



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
REPUBLIK INDONESIA
2013



MACHINE ELECTRIC & MOTOR CONTROL



XI

SEMESTER 4

KATA PENGANTAR

Kurikulum 2013 adalah kurikulum berbasis kompetensi. Didalamnya dirumuskan secara terpadu kompetensi sikap, pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai peserta didik serta rumusan proses pembelajaran dan penilaian yang diperlukan oleh peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diinginkan.

Faktor pendukung terhadap keberhasilan Implementasi Kurikulum 2013 adalah ketersediaan Buku Siswa dan Buku Guru, sebagai bahan ajar dan sumber belajar yang ditulis dengan mengacu pada Kurikulum 2013. BukuSiswa ini dirancang dengan menggunakan proses pembelajaran yang sesuai untuk mencapai kompetensi yang telah dirumuskan dan diukur dengan proses penilaian yang sesuai.

Sejalan dengan itu, kompetensi keterampilan yang diharapkan dari seorang lulusan SMK adalah kemampuan pikir dan tindak yang efektif dan kreatif dalam ranah abstrak dan konkret. Kompetensi itu dirancang untuk dicapai melalui proses pembelajaran berbasis penemuan (*discovery learning*) melalui kegiatan-kegiatan berbentuk tugas (*project based learning*), dan penyelesaian masalah (*problem solving based learning*) yang mencakup proses mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi, dan mengomunikasikan. Khusus untuk SMK ditambah dengan kemampuan mencipta .

Sebagaimana lazimnya buku teks pembelajaran yang mengacu pada kurikulum berbasis kompetensi, buku ini memuat rencana pembelajaran berbasis aktivitas. Buku ini memuat urutan pembelajaran yang dinyatakan dalam kegiatan-kegiatan yang harus **dilakukan** peserta didik. Buku ini mengarahkan hal-hal yang harus **dilakukan** peserta didik bersama guru dan teman sekelasnya untuk mencapai kompetensi tertentu; bukan buku yang materinya hanya dibaca, diisi, atau dihafal.

Buku ini merupakan penjabaran hal-hal yang harus dilakukan peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Sesuai dengan pendekatan kurikulum 2013, peserta didik diajak berani untuk mencari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Buku ini merupakan edisi ke-1. Oleh sebab itu buku ini perlu terus menerus dilakukan perbaikan dan penyempurnaan.

Kritik, saran, dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya sangat kami harapkan; sekaligus, akan terus memperkaya kualitas penyajian buku ajar ini. Atas kontribusi itu, kami ucapkan terima kasih. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada kontributor naskah, editor isi, dan editor bahasa atas kerjasamanya. Mudah-mudahan, kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan menengah kejuruan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jakarta, Januari 2014

Direktur Pembinaan SMK

Drs. M. Mustaghfirin Amin, MBA

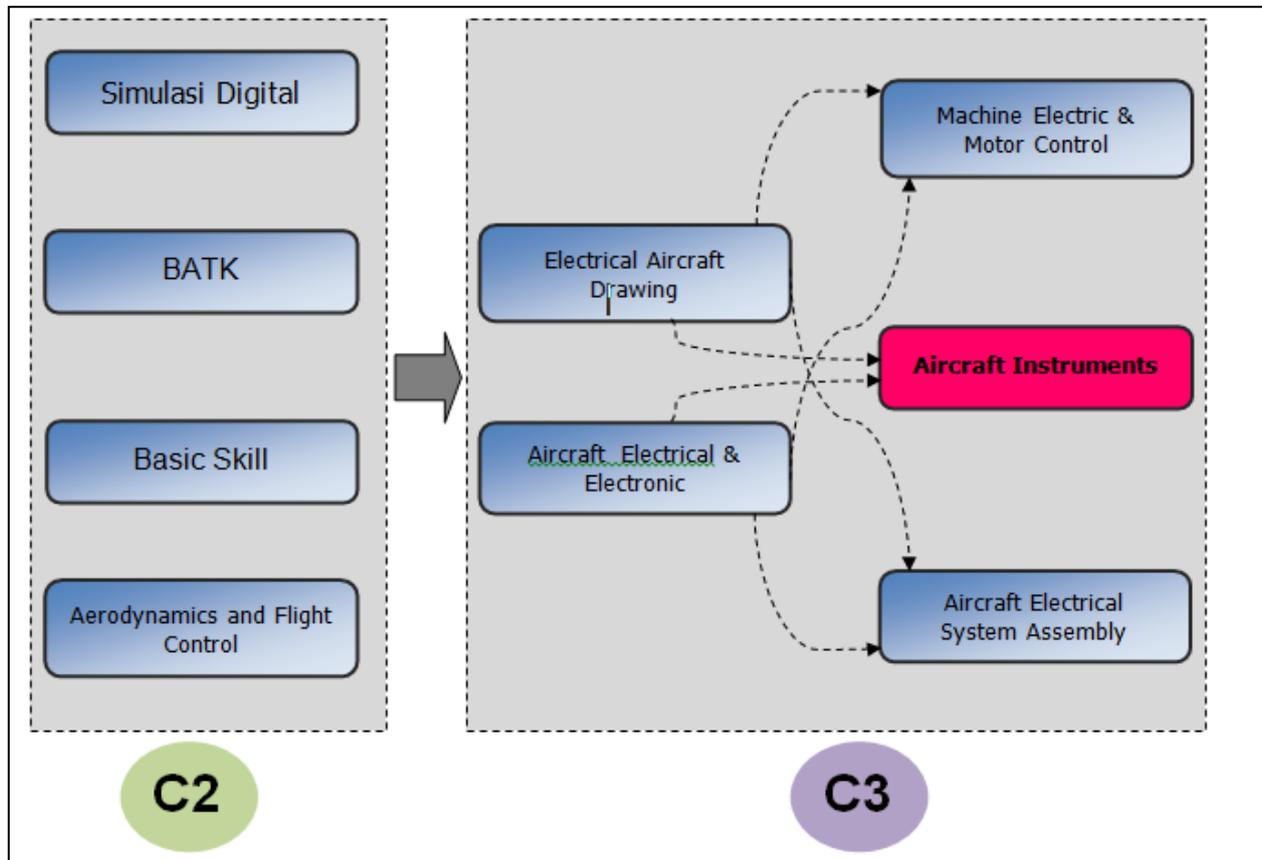
DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Sampul	
Halaman Francis	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iii
Peta Kedudukan Modul	v
Glosarium	vi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Deskripsi	1
B. Prasarat	1
C. Petunjuk penggunaan buku bahan ajar	1
D. Tujuan akhir	2
E. Kompetensi inti dan kompetensi dasar	2
F. Cek kemampuan awal	4
BAB II PEMBELAJARAN	
Pembelajaran Pertama	6
a. Tujuan pembelajaran	6
b. Uraian materi	6
c. Rangkuman	14
d. Tugas	15
e. Lembar kerja peserta didik	16
Pembelajaran Kedua	20
a. Tujuan pembelajaran	20

b. Uraian materi	20
c. Rangkuman	30
d. Tugas	31
e. Lembar kerja peserta didik	32
Pembelajaran Ketiga	36
a. Tujuan pembelajaran	36
b. Uraian materi	36
c. Rangkuman	42
d. Tugas	42
e. Lembar kerja peserta didik	43
Pembelajaran Keempat	45
a. Tujuan pembelajaran	45
b. Uraian materi	45
c. Rangkuman	57
d. Tugas	58
e. Lembar kerja peserta didik	58
Pembelajaran Kelima	62
a. Tujuan pembelajaran	62
b. Uraian materi	62
c. Rangkuman	72
d. Tugas	73
e. Lembar kerja peserta didik	73
Pembelajaran Keenam	77

a. Tujuan pembelajaran	77
b. Uraian materi	77
c. Rangkuman	80
d. Tugas	81
e. Lembar kerja peserta didik	81
Pembelajaran Ketujuh	87
f. Tujuan pembelajaran	87
g. Uraian materi	87
h. Rangkuman	91
i. Tugas	91
j. Lembar kerja peserta didik	91
BAB II EVALUASI	92
A. Attitude skill	92
B. Kognitif skill	92
C. Psikomotorik skill	99
D. Lembar Penilaian	102

PETA KEDUDUKAN BAHAN AJAR



PERISTILAHAN / GLOSSARY

- Mesin DC : Mesin arus searah, termasuk Motor DC dan Generator DC.
- Generator arus searah , yaitu suatu jenis mesin listrik yang dapat merubah energi mekanik (dalam bentuk putaran) menjadi energi listrik arus searah
- Motor listrik arus searah, yaitu suatu jenis mesin listrik yang dapat merubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik (dalam bentuk putaran).
- Generator arus bolak balik, yaitu suatu jenis mesin listrik yang dapat merubah energi listrik arus bolak-balik menjadi energi listrik arus bolak-balik (AC).
- Motor listrik arus bolak-balik, yaitu suatu jenis mesin listrik yang dapat merubah energi listrik arus bolak-balik menjadi energi mekanik (dalam bentuk putaran)
- Transformator, yaitu suatu jenis mesin listrik yang dapat memindahkan energi listrik arus bolak-balik dari suatu rangkaian ke rangkaian lain berdasarkan prinsip induksi elektro magnetik (induksi).
- Fluksi: Jumlah Garis-garis gaya magnit yang dihasilkan oleh kutub magnit dan diukur dalam satuan weber.
- Rugi hysteresis: Kerugian daya pada inti mesin listrik yang disebabkan mengalirnya arus medan magnit pada inti
- Karakteristik: Sifat-sifat mesin sesuai dengan kerja komponen proses didalamnya pada tiap jenis mesin.
- Regulasi tegangan: Perubahan tegangan pada generator dari keadaan tanpa beban ke keadaan berbeban/beban penuh. Biasanya dinyatakan dalam prosentase regulasi.
- Reaksi jangkar: Pengaruh garis gaya magnit yang ditimbulkan arus jangkar terhadap garis gaya magnit kutub utama mesin, sehingga
membelokkan arah garis gaya magnit utama dan menggeser garis netral aksis sebagai referensi kedudukan sikat.
- Stator adalah bagian mesin arus searah yang diam
- Rotor atau angker atau jangkar atau armature adalah bagian dari mesin yang berputar
- Celah udara adalah ruangan yang ada antara stator dan jangkar
- Slip adalah perbedaan kecepatan antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r).
- Motor sinkron: putaran motor sama dengan putaran fluks magnet stator.
- Motor asinkron: putaran motor tidak sama dengan putaran fluks magnet stator.

