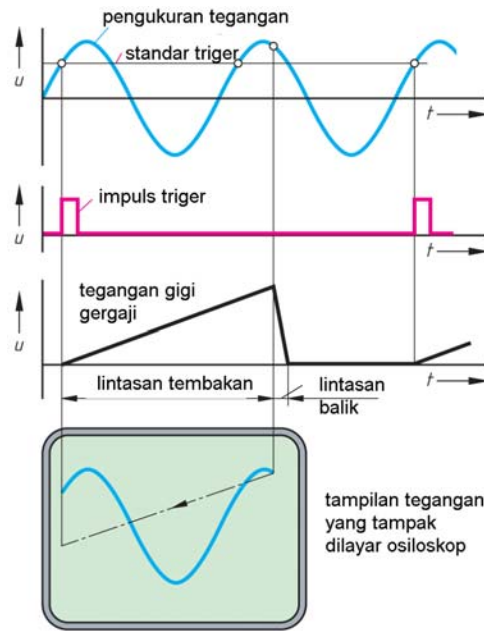
Skala pada sumbu Horizontal CRT Osiloskop, digunakan untuk mengukur waktu (periode) dari sinyal yang diukur, misalnya 2 ms/ divisi.

Generator-Waktu

Generator waktu menghasilkan sinyal gigi gergaji, yang frekuensinya dapat diatur, dengan cara mengatur periodenya melalui tombol **TIME BASE**. CRT akan menampilkan sinyal yang diukur (sinyal input) hanya jika periode sinyal tersebut persis sama dengan periode sinyal gigi gergaji ini atau merupakan kelipatan periodenya.

Triggering dan bias waktu

Sinyal gigi gergaji akan mulai muncul jika ada sinyal trigger **gambar 8.35**. Pada saat sinyal input melewati level Trigger, maka sinyal gigi gergaji mulai muncul.



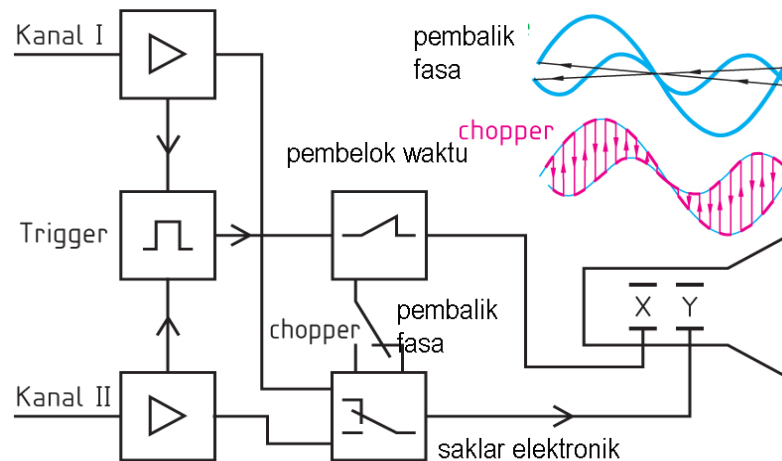
Gambar 8.35: Trigering memunculkan sinyal gigi gergaji

Catu Daya:

Kinerja catu daya ini sangat mempengaruhi kinerja bagian lainnya di dalam osiloskop. Catu daya yang tidak terregulasi dengan baik akan menyebabkan kesalahan pengukuran dan tampilan yang tidak baik pada CRT (fokus, kecerahan/ *brightness*, sensitifitas, dsb).

8.19. Osiloskop Dua Kanal

Seringkali orang perlu melakukan pengukuran dua sinyal AC yang berbeda dalam waktu yang sama. Misalnya kanal-1 mengukur sinyal input dan kanal-2 mengukur sinyal output secara bersamaan, maka osiloskop dua kanal mampu menampilkan dua sinyal dalam waktu bersamaan dalam satu layar.



Gambar 8.36: Blok diagram Osiloskop dua kanal

Blok diagram osiloskop dua kanal **gambar 8.36** mempunyai sebuah sistem pembangkit sinar (electron gun). Dua sinyal input dapat dimasukkan melalui kanal-1 dan kanal-2 (masing-masing penguat-Y). Pengaktifan kedua penguat-Y tsb dipilih secara elektronik, melalui frekuensi yang berbeda untuk tiap kanal. Kedua sinyal input tsb akan masuk melalui satu elektron-gun secara bergantian lalu ditampilkan pada CRT.

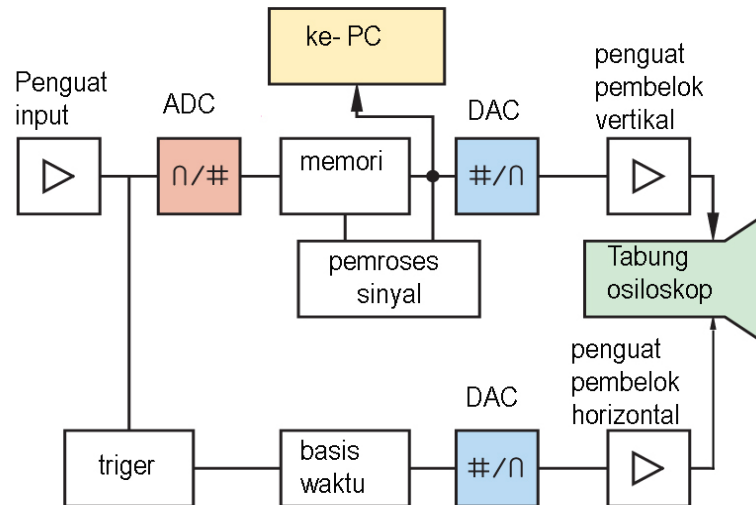
Jika sinyal input mempunyai frekuensi rendah, maka saklar elektronik akan mengaturnya pada frekuensi tinggi. Sebaliknya, jika input sinyal mempunyai frekuensi tinggi, maka saklar elektronik akan mengaturnya pada frekuensi yang lebih rendah.

Tampilan sapuan ganda (dual-trace) dari electron beam tunggal dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu *Chop time sharing* dan *alternate time sharing*. Pemilihan kanal dilakukan oleh multivibrator yang akan mengoperasikan saklar elektronik secara otomatis.

8.20. Osiloskop Digital

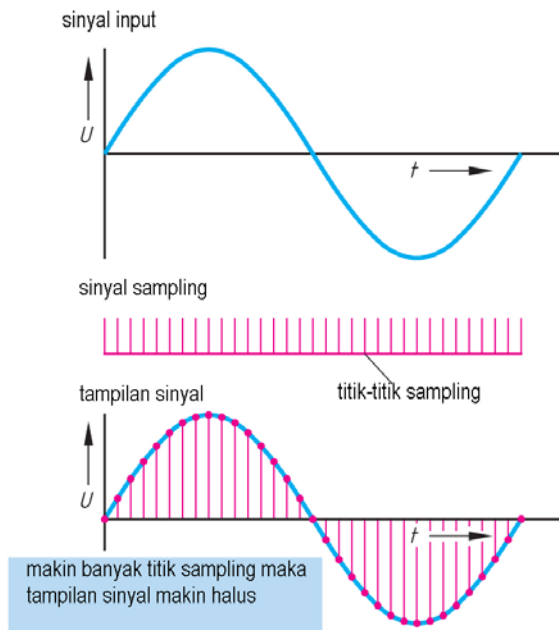
Blok diagram Osiloskop Digital **gambar 8.37** semua sinyal analog akan digitalisasi. Osiloskop digital, (misalnya *Storage Oscilloscope*) terdiri dari:

- ADC (Analog-to-Digital Converter)
- DAC (Digital-to-Analog Converter)
- Penyimpan Elektronik



Gambar 8.37: Blok diagram Osiloskop Digital

Pada osiloskop jenis ini, semua data yang akan ditampilkan disimpan di dalam RAM. Sinyal analog akan dicuplik (sampling), lalu dikuantisasi oleh ADC, yaitu diberi nilai (biner) sesuai dengan besarnya amplitudo ter-sampling **gambar 8.38**. Nilai ini dapat ditampilkan kembali secara langsung pada layar CRT atau monitor PC melalui kabel penghubung RS-232.



Gambar 8.38: Sampling sinyal analog oleh ADC

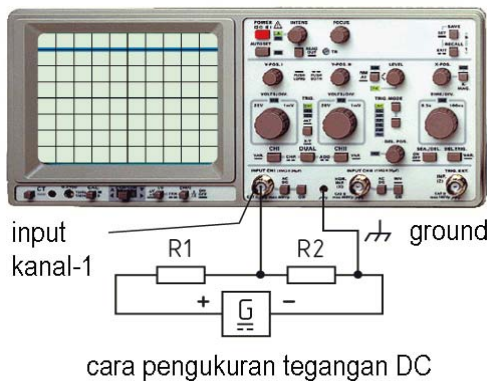
Perbedaan antara osiloskop analog dan digital hanya pada pemroses sinyal ADC. Pengarah pancaran elektron pada osiloskop ini sama dengan pengarah pancaran elektron pada osiloskop analog. Osiloskop digital ada yang dilengkapi dengan perangkat lunak matematik untuk analisa sinyal atau printer.

8.21. Pengukuran dengan Osiloskop

Berikut ini diberikan ilustrasi pengukuran dengan menggunakan osiloskop meliputi :

1. pengukuran tegangan DC,
2. mengukur tegangan AC, periode dan frekuensi,
3. mengukur arus listrik AC.
4. pengukuran beda fasa tegangan dengan arus listrik AC dan
5. pengukuran sudut penyalan thyristor.

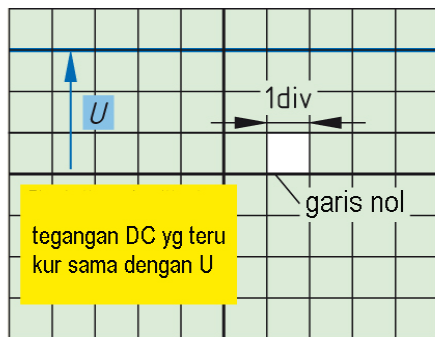
1. Mengukur Tegangan DC,



Tahanan R1 dan R2 berfungsi sebagai pembagi tegangan. Ground osiloskop dihubungkan ke negatif catu daya DC. Probe kanal-1 dihubungkan ujung sambungan R1 dengan R2. Tegangan searah diukur pada mode DC.

Misalnya:

$$V_{DC} = 5V/div. 3div = 15 V$$

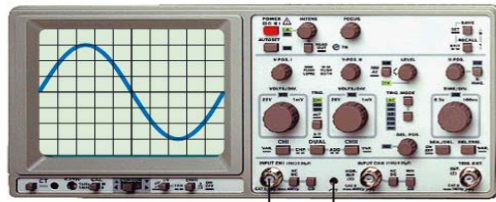


Bentuk tegangan DC merupakan garis tebal lurus pada layar CRT. Tegangan terukur diukur dari garis nol ke garis horizontal DC.

pengukuran tegangan DC (U)

Gambar 8.39 : Mengukur tegangan DC dengan Osiloskop

2. Mengukur Tegangan AC, periode T dan frekuensi F



pengukuran beban dgn tegangan AC menggunakan trafo isolasi

Trafo digunakan untuk meng isolasi antara listrik yang diukur dengan listrik pada osiloskop.

Jika menggunakan listrik PLN maka frekuensinya 50 Hz.

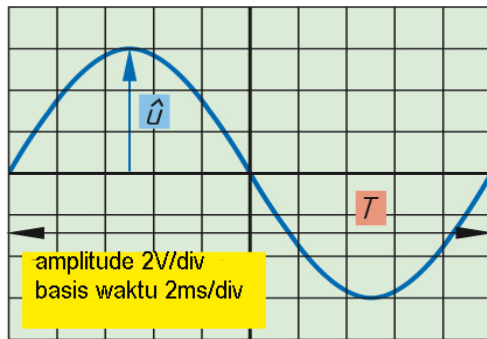
Misalnya:

$$V_p = 2V/div. 3 div = 6 V$$

$$V_{rms} = 6V/\sqrt{2} = 4,2 V$$

$$T = 2ms/div. 10 div = 20 ms$$

$$f = 1/T = 1/20ms = 50 Hz$$

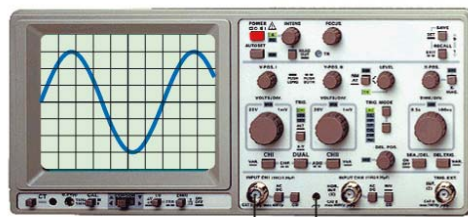


Pengukuran tegangan AC

Tegangan AC berbentuk sinusoida dengan tinggi U dan lebar periodenya T. Besarnya tegangan 6 V dan periodenya 20 milidetik dan frekuensinya 50 Hz.

Gambar 8.40 : Mengukur tegangan AC dengan Osiloskop

3. Mengukur Arus Listrik AC



Mengukur Arus (I)

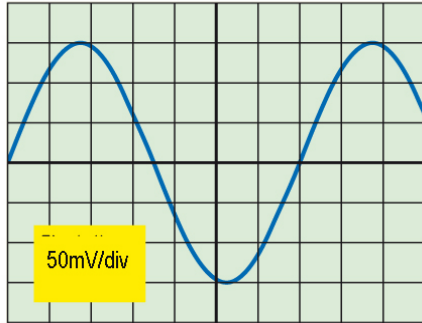
Pada dasarnya osiloskop hanya mengukur tegangan. untuk mengukur arus dilakukan secara tidak langsung dengan $R = 1\Omega$ untuk mengukur drop tegangan.

Misalnya :

$$V_p = 50 mV/div. 3div = 150 mV = 0,15 V$$

$$V_{rms} = 0,15 V/\sqrt{2} = 0,1 V$$

$$I = V_{rms}/R = 0,1V / 1\Omega = 0,1 A$$

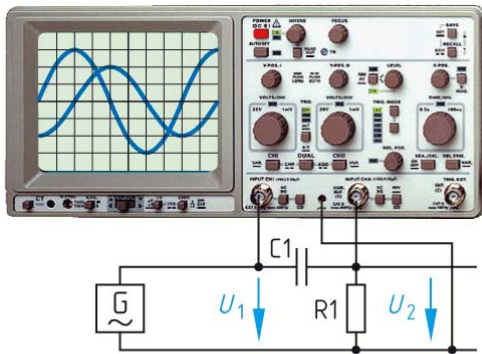


tampilan pengukuran tegangan 50mV/div

Bentuk sinyal arus yang melalui resistor R adalah sinusoida menyerupai tegangan. Pada beban resistor sinyal tegangan dan sinyal arus akan sephasa.

Gambar 8.41 : Mengukur Arus AC dengan Osiloskop

4. Mengukur Beda Fasa Tegangan dengan Arus Listrik AC.

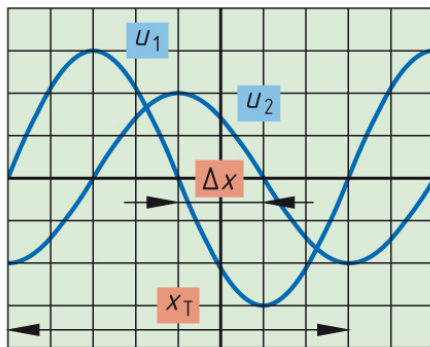


Pengukuran pergeseran fasa R dengan kapasitor C1

Beda fasa dapat diukur dengan rangkaian C1 dan R1. Tegangan U1 menampakkan tegangan catu dari generator AC. tegangan U2 dibagi dengan nilai resistor R1 representasi dari arus listrik AC. Pergeseran fasa U1 dengan U2 sebesar Δx .

Misalnya:

$$\begin{aligned} \varphi &= \Delta x \cdot 360^\circ / X_T \\ &= 2 \text{ div} \cdot 360^\circ / 8 \text{ div} = 90^\circ \end{aligned}$$



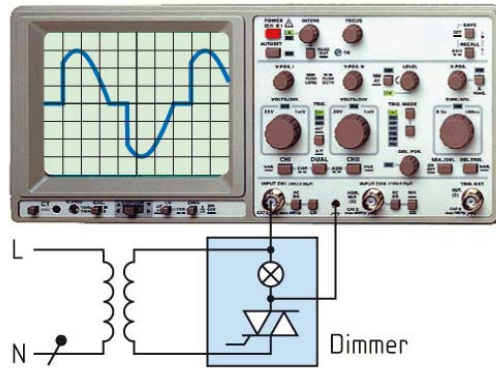
pengukuran pergeseran fasa U1-U2

Tampilan sinyal sinusoida tegangan U1 (tegangan catu daya) dan tegangan U2 (jika dibagi dengan R1, representasi dari arus AC).

Pergeseran fasa antara tegangan dan arus sebesar $\varphi = 90^\circ$

Gambar 8.42 : Mengukur beda fasa dengan Osiloskop

5. Mengukur Sudut Penyalan TRIAC

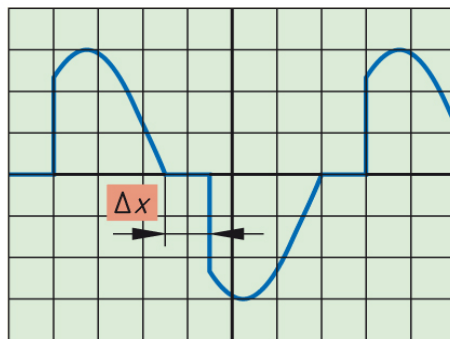


pengukuran sudut penyalan TRIAC menggunakan trafo isolasi.

Triac merupakan komponen elektronika daya yang dapat memotong sinyal sinusoida pada sisi positif dan negatif.

Trafo digunakan untuk isolasi tegangan Triac dengan tegangan catu daya osiloskop.

Dengan mengatur sudut penyalan triger α maka nyala lampu dimmer dapat diatur dari paling terang menjadi redup.



tampilan sudut penyalan TRIAC

Misalnya:

$$\alpha = \Delta x \cdot 360^\circ / X_T$$

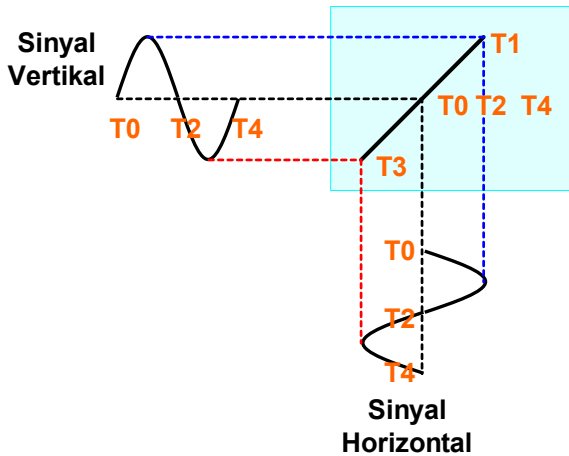
$$= (1 \text{ div. } 360\%) : 7 = 5 \text{ V}$$

Gambar 8.43 : Mengukur sudut penyalan TRIAC dengan Osiloskop

8.22. Metode Lissajous

Dua sinyal dapat diukur beda fasanya dengan memanfaatkan input vertikal (kanal Y) dan horizontal (kanal-X). Dengan menggunakan osiloskop dua kanal dapat ditampilkan beda fase yang dikenal dengan metode Lissajous.

a. Beda fase 0° atau 360° .

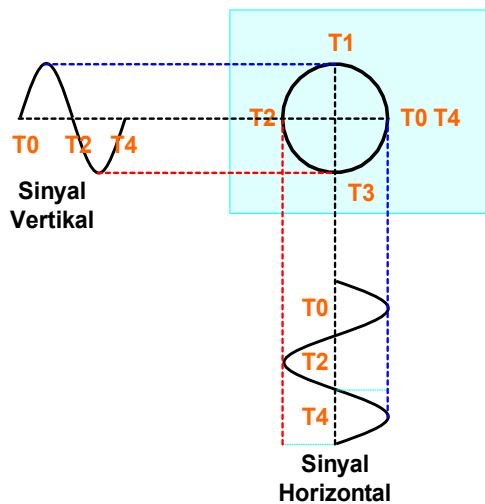


Dua sinyal yang berbeda, dalam hal ini sinyal input dan sinyal output jika dipadukan akan menghasilkan konfigurasi bentuk yang sama sekali berbeda.