BAB I

PENDAHULUAN



A. Deskripsi

Buku teks bertujuan memberikan bekal pengetahuan dan ketrampilan kepada siswa tentang sifat-sifat dan pengoperasian mesin listrik. Buku teks ini untuk mendukung pencapaian kompetensi mengoperasikan mesin listrik pada perlengkapan listrik pesawat udara seperti generator, motor, transformator dan inverter.

Hasil belajar yang diharapkan setelah tuntas mempelajari buku teks ini siswa diharapkan dapat:

1. Menjelaskan alat-alat mesin listrik
2. Menentukan alat-alat mesin listrik
3. Menganalisis karakteristik generator, motor dan transformator
4. Mengukur besaran-besaran listrik pada generator, motor, transformator dan inverter
5. Menghitung rugi-rugi dan efisiensi generator, motor dan transformator
6. Mengoperasikan generator DC dan AC, Motor DC dan AC, Transformator satu fasa, transformator tiga fasa dan inverter.

B. Prasyarat

Untuk dapat lebih mudah mempelajari dan memahami modul ini siswa harus sudah mempunyai pengetahuan dan ketrampilan dalam bidang matematika, menganalisis rangkaian listrik, kemagnetan listrik dan melakukan pengukuran listrik. Jadi siswa perlu mempelajari terlebih dahulu modul-modul yang berhubungan dengan teori listrik dan kemagnetan.

C. Petunjuk Penggunaan Modul

Modul Pembelajaran ini menggunakan system Pembelajaran Berbasis Kompetensi (Competency Based Learning). Pembelajaran berbasis kompetensi adalah Pembelajaran yang memperhatikan kemampuan, keterampilan dan sikap yang diperlukan ditempat kerja agar dapat melakukan pekerjaan dengan kompeten. Penekanan utamanya adalah pada apa yang dapat dilakukan seseorang setelah mengikuti pembelajaran. Salah satu karakteristik yang paling penting dari pembelajaran berbasis kompetensi adalah mengembangkan proses mengkonstruksi sikap, pengetahuan dan ketrampilan baru pada diri siswa melalui proses pengamatan, pengalaman nyata dan

penguasaan individu terhadap bidang pengetahuan dan keterampilan tertentu secara nyata di tempat kerja.

Dalam sistem pembelajaran berbasis kompetensi, fokusnya adalah pada pencapaian kompetensi dan bukan pada pencapaian atau pemenuhan waktu tertentu. Dengan demikian, maka dimungkinkan setiap Peserta didik pembelajaran memerlukan atau menghabiskan waktu yang berbeda-beda dalam mempelajari modul guna mencapai suatu kompetensi tertentu. Setelah siswa mempelajari modul ini, kemudian dilakukan evaluasi dan uji kompetensi, ternyata belum mencapai tingkat kompetensi tertentu pada kesempatan pertama, maka guru akan mengatur rencana bersama siswa untuk mempelajari dan memberikan kesempatan kembali kepada siswa untuk meningkatkan level kompetensi sesuai dengan level tertentu yang diperlukan. Kesempatan mengulang yang disarankan maksimal tiga kali.

Penyajian modul ini dibagi dalam tujuh Kegiatan Belajar. Setiap kegiatan belajar dilengkapi dengan Lembar Kerja/Tugas yang berupa pertanyaan-pertanyaan yang harus dijawab setelah Anda selesai membaca masukan atau referensi yang relevan.

Pada modul ini dilengkapi juga dengan lembar cek kemampuan yang dapat diisi sebagai tanda telah selesai mempelajari serta memahami isi modul dan siap untuk evaluasi dan uji kompetensi.

D. Tujuan Akhir

Modul ini bertujuan memberikan bekal pengetahuan dan keterampilan kepada peserta didik, mengarahkan, kepada standar kompetensi tentang Electric Machine. Peserta didik dapat dinyatakan telah berhasil menyelesaikan modul ini jika Peserta didik telah mengerjakan seluruh isi dari buku bahan ajar ini termasuk latihan teori dan praktek dengan benar juga telah mengikuti evaluasi berupa test dengan skor minimum adalah 70. Setelah selesai mempelajari materi ini peserta didik diharapkan dapat memahami fungsi, konstruksi, prinsip kerja Electric Machine.

1. Mengidentifikasi alat-alat mesin listrik
2. Mengukur besaran-besaran listrik generator arus searah
3. Mengukur besaran-besaran listrik motor listrik arus searah
4. Mengukur besaran-besaran listrik dan menganalisis karakteristik generator
5. Mengukur besaran-besaran listrik dan menganalisis karakteristik motor
6. Mengukur besaran-besaran listrik dan menganalisis transformator

7. Mengukur besaran-besaran listrik dan menganalisis inverter

E. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar

Kompetensi Inti

KI 1 : Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya

KI 2 : Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan pro-aktif dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam

berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia

KI 3 : Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.

KI 4 : Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, bertindak secara efektif dan kreatif, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung

Kompetensi dasar

1.1 Menyadari sepenuhnya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan sebagai aturan dalam memahami prinsip kerja, cara mengoperasikan dan memasang *Machine Electric & Motor Control*

1.2 Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam memahami prinsip kerja, cara mengoperasikan dan memasang *Machine Electric & Motor Control*

- 2.1 Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam memahami prinsip kerja, cara mengoperasikan dan memasang Machine Electric & Motor Control
- 2.2 Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikir dalam memahami prinsip kerja, cara mengoperasikan dan memasang Machine Electric& Motor Control
- 2.3 Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam memahami prinsip kerja, cara mengoperasikan dan memasang *Machine Electric & Motor Control*
- 3.1 Menjelaskan alat-alat mesin listrik
- 4.1 Menentukan alat-alat mesin-mesin listrik
- 3.2 Menganalisis karakteristik generator AC/DC
- 4.2 Mengukur besaran-besaran dan menganalisis karakteristik generator
- 3.3 Menganalisis karakteristik motor AC/DC
- 4.3 Mengukur besaran-besaran dan menganalisis karakteristik motor
- 3.4 Menganalisis karakteristik transformator 1 phasa dan 3 phasa
- 4.4 Mengukur besaran-besaran dan menganalisis karakteristik transformator
- 3.5 Menganalisis karakteristik inverter
- 3.6 Mengukur besaran-besaran dan menganalisis karakteristik inverter

F. Cek Kemampuan Awal

Untuk mengukur penguasaan kompetensi-kompetensi yang akan dipelajari pada modul ini, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini

Daftar Pertanyaan	Tingkat Penguasaan (score : 0 – 100)
1. Sebutkan yang termasuk mesin listrik !	
2. Apa yang anda ketahui tentang generator, motor, transformator dan inverter?	
3. Sebutkan perbedaan motor dengan generator !	
4. Berdasarkan apakah prinsip kerja generator, motor	

dan transformator?	
5. Sebutkan fungsi transformator dalam kehidupan sehari-hari !	
6. Sebutkan jenis-jenis generator DC!	
7. Sebutkan jenis-jenis motor DC!	
8. Jelaskan dengan singkat bagaimana proses terjadinya ggl !	
9. Apakah yang dimaksud dengan inverter?	
10. Apakah yang dimaksud dengan komutator ?	
11. Jelaskan prinsip kerja motor DC !	
12. Jelaskan prinsip kerja generator DC !	
13. Apa yang dimaksud dengan generator ?	
14. Apa yang dimaksud dengan motor ?	
15. Jelaskan prinsip kerja generator AC	
16. Mengapa inti jangkar mesin DC dibuat berlapis-lapis?	
17. Jelaskan prinsip kerja dari transformator !	
18. Mengapa transformator perlu diuji ?	
19. Apa kegunaan dari transformator ?	
20. Jelaskan yang dimaksud dengan transformator ideal!	
21. Hukum apa yang menjelaskan tentang prinsip kerja motor listrik DC dan bagaimana bunyinya ?	
22. Apakah yang dimaksud dengan efisiensi?	
23. Sebutkan cara mengatur kecepatan motor DC !	
24. Apa yang anda ketahui tentang konstruksi motor induksi 1 fasa ?	