Sinyal input dimasukkan ke kanal Y (vertikal) dan sinyal output dimasukkan ke kanal X (horizontal) berbeda 0° , dipadukan akan menghasilkan sinyal paduan berupa garis lurus yang membentuk sudut 45° . **gambar 8.44**

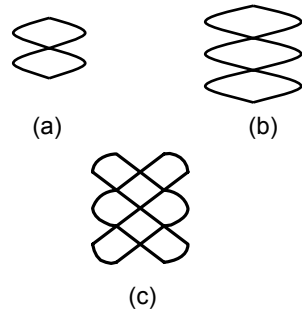
Gambar 8.44 : Mengukur sudut penyalan TRIAC dengan Osiloskop

b. Beda fase 90° atau 270° .



Sinyal vertikal berupa sinyal sinusoida. Sinyal horizontal yang berbeda fase 90° atau 270° dimasukkan. Hasil paduan yang tampil pada layar CRT adalah garis bulat. **gambar 8.45**

Gambar 8.45: Sinyal input berbeda fase 90° dg output



Pengukuran X-Y juga dapat digunakan untuk mengukur frekuensi yang tidak diketahui. Misalnya sinyal referensi dimasukkan ke input horizontal dan sinyal lainnya ke input vertikal.

Gambar 8.46: Lissajous untuk menentukan frekuensi

f_v = frekuensi yang tidak diketahui
 f_R = frekuensi referensi
 N_v = jumlah lup frekuensi yang tidak diketahui

N_R = jumlah lup frekuensi referensi

Contoh Gambar 8.46 (c). Misalnya frekuensi referensi = 3 kHz, maka

$$f_v = 3 \cdot (2/3) \text{ kHz} = 2 \text{ kHz}$$

8.23. Rangkuman

- Untuk mengukur besaran listrik DC maupun AC seperti tegangan, arus, resistansi, daya, faktor kerja, frekuensi kita menggunakan alat ukur listrik.
- Multimeter untuk mengukur beberapa besaran listrik, misalnya tegangan AC dan DC, arus listrik DC dan AC, resistansi.
- Alat-alat ukur analog dengan penunjukan menggunakan jarum, juga dipakai alat ukur digital yang praktis dan membaca pada layar display.
- Parameter alat ukur listrik meliputi *akurasi, presisi, kepekaan, resolusi dan kesalahan*.
- Pada awal perkembangan teknik pengukuran mengenal dua sistem satuan, yaitu *sistem metrik* dan sistem CGS.
- Sejak 1960 dikenalkan Sistem Internasional (SI Unit) sebagai kesepakatan internasional.
- Besaran dan symbol parameter listrik meliputi Arus listrik, I. Gaya gerak listrik, E; Tegangan, V; Resistansi, R; Muatan listrik, Q; Kapasitansi, C; Kuat medan listrik, E; Kerapatan fluk listrik, D; Permittivity, ϵ ; Kuat medan

Alat Ukur dan Pengukuran Listrik

- magnet, H ; Fluk magnet, Φ ; Kerapatan medan magnet, B ; Induktansi, L , M ; Permeability, μ .
- Ada enam besaran kelistrikan yang dibuat standart, yaitu standar amper, resistansi, tegangan, kapasitansi, induktansi, kemagnetan dan temperatur.
 - Sistem analog berhubungan dengan informasi dan data analog. Sinyal analog berbentuk fungsi kontinyu.
 - Sistem digital berhubungan dengan informasi dan data digital.
 - Bagian listrik alat ukur analog yang penting adalah, magnet permanen, tahanan meter dan kumparan putar.
 - Bagian mekanik alat ukur analog meliputi jarum penunjuk, skala dan sekrup pengatur jarum penunjuk.
 - Blok diagram alat ukur digital terdiri komponen sensor, penguat sinyal analog, Analog to Digital converter, mikroprosesor, alat cetak dan display digital.
 - Tampilan display digital jenisnya 7-segmen, 14-segmen dan dot matrik 5x7
 - Alat ukur kumparan putar terdiri dari permanen magnet, kumparan putar dengan inti besi bulat, jarum penunjuk terikat dengan poros dan inti besi putar, skala linear, dan pegas spiral rambut, serta pengatur posisi nol. Dipakai untuk Voltmeter, Ampermeter. Multimeter.
 - Torsi yang dihasilkan alat ukur kumparan putar $T = B \times A \times I \times N$
 - Untuk pengukuran listrik AC alat ukur kumparan putar dipasang diode.
 - Alat ukur besi putar terdiri belitan, komponen diam, komponen putar, jarum penunjuk dan skala pengukuran. Pengukur Voltmeter, Ampermeter.
 - Alat ukur elektrodinamis, memiliki dua belitan kawat, yaitu belitan arus dan belitan tegangan berupa kumparan putar, pengukur Wattmeter.
 - Alat ukur piringan putar, memiliki belitan arus dan belitan tegangan terpasang dalam satu inti besi, dipakai pada KWhmeter.
 - KWhmeter satu phasa memiliki satu belitan arus dan satu belitan tegangan, KWhmeter 3 phasa memiliki tiga belitan arus dan tiga belitan tegangan.
 - Untuk menaikkan batas ukur tegangan dipasangkan tahanan seri dengan meter.
 - Untuk menaikkan batas ukur arus dipasangkan tahanan yang dipasangkan parallel dengan alat ukur.
 - Pengukuran tahanan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu mengukur langsung nilai tahanan dan pengukuran tidak langsung dengan metode jembatan.
 - Jembatan Wheatstone bekerja berdasarkan prinsip keseimbangan.

- Osiloskop termasuk alat ukur elektronik, digunakan untuk melihat bentuk gelombang, menganalisis gelombang.
- Blok diagram dasar osiloskop yang terdiri dari Pemancar Elektron (Electron Beam), Pembelok Vertikal (Penguat-Y), Pembelok Horizontal (penguat-X), Generator basis waktu (Sweep Generator), Catu Daya, Tabung Hampa (CRT).
- Dengan menggunakan osiloskop dua kanal dapat ditampilkan beda fase yang dikenal dengan metode Lissajous

8.24. Soal-soal

1. Data alat ukur kumparan putar dengan dimensi $31/2$ in, arus 1mA , simpangan skala penuh 100 derajat memiliki $A : 1,70\text{ cm}^2$, $B : 1.800\text{ G}$, $(0,2\text{Wb/m}^2)$, $N: 80$ lilit, Hitunglah torsi putar pada jarum penunjuk.
2. KWhmeter satu fasa memiliki konstanta putaran 600 putaran/kWh dalam waktu 2 menit tercatat 80 putaran piringan. Hitunglah beban daya listrik ?
3. Gambarkan skematik pengawatan pengukuran Kwh meter 3 fasa dengan menggunakan tiga buah trafo arus (CT) $200\text{A}/5\text{A}$. Jelaskan cara kerja pengukuran tsb.
4. Pengukur tegangan Voltmeter memiliki arus meter $0,5\text{mA}$, tegangan meter $0,25\text{V}$. Voltmeter akan digunakan untuk mengukur tegangan $2,5\text{V}$. Hitung besarnya tahanan seri meter R_v .
5. Ampermeter dengan tahanan dalam $R_m=200\Omega$, arus yang diijinkan melewati meter $I_m=0,5\text{mA}$. Ampermeter akan mengukur arus $I = 10\text{mA}$. Hitung tahanan paralel R_p .
6. Jembatan Wheatstone, diketahui besarnya nilai $R_2 = 400\Omega$, $R_3= 250\Omega$, $R_4 = 500\Omega$. Hitung besarnya R_1 dalam kondisi setimbang.
7. Gambarkan skematik pengukuran tegangan AC dengan menggunakan osiloskop, jelaskan urutan cara pengoperasiannya.

BAB 9

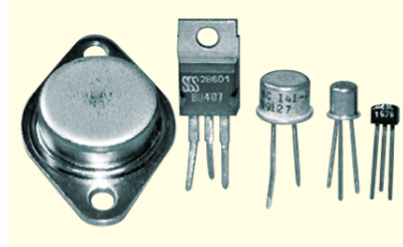
ELEKTRONIKA DASAR

Daftar Isi :

9.1	Bahan Semikonduktor	9-1
9.2	Struktur Atom Semikonduktor	9-2
9.3	Semikonduktor Tipe N	9-3
9.4	Semikonduktor Tipe P	9-4
9.5	Sambungan PN	9-4
9.6	Diode	9-5
9.7	Diode Zener	9-6
9.8	Transistor Bipolar	9-8
9.9	Transistor dalam Praktek	9-10
9.10	Garis Beban Transistor	9-11
9.11	Rangkuman	9-20
9.12	Soal-soal	9-21

9.1. Bahan Semikonduktor

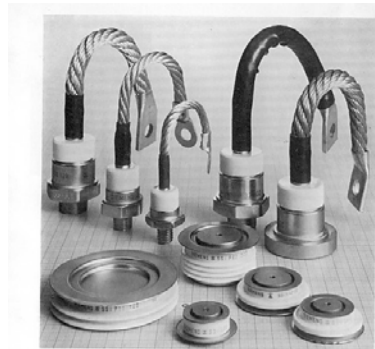
Dalam pengetahuan bahan teknik listrik dikenal tiga jenis material, yaitu bahan konduktor, bahan semikonduktor dan bahan isolator. Bahan konduktor memiliki sifat menghantar listrik yang tinggi, bahan konduktor dipakai untuk kabel atau kawat penghantar listrik, seperti tembaga, aluminium, besi, baja, dsb. Bahan semikonduktor memiliki sifat bisa menjadi penghantar atau bisa juga memiliki sifat menghambat arus listrik tergantung kondisi tegangan eksternal yang diberikan, bahan semikonduktor merupakan komponen pembuatan *Transistor*, *Diode*, *thyristor*, *triac*, *GTO* **gambar-9.1**.



Gambar 9.1: Transistor

Beberapa bahan semikonduktor adalah *silikon (Si)*, *germanium (Ge)*, *galium arsenik (GaAs)*, *indium antimonid (InSb)*, *cadmium sulfid (CdS)* dan *siliciumcarbida (SiC)*, dsb.

Bahan isolator memiliki sifat menghambat listrik yang baik, dipakai sebagai isolator dalam peralatan listrik, contohnya *keramik*, *porcelain*, *PVC*, *kertas*, dsb. Komponen elektronika yang banyak dipakai dalam teknik listrik industri adalah *thyristor* **gambar-9.2**.

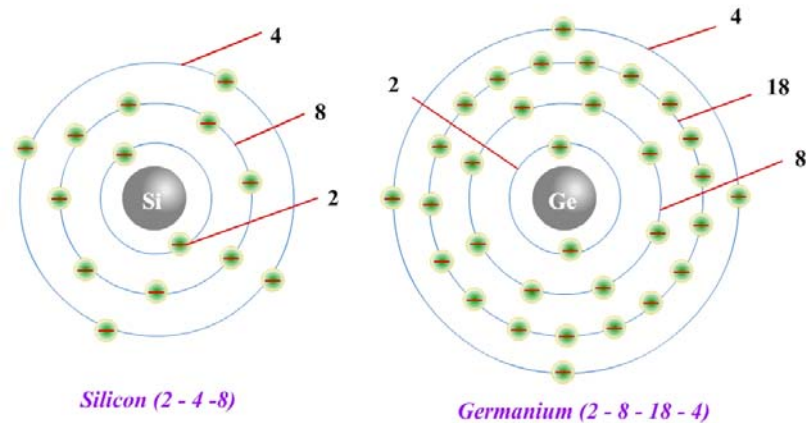


Gambar 9.2: Thyristor

9.2. Struktur Atom Semikonduktor

Atom menurut **Bohr** dimodelkan sebagai inti yang dikelilingi oleh elektron–elektron yang mengorbit. Inti atom memiliki muatan positif, sedangkan elektron bermuatan negatif. Inti atom cenderung menarik elektron yang berputar dalam orbitnya. Makin besar daya tarik dari inti, kecepatan orbit elektron akan meningkat.

Orbit atom silikon dan germanium diperlihatkan dalam gambar. Atom silikon memiliki 14 proton dalam intinya, orbit elektron yang mengisi tiga pita orbitnya **gambar-9.3**. Orbit terdalam diisi oleh dua elektron, orbit kedua dari dalam diisi oleh 8 elektron dan orbit terluar diisi oleh empat elektron, kita sebut silikon memiliki konfigurasi 2 – 8 - 4. Empat belas elektron yang mengorbit pada inti silikon berputar menetralkan muatan dari inti atom dari luar (secara listrik) adalah netral.



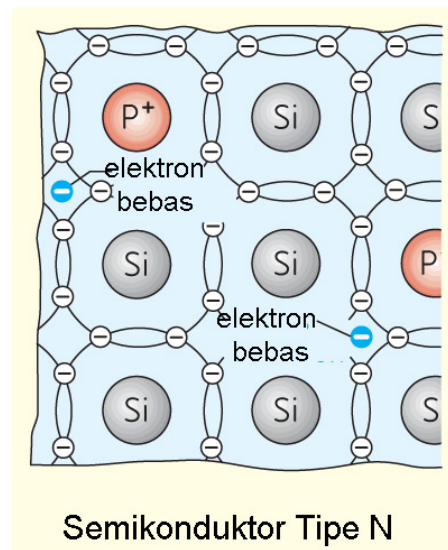
Gambar 9.3 Orbit atom

Atom *germanium* intinya memiliki 32 proton, memiliki empat pita orbit. Pita orbit pertama paling dalam mengorbit 2 elektron, pita orbit kedua diisi oleh 8 elektron, pita orbit ketiga mengorbit 18 elektron dan pita orbit keempat atau terluar diisi oleh 4 elektron. Germanium memiliki konfigurasi elektron 2 – 8 – 18 – 4.

9.3. Semikonduktor Tipe N

Sudah dijelaskan *atom silikon* dengan 14 proton, memiliki konfigurasi 2-8-4. Untuk menjadikan atom silikon menjadi tipe N harus di doping, yaitu menambahkan suatu atom yang memiliki *lima atom valensi (pentavalent)*, diantara empat atom silikon tetangganya.

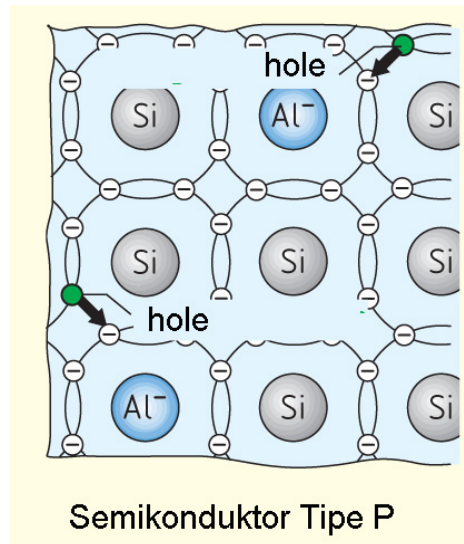
Dengan penambahan atom pentavalent konfigurasi menjadi berubah, karena empat atom akan saling berpasangan dan satu atom sisa yang tidak memiliki pasangan atau kelebihan satu elektron. Kondisi ini kita sebut atom silikon yang sudah didoping menjadi silikon **semikonduktor tipe N** yang berarti negatif. Atom pentavalent disebut sebagai **atom donor**, yaitu *arsen, antimon, dan posfor* **gambar-9.4**.

Gambar 9.4:
Semikonduktor Tipe N

9.4. Semikonduktor Tipe P

Untuk mendapatkan semikonduktor tipe P artinya kita membuat atom silikon memiliki **hole**, dengan cara memberikan doping atom yang memiliki *tiga elektron (trivalent)*, pada empat atom tetangganya. Karena atom *trivalent* memiliki tiga elektron, sehingga dari empat pasangan yang ada hanya tujuh elektron yang berjalan dalam orbit valensinya.

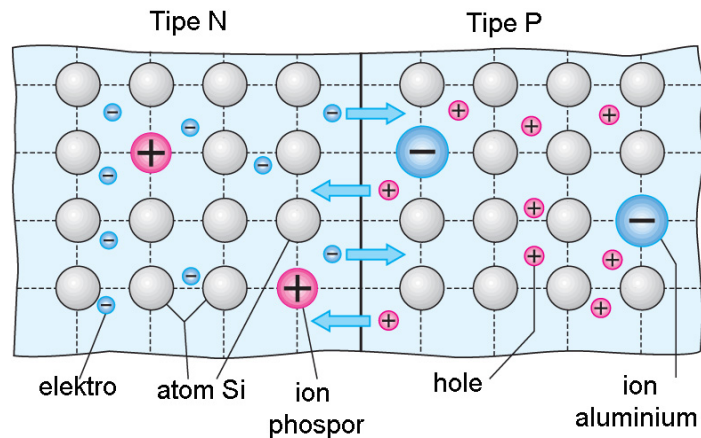
Dengan kata lain sebuah hole akan muncul dalam setiap atom *trivalent*. Atom silikon yang didoping dengan atom *trivalent* akan menghasilkan hole, dan inilah yang kita sebut dengan **semikonduktor tipe P** atau positif. Atom *trivalent* disebut sebagai **atom akseptor**, yaitu aluminium, boron dan gallium **gambar-9.5**.



Gambar 9.5:
Semikonduktor Tipe P

9.5. Junction PN

Semikonduktor tipe-P yang disambungkan dengan **semikonduktor tipe-N**, selanjutnya daerah dimana **tipe-P** bertemu **tipe-N** disebut **Junction PN gambar-9.6**. Telah dijelaskan bahwa semikonduktor **tipe-P** memiliki kelebihan **elektron**, sementara semikonduktor **tipe-N** memiliki **hole**. Elektron dari tipe-N cenderung untuk menyebar dan memasuki hole yang ada di tipe-P, maka hole akan lenyap dan elektron pita konduksi menjadi elektron pita valensi.



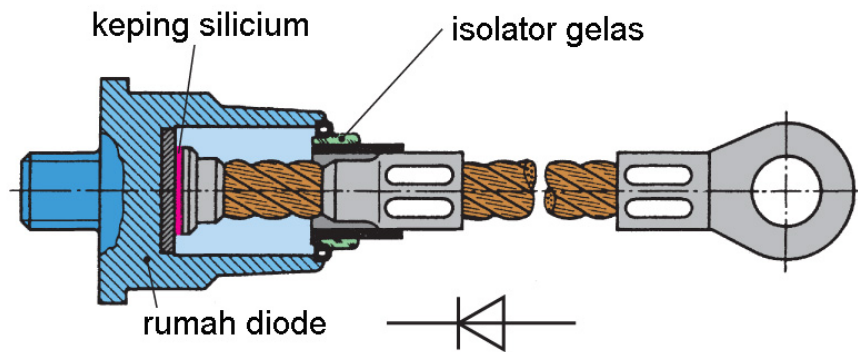
Gambar 9.6 : Sambungan PN

Tanda positif berlingkaran dinamakan *ion positif*, dan tanda berlingkaran negatif disebut *ion negatif*.

Tiap pasang ion positif dengan *ion negatif* disebut *dipole*, daerah di sekitar junctiion PN akan dikosongkan dari muatan-muatan yang bergerak. Kita sebut daerah yang kosong muatan ini dengan lapisan pengosongan (*depletion layer*). Dari prinsip junctiion PN ini selanjutnya menjadi dasar bagi pembuatan komponen semikonduktor seperti, Diode, Transistor, *thyristor*, GTO dsb.

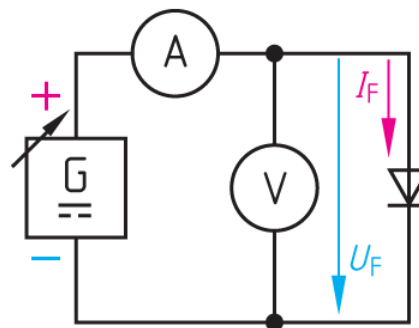
9.6. Diode

Diode banyak dipakai sebagai penyearah dari listrik AC menjadi DC dan banyak aplikasi dalam teknik listrik dan elektronika. Diode memiliki dua kaki, yaitu Anoda dan Katoda **gambar-9.7**. Untuk mengetahui cara kerja Diode sebagai penyearah kita lihat dua rangkaian Diode yang dihubungkan dengan sumber tegangan DC.