25. Sebutkan fungsi saklar sentrifugal dan bagaimana kerjanya !	
26. Mengapa motor induksi 3 fasa tidak boleh dijalankan langsung khususnya motor yang berkapasitas yang besar ?	
27. Apa artinya bila motor ditulis 220 V/380 V?	
28. Bagaimana tegangan fasanya jika motor dihubungkan bintang dan bagaimana pula jika dihubungkan segitiga?	
29. Jelaskan konstruksi motor induksi !	
30. Apa yang dimaksud dengan generator kutub dalam dan generator kutub luar ?	

BAB II

PEMBELAJARAN



1. Pembelajaran Pertama

a. Tujuan pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini siswa dapat :

- 1) Menyebutkan yang termasuk alat-alat mesin listrik
- 2) Menunjukkan bagian-bagian mesin arus searah
- 3) Menjelaskan prinsip dasar kerja generator arus searah
- 4) Menyebutkan jenis-jenis generator arus searah
- 5) Menghitung tegangan yang dibangkitkan oleh generator
- 6) Melukiskan karakteristik hubungan terbuka generator penguat terpisah
- 7) Mengoperasikan generator arus searah penguat terpisah
- 8) Mengukur besaran-besaran listrik pada generator arus searah penguat terpisah
- 9) Menjelaskan prinsip kerja motor arus searah
- 10) Menggambar diagram rangkaian jenis-jenis motor arus searah
- 11) Mengukur besaran-besaran listrik arus searah

b. Uraian materi

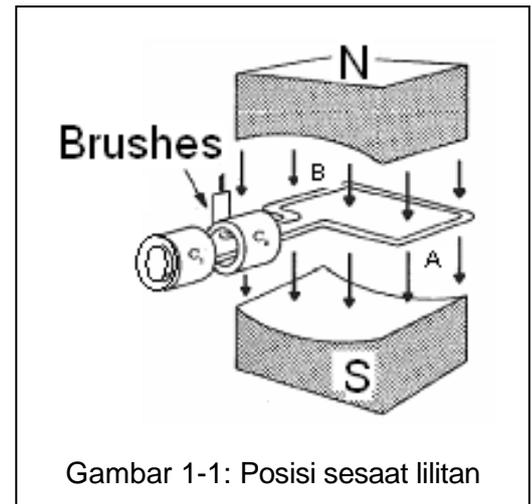
MESIN ARUS SEARAH

1) Alat-alat Mesin Listrik

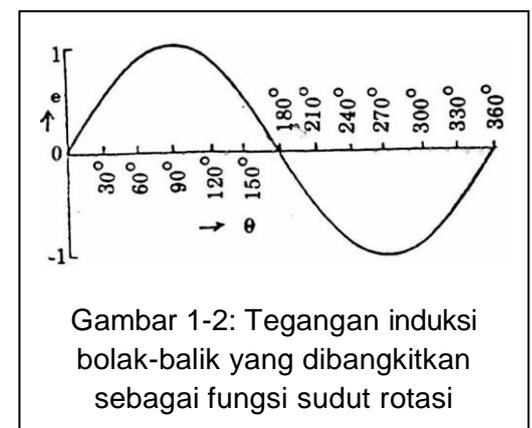
Yang termasuk alat-alat mesin listrik ialah mesin DC, mesin arus bolak dan transformator. Pada dasarnya mesin DC dapat dikelompokkan menjadi dua bagian besar yaitu :

- a) Generator arus searah, yaitu suatu jenis mesin listrik yang dapat merubah energi mekanik (dalam bentuk putaran) menjadi energi listrik arus searah.
- b) Motor listrik arus searah, yaitu suatu jenis mesin listrik yang dapat merubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik (dalam bentuk putaran).
- c) Mesin arus bolak-balik (AC) dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian besar, yaitu :

- Generator arus bolak balik, yaitu suatu jenis mesin listrik yang dapat merubah energi listrik arus bolak-balik menjadi energi listrik arus bolak-balik (AC).
- Motor listrik arus bolak-balik, yaitu suatu jenis mesin listrik yang dapat merubah energi listrik arus bolak-balik menjadi energi mekanik (dalam bentuk putaran).
- Transformator, yaitu suatu jenis mesin listrik yang dapat memindahkan energi listrik arus bolak-balik dari suatu rangkaian ke rangkaian lain berdasarkan prinsip induksi elektro magnetik (induksi).



Gambar 1-1: Posisi sesaat lilitan



Gambar 1-2: Tegangan induksi bolak-balik yang dibangkitkan sebagai fungsi sudut rotasi

2) Mesin Arus Searah (DC)

Secara umum motor arus searah (DC) dapat didefinisikan sebagai suatu alat/mesin listrik yang dapat merubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik (dalam bentuk gerak melingkar). Jadi energi masukan (Input) adalah energi listrik arus searah, dan energi keluaran (Output) adalah energi mekanik dalam bentuk putaran.

Bila dilihat dalam hal konstruksi akan ternyata bahwa konstruksi suatu motor listrik arus searah sama persis dengan konstruksi suatu generator arus searah. Berarti juga bahwa suatu generator arus searah dapat bekerja sebagai motor arus searah. Perbedaan utamanya hanya terletak pada cara dan bentuk pemberian daya masukan pada suatu mesin arus searah.

Bila suatu generator arus searah dijalankan sebagai motor arus searah, maka tegangan terminal (V_t) akan menjadi sumber tegangan untuk jangkar dan tegangan yang terinduksi pada jangkar (E_a) akan merupakan Gaya Gerak Listrik lawan (Back Emf). Perhatikan juga persamaan umum di bawah ini yang berlaku untuk motor dan generator arus searah.

2) Prinsip Kerja dari Generator Arus Searah.

Berdasarkan Hukum Induksi dari FARADAY yakni apabila lilitan penghantar atau konduktor diputar memotong garis-garis gaya medan magnet yang diam, atau lilitan penghantar diam dipotong oleh garis-garis gaya medan magnet yang berputar; maka pada penghantar tersebut timbul EMF (Elektro Motoris Force) atau GGL (Gaya Gerak Listrik) atau Tegangan Induksi.

Dalam hal ini untuk generator arus searah;

1. Lilitan penghantar diletakkan pada jangkar yang berputar.
2. Garis-garis gaya medan Magnit berasal dari kutub yang ada distator.
3. Gerak atau perputaran dari lilitan penghantar dalam medan magnet.

EMF yang dibangkitkan pada penghantar jangkar adalah tegangan bolak-balik. Tegangan bolak-balik tersebut kemudian disearahkan oleh komutator. Tegangan search tersebut oleh sikat dikumpulkan, kemudian diberikan keterminal generator untuk di transfer ke beban.



Gambar 1-5: Hukum Tangan Kanan

Arus yang mengalir pada penghantar jangkar karena beban tersebut, akan membangkitkan medan

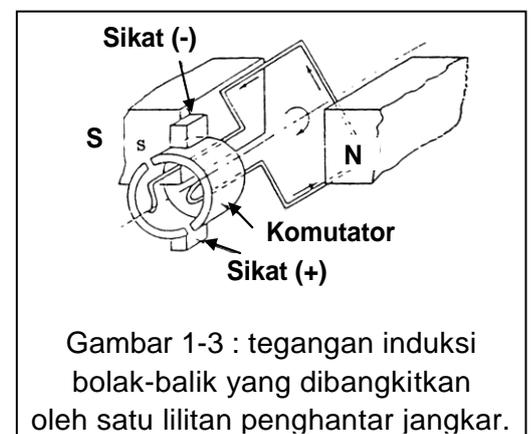
yang melawan, atau mengurangi medan utama yang dihasilkan oleh kutub sehingga tegangan terminal turun, hat ini disebut reaksi jangkar.

Dalam menentukan Arah Arus dan Tegangan (GGLatau. EMF) yang timbul pada penghantar setiap detik berlaku hukum tangan kanan Fleming.

Keterangan gambar 1-5:

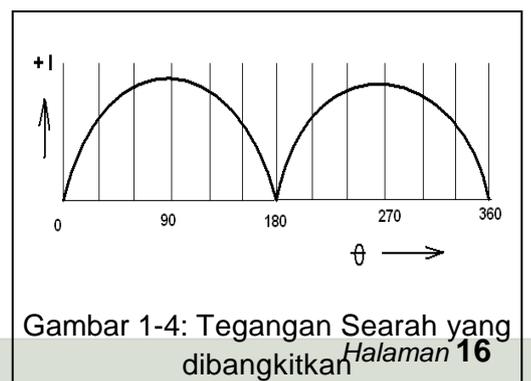
1. Jempol menyatakan arah gerak (F) atau perputaran penghantar.
2. Jari Telunjuk menyatakan arah medan magnet dari kutub Utara ke kutub Selatan (arah B = arah kerapatan fluks)
3. Jari Tengah menyatakan arah arus dan tegangan.

Ketiga arah tersebut saling tegak lurus, seperti gambar di atas.



Gambar 1-3 : tegangan induksi bolak-balik yang dibangkitkan oleh satu lilitan penghantar jangkar.