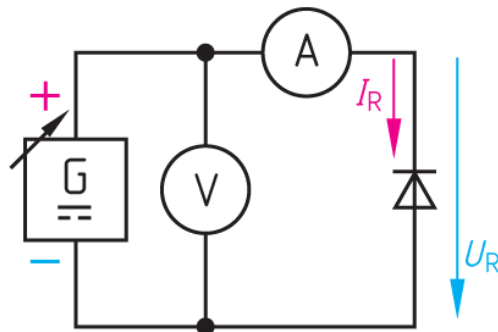
Gambar 9.7 : Simbol dan fisik Diode

Rangkaian Diode dengan sumber tegangan DC **Gambar-9.8** memperlihatkan tegangan DC positif terhubung dengan kaki Anoda, pada kondisi ini Diode mengalirkan arus DC dapat dilihat dari penunjukan ampermeter dengan arus I_f , untuk tegangan disebut tegangan maju U_f (*forward*). Diode silikon akan mulai *forward* ketika telah dicapai tegangan *cut-in* sebesar 0,7 Volt, untuk Diode germanium tegangan *cut-in* 0,3 Volt.



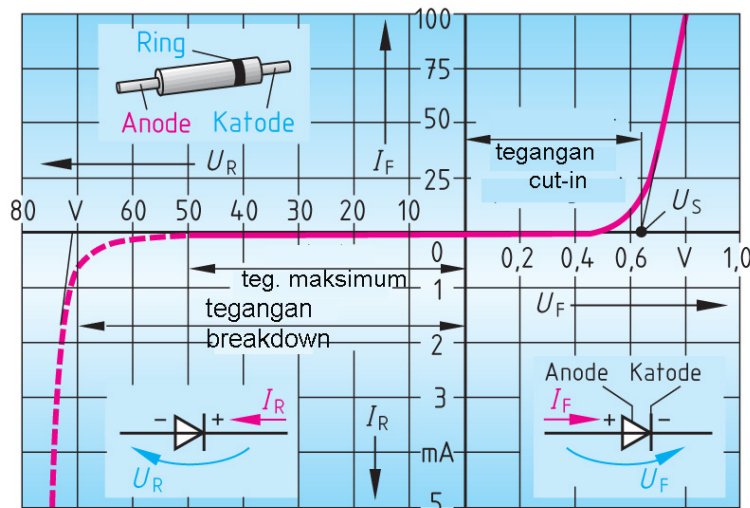
Gambar 9.8 :
Diode Panjar Maju

Rangkaian Diode **gambar-9.9** menunjukkan tegangan DC positif disambungkan dengan kaki Katoda, tampak tidak ada arus yang mengalir atau Diode dalam posisi memblokir arus, kondisi ini disebut posisi mundur (*reverse*). Karakteristik sebuah Diode digambarkan oleh sumbu horizontal untuk tegangan (Volt). Sumbu vertikal untuk menunjukkan arus (*mA* sampai *Amper*). Tegangan positif (*forward*) dihitung dari sumbu nol ke arah kanan. Tegangan negatif (*reverse*) dimulai sumbu negatif ke arah kiri.



Gambar 9.9 : Diode Panjar Mundur

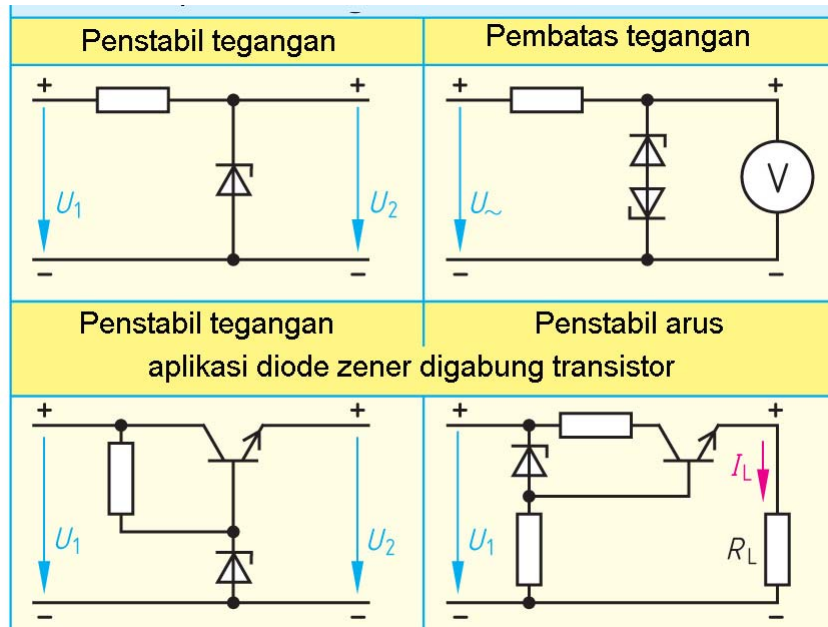
Garis arus maju (*forward*) dimulai dari sumbu nol keatas dengan satuan Amper. Garis arus mundur (*reverse*) dimulai sumbu nol ke arah bawah dengan orde mA. Diode memiliki batas menahan tegangan *reverse* pada nilai tertentu. Jika tegangan *reverse* terlampaui maka Diode akan rusak secara permanen **gambar 9.10**.



Gambar 9.10 : Karakteristik Diode

9.7. Diode Zener

Diode zener banyak dipakai untuk penstabil tegangan atau penstabil arus. Diode zener justru harus bekerja pada daerah *reverse*, karena tujuannya untuk menstabilkan tegangan dan arus yang diinginkan **gambar-9.11**.

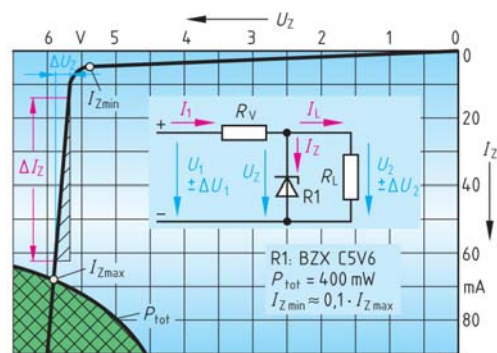


Gambar 9.11 : Aplikasi Diode Zener sebagai penstabil tegangan

Diode zener dipakai sebagai penstabil tegangan dalam beberapa konfigurasi. Misalkan tegangan input $U_1 = 9$ Volt, tegangan output Zener $U_2 = 5,6$ Volt, maka tegangan yang harus di kompensasi oleh resistor sebesar $9\text{ V} - 5,6\text{ V} = 3,4$ Volt.

Jika arus yang mengalir sebesar 100 mA. Besarnya resistor adalah 340 Ohm. Gambar-2 adalah Diode zener sebagai penstabil arus. Gambar-3 Diode zener dirangkai dengan Transistor sebagai penstabil tegangan. Gambar-4 Diode zener dengan Transistor sebagai penstabil arus.

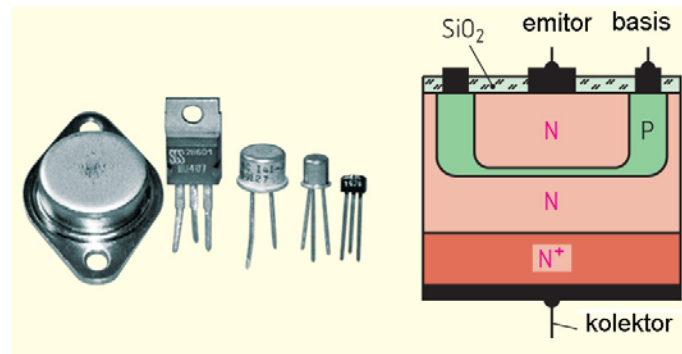
Diode Zener tipe BZX C5V6 memiliki kemampuan disipasi daya $P_{\text{total}} = 400$ mW. Tegangan input 12 Volt, arus yang mengalir dari 0 mA sampai 20 mA. Hitunglah besarnya nilai Resistor yang dipasang.



Gambar 9.12 : Karakteristik Diode Zener

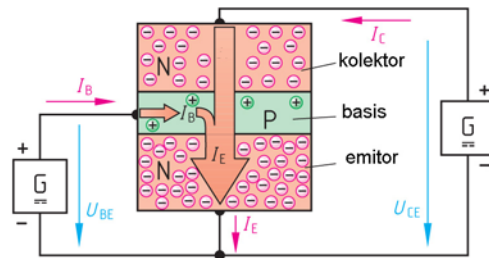
9.8. Transistor Bipolar

Komponen yang penting dalam elektronika adalah Transistor. Berbeda dengan Diode, Transistor memiliki tiga kaki, yaitu emitor, basis dan kolektor. Jenis Transistor sendiri sangat banyak, dikenal bipolar Transistor dengan tipe NPN dan PNP, unipolar Transistor dikenal dengan IGBT, uni junction Transistor dan *Field Effect Transistor*. **Gambar-9.13** memperlihatkan Transistor dalam bentuk fisik dan Transistor dalam bentuk potongan secara proses.



Gambar 9.13 : Transistor Bipolar

Transistor NPN seperti **gambar-9.14** memiliki tiga kaki, yaitu basis yang mengalirkan arus basis I_B , kolektor dan emitor mengalir arus kolektor I_C dan di emitor sendiri mengalir arus emitor I_E . Perhatikan antara emitor dan basis mendapat tegangan DC dan terdapat tegangan basis – emitor U_{BE} . Kolektor dan emitor mendapat tegangan DC terukur U_{CE} .

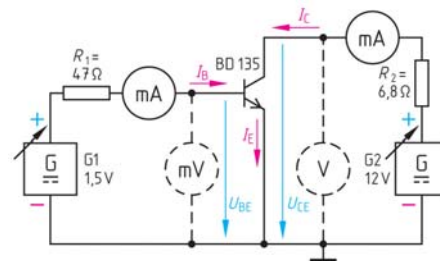


Gambar 9.14 : Rangkaian Dasar Transistor

Persamaan umum sbb:

$$B = \frac{I_C}{I_B} \quad \text{dan} \quad I_E = I_B + I_C$$

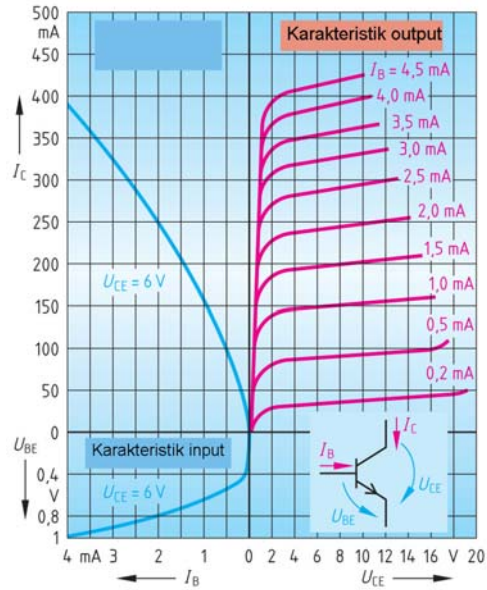
Sebuah Transistor BD135, dipasangkan $R_1 = 47 \Omega$ pada basis. dan $R_2 = 6,8 \Omega$ pada kolektor **gambar-9.15**. Tegangan basis $G1 = 1,5 \text{ V}$ dan tegangan kolektor-emitor $G2 = 12 \text{ V}$. dengan mengatur tegangan $G1$ maka arus basis I_B bisa diubah-ubah. Tegangan $G2$ diubah-ubah sehingga arus kolektor I_C dapat diatur besarnya.



Gambar 9.15 : Tegangan Bias Transistor NPN

Hasil dari pengamatan ini berupa karakteristik Transistor BD 135 yang diperlihatkan pada **gambar-9.16**. Ada sepuluh perubahan arus basis I_B , yaitu dimulai dari $I_B = 0,2 \text{ mA}$, $0,5 \text{ mA}$, $1,0 \text{ mA}$, $1,5 \text{ mA}$ sampai $4,0 \text{ mA}$ dan terakhir $4,5 \text{ mA}$. Tampak perubahan arus kolektor I_C terkecil 50 mA , 100 mA , 150 mA sampai 370 mA dan terbesar 400 mA .

Setiap Transistor bipolar memiliki karakteristik berbeda-beda tergantung pada berbagai parameter penting, yaitu daya output, disipasi daya, temperatur, tegangan kolektor, arus basis dan faktor penguatan Transistor.



Gambar 9.16 : Karakteristik Transistor

Letak kaki	Kemasan	Letak kaki	Kemasan
	TO 92		TO 220
	TO 18		TO 3
	TO 50		TO 126
	TO 126		

B Basis
C Kolektor
E Emitter

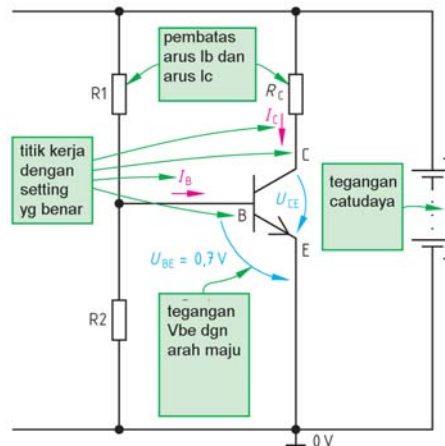
Gambar 9.17 : Fisik Transistor

Bentuk Transistor bipolar berbeda beda secara fisik, juga cara menentukan letak kaki basis, emiter dan kolektor dapat diketahui dari data sheet Transistor. Tabel-1 memperlihatkan berbagai jenis Transistor dari tipe TO 03, TO 220, TO 126, TO 50, TO 18 sampai TO 92, **Gambar-9.17**.

9.9. Transistor dalam Praktek

Transistor banyak digunakan dalam rangkaian elektronika untuk berbagai kebutuhan, misalnya rangkaian flip flop, rangkaian pengatur nyala lampu, pengatur kecepatan motor, pengatur tegangan power supply, dsb.

Gambar-9.18 memperlihatkan rangkaian Transistor dalam praktek terdiri dari beberapa resistor R_1, R_2, R_C , Resistor R_1 dan R_C mempengaruhi besarnya arus basis I_B dan arus kolektor I_C . Tegangan basis-emitor $U_{BE}=0,7$ Volt merupakan tegangan *cut-in* dimana Transistor berfungsi sebagai penguat.



Gambar 9.18 : Transistor dengan Tahanan Bias

Dari kondisi ini dapat disimpulkan bahwa Transistor bekerja harus mencakup empat parameter, yaitu U_{BE}, U_{CE}, I_B , dan I_C .

Kita ambil contoh tiga buah Transistor dari tipe yang berbeda, yaitu 2N3055, BC 107 dan BD 237. Gunakan datasheet Transistor untuk mendapatkan data parameter dan hasilnya kita lihat di tabel-1 yang mencantumkan parameter U_{CEmax} (Volt), I_{Cmax} (Amp), P_{tot} (Watt),

Tabel-9.1. Batasan Nilai Transistor

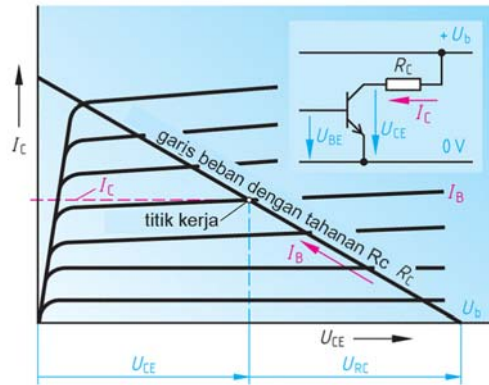
	2N3055	BC 107	BD 237
UCE mak (V)	60	45	80
IC mak (A)	15	0,1	2
Ptot (W)	115	0,3	25
Model	TO 3	TO 18	TO 126

Tabel 9.2. Aplikasi Transistor

penguat tegangan	saklar elektronik	penguat sinyal
memperkuat tegangan input 5V menjadi tegangan output 24V	meng-energized relay mengerjakan beban daya besar, motor listrik	memperkuat sinyal input menjadi sinyal output yang lebih besar

9.10. Garis Beban Transistor

Untuk membuat garis beban Transistor harus diketahui dulu karakteristik output Transistor $I_C=f(U_{CE})$ **gambar-9.19**. Setelah garis beban Transistor maka akan ditentukan titik kerja Transistor, dari titik kerja akan diketahui sebuah Transistor bekerja dalam kelas A, kelas AB, kelas B atau kelas C. Untuk membuat garis beban, kita tentukan dua titik ekstrim, yaitu titik potong dengan sumbu I_C (I_{Cmaks}) dan titik potong dengan sumbu V_{CE} (V_{CEmaks}) dari persamaan loop output.



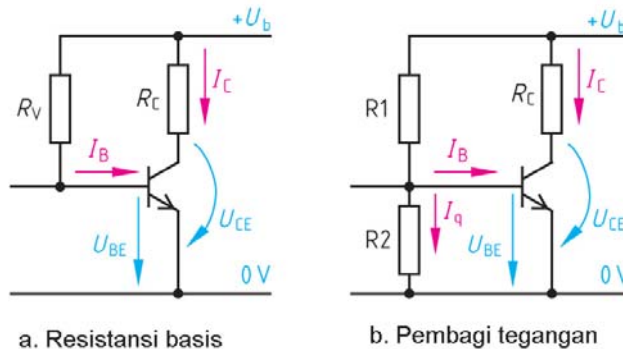
Gambar 9.19 : Karakteristik Output Transistor

Persamaan loop output :

$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CE} = 0$$

Jika titik kerja berada persis di tengah-tengah garis beban, maka Transistor bekerja pada kelas A, dimana sinyal input akan diperkuat secara utuh di output Transistor tanpa cacat, klas A dipakai sebagai penguat audio yang sempurna. Titik kerja mendekati titik ekstrem UCE disebut kelas AB, dimana hanya separuh dari sinyal sinusoida yang dilalukan ke output Transistor. Klas AB dan klas B dipakai pada penguat akhir jenis push-pull. Klas C terjadi jika pada penguat tersebut diberikan umpan balik positif sehingga terjadi penguatan tak terkendali besarnya, penguat klas C dipakai sebagai osilator.

Transistor sebagai komponen aktif, untuk bisa bekerja dan berfungsi harus diberikan bias. Tegangan bias Transistor dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu tegangan bias sendiri melalui tahanan R_V dan tegangan bias dengan pembagi tegangan (R_2 paralel R_1) **gambar-9.20**.



Gambar 9.20 : Tegangan bias Transistor

Persamaan menentukan tahanan bias sendiri:

$$R_V = \frac{U_b - U_{BE}}{I_B}$$

Persamaan menentukan tahanan bias tahanan pembagi tegangan

$$R_1 = \frac{U_b - U_{BE}}{I_q + I_B} \quad R_2 = \frac{U_{BE}}{I_q} \quad Q = \frac{I_q}{I_B}$$

R_V	Tahanan bias sendiri
R_1, R_2	Tahanan pembagi tegangan
q	Arus pada titik kerja
I_B	Arus basis
I_q	Arus kolektor titik kerja
U_b	Tegangan sumber
U_{BE}	Tegangan basis-emitor

Contoh : Transistor BC 107, diberikan tegangan sumber $U_B = 16 \text{ V}$. Memerlukan tegangan bias $U_{BE} = 0,62 \text{ V}$ dengan arus basis $I_B = 0,2 \text{ mA}$. Hitunglah a) Nilai tahanan bias sendiri R_V dan b) Nilai tahanan pembagi tegangan R_1 dan R_2 .