- 1) Jenis-jenis pada Motor DC
 - a) Motor DC Penguat Terpisah :



Gambar 1-4: Tegangan Searah yang dibangkitkan

$$I_m = \frac{V_m}{R_m} \text{ (Amper)}$$

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a \text{ (Volt)}$$

$$E_a = V_t - I_a \cdot R_a \text{ (Volt)}$$

b) Motor DC Penguat Seri :

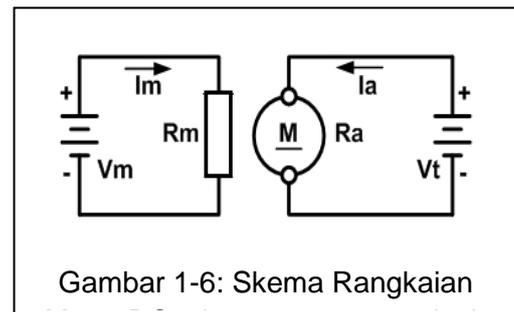
$$I_a = I_s \text{ (Amper);}$$

$$I_s = \frac{V_{rs}}{R_s} \text{ (Amper);}$$

$$V_t = E_a + V_{ra} + V_{rs} \text{ (Volt)}$$

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a + I_s \cdot R_s \text{ (Volt)}$$

$$V_t = E_a + I_a (R_a + R_s) \text{ (Volt)}$$



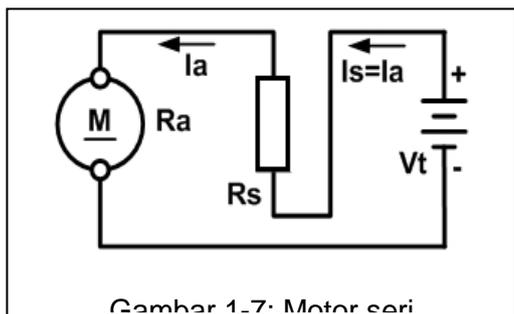
c) Motor DC Penguat Shunt :

$$I_a = I_1 - I_{sh} \text{ (Amper)}$$

$$I_{sh} = \frac{V_t}{R_{sh}} \text{ (Amper)}$$

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a \text{ (Volt)}$$

$$E_a = V_t + I_a \cdot R_a \text{ (Volt)}$$



d) Motor Kompond Pendek

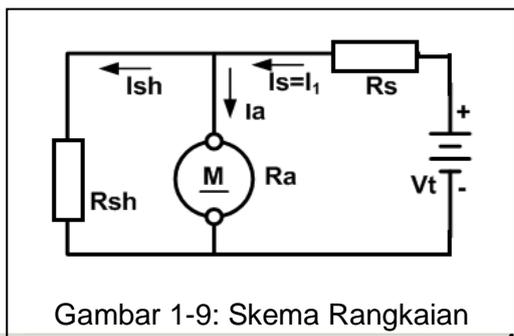
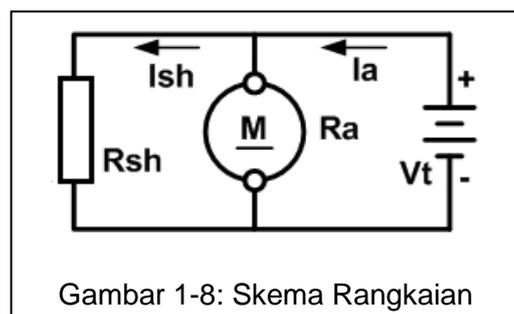
$$I_1 = I_s \text{ (Amper)}$$

$$I_a = I_1 - I_{sh} \text{ (Amper)}$$

$$I_{sh} = \frac{V_t - V_{rs}}{R_{sh}} \text{ (Amper)}$$

$$I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}} \text{ (Amper)}$$

$$V_t = E_a + V_{ra} + V_{rs} \text{ (Volt)}$$



$$V_t = E_a + I_a.R_a + I_s.R_s \text{ (Volt)}$$

$$V_t = I_1.R_1 \text{ (Volt)}$$

e) Motor DC Penguat Kompond Panjang :

Skema Rangkaian Motor DC Kompond Panjang

$$I_a = I_a \text{ (Amper)}$$

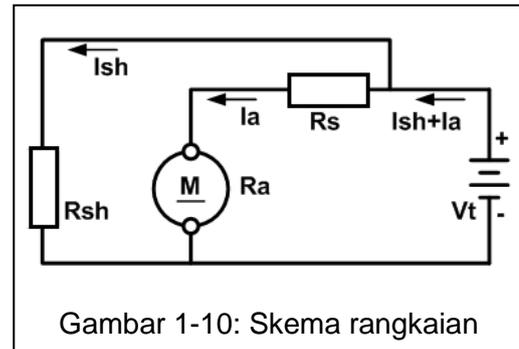
$$I_a = I_1 - I_{sh} \text{ (Amper)}$$

$$I_{sh} = \frac{V_{sh}}{R_{sh}} \text{ (Amper)}$$

$$V_t = E_a + V_{ra} + V_{rs} \text{ (Volt)}$$

$$V_t = E_a + I_a.R_a + I_s.R_s \text{ (Volt)}$$

$$V_t = V_{sh} \text{ (Volt)}$$



Tegangan satu volt adalah GGL (EMF) atau Tegangan Induksi yang dibangkitkan pada penghantar untuk tiap 10^8 garis gaya fluks yang dipotong per detik.

Tegangan rata-rata yang dibangkitkan dalam satu penghantar (E_{av}) sama dengan garis gaya fluks total yang dipotong dibagi dengan waktu yang dipegunakan, atau dinyatakan oleh persamaan :

$$1 E_{av} = \frac{\Phi}{t \times 10^8} \text{ volt(21)}$$

dengan : E_{av} = Tegangan rata-rata yang timbul dalam suatu penghantar.

Φ = Fluks total yang dipotong oleh penghantar

t = Waktu dalam second (detik yang dipergunakan untuk memotong fluksnya).

Contoh Soal

Suatu Generator arus searah 4 kutub mempunyai belitan jangkar yang terdiri dari 648 penghantar (konduktor) total yang dihubungkan dalam 2 garis edar paralel (jalan paralel arus pada penghantar jangkar). Jika fluks per kutub = $0,321 \times 10^6$ maxwell dan kecepatan perputaran dari jangkar 1800 rpm, hitung tegangan rata-rata yang dibangkitkan.

Penyelesaian :

Banyaknya penghantar seri per garis edar paralel sama dengan $\frac{648}{2} = 324$ Banyaknya fluks yang dipotong per putaran

$$\Phi = 4 \times 0,321 \times 10^6 = 1,284 \times 10^6 \text{ maxwell}$$

$$\text{Putaran jangkar per detik} = \frac{1800}{60} = 30 \text{ rps.}$$

Waktu yang dipergunakan per putaran :

$$t = \frac{1}{30} = 0,0333 \text{ detik}$$

$$E_{av} / \text{penghantar} = \frac{1,284 \times 10^6}{0,0333} \times 10^{-8} = 0,386 \text{ volt}$$

E_g (tegangan total yang dibangkitkan)

$$= 0,386 \times 324 = 125 \text{ volt}$$

Persamaan Umum Tegangan yang Dibangkitkan dengan Generator Arus Searah.

Dari contoh soal disebelah dapat disimpulkan bahwa tegangan total yang dibangkitkan oleh generator arus scarab akan mengikuti persamaan umum berikut,

$$E_g = \frac{\Phi p x r p m x Z}{a x 60} \times 10^8 \text{ volt(2)}$$

Dengan E_g = Tegangan total yang dibangkitkan dalam volt

- = Fluks per kutub dalam maxwell.
- P = Banyaknya kutub.
- rpm = Kecepatan putaran jangkar per menit
- Z = Jumlah total dari penghantar jangkar yang efektif.
- a = Banyaknya garis edar paralel dari arus pada penghantar jangkar

Contoh Soal

Suatu generator arus searah 6 kutub, 85 kW mempunyai jangkar yang terdiri dari 66 slot (alur) dan tiap alur berisi 12 konduktor. Belitan (kumparan) jangkar di hubungkan sedemikian sehingga terdapat 6 garis edar paralel. Jika tiap kutub menghasilkan fluks sebesar $2,18 \times 10^6$ maxwell dan kecepatan perputaran jangkar 870 rpm, hitung tegangan yang dibangkitkan.

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 E_g &= \frac{\Phi \cdot p \cdot \text{rpm} \cdot Z}{a \cdot 60} \times 10^{-8} \text{ volt} \\
 &= \frac{2,18 \times 10^6 \times 6 \times 870 \times 792}{6 \times 60} \times 10^{-8} \\
 &= 250 \text{ volt}
 \end{aligned}$$

2) Jenis jenis Generator Arus Searah.

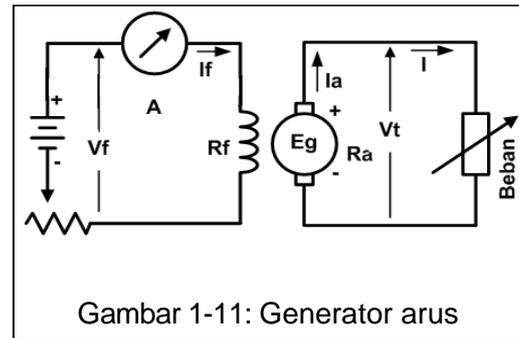
Berdasarkan rangkaian penguatannya maka jenis generator arus searah ini dibagi atas:

1. Generator arus searah dengan penguatan terpisah atau penguatan bebas
2. Generator arus searah dengan penguatan sendiri
 - a) Generator arus searah shunt
 - b) Generator arus searah seri
3. Generator kompon
 - a) Generator arus searah kompon pendek
 - b) Generator arus searah komponen panjang

- a) Generator Arus Searah dengan Penguatan Terpisah

Generator arus searah dengan penguatan terpisah atau penguatan bebas, yakni penguatan medan berasal dari sumber arus searah luar seperti gambar berikut

Gambar *Rangkaian Ekivalen generator arus searah berpenguatan bebas*



Gambar 1-11: Generator arus

Dari gambar rangkaian ekivalen generator arus searah berpenguatan bebas di atas,

dapat dituliskan persamaan yang menyatakan hubungan besaran tegangan, arus, daya dan resistans sebagai berikut :

$$E_g = V_t + I_a R_a + \Delta V_{si} \dots\dots(3)$$

$$V_f = I_f (R_r + R) \dots\dots(4)$$

$$I_a = I = \frac{P_{output}}{V_t} \dots\dots(5)$$

dengan,

E_g = Tegangan yang dibangkitkan oleh jangkar dalam volt

V_t = Tegangan terminal dalam volt

I_a = Arus jangkar dalam Amper

I = Arus beban dalam Amper

V_f = Tegangan sumber arus searah untuk penguatan dalam volt.

R_f = Resistans kumparan medan dalam ohm.

R_a = Resistans kumparan jangkardalam ohm.

I_f = Arus medan dalam Amper

R = Resistans pengatur arus masuk kumparan medan dalam ohm.

Δv_{si} = Rugi tegangan pada sikat

$$P_{output} = V_t I \text{ Watt} \dots\dots (2-6)$$

P_{output} = Daya keluaran jangkar

b) Generator Arus Searah dengan Penguatan Sendiri

Penguatan untuk medan magnetnya diambil dari terminal generator itu sendiri. Karena adanya magnet sisa (residual magnetism) menghasilkan fluks medan pada peimulaannya. Waktu jangkar berputar maka tegangan terminal akan memperkuat medan magnet dan dat-i penguatan ini akan menambah tegangan terminal kembali, sampai akhirnya tetrapai tegangan nominal dari generator. Ada tiga macam generator ini :

c) Generator Arus Searah Shunt

Pada generator ini, kumparan medan paralel dengan kumparan jangkar, lihat gambar berikut .:

Dari gambar rangkaian ekivalen generator arus searah shunt diatas, dapat dituliskan persamaan yang menyatakan hubungan besaran tegangan, arus, daya dan resistans sebagai berikut :

$$E_g = V_t + I_a \cdot R_a + \Delta v_{si} \dots\dots\dots (7)$$

$$I_a = \frac{V_t}{R_a + R_{sh}} \dots\dots\dots (8)$$

$$I_{sh} = \frac{V_t}{R_{sh}} \dots\dots\dots (9)$$

$$I = \frac{P_{output}}{V_t} \dots\dots\dots (10)$$

dimana

E_g = Tegangan yang dibangkitkan pada kumparan jangkar dalam volt

V_t = Tegangan terminal generator dalam volt

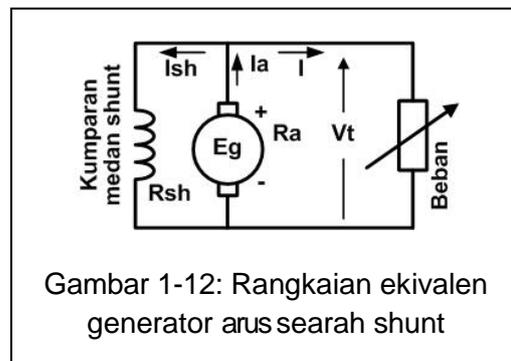
R_a = Resistans kumparan medan dalam ohm.

I_a = Arus kumparan jangkar dalam Amper

R_{sh} = Resistan kumparan medan shunt dalam ohm

I = Arus beban dalam Amper

I_{sh} = Arus pada kumparan medan shunt dalam Amper.



Gambar 1-12: Rangkaian ekivalen generator arus searah shunt

Δv_{si} = Rugi tegangan pada sikat

P_{output} = Daya keluaran dalam Watt

d) Generator Arus Searah Seri

Pada ini kumparan medan diseri dengan kumparan jangkarnya, sehingga medannya mendapat penguatan jika arus bebannya ada, itu sebabnya generator seri selalu terkopel dengan bebannya, kalau tidak demikian maka tegangan terminal tidak akan muncul.

Dari rangkaian ekivalen tersebut maka persamaan yang menyatakan hubungan besaran tegangan, arus, daya dan resistans dapat dituliskan sebagai berikut :

$$E_g = V_t + I_a \cdot R_a + I R_s + \Delta v_{si} \dots\dots\dots (11)$$

$$I_a = \frac{P_{output}}{V_t} \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan persamaan (2-11) dan (2-12)

E_g = Tegangan yang dibangkitkan pada kumparan jangkar dalam volt

V_t = Tegangan terminal generator dalam volt

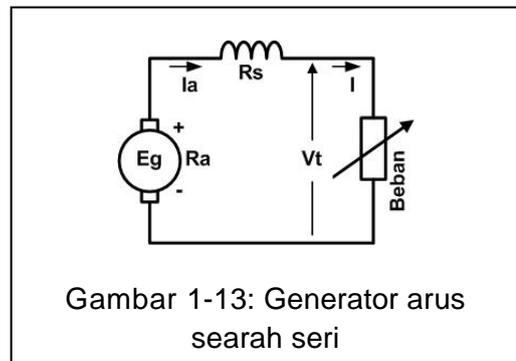
I_a = Arus kumparan jangkar dalam

I = Arus beban dalam Amper

R_a = Resistans kumparan jangkar dalam ohm.

R_s = Resistans kumparan medan seri dalam ohm.

Δv_{si} = Rugi tegangan pada sikat



Gambar 1-13: Generator arus searah seri

Amper

e) Generator Arus Searah Kompon

Generator ini mempunyai dua kumparan medan yakni yang satu diparalel dengan kumparan jangkar, sedangkan yang lain diseri dengan kumparan jangkar.

Menurut susunan rangkaian kumparan medan generator ini terbagi atas :

- kompon pendek.
- kompon panjang.

Menurut arah arus yang mengalir pada kumparan medan generator ini terbagi atas :

- Kompon kumulatif.

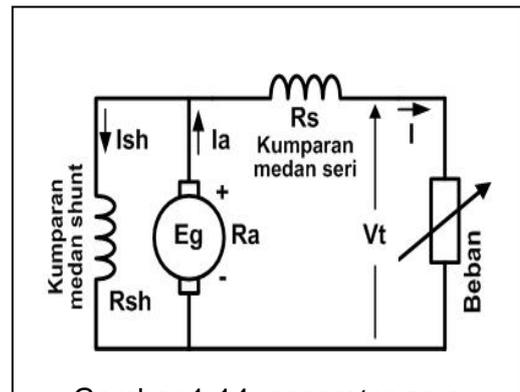
Disebut kompon kumulatif karena arah arus yang mengalir pada kumparan medan seri searah dengan arus yang mengalir di kumparan medan shunt, terbagi atas :

- kompon lebih (over compound)
- kompon kurang (under compound)
- kompon rata (flat compound)

- Kompon diferensial.

Disebut kompon diferensial karena arah arus yang mengalir di medan seri berlawanan arah dengan arus yang mengalir pada medan shunt.

Untuk generator kompon, arus yang mengalir pada medan seri ada kalau dibebani, kadang-kadang arus beban ini terlalu besar sehingga medan seri perlu diberi resistans pembagi (diverter resistance).



Berdasarkan susunan rangkaian kumparan medannya maka generator arus searah kompon ini akan dibahas satu per satu berikut :

f) Generator Arus Searah Kompon Pendek

Rangkaian ekuivalen generator arus searah kompon pendek ini lihat gambar 2-15.

Dari gambar rangkaian ekuivalen generator arus searah kompon pendek disebelah, dapat dituliskan persamaan yang menyatakan hubungan be-saran tegangan, arus, daya dan resistans sebagai berikut:

$$E_g = V_t + I_a \cdot R_a + I R_s + \Delta V_{si} \dots (13)$$

$$I_a = I_{sh} + I \dots (14)$$

$$I_{sh} = \frac{V_t - I R_s}{R_{sh}} \dots (15)$$

$$I = \frac{P_{output}}{V_t} \dots (16)$$

dengan,

E_g = Tegangan yang dibangkitkan pada

kumparan jangkar dalam volt

V_t = Tegangan terminal generator dalam volt

R_a = Resistans kumparan jangkar dalam ohm.

I_a = Arus kumparan jangkar dalam Amper

I = Arus beban dalam Amper

I_{sh} = Arus medan shunt dalam Amper

R_s = Resistans kumparan medan seri dalam ohm.

R_{sh} = Resistans kumparan medan shunt dalam ohm

Δv_{si} = Rugi tegangan pada sikat

g) Generator Arus Searah Komponen Panjang

Rangkaian ekivalen generator arus searah komponen panjang. Dari gambar rangkaian ekivalen tersebut maka persamaan yang menyatakan hubungan besaran tegangan, arus, daya dan resistans dapat dituliskan sebagai berikut :

$$E_g = V_t + I_a R_a + I R_s + \Delta v_{si} \dots\dots (2-17)$$

$$I_a = I_{sh} + I \dots\dots\dots(2-18)$$

$$I_{sh} = \frac{V_t}{R_{sh}} \dots\dots\dots (2-19)$$

$$I = \frac{P_{output}}{V_t} \dots\dots\dots(2-20)$$

Keterangan persamaan 17 sampai 20 sebagai berikut :

E_g = Arus beban dalam Amper.