Jawaban :

$$a) \quad R_V = \frac{U_b - U_{BE}}{I_B} = \frac{16\text{V} - 0,62\text{V}}{0,2\text{mA}} = 76,9 \text{ k}\Omega$$

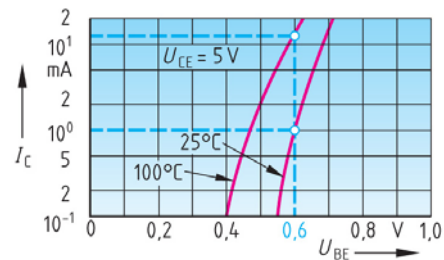
$$b) \quad Q = \frac{I_q}{I_B} \implies I_q = q \cdot I_B = 3 \cdot 0,2\text{mA} = 0,6 \text{ mA}.$$

$$R_1 = \frac{U_{BE}}{I_q} = \frac{0,62\text{V}}{0,6\text{mA}} = 1.03 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{U_b - U_{BE}}{I_q + I_B} = \frac{16\text{V} - 0,62\text{V}}{0,6\text{mA} + 0,2\text{mA}} = 19.23 \text{ k}\Omega$$

9.10.1. Kestabilan Titik Kerja

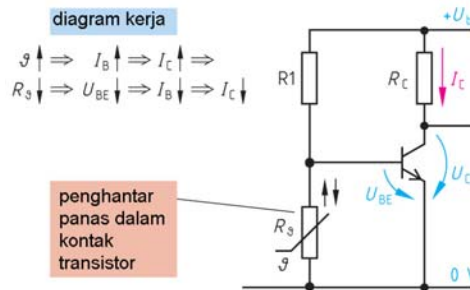
Grafik karakteristik input $I_C = f(U_{BE})$ Transistor berbahan silikon, diperlukan tegangan *cut-in* $U_{BE} = 0,6\text{V}$ agar Transistor tersebut beroperasi, pada temperatur ruang 25°C , arus $I_C = 1 \text{ mA}$ **gambar-9.21**. Ketika $I_C = 10\text{mA}$ dengan garis kerja temperatur 100°C tegangan U_{BE} tetap $0,6\text{V}$. Hal ini memberikan pengertian ketika temperatur meningkat dari 25°C menuju 100°C arus I_C meningkat dari 1mA menjadi 10mA ,



Gambar 9.21 : Karakteristik Input Transistor

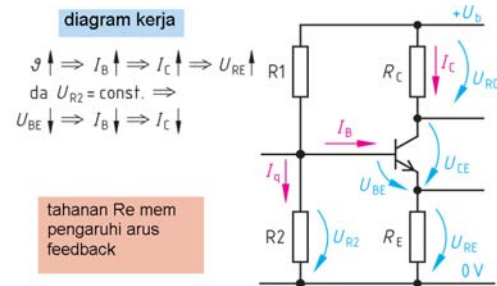
tegangan U_{BE} tetap.

Rangkaian Transistor dengan tahanan R_1 dan R_2 untuk menentukan arus basis I_B . Tahanan kolektor R_C membatasi arus kolektor I_C . Emitor Transistor langsung ke ground **gambar-9.22**. Ketika temperatur meningkat, R_2 berubah dan arus basis I_B meningkat, memicu arus kolektor I_C membesar, akibatnya tegangan kolektor U_{RC} meningkat. Sebaliknya ketika tahanan R_2 berubah mengecil, tegangan basis emitor U_{BE} juga menurun, yang mengakibatkan arus basis I_B menurun dan akibatnya arus kolektor I_C akan menurun dengan sendirinya.



Gambar 9.22 : Rangkaian Bias Pembagi Tegangan Tanpa RC

Rangkaian ini menggunakan empat resistor bernilai konstan R_1 dan R_2 untuk mengatur arus basis I_B . Tahanan kolektor R_C , dan tahanan emitor R_E **gambar-9.23**. Ketika temperatur meningkat, arus basis I_B naik dan memicu kenaikan arus kolektor I_C . Akibatnya tegangan kolektor U_{RC} naik. Ketika tahanan R_2 konstan, tegangan basis emitor U_{BE} menurun, berakibat arus basis I_B menurun, dan memicu arus kolektor I_C akan menurun.



Gambar 9.23 : Rangkaian Bias Pembagi Tegangan Dengan RC

Persamaan untuk menentukan besaran komponen :

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_C} \quad R_C = \frac{U_{RC}}{I_C}$$

$$U_{R2} = U_{BE} + U_{RE}$$

$$R_2 = \frac{U_{BE} + U_{RE}}{I_q} \quad R_1 = \frac{U_b - U_{BE} - U_{RE}}{I_q + I_B}$$

- R_E Tahanan emitor
- R_C Tahanan kolektor
- R_1, R_2 Tahanan tegangan basis
- I_E Arus emitor

- I_C Arus kolektor
- I_B Arus basis
- U_{BC} Tegangan basis-kolektor
- U_{BE} Tegangan basis-emitor
- U_{R2} Tegangan R2
- U_{BE} Tegangan basis-emitor

Contoh : Dengan rangkaian **gambar 9-23**, ditentukan tegangan sumber $U_B = 12$ V, tahanan kolektor $R_C = 1k\Omega$, titik kerja $q = 5$, tahanan emitor $R_E = 100 \Omega$, faktor penguatan Transistor (β) $B = 80$, tegangan $U_{BE} = 0,7$ V dan tegangan kerja pada $U_{RC} = 6V$. Hitung besarnya arus kolektor I_C , arus basis I_B , tahanan R1 dan R2.

Jawaban :

$$I_C = \frac{U_{RC}}{R_C} = \frac{6V}{1k\Omega} = 6 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{B} = \frac{6mA}{80} = 75 \mu A$$

$$I_q = q \cdot I_B = 5 \cdot 75 \mu A = 375 \mu A$$

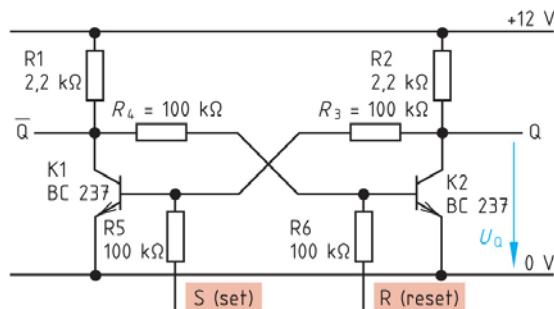
$$U_{RE} = R_E \cdot I_E = 6 \text{ mA} \cdot 100 \Omega = 0,6 \text{ V}$$

$$R_2 = \frac{U_{BE} + U_{RE}}{I_q} = \frac{0,7V + 0,6V}{375 \mu A} = 3,5 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = \frac{U_b - U_{BE} - U_{RE}}{I_q + I_B} = \frac{12V - 0,7V - 0,6V}{375 \mu A + 75 \mu A} = 23,8 \text{ k}\Omega$$

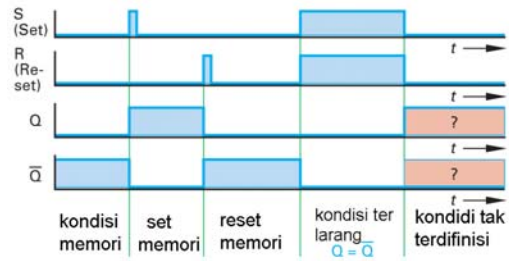
9.10.2. Flip Flop

Rangkaian *bistable multivibrator* menghasilkan keluaran $Q = 0$ dan $\bar{Q} = 1$. Dua buah Transistor BC 237 dan enam buah resistor membentuk rangkaian multivibrator **gambar-9.24**. Setiap S (set) diberi sinyal = 1 maka pada kaki Q akan menghasilkan output 1, untuk mematikan Q, sinyal R (reset) di beri sinyal = 1. Harga \bar{Q} selalu kebalikan dari nilai output Q, jika $Q = 1$ maka $\bar{Q} = 0$, sebaliknya ketika $Q = 0$, maka $\bar{Q} = 1$.



Gambar 9.24 : Rangkaian Bistable Multivibrator

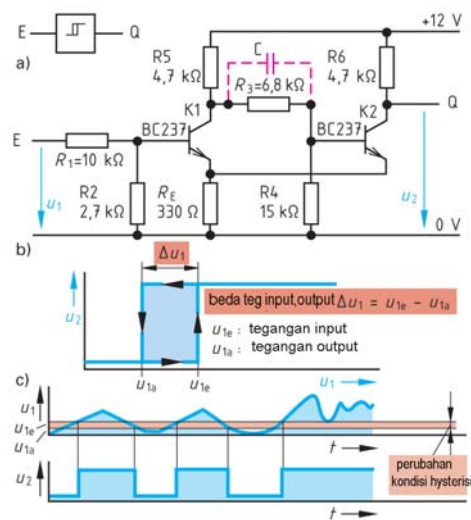
Tabel sinyal bistable multivibrator **gambar-9.25** memperlihatkan empat jenis sinyal, yaitu sinyal input S (Set) dan R (reset) dan sinyal output Q dan \bar{Q} . Ketika S (set) = 1 maka output Q = 1 sedangkan \bar{Q} = 0, ketika sinyal R(reset) = 1, sinyal Q = 0 dan sinyal \bar{Q} = 1. Ketika S dan R = 1, kedua sinyal output Q dan \bar{Q} = 0.



Gambar 9.25 : Diagram Waktu Bistable Multivibrator

Rangkaian *Schmitt-trigger* dengan dua Transistor BC 237 dan tujuh resistor memiliki input dititik E, dan output dititik Q **gambar-9.26**. Gelombang ber-bentuk gergaji di masukkan sebagai tegangan input U_1 , oleh kedua Transistor BC 237 akan diperkuat sinyal input menjadi sinyal output berbentuk kotak ON dan OFF sesuai dengan bentuk sinyal inputnya.

Grafik tegangan $U_2 = f(U_1)$ dari *Schmitt-trigger* berbentuk kotak yang lebarnya sebesar ΔU_1 akan menghasilkan tegangan output ΔU_2 . Rangkaian *Schmitt-trigger* dapat digunakan dalam teknik pengaturan untuk mengatur kapan ON dan kapan OFF dengan mengatur sinyal inputnya.



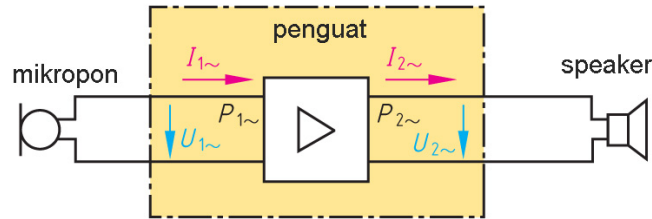
Gambar 9.26 : Rangkaian dan Diagram Waktu Schmitt Trigger

9.10.3. Penguat Amplifier

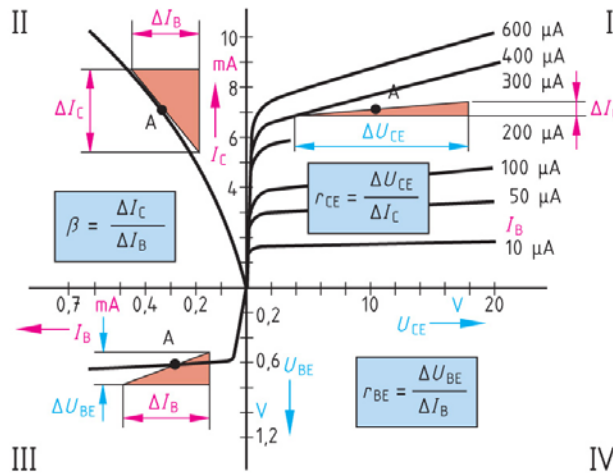
Amplifier adalah perangkat yang memperkuat sinyal input yang ditangkap oleh mikropon, tegangan input U_1 dan arus I_1 diperkuat oleh penguat amplifier dan hasil keluarannya berupa tegangan output U_2 dan arus output I_2 yang di reproduksi lagi sesuai aslinya oleh *speaker gambar-9.27*.

Penguat amplifier memiliki faktor penguatan, meliputi penguat tegangan, penguat arus dan penguat daya. Transistor memiliki kemampuan untuk menjadi penguat amplifier dengan melihat pada karakteristik output. Karakteristik output Transistor BC107 memperlihatkan empat kuadrat **gambar-9.28**. Pada kuadran 1 terdapat impedansi output arus AC r_{CE} . Pada kuadran II terdapat faktor penguatan arus β . Kuadran III, terdapat impedansi input arus AC r_{BE} .

Perubahan arus basis I_B berpengaruh pada perubahan arus kolektor. Titik A merupakan titik kerja linier untuk menentukan besarnya ratio perubahan.



Gambar 9.27 : Prinsip Kerja Penguat

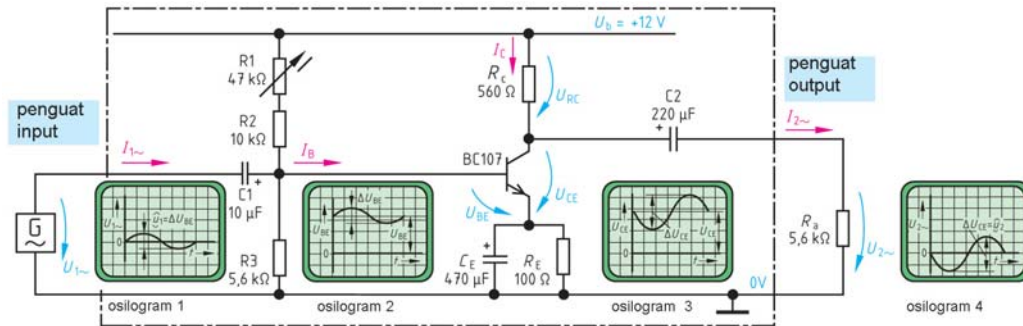


Gambar 9.28 : Karakteristik Transistor Empat Kuadran

$$V_U = \frac{U_{2\sim}}{U_{1\sim}} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{BE}} \quad V_i = \frac{I_{2\sim}}{I_{1\sim}} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \quad V_P = \frac{P_{2\sim}}{P_{1\sim}} = V_u \cdot V_i$$

- V_U, V_i, V_P Faktor penguatan
- $U_{1\sim}, U_{2\sim}$ Tegangan input, dan tegangan output
- $I_{1\sim}, I_{2\sim}$ Arus input, dan arus output
- $P_{1\sim}, P_{2\sim}$ Daya input, dan daya output

Sebuah penguat Transistor BC107 akan diperiksa dengan osiloskop pada empat titik pengamatan. Titik pertama pada titik input dengan mengukur tegangan U_1 , titik kedua mengukur input pada tegangan basis-emitor U_{BE} , titik ketiga mengukur tegangan kolektor-emitor U_{CE} dan titik keempat mengukur tegangan output U_2 .



Gambar 9.29 : Sinyal Pada Titik-titik Pengukuran

Untuk membaca rangkaian fisik dengan karakteristik output Transistor BC107 **gambar-9.29**, dilihat dari sisi input kemudian menuju ke sisi output.

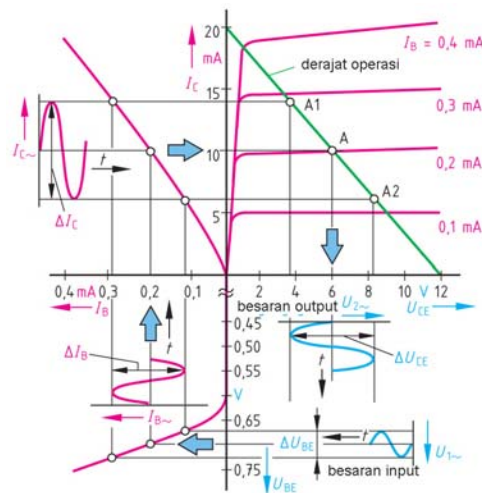
Tegangan supply kerangkaian 12 Volt, tahanan (R1+R2) dan R3 menentukan besarnya tegangan basis U_{BE} baru bekerja pada tegangan *cut-in* 0,7V. Generator fungsi memberikan sinyal input sinusoida, frekuensi 1 kHz tegangan input 50mV AC (dibaca **osiloskop-1**).

Pada **osiloskop 2** terbaca tegangan input AC 50mV ditambah tegangan $U_{BE} = 0,7V$. Perubahan arus basis ΔI_B akan menghasilkan juga perubahan arus kolektor ΔI_C , dari garis kerja A1, A dan A2 dapat dicerminkan perubahan tegangan kolektor-emitor ΔU_{CE} terbaca di **osiloskop 3** berbeda fasa 180° .

Pada titik keempat **osiloskop-4** terbaca tegangan output U_2 adalah perubahan tegangan output U_{CE} .

Karakteristik output yang terlihat memiliki garis beban yang ditarik dari garis tegak 20mA dan garis horizontal 12V **gambar 9.30**. Garis memiliki tiga titik beban yang berpusat di A dan sisi atas A1 dan sisi bawah A2. Garis beban ini menjelaskan bahwa penguat jenis ini adalah disebut penguat klas A. Penguat klas A digunakan untuk menguatkan sinyal input pada penguat awal.

Jika dari garis beban, titik kerja A bergeser ke bawah mendekati sumbu horizontal U_{CE} , maka dikatakan sebagai penguat dengan klas AB atau klas B **gambar-9.31**. Dari titik kerja AB ditarik garis ke bawah memotong garis horizontal U_{CE} , maka bentuk gelombangnya hanya separuh dari sinyal

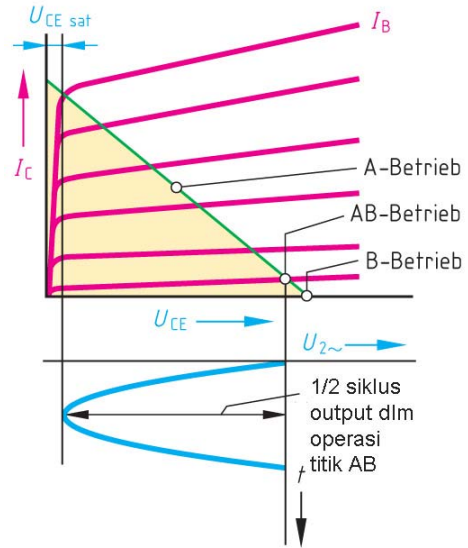


Gambar 9.30 : Penguatan Sinyal

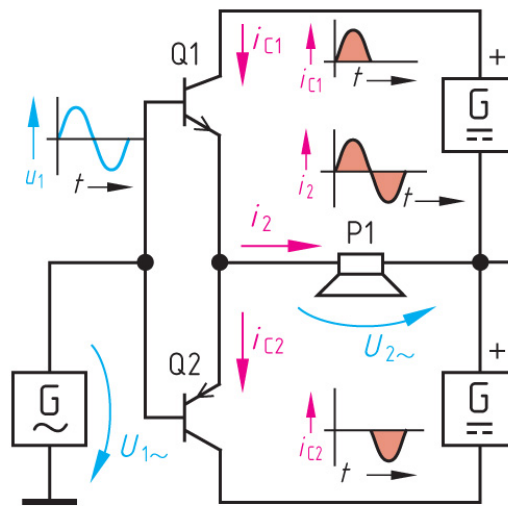
input sinusoida yang masuk. Untuk mendapatkan secara utuh penguatan sinyal input sinusoida diperlukan dua penguatan kelas AB secara *push-pull*.

Transistor penguat klas AB sering disebut sebagai penguat *push-pull* terdiri dari dua Transistor daya dengan tipe yang sama **gambar-9.32**. Misalnya Transistor NPN tipe 2N3055. Transistor Q1 dan Q2 bekerja bergantian dan berbeda 180° dan mendapat tegangan sumber DC dari G. Ketika sinyal input berupa gelombang sinusoida dari generator sinyal, masuk ke basis Q1 dan Q2.

Saat pulsa input positif akan menyebabkan Q1 konduksi dan sinyal diperkuat. Sinyal input negatif berikutnya akan menyebabkan Q2 konduksi dan memperkuat sinyal. Kedua sinyal output yang dihasilkan Q1 dan Q2 menyatu dan hasilnya di reproduksi oleh speaker P1. Penguat *push-pull* banyak digunakan sebagai penguat akhir amplifier.