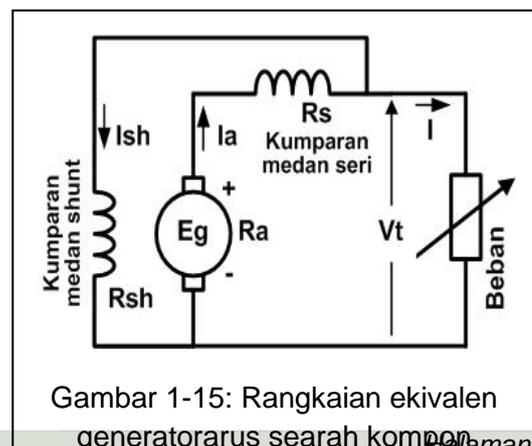
V_t = Tegangan terminal generator dalam volt

I_a = Arus kumparan jangkar dalam Amper

I = Arus beban dalam Amper

R_a = Resistans kumparan jangkar dalam ohm.

I_{sh} = Arus medan shunt dalam



Gambar 1-15: Rangkaian ekivalen generator arus searah komponen

Amper

R_a = Resistans kumparan medan seri dalam ohm.

R_s = Resistans kumparan medan shunt dalam ohm.

R_{sh} = Resistans kumparan medan shunt dalam ohm

Δv_{si} = Rugi tegangan pada sikat

Contoh soal

Suatu generator kompon panjang melayani beban 50 amper pada tegangan terminal 500 volt, mempunyai resistans jangkar, medan seri dan medan shunt masing-masing 0,04 ohm; 0,03 ohm dan 250 ohm. Rugi tegangan sikat 1 volt persikat. Jika output prime mover atau penggerak mula 27,5 kW, hitung :

a. Tegangan yang dibangkitkan oleh jangkar

b. Efisiensi dari generator

Penyelesaian :

Pakai gambar 2-16 dengan data berikut

$I = 50$ Amp ; $V_t = 500$ volt; $R = 0,05$ ohm

$R_s = 0,03$ ohm; $R_{sh} = 250$ ohm

$$a). I_{sh} = \frac{V_t}{R_{sh}} = \frac{500}{250} = 2 \text{ Amper}$$

$$I_a = I + I_{sh} = 50 + 2 = 52 \text{ Amper}$$

$$\begin{aligned} E_g &= V_t + I_a R_s + I_a R_a + \Delta v_{si} \\ &= 500 + (52 \times 0,03) + (52 \times 0,05) + (2 \times 1) \\ &= 506,16 \text{ volt} \end{aligned}$$

b) Output penggerak mula menjadi daya input (P_{input}) dari generatpr = 27,5 kW; sedangkan daya output generator (P_{output}) = $I \times V = 500 \times 50 = 25$ kW

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{P_{output}}{P_{input}} = \frac{25}{27,5} = 90,9\%.$$

Penggerak mula variable Type _____

kecepatan

Ampermeter Type _____ Range _____

Digital voltmeter Type _____ Range _____

Saklar Type _____

Rheostat Type _____

Power Suplai DCvariable Type _____

Kabel penghubung Type _____

d. Lembar kerja siswa

Lembaran Kerja SMKN 12 Bandung	Topik: Generator Arus searah	Mata Pelajaran : Mengoperasikan Mesin- mesin Listrik
	Judul: Mengoperasikan Mesin-mesin Arus Searah Penguat Sendiri	Kelas/Sem : XI KPU/3

I. Tujuan:

Setelah selesai melakukan percobaan ini siswa diharapkan dapat:

1. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan untuk percobaan generator arus searah penguat sendiri.
2. Mengukur Tahanan Jangkar dan tahanan penguat medan generator arus searah penguat sendiri.

3. Membuat rangkaian percobaan generator arus searah penguat sendiri sesuai dengan gambar yang diberikan.
4. Mengoperasikan generator arus searah penguat sendiri.
5. Mengukur besaran tegangan, dan arus medan penguat sendiri.
6. Membuat kesimpulan dari hasil percobaan.

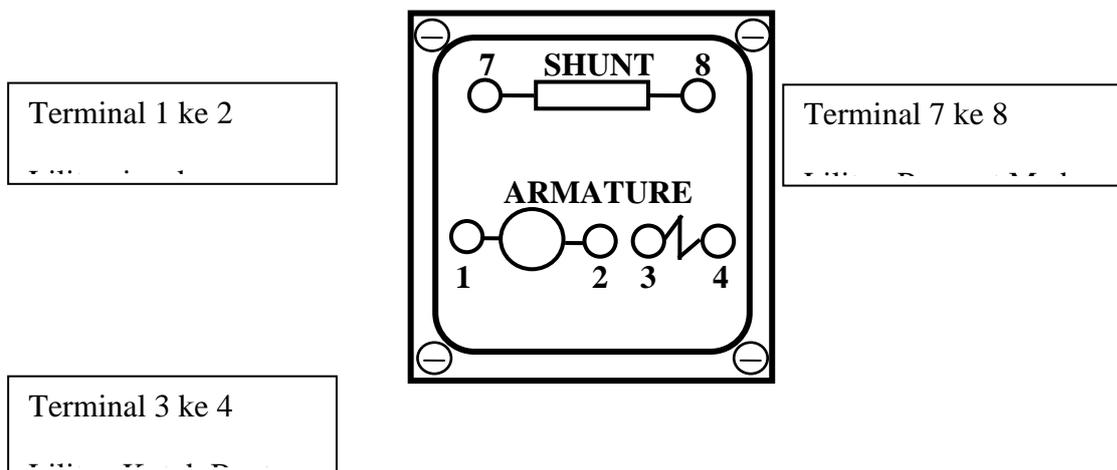
II. Alat dan Bahan

1. Mesin DC Type _____
2. Ampermeter Type _____ Range _____
3. Voltmeter Type _____ Range _____
4. Saklar Type _____
5. Rheostat Type _____
6. Power Suplai DC variable Type _____
7. Kabel penghubung Type _____
8. Alat ukur kecepatan Type _____ Range _____

III. Keselamatan Kerja

1. Jangan meletakkan alat di pinggir meja dan setiap alat yang digunakan harus diperiksa terlebih dahulu.
2. Hati-hati terhadap sumber tagngan, karena anda bekerja terhadap tegangan 220 volt.

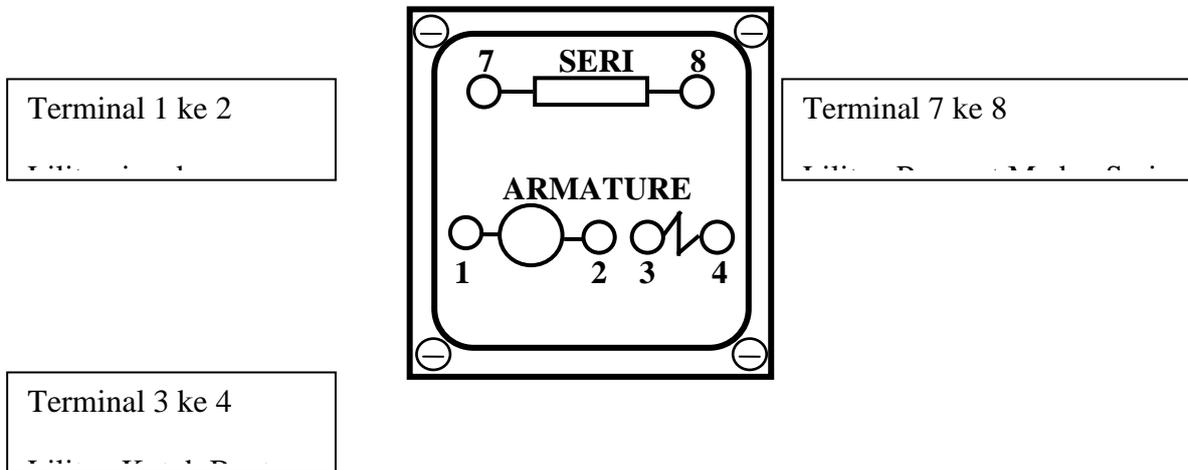
IV. Gambar Terminal Generator DC Shunt



V. Tabel Pengukuran

No	Besaran Tahanan	Hasil pengukuran (ohm)
1	Lilitan jangkar	
2	Lilitan penguat medan shunt	
3	Lilitan kutub bantu	