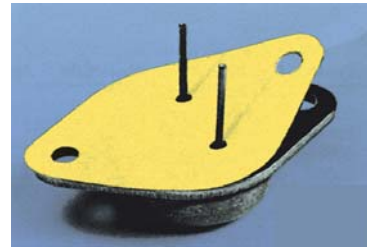
Gambar 9.31 : Titik Kerja Penguat Klas AB



Gambar 9.32 : Rangkaian Push-Pull

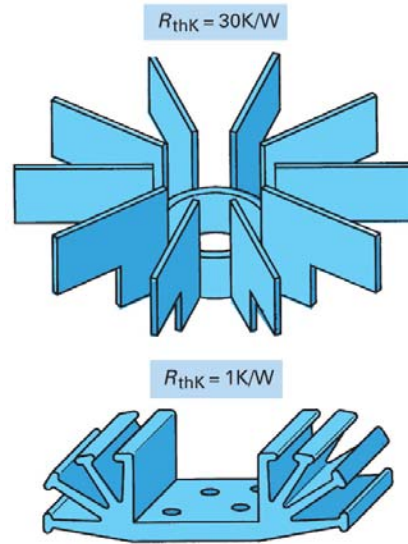
9.10.4. Sirip Pendingin

Transistor merupakan komponen elektronika dari bahan semikonduktor, yang akan menjadi aktif kalau diberikan tegangan sumber. Transistor juga memiliki tahanan dalam yang berubah-ubah. Perubahan arus basis I_B akan mempengaruhi arus kolektor I_C . Pada Transistor saat bekerja akan muncul rugi daya yang besarnya sebanding dengan kuadrat arus kali tahanan, rugi daya Transistor akan diubah menjadi panas yang akan dilepaskan ke udara sekelilingnya.

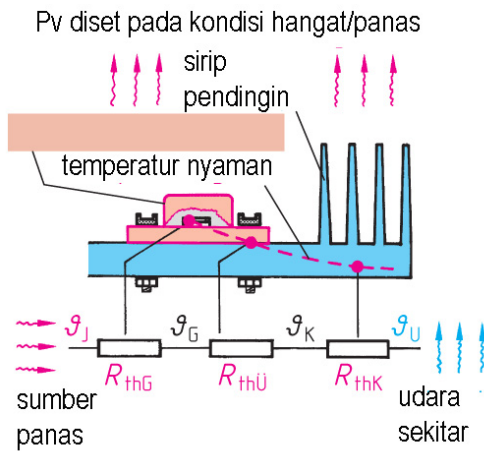


Gambar 9.33 : Casis Transistor Dengan Isolator

Untuk memudahkan pelepasan energi panas maka diperlukan sirip pendingin yang dipasang dengan casis Transistor. Sirip pendingin dirancang dengan bentuk lingkaran atau menyerupai tanduk, tujuannya untuk mendapatkan luas permukaan yang maksimal **gambar-9.39**.



Gambar 9.34 : Bentuk Pendingin Transistor



Gambar 9.35 : Pemindahan Panas Pada Pendingin Transistor

Persamaan menghitung tahanan thermis R_{thK} :

$$R_{thK} = \leq \frac{g_j - g_u}{P_v} - R_{thG} - R_{thU}$$

R_{thK}	Tahanan thermis
R_{thG}	Tahanan dalam thermis semikonduktor
R_{thU}	Tahanan thermis antara casis dan pendingin
ϑ_j	Temperatur tahanan
ϑ_u	Temperatur ruang
P_v	Rugi-rugi daya

Contoh : Transistor dirancang untuk dapat bekerja dengan suhu $\vartheta_j = 150^\circ\text{C}$, memiliki tahanan dalam thermis sebesar $R_{thG} = 1,5 \text{ K/W}$ dan tahanan thermis casis dan pendingin $R_{thU} = 0,2 \text{ K/W}$ dan besarnya kerugian daya output $P_v = 30 \text{ W}$. Hitunglah tahanan thermis R_{thK} , ketika bekerja pada $\vartheta_u = 45^\circ \text{C}$

Jawaban :

$$R_{thK} \leq \frac{\vartheta_j - \vartheta_u}{P_v} - R_{thG} - R_{thU}$$
$$R_{thK} \leq \frac{150^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C}}{300\text{W}} - 1,5 \text{ K/W} - 0,2 \text{ K/W}$$
$$= 3,5 \text{ K/W} - 1,5 \text{ K/W} - 0,2 \text{ K/W} = \mathbf{1,8 \text{ K/W}}$$

9.11. Rangkuman

- Atom terdiri atas inti atom dan elektron yang mengorbit mengelilingi inti atom. Inti atom memiliki muatan positif, sedangkan elektron bermuatan negatif.
- Atom silikon memiliki 14 proton dalam intinya, orbit elektron yang mengisi tiga pita orbitnya.
- Atom silikon orbit terdalam diisi dua elektron, orbit kedua diisi oleh 8 elektron dan orbit terluar diisi oleh empat elektron, kita sebut silikon memiliki konfigurasi 2-8-4.
- Atom *germanium* intinya memiliki 32 proton, memiliki empat pita orbit, dengan konfigurasi elektron 2 – 8 – 18 – 4.
- Agar atom silikon menjadi tipe *semikonduktor tipe N* harus di doping, yaitu menambahkan suatu atom yang memiliki *lima atom valensi (pentavalent)*.
- Atom pentavalent disebut **atom donor**, yaitu *arsen, antimon dan posfor*.
- Agar silikon menjadi *semikonduktor tipe P*, Atom silikon memiliki **hole**, dengan cara mendoping atom yang memiliki *tiga elektron (trivalent)*.
- Atom *trivalent* disebut **atom akseptor**, yaitu *aluminium, boron dan gallium*.
- **Semikonduktor tipe-P** yang disambungkan dengan **semikonduktor tipe-N**, selanjutnya daerah dimana **tipe-P** bertemu **tipe-N** disebut **Juntion PN**.

- Dari prinsip junction PN ini menjadi dasar bagi pembuatan komponen semikonduktor seperti, Diode, Transistor, *thyristor*, GTO.
- Diode memiliki dua kaki, yaitu Anoda dan Katoda, hanya dapat mengalirkan arus satu arah saja, yaitu dari anode ke katoda.
- Aplikasi Diode dipakai sebagai penyearah arus AC menjadi DC.
- Diode zener dipakai untuk penstabil tegangan atau penstabil arus.
- Transistor memiliki tiga kaki, yaitu emitor, basis dan kolektor.
- Jenis Transistor dikenal bipolar Transistor tipe NPN dan PNP, unipolar Transistor IGBT, uni junction Transistor dan *field effect* Transistor.
- Transistor akan aktif, syaratnya tegangan bias basis-emitor kondisi maju, dan sambungan basis kolektor terbias mundur.
- Karakteristik output Transistor, menggambarkan hubungan tiga parameter, yaitu arus input, arus output, dan tegangan output.
- Karakteristik input Transistor, menyatakan hubungan antara arus input dan arus output saja.
- Garis beban digambarkan pada karakteristik output untuk menentukan titik kerja Transistor.
- Transistor dapat difungsikan sebagai saklar elektronik, saat OFF didaerah Cut-off dan saat saklar ON bekerja didaerah saturasi.
- Penguat amplifier memiliki faktor penguatan, meliputi penguat tegangan, penguat arus dan penguat daya.
- Penguat klas A digunakan untuk menguatkan sinyal audio.
- Penguat klas B digunakan sebagai penguat daya.
- Penguat klas AB dikonfigurasi *push-pull*, dipakai sebagai penguat daya.
- Penguat klas C dipakai sebagai penguat osilator.
- Pelepasan energi panas Transistor, diperlukan sirip pendingin yang dipasang pada casing Transistor.

9.12. Soal-soal

1. Jelaskan pembentukan bahan semikonduktor jenis N, juga pembentukan semikonduktor tipe P.
2. Apa yang dimaksudkan dengan Junction PN, gambarkan skematiknya dan terjadinya arus *forward* dan arus *reverse*.

3. Diode BY127 dipakai untuk penyearah gelombang penuh dari sebuah trafo 220/12 Volt, gambarkan skematik pengawatannya dan gambar gelombang sinus dan gelombang DC nya.
4. Transistor jenis PNP, difungsikan sebagai saklar elektronik. Buatlah gambar skematiknya dan jelaskan cara kerja saklar elektronik.
5. Transistor BC 107, diberikan tegangan sumber $U_B = 12$ V. Membutuhkan tegangan bias $U_{BE} = 0,62$ V dengan arus basis $I_B = 0,3$ mA. Hitunglah a) nilai tahanan bias sendiri R_V dan b) nilai tahanan pembagi tegangan R1 dan R2.
6. Transistor BC 107 difungsikan gerbang NAND, tegangan sinyal 1 $U_1 = 3,4$ V, tegangan LED $U_F = 1,65$ V, arus mengalir pada LED $I_F = 20$ mA, tegangan $U_{BE} = 0,65$ V, dan $B_{min} = 120$, tegangan saturasi $U_{CEsat} = 0,2$ V dan faktor penguatan tegangan $U = 3$. Tentukan besarnya tahanan RC dan RV ?

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
- 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
- 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

Simbol-simbol Gambar Listrik

a. Lambang Huruf Untuk Instrumen Ukur

Lambang Huruf Untuk Instrumen Ukur

No.	Lambang	Keterangan
1	A	ampere
2	V	volt
3	VA	voltampere
4	Var	var
5	W	watt
6	Wh	watt-jam
7	Vah	voltampere-jam
8	varh	var-jam
9	Ω	ohm
10	Hz	hertz
11	h	jam
12	min	menit
13	s	detik
14	n	jumlah putaran premenit
15	$\cos\phi$	faktor daya
16	ϕ	sudut fase
17	λ	panjang gelombang
18	f	frekuensi
19	t	waktu
20	t°	suhu
21	z	impedans

Awal Pada Satuan SI



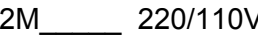


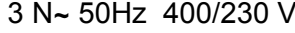
No.	Lambang	Keterangan
1	T	tera = 10^{12}
2	G	giga = 10^9
3	M	mega = 10^6
4	K	kilo = 10^3
5	m	mili = 10^3
6	μ	mikro = 10^6
7	n	nano = 10^9
8	p	piko = 10^{12}



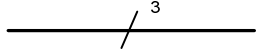
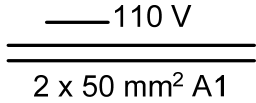
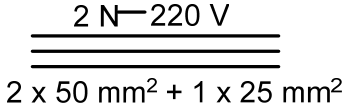
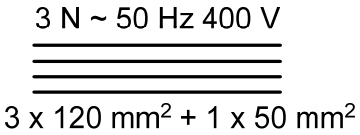
Contoh Penggunaan Awalan Pada Satuan SI


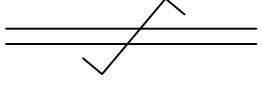
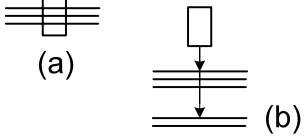
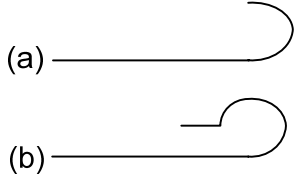
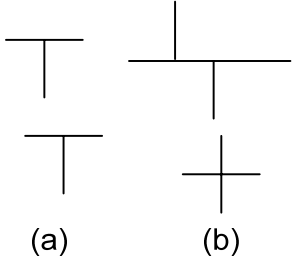
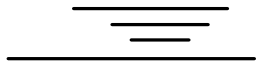


No.	Lambang	Keterangan
1	TΩ	1 teraohm = 10^{12} ohm
2	GW	1 gigawatt = 10^9 W
3	MW	1 megawatt = 10^6 W
4	kW	1 kilowatt = 10^3 W
5	mV	1 milivolt = 10^3 V
6	μA	1 mikroampere = 10^6 A
7	nF	1 nanofarad = 10^9 farad
8	pF	1 pikofarad = 10^{12} farad

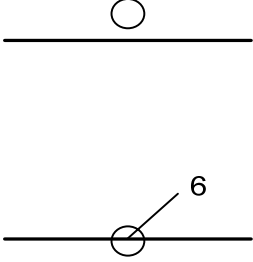
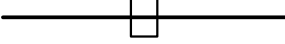


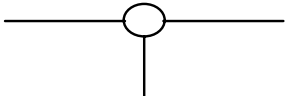
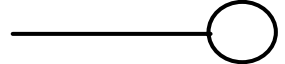
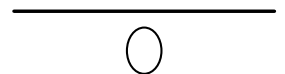
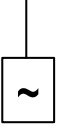
b. Lambang Gambar Untuk Diagram

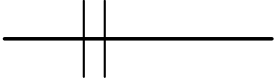
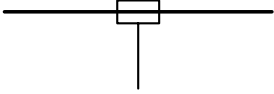
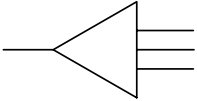
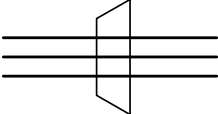
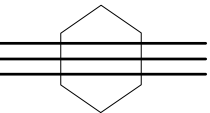
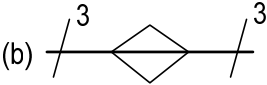
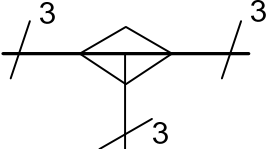
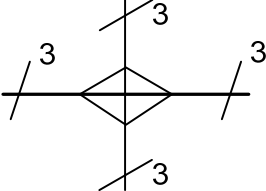
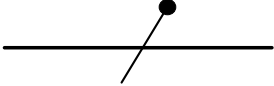
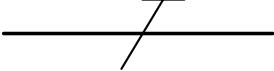
Lambang Gambar Untuk Diagram Saluran Arus Kuat

No	Lambang	keterangan
1	 atau 	Arus searah Catatan : Tegangan dapat ditunjukkan di sebelah kanan lambang dan jenis sistem di sebelah kiri.
2		Contoh : Arus searah, tiga penghantar termasuk kawat tengah, 220V (110V antara setiap penghantar sisi dan kawat tengah). 2 M dapat diganti dengan 2 + M.
3		Arus bolak-balik Catatan : a) Nilai frekuensi dapat ditambahkan di sebelah kanan lambang. b) Tegangan dapat juga ditunjukkan di sebelah kanan lambang. c) Jumlah fase dan adanya netral dapat ditunjukkan sebelah kiri lambang.
4		Contoh : Arus bolak balik, 50 Hz.
5		Arus bolak balik, fase tiga, dengan netral, 50Hz, 400V (230V tegangan antara fase dengan netral) 3N dapat diganti dengan 3 + N.

No	Lambang	keterangan
6	3 N~ 50Hz / TN-S	Arus bolak-balik, fase tiga, 50Hz sistem mempunyai satu titik dibumikan langsung dan netral serta penghantar pengaman terpisah sepanjang jaringan.
7		Penghantar Kelompok Penghantar Saluran Kabel Sirkuit
8		Catatan : a) Jika sebuah garis melambangkan sekelompok penghantar, maka jumlah penghantarnya ditunjukkan dengan menambah garis-garis pendek atau dengan satu garis pendek dan sebuah bilangan. Contoh : Tiga Penghantar (No.8 dan No.9)
9		b) Penjelasan tambahan dapat ditunjukkan sebagai berikut : 1) di atas garis: jenis arus, sistem distribusi, frekuensi dan tegangan. 2) Di bawah garis: jumlah penghantar sirkuit diikuti dengan tanda kali dan luas penampang setiap penghantar.
10		Contoh : Sirkuit arus searah, 110V, dua penghantar aluminium ver penampang 120 mm ² .
11		Sirkuit arus searah, 220V (antara penghantar sisi dan kawat tengah 110V), dua penghantar sisi berpenampang 50 mm ² dan kawat tengah 25 mm ² .
12		Sirkuit fase tiga, 50Hz, 400 V, tiga penghantar berpenampang 120 mm ² , dengan netral berpenampang 50 mm ² .

No	Lambang	keterangan
13		Penghantar fleksibel
14		Penghantar pilin diperlihatkan dua penghantar.
15		Penghantar dalam suatu kabel : a) Tiga penghantar dalam suatu kabel. b) Dua dari lima penghantar dalam suatu kabel.
16		a) Ujung penghantar atau kabel tidak dihubungkan. b) Ujung penghantar atau kabel tidak dihubungkan dan diisolasi khusus.
17		a) Percabangan penghantar. b) Dua percabangan penghantar
18		Saluran bawah tanah
19		Saluran dalam laut.
20		Saluran udara.

No	Lambang	keterangan
21		<p>Saluran dalam jalur atau pipa. Catatan : Jumlah pipa, luas penampang dan keterangan lainnya dapat diperlihatkan di atas saluran yang menggambarkan lintas pipa. Contoh : Saluran dalam jalur dengan enam jurusan</p>
22		Saluran masuk orang (manhole)
23		Saluran dengan titik sambung/hubung tertanam.
24		Saluran dengan penahan gas atau minyak
25		Titik sadap pada saluran sebagai penyulang konsumen.
26		Sadap sistem
27		Sadapan hubung seri
28		Unit daya saluran, yang diperlihatkan jenis arus bolak balik.

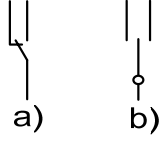

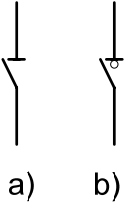


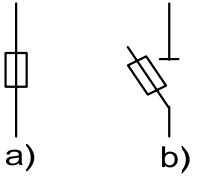
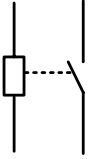
No	Lambang	keterangan
29		Penahan daya pada penyulang distribusi.
30		Titik injeksi penyulang daya.
31	<p>(a) </p> <p>(b) </p>	Kotak ujung kabel; mof ujung a) satu kabel berinti tiga b) tiga kabel berinti satu
32	<p>(a) </p> <p>(b) </p>	Kotak sambung lurus, mof sambung lurus, tiga penghantar. a) Dinyatakan dengan garis ganda. b) Dinyatakan dengan garis tunggal.
33		Kotak sambung cabang tiga.
34		Kotak sambung cabang empat.
35		Penghantar netral
36		Penghantar pengaman

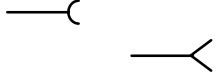
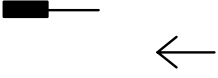
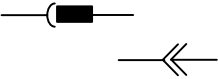

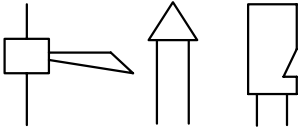
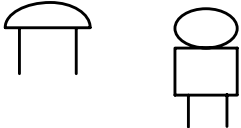

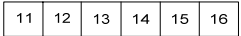

No	Lambang	keterangan
37		<p>Penghantar pengaman dan penghantar netral di gabung</p> <p>Contoh: Saluran fase tiga dengan penghantar pengaman dan penghantar netral</p>


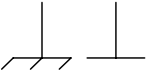


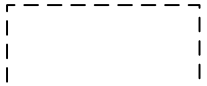
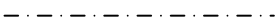

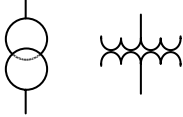
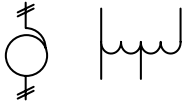
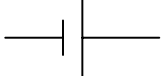
c. Lambang Gambar Untuk Diagram Instalasi Pusat dan Gardu Listrik

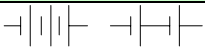
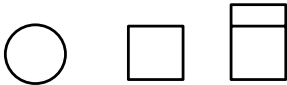


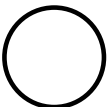



No.	Lambang	Keterangan
1	<p>a) b) c)</p>	<p>a) Sakelar penghubung b) Sakelar pemutus c) Sakelar berselungkup; saklar bersekat pelindung</p>
2	<p>a) b)</p>	<p>Sakelar dengan pemutusan :</p> <p>a) Secara termis b) Secara elektromagnetis</p>
3	<p>a) b)</p>	<p>Sakelar dengan pelayanan</p> <p>a) Relai termal b) Relai elektromagnetik</p>
4	<p>a) b)</p>	<p>a) Sakelar, lambang umum b) Sakelar kutub tiga</p>

No.	Lambang	Keterangan
5		a) Sakelar pengubah aliran


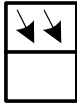


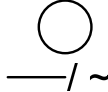
No.	Lambang	Keterangan
	 <p>a) b)</p>	b) Sakelar pengubah aliran dengan kedudukan netral
6		Pemutus sirkit / CB (Circuit Breaker)
7	 <p>a) b)</p>	Pemisah DS (Disconnecting Switch)
8		Pemutus daya LBS (Load Break Switch)
9		NFB (No Fuse Beaker) CB yang tak berwujud fuse
10	 <p>a) b)</p>	a) Pengaman lebur b) Sakelar pemisah dengan pengaman lebur
11		Pengaman lebur dengan sirkit alarm terpisah
12		Kotak kontak

No.	Lambang	Keterangan
		
13		Tusuk Kontak
14		Kontak tusuk
15	 <p data-bbox="492 751 646 785">a) b)</p>	<p>a) Lampu; lambang umum lampu isyarat</p> <p>b) Lampu kedip; indikator</p>
16	 <p data-bbox="435 1031 699 1064">a) b) c)</p>	<p>a) Klakson</p> <p>b) Sirene</p> <p>c) Peluit yang bekerja secara listrik</p>
17		Bel
18		Pendengung
19		Jalur terminal; blok terminal
20		Perangkat hubung bagi dan kendali
21		Bumi; pembumian

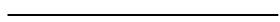
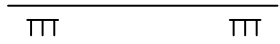
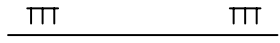

No.	Lambang	Keterangan
		
22		Hubungan rangka atau badan
23		Pembumian rangka
24		Penyekatan atau dielektrik
25		Sekat pelindung; selungkup Catatan - Penjelasan macam selungkup dapat ditambahkan dengan catatan atau dengan lambang kimiawi logam
26		Garis batas; garis pemisah; sumbu
27	 <p>a) b)</p>	a) Generator - G b) Motor - M
28		Transformator
29		Auto transformator satu fase
30		Sel atau akumulator

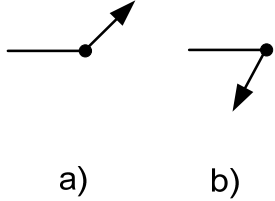



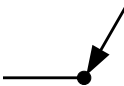

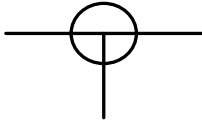
No.	Lambang	Keterangan
31		Baterai sel atau baterai akumulator
32	  a) b) c)	Lambang umum dari : a) Instrumen penunjuk langsung atau pesawat ukur b) Instrumen pencatat c) Instrumen penjumlah Contoh : a) Voltmeter b) Wattmeter c) Wh-meter d) (lihat Bagian 2.8.1)
33		Pusat tenaga listrik
34		Gardu listrik
35		Pusat listrik tenaga air
36		Pusat listrik tenaga termal (batubara, minyak bumi, gas, dsb)
37		Pusat tenaga nuklir

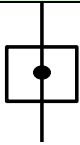
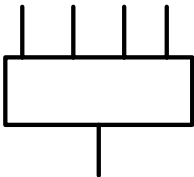
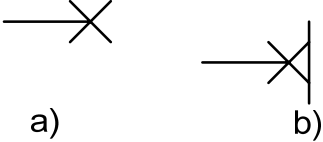
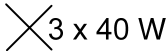

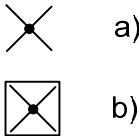
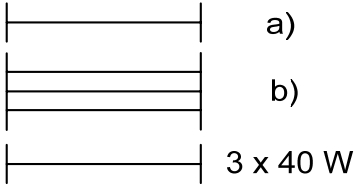
No.	Lambang	Keterangan
-----	---------	------------


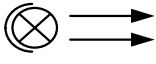
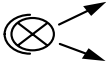
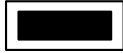
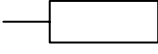

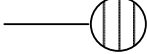
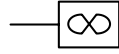

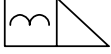

38		Pusat listrik panas bumi
39		Pusat listrik tenaga matahari
40		Pusat listrik tenaga angin
41		Pusat listrik plasma MHD (<i>magneto-hydrodynamic</i>)
42		Gardu listrik konversi arus searah ke a.b.b


d. Lambang Gambar untuk Diagram Instalasi Bangunan

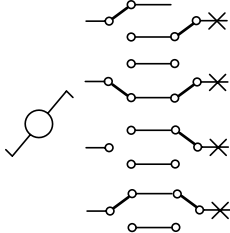
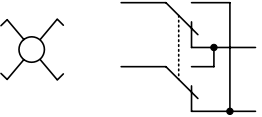




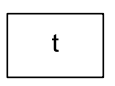
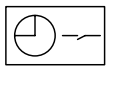

No.	Lambang	Keterangan
1		Pengawatan (lambang) Catatan - Untuk maksud tertentu, "garis" dapat diganti dengan "garis putus-putus"
2		Pengawatan tampak (di permukaan)
3		Pengawatan tidak tampak (di bawah permukaan)
4		Pengawatan dalam pipa


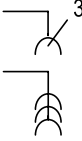






No.	Lambang	Keterangan
		Catatan-Jenis pipa dapat dinyatakan, jika perlu
5	 <p>a) b)</p>	a) Pengawatan menuju keatas b) Pengawatan menuju ke bawah Catatan: Lambang 5 & 6 1) pernyataan "ke atas" dan "ke bawah" hanya berlaku jika gambar dibaca dalam posisi yang benar 2) Panah pada garis miring menyatakan arah aliran daya 3) Pengawatan berpangkal pada lingkaran atau titik hitam
6		Pengawatan melalui ruangan secara tegak lurus
7		Kotak, lambang umum
8		Saluran dari bawah
9		Saluran dari atas
10		Kotak sambung atau kotak hubung
11		Kotak cabang tiga
12		Kotak-saluran masuk utama

No.	Lambang	Keterangan
		
13		Perangkat hubung bagi dan kendali dengan lima pipa
14	 <p>a) b)</p>	<p>a) Lampu; titik sadap lampu dengan pengawatannya</p> <p>b) Lampu dipasang tetap pada dinding dengan pengawatannya</p>
15		Kelompok dari tiga buah lampu 40 W
16		Perangkat lampu dengan sakelar sendiri
17	 <p>a) b)</p>	<p>a) Lampu darurat</p> <p>b) Armatur penerangan darurat</p>
18	 <p>a) b)</p> <p>3 x 40 W</p>	<p>a) Lampu floresen, lambang umum</p> <p>b) Kelompok dari tiga buah lampu floresen 40 W</p>

No.	Lambang	Keterangan
19		Proyektor, lambang umum
20		Lampu sorot
21		Lampu sebar
22		Lengkapan tambahan untuk lampu luah Catatan : Hanya digunakan jika perlengkapan tambahan tidak termasuk dalam armatur penerangan
23		Peranti listrik Catatan-jika perlu untuk lebih jelas dapat diberikan nama
24	 	Alat pemanas listrik Pemanas air listrik
25		Kipas dengan pengawatannya
26		Jam hadir (temi clock)
27		Kunci listrik
28		Instrumen interkom

No.	Lambang	Keterangan	
29		Sakelar, lambang umum	
30		Sakelar dengan lampu pandu	
31		Sakelar pembatas waktu, kutub tunggal	
32	 a) b) c)	Sakelar satu arah a) Kutub tunggal b) Kutub dua c) Kutub tiga	
33	 a)	 b)	a) Sakelar tarik kutub tunggal b) Fungsi dari sakelar 30 a) dan 31a)
34	  a) b)	a) Sakelar dengan posisi ganda untuk bermacam-macam tingkat penerangan b) Fungsi dari sakelar a)	
35	 a)	 b)	a) Sakelar kelompok b) Fungsi dari saklar

No.	Lambang	Keterangan
36	 <p>a) b)</p>	<p>a) Sakelar dua arah b) Fungsi dari dua buah sakelar a) yang digabung</p>
37		<p>a) Sakelar Silang b) Fungsi dari sakelar a)</p>
38		Sakelar dim
39		Tombol tekan
40		Tombol tekan dengan lampu indikator
41		Tombol tekan dengan pencapaian terbatas (tertutup gelas, dsb)
42		Perlengkapan pembatas waktu
43		Sakelar waktu
44		Sakelar berkunci gawai sistem jaga

No.	Lambang	Keterangan
45		Kotak kontak
46		Kotak kontak ganda, misalnya untuk 3 buah tusuk kontak
47		Kotak kontak dengan kontak pengaman, misalnya kontak pembumian
48		Kotak kontak bertutup
49		Kotak kontak dengan sakelar tunggal
50		Kotak kontak dengan sakelar interlok
51		Kotak kontak dengan transformator pemisah misalnya untuk alat cukur
52		Kotak kontak untuk peranti elektronik misalnya untuk telepon, teleks dan sebagainya.

e. Nomenklatur Kabel

Code	Arti	Contoh
A	Selubung atau lapisan perlindungan luar bahan serat (misalnya goni/jute)	NKRA, NAKBA
AA	Selubung atau lapisan perlindungan luar dua lapis dari bahan serat (jute)	NAHKZAA, NKZAA

Code	Arti	Contoh
B	Perisai dari pita baja ganda	NYBY, NEKBA
	Selubung dari timah hitam	NYBUY
C	Penghantar konsentris tembaga	NYCY
	Selubung penghantar dibawah selubung luar	NHSSHCou
CE	Penghantar konsentris pada masing-masing inti, dalam hal kabel berinti banyak	NYCEY
CW	Penghantar konsentris pada masing-masing inti, yang dipasang secara berlawanan arah untuk kabel tegangan nominal 0,6/1 kV (1,2 kV)	NYCWY
D	Spiral anti tekanan	
	Pita penguat non-magnetis	
E	Kabel dengan masing-masing intinya berselubung logam	NEKBA
F	Perisai Kawat Baja pipih	NYFGbY
G	Spiral dari kawat baja pipih	NYKRG
G	Isolasi karet/EPR	NGA
	Selubung isolasi dari karet	NGG
2G	Isolasi karet butil dengan daya tahan lebih tinggi terhadap panas	N2GAU
Gb	Spiral pita baja (mengikuti F atau R)	NYRGbY, N2XSEYFGbY
H	Lapisan penghantar diatas isolasi, untuk membatasi medan listrik	NHKBA, NHKRA
K	Selubung timbal	NKBA, NAKBY
KL	Selubung alumunium	NKLY, NAKLY
KWK	Selubung dari pita tembaga yang terpasang dan dilas memanjang	NKWKZY

Code	Arti	Contoh
L	Perisai dari jalinan-kawat-baja-bulat (braid)	NTRLA
MK	Kabel dengan selubung timah hitam untuk pemasngan dalam kapal laut	MK
N	Kabel standar penghantar tembaga	NYA, NY Y
NA	Kabel standar penghantar alumunium	NAYFGbY, NAKBA
NF	Kabel udara berisolasi dipilin	NF2X, NFAY
NI	Kabel bertekanan gas	NIKLDEY
NO	Kabel bertekanan minyak	NOKDEFOA
NP	Kabel dalam pipa bertekanan gas	NPKDvFSt2Y
O	Perisai-terbuka dari kawat-kawat baja	NKROA
	Kabel berpenampang oval	NYM-O
	Kabel tanpa inti berwarna hijau kuning	NYFGbY-O
Q	Jalinan (brid) dari kawat-kawat baja berselubung-seng	NYKQ
R	Perisai dari kawat-kawat baja bulat	NYRGbY
RR	Dua lapisan perisai dari kawat-kawat baja bulat	NKRRGbY
S	- perisai dari tembaga - pelindung listrik dari pita tembaga yang dibulatkan pada semua inti kabel bersama-sama	N2XSY
SE	Pelindung listrik dari pita tembaga yang menyelubungi masing-masing inti kabel	N2XSEY
T	Tali penggantung dari baja	
2X	Selubung isolasi dari XLPE	NF2X, N2XSY
Y	Selubung isolasi dari PVC	NYA
2Y	Selubung isolasi dari polythylene	

Code	Arti	Contoh
Z	Perisai dari kawat-kawat baja yang masing-masing mempunyai bentuk "Z"	NKZAA
Z	Penghantar ber isolasi dengan beban-tarik	NYMZ
	Selubung logam dari pita seng	NYRUZY

DAFTAR GAMBAR

Bab 1. Pengetahuan Listrik Dasar

1.1	Sifat muatan listrik.....	1-2
1.2	Fenomena elektrostatik.....	1-2
1.3	Batang plastik yang bermuatan sama saling tolak menolak	1-2
1.4	Batang kaca dan batang plastik yang berbeda muatannya saling tarik menarik.....	1-2
1.5	Generator elektrostatik Van de Graff	1-3
1.6	Model visual tegangan	1-4
1.7	Sumber tegangan DC Power supply	1-5
1.8	Simbol dan fisik Voltmeter.....	1-6
1.9a	Mengukur tegangan	1-6
1.9b	Voltmeter diujung-ujung beban	1-7
1.10	Arus listrik mengalir ke beban	1-7
1.11	Atom terdiri atas proton dan elektron	1-8
1.12	Aliran listrik merupakan aliran elektron	1-8
1.13	Ampermeter	1-9
1.14	Mengukur arus dengan Ampermeter	1-9
1.15	Kerapatan arus pada penghantar	1-9
1.16	Kurva rapat arus fungsi luas penampang	1-10
1.17	Kumpulan atom membentuk material	1-11
1.18	Kurva konduktansi fungsi tahanan R	1-11
1.19	Rangkaian hukum Ohm	1-12
1.20a	Kurva arus fungsi tegangan	1-12
1.20b	Kurva arus fungsi tahanan	1-13
1.22	Seri Resistor dengan sumber DC	1-16
1.23	Paralel beban dengan sumber DC.....	1-17
1.24	Aplikasi hukum Kirchhoff tegangan.....	1-18
1.25	Rangkaian pembagi tegangan	1-19
1.26	Hukum Kirchoff-arus	1-19
1.27	Pengukuran tahanan nilai R kecil.....	1-21
1.28	Pengukuran tahanan nilai R besar.....	1-21
1.29	Pengukuran tahanan dalam baterai	1-21
1.30	Karakteristik tegangan fungsi arus.....	1-22
1.31	Karakteristik daya fungsi arus	1-22
1.32	Rangkaian ekuivalen sumber tegangan.....	1-23
1.33	Rangkaian ekuivalen sumber arus.....	1-23
1.34	Karakteristik daya terhadap perubahan tahanan	1-23
1.35	Rangkaian tahanan a) sebenarnya b) disederhanakan c) hasil akhir	1-24
1.36	Rangkaian Tahanan disederhanakan	1-26
1.37	Hubungan Segitiga dan hub bintang.....	1-27
1-38	Baterai terhubung seri dengan Beban Ra.....	1-29

Bab 2. Kemagnetan dan Elektromagnetis

2.1	Sifat magnet saling tarik menarik, tolak-menolak	2-2
2.2	Kutub utara-selatan magnet permanet	2-2
2.3	Daerah netral pada magnet permanet.....	2-2
2.4	Perbedaan besi biasa dan magnet permanen.....	2-3
2.5	Pola garis medan magnet permanen	2-3
2.6	Garis medan magnet utara-selatan	2-3
2.7	Pola garis medan magnet tolak menolak dan tarik menarik.....	2-4
2.8	Garis gaya magnet pada permukaan rata dan silinder.....	2-4
2.9	Prinsip elektromagnetik	2-4
2.10	Garis magnet membentuk selubung seputar kawat berarus	2-5
2.11	Prinsip putaran sekrup.....	2-5
2.12	Elektromagnetik sekeliling kawat.....	2-5
2.13	Kawat melingkar berarus membentuk kutub magnet	2-6
2.14	Belitan kawat membentuk kutub magnet.....	2-6
2.15	Hukum tangan kanan	2-6
2.16	Belitan kawat berinti udara	2-7
2.17	Daerah pengaruh medan magnet.....	2-7
2.18	Medan magnet pada toroida.....	2-8
2.19	Kerapatan fluk magnet	2-9
2.20	Bahan ferromagneik	2-10
2.21	Kurva BH inti udara	2-10
2.22	Kurva BH ferromagnetik	2-11
2.23	Kurva magnetisasi	2-12
2.24	Kurva histerisis	2-13
2.25	Histerisis magnet permanen-ferromagnetik.....	2-13
2.26	Rangkaian magnetik.....	2-14
2.27	Prinsip dasar motor DC	2-16
2.28	Prinsip timbulnya torsi motor DC	2-16
2.29	Torsi F motor DC	2-17
2.30	Prinsip tangan kiri Flemming	2-17
2.31	Model uji gaya tolak.....	2-18
2.32	Prinsip alat ukur listrik.....	2-18
2.33	Prinsip torsi pada kawat berarus	2-19
2.34	Prinsip generator	2-19
2.35	Prinsip hukum Lorentz.....	2-20
2.36	Prinsip tangan kanan Flemming	2-20
2.37	Interaksi elektromagnetik.....	2-20
2.38	Prinsip induksi elektromagnetik	2-21
2.39	Gelombang belitan primer dan belitan sekunder.....	2-21
2.40	Induksi pada cincin	2-22

Bab 3. Dasar Listrik Arus Bolak Balik

3.1	Prinsip pembangkitan Listrik AC	3-1
3.2	Generator AC dua kutub	3-1
3.3	Generator AC empat kutub	3-1
3.4	Prinsip generator AC.....	3-1
3.5	Bentuk gelombang AC	3-2
3.6	Rangkaian pembangkit gelombang pulsa	3-2
3.7	Satu siklus.....	3-4
3.8a	Pembentukan gelombang sinusoida	3-5
3.8b	Proyeksi lingkaran ke garis kuadran.	3-5
3.9	Panjang gelombang	3-6
3.10	Harga sesaat gelombang sinusoida.....	3-7
3.11	Prinsip harga efektif gelombang sinusoida	3-10
3.12	Nilai puncak, nilai efektif gelombang sinusoida.....	3-10
3.13	Rangkaian resistor listrik AC	3-12
3.14	Kapasitor pada sumber listrik AC.....	3-13
3.15	Gelombang tegangan dan arus beban Kapasitor	3-14
3.16	Nilai kapasitansi fungsi frekuensi	3-14
3.17	Nilai induktansi fungsi frekuensi.....	3-15
3.18	Bentuk gelombang tegangan dan arus beban Induktor	3-15
3.19	3-16
3.22	Resistor seri Induktor listrik AC	3-21
3.23	Seri Resistor dengan Induktor.....	3-21
3.24	Vektor tegangan dengan skala	3-22
3.25	Segitiga tegangan Resistor seri Induktor	3-22
3.26	Bentuk gelombang tegangan beban Resistor dan Induktor	3-23
3.27	Segitiga daya	3-23
3.28	Segitiga impedansi.....	3-24
3.29	Resistor parallel Induktor	3-25
3.30	Segitiga arus	3-25
3.31	Segitiga konduktansi, suseptansi dan admitansi	3-25
3.32	Bentuk arus beban Resistor parallel Induktor	3-26
3.33	Segitiga Daya Aktif, Reaktif dan Semu	3-26
3.34	Pengukuran daya dengan wattmeter	3-27
3.35	Daya diklep beban resistif	3-27
3.36	Daya aktif beban impedansi.....	3-28
3.37	Daya aktif beban induktif.....	3-29
3.38	Pengukuran arus, tegangan, dan wattmeter	3-29
3.39	Rangkaian R Seri dan Segitiga Daya.....	3-30
3.40	Rangkaian R Paralel dan Segitiga Daya.....	3-30
3.41	Diagram Faktor Kerja	3-31
3.42	Resistor seri kapasitor.....	3-34
3.43	Rangkaian Resistor paralel kapasitor	3-34
3.44	Segitiga Admitansi	3-35
3.45	Segitiga Daya.....	3-35
3.46	Rangkaian Seri R, L, C dan Diagram Vektor Tegangan	3-36
3.47	Segitiga Impedansi Induktif dan Kapasitif	3-37