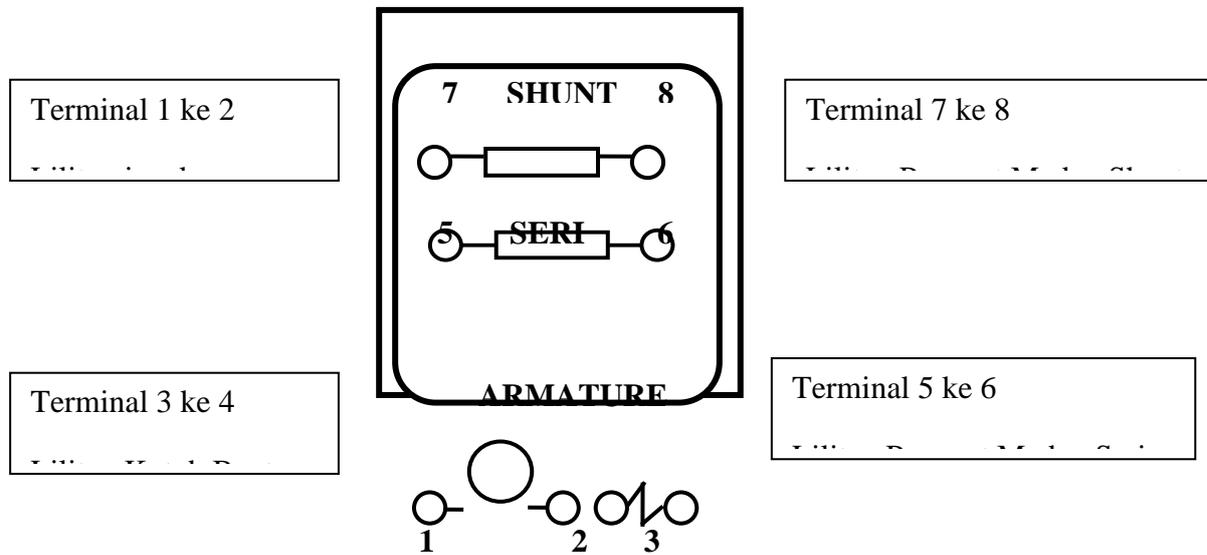
Gambar Terminal Generato DC Seri



VI. Tabel Pengukuran

No	Besaran Tahanan	Hasil pengukuran (ohm)
1	Lilitan jangkar	
2	Lilitan penguat medan seri	
3	Lilitan kutub bantu	

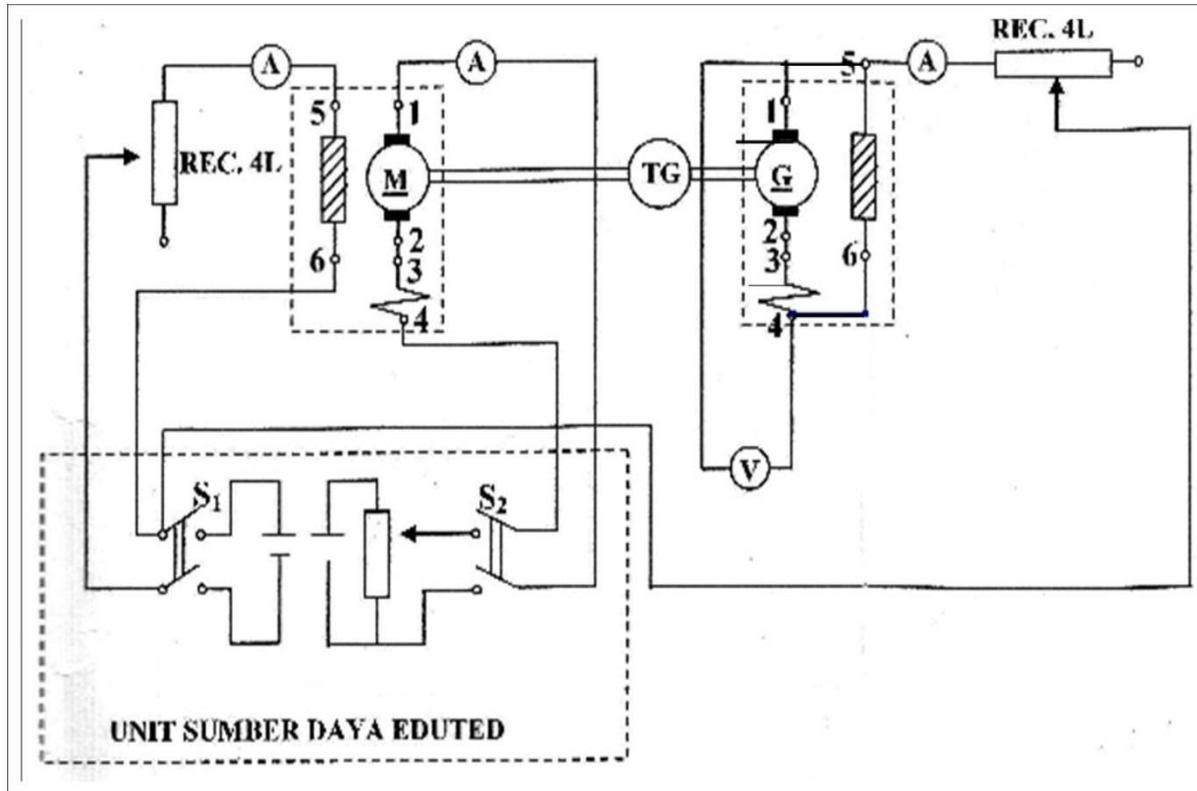
VII. Gambar Terminal Generator DC Kompon



VIII. Tabel Pengukuran

No	Besaran Tahanan	Hasil pengukuran (ohm)
1	Lilitan jangkar	
2	Lilitan penguat medan shunt	
3	Lilitan penguat medan seri	
4	Lilitan kutub bantu	

IX. Gambar Skema Rangkaian



X. Langkah Kerja

1. Siapkan alat dan bahan yang dibutuhkan sesuai dengan gambar percobaan.
2. Buat rangkaian percobaan generator arus searah penguat sendiri sesuai dengan gambar percobaan.
3. Periksa rangkaian percobaan kepada guru pembimbing.
4. Hubungkan sumber tegangan dan arus medan motor sebesar 0,6 ampere.
5. Atur tegangan jangkar motor sebesar 220 volt dan catat besarnya putaran generator.
6. Berikan arus medan generator secara bertahap dan catat besarnya tegangan generator seperti pada tabel.1

Tabel. 1 $n = \text{konstan} = \dots$

If (Ampere)	Ea (Tegangan jangkar)
0	
0,1	

0,2	
0,3	
0,4	
0,3	
0,2	
0,1	
0	

7. Turunkan arus penguat generator sampai dengan nol dan turunkan tegangan jangkar motor sampai dengan nol dan matikan sumber tegangan.
8. Buat gambar grafik percobaan generator DC penguat sendiri dimana $E_a = f(I_f)$ naik dan turun dimana $n = \text{konstan}$.
9. Buat kesimpulan dari hasil percobaan

2. Pembelajaran Kedua

a. Tujuan Pembelajaran

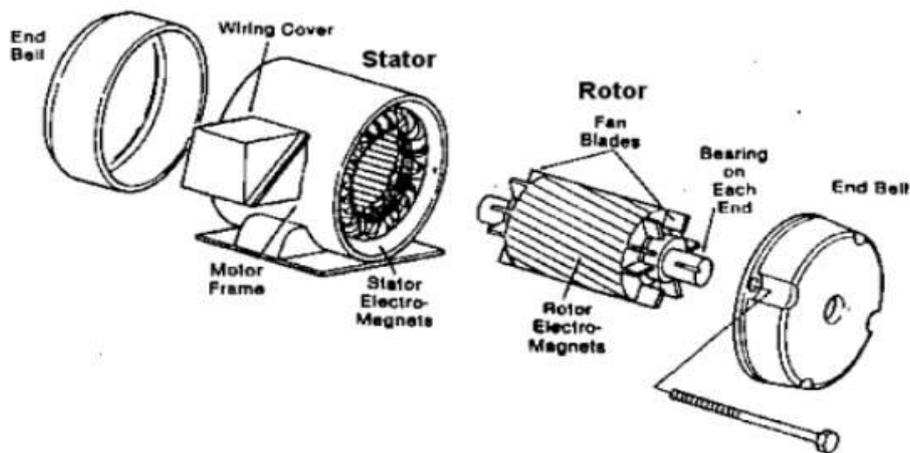
Setelah mempelajari materi ini, siswa diharapkan dapat :

- 1) Menjelaskan prinsip kerja motor tiga fasa rotor sangkar
- 2) Menjelaskan konstruksi motor tiga fasa rotor sangkar
- 3) Menyebutkan sistem sambungan terminal motor tiga fasa rotor sangkar
- 4) Menjelaskan konstruksi motor tiga fasa slipring
- 5) Menjelaskan cara mengoperasikan motor tiga fasa slipring
- 6) Menghitung/menganalisis motor induksi tiga fasa
- 7) Menjelaskan cara merubah kecepatan motor tiga fasa
- 8) Menjelaskan cara menjalankan motor tiga fasa
- 9) Mengukur besaran-besaran listrik motor tiga fasa

b. Uraian materi

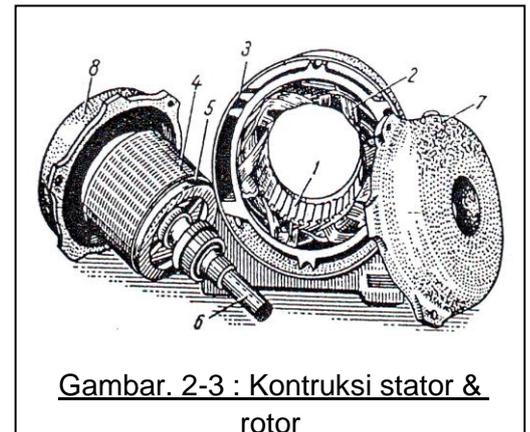
Motor AC 3 fasa

Motor rotor sangkar yang dimaksud adalah asinkron 3 fasa. Dan juga karena gulungan rotornya selalu dihubungkan singkat maka motor ini dinamakan motor hubung singkat atau motor induksi. Apabila arah arus putar dialirkan pada gulungan startornya, perhatikan gambar dibawah ini



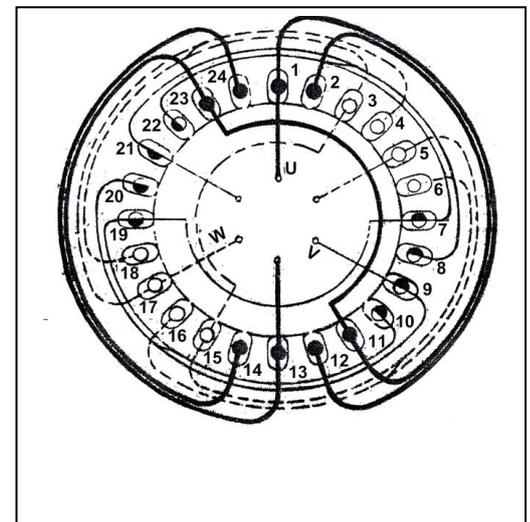
Gambar 2-1 : Bagian-bagian generator AC

Penghantar rotor yang ada di sekeliling startor akan dipotong akan dipotong arus gaya medan putar sehingga dalam penghantar rotor tersebut akan diangkat ggl. Arah ggl dalam penghantar rotornya dapat ditentukan dengan kaidah tangan kanan. Dengan kaidah tangan kanan pada gambar 2-2 penghantar a diinduksikan ggl yang arahnya menuju ke kita. Demikian juga dengan penghantar yang lain arah gglnya ditentukan dengan kaidah tangan kanan.