DAFTAR GAMBAR

3.48	Rangkaian Paralel R, L, C dan diagram vektor arus	3-38
3.49	Vektor Arus dan Vektor Konduktansi.....	3-40
3.50	Rangkaian Resonansi LC.....	3-40
3.51	Rangkaian Resonansi LC.....	3-41
3.52	Vektor Diagram Arus	3-42
3.53	Diagram Arus Saat Resonansi	3-42
3.54	Rangkaian Resonansi C, L.....	3-43
3.55	Penyederhanaan rangkaian	3-43
3.56	Diagram Arus Resonansi.....	3-44
3.57	Prinsip Tangan Kanan Flemming	3-45
3.58	Pembangkitan Tegangan Induksi	3-45
3.59	Prinsip Generator 3 Phasa	3-46
3.60	Rangkaian pembangkit, pengukuran dan beban bintang-segitiga ...	3-46
3.61	Tegangan Bintang dan segitiga.....	3-47
3.62	Tegangan fasa netral; tegangan fasa ke fasa	3-47
3.63	Pengukur Tegangan fasa-fasa, tegangan fasa-netral	3-48
3.64	Beban Bintang.....	3-48
3.65	Gelombang Sinusoida 3 fasa	3-49
3.66	Diagram Vektor Tegangan dan Arus 3 fasa	3-49
3.67	Vektor Tegangan dan Arus beban Resistif tidak seimbang.....	3-49
3.68	Vektor Tegangan fasa-netral, beban tidak seimbang.....	3-50
3.69	Hubungan Segitiga	3-50
3.70	Vektor Arus Segitiga.....	3-50
3.71	Vektor Arus fasa dengan arus jala-jala.....	3-51
3.72	Terminal Motor Hubung Singkat.....	3-51
3.73	Terminal Motor Hubung Singkat.....	3-51
3.74	Beban Bintang dan Segitiga	3-52
3.75	Prinsip Wattmeter	3-53
3.76	Pengukuran Daya dengan satu wattmeter	3-54
3.77	Pengukuran Daya dengan Trafo Arus (CT).....	3-54
3.78	Pengukuran Daya dengan dua wattmeter	3-54
3.79	Lampu TL dengan kompensasi kapasitor.....	3-55
3.80	Segitiga Daya Kompensasi	3-55
3.81	Aliran Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Kompensasi.....	3-56
3.82	Rangkaian Kompensasi Paralel dan Kompensasi Seri	3-56
3.83	Kompensasi Grup.....	3-57
3.84	Kompensasi Sentral	3-57
3.85	Kompensasi Parelel & Kompensasi Seri Beban Satu Phasa	3-58

Bab 4. Transformator

4.1	Peta Jenis-jenis Mesin Listrik	4-2
4.2	Prinsip kerja Transformator Satu Phasa.....	4-3
4.3	Nameplate Trafo Satu Phasa	4-4
4.4	Trafo satu fasa jenis Core	4-4
4.5	Bentuk Tegangan Input, Arus Magnetisasi dan Tegangan Output Trafo	4-6
4.6	Vektor Arus Magnetisasi.....	4-6

4.7	Belitan primer dan sekunder Trafo Satu Phasa	4-7
4.8	Bentuk Inti Trafo tipe E-I,L, M dan tipe UI	4-7
4.9	Inti Trafo tipe EI satu Phasa.....	4-8
4.10	Susunan belitan primer dan sekunder	4-8
4.11	Inti Trafo jenis pelat digulung	4-8
4.12	Rangkaian ekivalen Trafo	4-9
4.13	Grafik tegangan sekunder fungsi arus beban	4-9
4.14	Vektor tegangan a) beban induktif b) beban kapasitif.....	4-9
4.15	Pengawatan Uji Trafo a) Uji tanpa beban b) Uji hubung singkat ..	4-10
4.16	Rangkaian pengganti Trafo tanpa beban.....	4-10
4.17	Vektor tegangan dan arus pada Uji tanpa beban.....	4-11
4.18	Vektor tegangan dan arus pada Uji hubung singkat	4-11
4.19	Rangkaian pengganti Trafo sekunder dihubung singkat.....	4-12
4.20	Rangkaian pengganti Trafo dengan komponen resistansi dan induktansi	4-12
4.21	Grafik Arus Hubung Singkat Trafo Grafik Arus Hubung Singkat Trafo.....	4-12
4.22	Grafik efisiensi Transformator	4-13
4.23	Rangkaian listrik Autotransformator	4-14
4.24	Autotrafo dengan bentuk inti toroida	4-14
4.25	Prinsip Transformator khusus untuk Welding	4-15
4.26	Rangkaian Trafo Welding.....	4-15
4.27	Grafik tegangan fungsi arus, pada Trafo Welding.....	4-15
4.28	Bentuk fisik Trafo Arus (CT)	4-16
4.29	Pengukuran dengan trafo tegangan (PT).....	4-16
4.30	Name plate Trafo tegangan	4-16
4.31	Pengukuran dengan Trafo Arus	4-17
4.32	Nameplate Trafo Arus	4-17
4.33	Keterangan nameplate Trafo Arus	4-17
4.34	Aplikasi Trafo arus sebagai meter potable	4-18
4.35	Bentuk fisik Transformator tiga phasa.....	4-18
4.36	Belitan primer dan sekunder Trafo tiga phasa	4-19
4.37	Bentuk inti Trafo 3 Phasa	4-20
4.38	Trafo tiga phasa belitan primer dan sekunder hubungan Bintang ...	4-20
4.39	Trafo tiga phasa belitan primer dan sekunder hubungan Segitiga...	4-20
4.40	Vektor kelompok Jam pada Trafo 3 phasa	4-21
4.41	Relay Buchholz	4-21
4.42	Trafo 3 phasa hubungan Segitiga terbuka (hubungan VV).....	4-22
4.43	Trafo tiga phasa dengan belitan primer hubungan Segitiga, belitan sekunder hubungan Bintang	4-22
4.44	Pemasangan Trafo Outdoor.....	4-23
4.45	Trafo daya (Yyn6 dan Dyn5) dengan beban asimetris.....	4-23
4.46	Trafo daya Yzn5 dan bentuk vektor tegangan sekundernya.....	4-24
4.47	Namplate Trafo daya tiga phasa.	4-24
4.48	Pengaturan Tapping terminal Trafo Distribusi.....	4-24
4.49	Paralel Dua Trafo satu phasa	4-25
4.50	Paralel Dua Trafo Tiga phasa	4-26

Bab 5. Motor Listrik Arus Bolak Balik	
5.1	Pengukuran kecepatan dengan Tachometer 5-2
5.2	Torsi Motor 5-2
5.3	Pengujian Motor Listrik di Laboratorium 5-3
5.4	Prinsip kerja motor induksi 5-4
5.5	Belitan stator motor induksi 2 kutub 5-4
5.6	Bentuk gelombang sinusoida dan timbulnya medan putar pada stator motor induksi 5-5
5.7	Bentuk rotor sangkar 5-6
5.8	Fisik motor induksi 5-7
5.9	Rugi-rugi daya motor induksi..... 5-7
5.10	Torsi motor pada rotor dan torsi pada poros 5-8
5.11	Nameplate motor Induksi..... 5-8
5.12	Putaran motor dilihat dari sisi poros 5-9
5.13	Karakteristik Torsi motor induksi 5-9
5.14	Karakteristik putaran fungsi torsi beban 5-10
5.15	Karakteristik parameter efisiensi, putaran, faktor kerja dan arus beban..... 5-10
5.16	Pengawatan Motor Induksi Pengasutan Langsung (DOL) 5-11
5.17	Karakteristik Torsi, Pengasutan DOL 5-11
5.18	Karakteristik Arus fungsi putaran, Pengasutan DOL 5-12
5.19	Pengawatan Pengasutan Resistor Stator..... 5-12
5.20	Karakteristik Torsi Pengasutan Resistor Stator..... 5-12
5.21	Pengawatan Pengasutan Tegangan dengan Autotransformato..... 5-13
5.22	Pengawatan Pengasutan Bintang-Segitiga 5-14
5.23	Karakteristik Arus Pengasutan Bintang-Segitiga 5-14
5.24	Karakteristik Torsi Pengasutan Bintang-Segitiga 5-15
5.25	Pengawatan Pengasutan Soft Starting..... 5-15
5.26	Karakteristik Arus Pengasutan Soft Starting 5-15
5.27	Karakteristik Torsi Pengasutan Soft Starting..... 5-16
5.28	Bentuk fisik Motor Induksi Rotor Slipring..... 5-16
5.29	Belitan Stator dan Rotor Motor Slipring berikut Resistor pada Rangkaian Rotor..... 5-17
5.30	Nameplate Motor Induksi Jenis Slipring 5-17
5.31	Karakteristik torsi Motor Slipring 5-17
5.32	Pengawatan Motor Slipring dengan tiga tahapan Resistor 5-18
5.33	Karakteristik Torsi dengan tiga tahapan 5-18
5.34	Rangkaian Belitan Motor dua kecepatan (Dahlander)..... 5-19
5.35	Hubungan Belitan Motor Dahlander 5-19
5.36	Hubungan belitan Segitiga Dahlander berkutub empat ($p=2$) 5-20
5.37	Hubungan belitan Bintang Ganda, berkutub dua ($p=1$) 5-20
5.38	Prinsip Medan Magnet Utama dan Medan magnet Bantu Motor Satu Phasa 5-20
5.39	Gelombang arus medan bantu dan arus medan utama 5-21
5.40	Medan magnet pada Stator Motor satu Phasa..... 5-21
5.41	Rotor sangkar 5-21
5.42	Bentuk fisik Motor Kapasitor..... 5-22

5.43	Pengawatan Motor Kapasitor Pembalikan Putaran	5-22
5.44	Pengawatan dengan Dua Kapasitor	5-23
5.45	Karakteristik Torsi Motor kapasitor.....	5-23
5.46	Bentuk fisik Motor Shaded Pole	5-23
5.47	Penampang Motor Shaded Pole	5-24
5.48	Komutator pada Motor Universal	5-24
5.49	Stator dan Rotor Motor Universal.....	5-24
5.50	Motor tiga Phasa disuply tegangan satu Phasa.....	5-25

Bab 6. Mesin Listrik Arus Searah

6.1	Stator Mesin DC dan Medan Magnet Utama dan Medan Magnet Bantu.....	6-2
6.2	Fisik Mesin DC.....	6-2
6.3	Penampang Komutator	6-3
6.4	Pemegang Sikat Arang	6-3
6.5	Kaidah Tangan Kanan	6-4
6.6	Model Prinsip Kerja Generator DC.....	6-4
6.7	Pembangkitan Tegangan DC pada Angker	6-5
6.8	a) Bentuk tegangan AC dan Slipring; dan b) Tegangan DC pada Komutator.....	6-5
6.9	Prinsip pembangkitan tegangan DC	6-6
6.10	Tegangan DC pada Komutator	6-6
6.11	a) Rangkaian Generator DC Penguat terpisah dan b) Penguat magnet permanen	6-7
6.12	Karakteristik tegangan Generator Penguat Terpisah.....	6-7
6.13	Rangkaian Generator Belitan Shunt	6-8
6.14	Karakteristik tegangan generator Shunt.....	6-8
6.15	Karakteristik tegangan generator Shunt.....	6-8
6.16	Karakteristik Tegangan generator kompond	6-9
6.17	Bentuk Fisik Generator DC	6-9
6.18	Garis Netral Reaksi Jangkar	6-10
6.19	Garis medan Magnet jangkar.....	6-10
6.20	Pergeseran Garis Netral akibat Reaksi jangkar	6-10
6.21	Kutub Magnet Utama dan Kutub Bantu Mesin DC.....	6-11
6.22	Kutub Magnet Utama, Kutub bantu dan Belitan Kompensasi	6-11
6.23	Rangkaian belitan jangkar, belitan kutub bantu dan belitan kompensasi	6-11
6.24	Arah putaran Mesin DC.....	6-12
6.25	Membalik arah putaran Mesin DC.....	6-12
6.26	Aturan Tangan Kiri untuk Prinsip Kerja Motor DC.....	6-13
6.27	Model kerja Motor DC	6-13
6.28	Hubungan belitan penguat medan dan Jangkar Motor DC.....	6-14
6.29	Proses pembangkitan Torsi Motor DC	6-14
6.30	Pengecekan sifat elektromagnetik pada Jangkar Motor DC	6-15
6.31	Starting Motor DC dengan Tahanan Depan jangkar.....	6-15
6.32	Karakteristik arus Pengasutan Motor DC.....	6-15

DAFTAR GAMBAR

6.33	Drop tegangan Penguat Medan Seri dan Jangkar Motor DC.....	6-16
6.34	Karakteristik putaran fungsi tegangan jangkar	6-16
6.35	Pengaturan tegangan Jangkar dengan sudut penyalan Thyristor..	6-17
6.36	Karakteristik putaran fungsi arus eksitasi	6-17
6.37	Kutub bantu untuk mengatasi akibat Reaksi jangkar pada Motor DC	6-18
6.38	Karakteristik putaran Motor DC Seri.....	6-19
6.39	Rangkaian Motor DC Seri.....	6-20
6.40	Rangkaian Motor DC Penguat Terpisah.....	6-20
6.41	Karakteristik putaran Motor Penguat Terpisah.....	6-20
6.42	Rangkaian Motor DC Belitan Shunt.....	6-21
6.43	Rangkaian Motor DC Belitan Kompound.....	6-21
6.44	Karakteristik putaran Motor DC Kompound.....	6-22
6.45	Belitan Jangkar.....	6-22
6.46	Letak Sisi-sisi Kumparran dalam Alur Jangkar.....	6-23
6.47	Prinsip Belitan Gelung	6-24
6.48	Belitan Gelung Tunggal.....	6-26
6.49	Prinsip Belitan Gelombang	6-26
6.50	Belitan Gelombang Tunggal	6-28

Bab 7. Pengendalian Motor Listrik

7.1	Sistem Pengendalian terdiri rangkaian daya dan rangkaian kontrol	7-2
7.2	Dasar Sistem Pengaturan Otomatik	7-2
7.3	Kontrol ON-OFF dengan bimetal.....	7-2
7.4	Jenis-jenis kontak.....	7-3
7.5	Bentuk fisik kontak diam dan kontak bergerak	7-3
7.6	Simbol dan bentuk fisik relay	7-3
7.7	Relay dikemas plastik tertutup.....	7-4
7.8	Komponen Reed Switch	7-4
7.9	Tombol tekan.....	7-4
7.10	Simbol timer dan karakteristik timer	7-5
7.11	Tampak samping irisan kontaktor.....	7-5
7.12	Simbol, kode angka dan terminal kontaktor	7-5
7.13	Bentuk fisik kontaktor	7-6
7.14	Tampak irisan Miniatur Circuit Breaker	7-6
7.15	Tampak irisan Motor Control Circuit Breaker	7-6
7.16	Fisik MCCB.....	7-7
7.17	Kontrol relay impuls	7-7
7.18	Timer OFF delay.....	7-7
7.19	Diode, Varistor dan RC sebagai pengaman relay	7-8
7.20	Koil set-reset.....	7-8
7.21	Rangkaian daya dan kontrol motor induksi	7-9
7.22	Rangkaian daya dan kontrol Direct ON Line (DOL)	7-9
7.23	Hubungan terminal a) Bintang b) Segitiga.....	7-10
7.24	Perbandingan DOL dan Bintang Segitiga.....	7-11
7.25	Pengawatan Daya Bintang - Segitiga.....	7-11
7.26	Pengawatan kontrol bintang-segitiga	7-12

7.27	Hubungan Bintang Segitiga	7-13
7.28	Nameplate motor induksi bintang segitiga	7-13
7.29	Pengawatan kontrol otomatis bintang-segitiga	7-14
7.30	Pengawatan Daya Pembalikan Putaran Motor Induksi.....	7-15
7.31	Pengawatan kontrol pembalikan putaran.....	7-16
7.32	Kontrol pembalikan motor dilengkapi lampu indikator.....	7-16
7.33	Pengawatan daya dua motor bekerja bergantian	7-17
7.34	Pengawatan kontrol dua motor bergantian	7-18
7.35	Pengaturan Selang Waktu Oleh Timer	7-18
7.36	Karakteristik a) Arus Fungsi Putaran b) Torsi Fungsi Putaran.....	7-19
7.37	Diagram Satu Garis Instalasi Pengasutan Soft Starting	7-20
7.38	Pengawatan soft starting a) DOL b) Bintang segitiga	7-20
7.39	Tata letak komponen dalam bok panel	7-21
7.40	Pengawatan a) Ampermeter Switch b) Voltmeter Switch	7-22
7.41	Pengamanan bimetal overload dan arus hubung singkat.....	7-22
7.42	Pemakaian Trafo Arus CT Pengamanan Motor	7-23
7.43	Pengaman under voltage	7-23
7.44	Pengaman beban lebih dengan PTC/NTC.....	7-23
7.45	Instalasi Pompa Air Dengan Kendali Pressure Switch.....	7-24
7.46	Instalasi Pompa Air Dengan Kendali Level Switch	7-24
7.47	Instalasi pompa air dgn kendali dua buah level switch	7-25
7.48	Instalasi pompa air dgn dua pompa	7-25
7.49	Pengawatan daya pengasutan resistor dua tahap.....	7-26
7.50	Pengawatan kontrol pengasutan resistor dua tahap.....	7-27
7.51	Pengawatan daya bintang-segitiga	7-27
7.52	Pengawatan kontrol bintang segitiga dengan timer	7-28
7.53	Pengawatan pengasutan dengan autotransformator	7-29
7.54	Pengawatan kontrol autotransformator	7-30
7.55	Pengawatan motor slipring dua tahap resistor	7-31
7.56	Pengawatan motor slipring tiga tahap resistor	7-32
7.57	Pengawatan kontrol motor slipring.....	7-32

Bab 8. Alat Ukur dan Pengukuran Listrik

8.1	Tampilan meter Digital	8-2
8.2	Meter listrik Analog	8-2
8.3	Penunjukan meter analog dan meter digital	8-5
8.4	Komponen alat ukur listrik analog	8-5
8.5	Dudukan poros jarum penunjuk	8-6
8.6	Pola penyimpangan jarum meter analog	8-6
8.7	Jenis skala meter analog	8-6
8.8	Multimeter analog	8-7
8.9	Tampilan penunjukan digital	8-7
8.10	Prinsip kerja alat ukur digital	8-8
8.11	Tiga jenis display digital	8-8
8.12	Multimeter digital AC dan DC	8-8
8.13	Prinsip Alat Ukur Kumparan Putar	8-9

DAFTAR GAMBAR

8.14	Meter kumparan putar dengan diode penyearah	8-9
8.15	Prinsip alat ukur besi putar	8-10
8.16	Prinsip elektrodinamik	8-10
8.17	Pemasangan wattmeter	8-11
8.18	Pengawatan wattmeter dengan beban satu phasa	8-11
8.19	Prinsip Alat ukur Piringan Putar (kWHmeter)	8-12
8.20	kWH meter	8-12
8.21	Pengawatan kWH meter satu phasa dan tiga phasa	8-13
8.22	Tahanan seri RV pada Voltmeter	8-14
8.23	Tahanan paralel ampermeter	8-14
8.24	Tahanan depan dan paralel ampermeter	8-15
8.25	Batas ukur Ampermeter	8-15
8.26	Penambahan Batas Ukur meter	8-16
8.28	Jenis-jenis Pengukuran Tahanan	8-16
8.29	Rangkaian jembatan Wheatstone	8-17
8.30	Pengembangan model Wheatstone	8-17
8.31	Bentuk fisik Osiloskop	8-18
8.32	Blok diagram sistem Osiloskop	8-19
8.33	Pancaran elektron ke layar pendar CRT	8-20
8.34	Pembagi tegangan 10 1 pada Probe	8-20
8.35	Trigering memunculkan sinyal gigi gergaji	8-21
8.36	Blok diagram Osiloskop dua kanal	8-22
8.37	Blok diagram Osiloskop Digital	8-23
8.38	Sampling sinyal analog oleh ADC	8-23
8.39	Mengukur tegangan DC dengan Osiloskop	8-24
8.40	Mengukur tegangan AC dengan Osiloskop	8-25
8.41	Mengukur Arus AC dengan Osiloskop	8-26
8.42	Mengukur beda phasa dengan Osiloskop	8-26
8.43	Mengukur sudut penyalaan TRIAC dengan Osiloskop	8-27
8.44	Mengukur sudut penyalaan TRIAC dengan Osiloskop	8-28
8.45	Sinyal input berbeda fasa 90 dg output	8-28
8.46	Lissajous untuk menentukan frekuensi	8-29

Bab 9 Elektronika Dasar

9.1	Transistor	9-2
9.2	Thyristor	9-2
9.3	Orbit atom	9-3
9.4	Semikonduktor Tipe N	9-3
9.5	Semikonduktor Tipe P	9-4
9.6	Sambungan PN	9-4
9.7	Simbol dan fisik Diode	9-5
9.8	Diode Panjar Maju	9-5
9.9	Diode Panjar Mundur	9-6
9.10	Karakteristik Diode	9-6
9.11	Aplikasi Diode Zener sebagai penstabil tegangan	9-7
9.12	Karakteristik Diode Zener	9-7

9.13	Transistor Bipolar	9-8
9.14	Rangkaian Dasar Transistor	9-8
9.15	Tegangan Bias Transistor NPN	9-8
9.16	Karakteristik Transistor	9-9
9.17	Fisik Transistor	9-9
9.18	Transistor dengan Tahanan Bias	9-10
9.19	Karakteristik Output Transistor	9-11
9.20	Tegangan bias Transistor	9-11
9.21	Karakteristik Input Transistor	9-12
9.22	Rangkaian Bias Pembagi Tegangan Tanpa RC	9-13
9.23	Rangkaian Bias Pembagi Tegangan Dengan RC	9-13
9.24	Rangkaian Bistable Multivibrator	9-14
9.25	Diagram Waktu Bistable Multivibrator	9-15
9.26	Rangkaian dan Diagram Waktu Schmitt Trigger	9-15
9.27	Prinsip Kerja Penguat	9-16
9.28	Karakteristik Transistor Empat Kuadran	9-16
9.29	Sinyal Pada Titik-titik Pengukuran	9-17
9.30	Penguatan Sinyal	9-17
9.31	Titik Kerja Penguat Klas AB	9-18
9.32	Rangkaian Push-Pull	9-18
9.33	Casis Transistor Dengan Isolator	9-19
9.34	Bentuk Pendingin Transistor	9-19
9.35	Pemindahan Panas Pada Pendingin Transistor	9-19

Bab 10. Elektronika Daya

10.1	Pemanfaatan Energi Listrik	10-2
10.2	Diagram Blok Konverter Daya	10-3
10.2	Diagram Blok Konverter Daya	10-4
10.4	Thyristor	10-4
10.5	Simbol dan fisik Diode	10-5
10.6	a) Panjar maju (forward) dan b) panjar mundur (reverse)	10-5
10.7	Karakteristik Diode	10-6
10.8	Karakteristik Output Transistor	10-6
10.9	Transistor Sebagai Saklar	10-7
10.10	Tegangan Operasi Transistor sebagai saklar	10-7
10.11	Garis Beban Transistor	10-7
10.12	Transistor Sebagai Gerbang NAND	10-8
10.13	Transistor Sebagai Penggerak Relay	10-9
10.14	Bentuk Fisik & Simbol Thrystor	10-9
10.15	Karakteristik Thrystor	10-10
10.16	Nilai Batas Thrystor	10-10
10.17	Fuse Sebagai Pengaman Thrystor	10-11
10.18	Struktur Fisik dan Kemasan IGBT	10-11
10.19	Karakteristik Output IGBT	10-12
10.20	Diode Setengah Gelombang 1 Phasa	10-12
10.21	Rangkaian Penyearah Jembatan - Diode	10-13

DAFTAR GAMBAR

10.23	Penyearah Jembatan Dengan Filter RC	10-14
10.24	Penyearah Diode $\frac{1}{2}$ Gelombang 3 Fasa	10-15
10.25	Penyearah $\frac{1}{2}$ Gelombang 3 Fasa Diode Terbalik	10-15
10.26	Urutan Kerja Penyearah Diode 3 Fasa $\frac{1}{2}$ Gelombang	10-16
10.27	Penyearah Jembatan Gelombang Penuh 3 Fasa	10-17
10.28	Bentuk Gelombang Penyearah Penuh 3 Fasa	10-17
10.29	Penyearah Terkendali $\frac{1}{2}$ Gelombang	10-19
10.30	Sudut Penyalaan dan Output Tegangan DC $\frac{1}{2}$ Gelombang	10-19
10.31	Tegangan dan Arus DC Beban Resistif	10-19
10.32	Tegangan dan Arus DC Beban Induktif	10-20
10.33	Modul Trigger Thyristor	10-20
10.34	Penyearah Thyristor dengan Diode	10-20
10.35	Grafik Fungsi Penyalaan Gate Thyristor	10-21
10.36	Penyearah Terkendali Jembatan 1 Fasa	10-21
10.37	Penyearah Thyristor $\frac{1}{2}$ Gelombang 3 Fasa	10-22
10.38	Grafik Pengaturan Sudut Penyalaan	10-23
10.39	Penyearah Terkendali 3 Fasa	10-23
10.40	Bentuk Tegangan DC Penyearah 3 Fasa	10-24
10.41	Urutan Penyalaan Gate-Thyristor 3 Fasa	10-24
10.42	Rangkaian Pembangkit Pulsa Chip TCA785	10-25
10.43	Bentuk Gelombang Chip TCA785	10-25
10.44	Rangkaian Daya 1 Fasa Beban DC 15 Kw	10-26
10.45	Aplikasi Pengendalian putaran Motor DC	10-26
10.46	Bentuk Dasar Pengendali Tegangan AC	10-27
10.47	Rangkaian Dimmer dengan TRIAC	10-28
10.48	Aplikasi IGBT Untuk Kontrol Motor Induksi 3 Fasa	10-29
10.49	Blok Diagram Pengaturan Kecepatan Motor DC	10-29

Bab 11 Sistem Pengamanan Bahaya Listrik

11.1	Grafik bahaya arus listrik	11-2
11.2	Aliran listrik sentuhan langsung	11-2
11.3	Tahanan tubuh manusia	11-3
11.4a	Tegangan sentuh langsung	11-3
11.4b	Tegangan sentuh tidak langsung	11-3
11.5	Simbol pengamanan pada nameplate	11-4
11.6	Motor listrik tahan dari siraman air	11-4
11.7	Motor listrik tahan siraman air vertikal dan segala arah	11-4
11.8	Pelindung tangan dan mata	11-6
11.9a	Gangguan listrik di beberapa titik	11-7
11.9b	Gangguan listrik dari beban lampu	11-7
11.10	Tegangan langkah akibat gangguan ke tanah	11-8
11.11	Peta Tindakan Pengamanan	11-8
11.12	Pengamanan dengan tegangan rendah	11-9
11.13	Stop kontak khusus untuk tegangan rendah	11-9
11.14	Pengamanan dengan trafo pemisah	11-9

11.15	Pengamanan dengan selungkup isolasi	11-10
11.16	Kabel berisolasi thermoplastik	11-10
11.17	Perlindungan pengaman stop kontak	11-10
11.18	Pengamanan dengan rintangan	11-11
11.19	Jarak aman bentangan kabel udara	11-11
11.20	Pengamanan sentuhan tidak langsung	11-11
11.21a	Sistem Pembumian TN-S	11-13
11.21b	Sistem Pembumian TN-C-S	11-13
11.21c	Sistem pembumian TN-C	11-13
11.22	Sistem Pembumian TT	11-13
11.23	Sistem Pembumian IT	11-14
11.24	Sistem pembumian TN-C-S digabung kawat PE	11-14
11.25	Beda tegangan titik netral akibat gangguan ke tanah	11-14
11.26	Prinsip kerja ELCB	11-15
11.27	Fisik ELCB	11-16
11.28	Pemasangan ELCB untuk pengamanan kelompok beban	11-16
11.29	ELCB portabel	11-16
11.30	ELCB pada pembumian TN	11-17
11.31	Pengukuran tahanan pembumian sistem TT	11-17
11.32	ELCB pada sistem TT	11-17
11.33	Pengukuran tahanan pembumian sistem IT	11-18
11.34	Simbol pengamanan isolasi ganda	11-19
11.35	Isolasi ganda pada peralatan listrik	11-19
11.36	Mesin bor dengan isolasi ganda	11-20
11.37	Jarak aman pengamanan ruang kerja	11-20
11.38	Pengamanan dengan pemisahan sirkit listrik	11-21
11.39	Trafo pemisah melayani dua stop kontak	11-21
11.40	Pengamanan pada peralatan listrik	11-21
11.41	Pengukuran pembumian dengan megger	11-22
11.42	Pengukuran tahanan isolasi	11-22
11.43	Pengukuran tahanan isolasi lantai/dinding	11-23
11.44	Pengujian sistem pembumian TN	11-24
11.45	Pengukuran tahanan pembumian	11-24
11.46	Pengukuran tahanan bumi ELCB	11-25

Bab 12 Teknik Pengaturan Otomatis

12.1	Pengaturan manual tegangan pada Generator	12-2
12.2	Diagram blok sistem kontrol	12-3
12.3	Pengaturan tegangan secara otomatis	12-4
12.4	Diagram blok sistem kontrol open-loop	12-5
12.5	Diagram blok sistem kontrol closed-loop	12-6
12.6	Sistem Pemanasan Air	12-7
12.7	Diagram blok sistem pemanasan air	12-8
12.8	Diagram blok sistem pemanasan air secara otomatis	12-8
12.9	Pengaturan tinggi permukaan air	12-9

DAFTAR GAMBAR

12.10	Diagram blok pengaturan tinggi air	12-9
12.11	Prototipe mobile robot	12-9
12.12	Kontrol otomatis pada mobile robot	12-10
12.13	Perilaku statis Generator Arus Searah	12-11
12.14	Hubungan tegangan fungsi arus	12-11
12.15	Perubahan Tegangan fungsi Arus Eksitasi	12-12
12.16	Sistem PT0	12-12
12.17	Model fisik PT1	12-13
12.18	Respon Kontrol PT1	12-14
12.19	Model Sistem Kontrol PT2	12-14
12.20	Respon Sistem PT2	12-15
12.21	Respon kontrol PTn	12-15
12.22	Model Dead Time	12-16
12.23	Respon Kontrol Deadtime	12-16
12.24	Kontroler dua posisi (On-Off)	12-17
12.25	Simbol kontrol on-off	12-18
12.26	Kontroler suhu bimetal	12-18
12.27	Kontrol tiga posisi	12-19
12.28	Karakteristik dan simbol kontroler tiga posisi	12-19
12.29	Karakteristik kontroler tiga posisi dengan posisi tengah nol	12-19
12.30	Kontrol proporsional	12-20
12.31	Aplikasi kontroler proporsional	12-20
12.32	Respon kontrol proporsional	12-20
12.33	Kontroler Integral	12-21
12.34	Aplikasi kontroler integral	12-21
12.35	Kontroler Proporsional Integral	12-22
12.36	Aplikasi Kontroler PI	12-22
12.37	Respon kontroler derivatif untuk sinyal step	12-23
12.38	Respon kontroler derivatif untuk sinyal lereng	12-23
12.39	Aplikasi Kontroler Derivatif	12-23
12.40	Respon kontroler PD terhadap sinyal lereng	12-24
12.41	Aplikasi Kontroler PD	12-24
12.42	Respon kontroler PID terhadap sinyal step	12-25
12.43	Aplikasi kontroler PID	12-25
12.44	Karakteristik osilasi	12-26
12.45	Komponen elektropneumatik	12-28
12.46	Tombol NO,NC dan toggle	12-29
12.47	Limit switch	12-29
12.48	Limit switch tekanan	12-30
12.49	Proximity switch terpasang pada silinder	12-30
12.50	Konstruksi Relay dan kontaktor	12-31
12.51	Kontaktor dengan kontak utama dan kontak bantu	12-32
12.52	Katup Magnetik	12-32
12.53	Batang jangkar katup magnetik	12-33
12.54	Katup magnetik 3/2	12-33
12.55	Katup magnetik 5/2	12-34
12.56	Katup magnetik impulse 5/2	12-34
12.57	Katup magnetik 5/3	12-34

12.58	Silinder tunggal dengan dgn katup magnetik 3/2	12-35
12.59	Silinder operasi ganda katup 5/2	12-35
12.60	Silinder ganda dengan katup 5/3	12-36

Bab 13. Generator Sinkron

13.1	Generator Sinkron Tiga Fasa dengan Penguatan Generator DC “Pilot Exciter”	13-3
13.2	Generator Sinkron Tiga Fasa dengan Sistem Penguatan “Brushless Exciter System”	13-3
13.3	Bentuk Rotor	13-4
13.4	Inti Stator dan Alur pada Stator	13-4
13.5	Belitan Satu Lapis Generator Sinkron Tiga Fasa	13-5
13.6	Urutan Fasa ABC	13-6
13.7	Belitan Berlapis Ganda Generator Sinkron Tiga Fasa	13-6
13.8	Diagram Phasor dari Tegangan Induksi Lilitan	13-8
13.9	Total ggl Et dari Tiga ggl Sinusoidal	13-8
13.10	Kisar Kumparan	13-9
13.11	Vektor Tegangan Lilitan	13-9
13.12	Diagram Generator AC Satu Fasa Dua Kutub	13-11
13.13	Diagram Generator AC Tiga Fasa Dua Kutub	13-12
13.14	Kurva dan Rangkaian Ekuivalen Generator Tanpa Beban	13-13
13.15	Kondisi Reaksi Jangkar	13-14
13.16	Vektor Diagram dari Beban Generator	13-15
13.17	Rangkaian Test Generator Tanpa Beban	13-16
13.18	Rangkaian Test Generator di Hubung Singkat	13-17
13.19	Karakteristik Tanpa Beban dan Hubung Singkat sebuah Generator	13-17
13.20	Pengukuran Resistansi DC	13-18
13.21	Vektor Diagram Pf “Lagging”	13-19
13.22	Vektor Arus Medan	13-20
13.23	Karakteristik Beban Nol, Hubung Singkat, dan Vektor Arus Medan	13-21
13.24	Diagram Potier	13-22
13.25	Vektor Diagram Potier	13-23
13.26	Rangkaian Paralel Generator	13-24
13.27	Rangkaian Lampu Berputar	13-25
13.28	Sychroscope	13-26

Bab 14. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

14.1	Generator	14-2
14.2	Penyaluran energi listrik dari sumber ke beban	14-3
14.3	Distribusi Tenaga Listrik ke Konsumen	14-4
14.4	Instalasi Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik	14-4
14.5	Saluran penghantar udara untuk rumah tinggal (menggangu keindahan pandangan)	14-9

DAFTAR GAMBAR

14.6	Saluran kabel bawah tanah pada suatu perumahan elit	14-10
14.7	Situasi	14-11
14.8	Denah rumah tipe T-125 lantai dasar	14-13
14.9	Instalasi rumah tipe T-125 lantai dasar	14-14
14.10	Diagram satu garis instalasi listrik pada bangunan Tegangan Rendah 380/220V.	14-15
14.11	Diagram satu garis instalasi listrik pada bangunan system tegangan Menengah 20KV dan Tegangan Rendah 380/220V.	14-16
14.12	APP Sistem satu fasa	14-17
14.13	APP Sistem tiga fasa	14-17
14.14	Contoh cubicle di ruang praktek POLBAN	14-20
14.15	MCB (Miniatur Circuit Breaker)	14-21
14.16	Molded Case Circuit Breaker	14-22
14.17	ACB (Air Circuit Breaker)	14-23
14.18	OCB (Oil Circuit Breaker)	14-24
14.19	VCB (Vakum Circuit Breaker)	14-24
14.20	SF6 CB (Sulfur Hexafluoride Circuit Breaker)	14-25
14.21	Diagram Transmisi dan Distribusi	14-26
14.22	Rangkaian macam-macam Beban Sistem 3 phasa, 4 kawat.....	14-27
14.23	Macam-macam Stop Kontak	14-28
14.24	Piranti-piranti menggunakan motor	14-30

Bab 15. Pembangkit Listrik Mikrohidro

15.1	Turbin dan Generator Mikrohidro	15-2
15.2	Sistem Pembangkit Listrik Mikrohidro	15-3
15.3	Mengukur ketinggian jatuh air	15-5
15.4	Mengukur debit air	15-6
15.5	Jalur pipa a) yang melingkar b) jalur memintas	15-7
15.6	Pipa melintas dan pembuangan air ke sungai	15-8
15.7	Tandon Air	15-9
15.8	Pemasangan Turbin dan Generator	15-11
15.9	Hubungan kontrol kelistrikan	15-12
15.10	Electronic Load Kontroller	15-13

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Kemampuan Hantar Arus	1-10
Tabel 1.2 Resistansi dan Konduktivitas	1-12
Tabel 1.3 Tegangan dan arus pada Resistor.....	1-12
Tabel 1.5 Tahanan jenis bahan	1-14
Tabel 1.6 Koefisien temperatur bahan pada 20 ⁰ C	1-15
Tabel 1.8 Pengukuran	1-16
Tabel 2.1 Permeabilitas	2-12
Tabel 2.2 Parameter dan rumus kemagnetan	2-15
Tabel 3.1 Harga Sesaat Tegangan Sinusoida	3-8
Tabel 3.2 Harga rata-rata gelombang sinusoida.....	3-9
Tabel 3.3 Harga efektif gelombang sinusoida	3-10
Tabel 3.4 Bentuk tegangan dan arus listrik AC.	3-12
Tabel 3.5 Tabel Nameplate Motor Induksi.....	3-53
Tabel 4.1 Grup rangkaian umum untuk arus putar-transformator daya.....	4-25
Tabel 6.1 Notasi pengenalan belitan Generator DC.....	6-11
Tabel 6.2 Rangkaian Motor-motor DC	6-19
Tabel 6.3 Hubungan Sisi Kumputan dengan Lamel Belitan Gelung.....	6-25
Tabel 6.4 Hubungan Sisi Kumputan dengan Lamel Belitan Gelombang...	6-27
Tabel 8.1. Besaran Sistem Internasional.....	8-3
Tabel 8.2. Besaran dan Simbol Kelistrikan	8-3
Tabel 9.1. Batasan Nilai Transistor.....	9-10
Tabel 9.2. Aplikasi Transistor	9-10
Tabel 10.1. Jenis Penyearah Diode.....	10-18
Tabel 11.1. Contoh Simbol Indeks Proteksi Alat Listrik	11-5
Tabel 11.2. Kode IP XX	11-6
Tabel 11.3. Tegangan Sentuh yang aman	11-8
Tabel 11.4. Jenis Pembumian Sistem	11-12
Tabel 11.5. Waktu pemutusan maksimum sistem TN	11-15
Tabel 11.6. Penampang penghantar sistem TN	11-15
Tabel 11.7. Kemampuan ELCB pada tegangan 230V.....	11-16
Tabel 11.8. Tahanan Pembumian RA pada Sistem TT	11-16
Tabel 11.9. Waktu Pemutusan Maksimum Pada Sistem IT.....	11-19
Tabel 11.10. Nilai resistansi isolasi minimum	11-23
Tabel 11.11. Waktu pemutusan maksimum sistem TN	11-24
Tabel 12.1. Contoh komponen sistem kontrol	12-4
Tabel 12.2. Istilah penting dalam sistem kontrol.....	12-4
Tabel 12.3. Aplikasi Op-Amp Sebagai Controller.....	12-26
Tabel 12.4. Perbandingan jenis controller untuk masing-masing aplikasi .	12-27
Tabel 12.5. Parameter controller pendekatan Chien/Hornes/Reswick	12-28
Tabel 12.6. Parameter Ziegler-Nichols	12-28
Tabel 14.1. Daya tersambung pada tegangan menengah	14-5
Tabel 14.2. Daya tersambung fungsi arus primer	14-6

DAFTAR TABEL

Tabel 14.3. Daya tersambung fungsi Pelabur	14-7
Tabel 14.4. Daya Tersambung Tiga Phasa	14-7
Tabel 14.5. Golongan Pelanggan PLN	14-8
Tabel 14.6. Standar Daya PLN	14-18