Gambar. 2-3 : Kontruksi stator & rotor

Sedangkan arah daya tolaknya ditentukan dengan kaidah tangan kiri. Karena pada setiap penghantar rotor akan menjadi gaya-gaya sehingga akan terjadi suatu kopel yang menyebabkan rotor berputar ke kanan. Jadi arah putaran rotor akan sama dengan arah putaran lapangan putar.



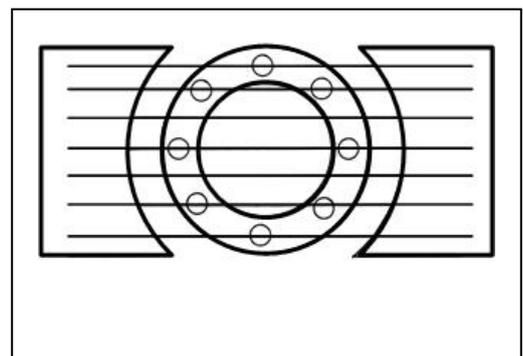
Pada permulaan jalan frekuensi gglnya sama dengan frekuensi jala-jala. Jika kecepatan rotor naik maka gerak nisbinya berkurang dan frekuensi nya turun. Rotornya tidak mungkin menyamai kecepatan medan putarnya karena kalau begitu tidak akan ada gerak nisbi, tidak ada arus dan tidak ada kopel.

Pada beban nol kecepatannya hampir serentak sinkron.

Statornya hanya mengambil arus yang kecil dari jala-jala. Apabila beban dinaikan, kecepatan rotor berkurang ini berarti gesekan nisbinya naik sehingga ggl yang diinduksikan dan arus rotornya naik. Kecepatan putar rotor berkurang sampai kopel rotor cukup kuat untuk mengimbangi kopel beban. Ini akan mengakibatkan kenaikan arus statornya. Perbedaan kecepatan antara berbeban dan tanpa beban disebut slip yang besarnya kurang lebih 1 ½ % sampai 6%.

1)Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

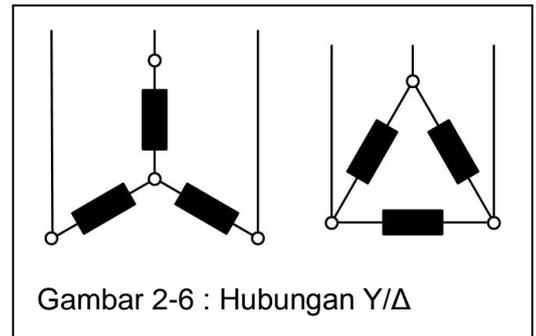
Konstruksi motor induksi tiga fasa tidak berbeda dengan motor induksi satu fase yaitu terdiri dari bagian startor dan bagian rotor seperti diperlihatkan dalam gambar 2-3



2) Bagian Startor

Startor terdiri dari rumah dengan saluran-saluran

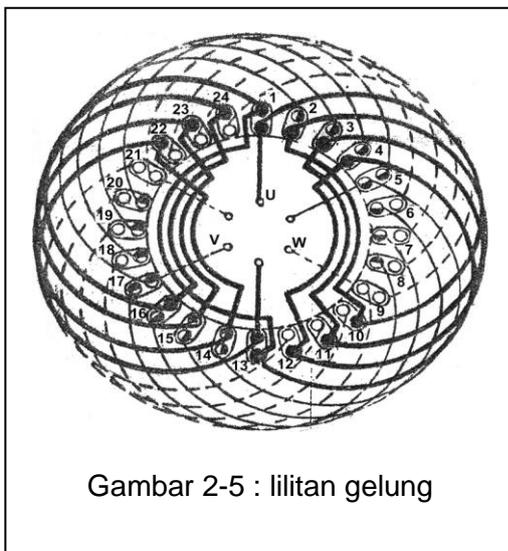
yang dibuat dari plat-plat yang dipejalkan, berikut tutupnya. Dalam saluran tersebut dililitkan kawat-kawat/penghantar yang merupakan gulungan statornya. Bentuk gulungan stator pada dasarnya ada dua macam, yaitu bentuk konsentrik dan bentuk gelung pada gambar 2-4 dan 2-5



Kumparan-kumparan tersebut dapat dihubungkan bintang/star (\square) dan atau segitiga/delta (g). Yang dimaksud hubungan bintang apabila ujung-ujung awal dari kumparan dihubungkan dengan jala-jala sedangkan ujung lainnya dihubungkan singkatkan. Hubungan segitiga apabila ujung kumparan awal salah satu kumparan lainnya sehingga membentuk segitiga dan dari titik sambung kumparan lainnya dihubungkan dengan jala-jala seperti pada gambar 2-6. Perlu diingat bahwa untuk motor induksi 3 fasa yang bertenaga kecil kira-kira sampai 2 HP dapat dihubungkan langsung dengan jala-jala dengan sakelar biasa. Sedangkan untuk motor yang lebih besar harus menggunakan sakelar star/delta atau menggunakan penghambat mula.

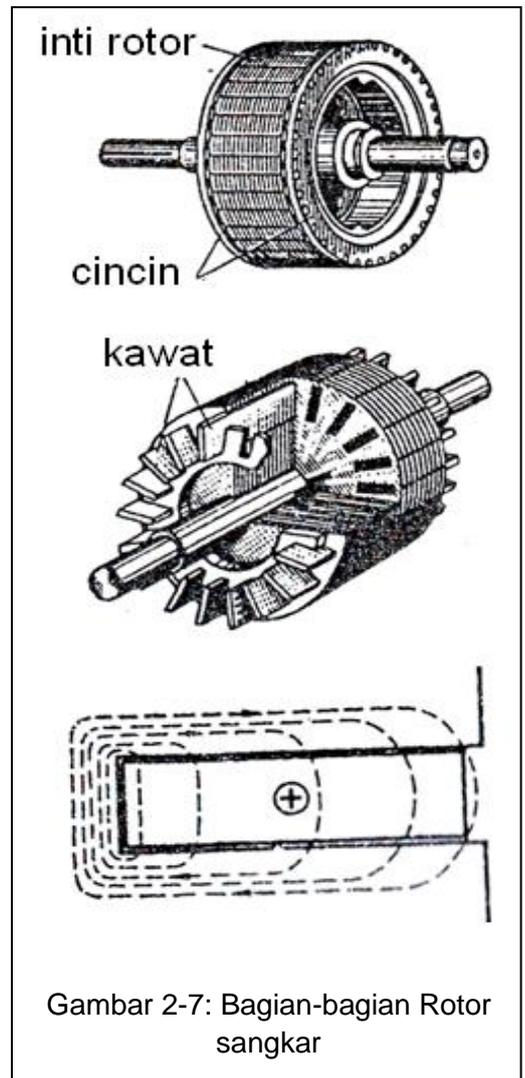
3) Bagian Rotor

Bentuk rotor motor induksi fasa sama dengan rotor motor DC, yaitu terdiri dari plat-plat yang dipejalkan berbentuk silinder. Di sekelilingnya terdapat saluran saluran, dalam saluran tersebut ditempatkan batang-batang kawat. Batang kawat tersebut biasanya dibuat dari tembaga atau loyang campur aluminium. Ujung-ujungnya batang itu dikelilingi pada kepingan logam yang berbentuk cincin yang dibuat dari bahan yang sama seperti batang-batang kawat.



Seluruh batang kawat dengan kepingan itu bentuknya seperti suatu sangkar. Sesuai dengan bentuk di atas maka rotor semacam ini dinamakan rotor sangkar. Seperti pada gambar 2-7 rotor sangkar berganda yang di sekeliling rotornya terdapat dua macam saluran. Saluran yang lebih besar ditempatkan agak ke dalam sedangkan saluran yang kecil ditempatkan ditepi keliling rotor. Pada setiap saluran ditempatkan batang-batang kawat yang sesuai dengan besarnya saluran. Sehingga batang-batang kawat yang terpasang pada rotor menjadi berganda. Ujung-ujung batang-batang kawat yang kecil maupun yang besar dihubung singkatkan dengan cincin, diperlihatkan pada gambar 2-8.

Pada saat gulungan statornya dihubungkan dengan jala-jala maka pada saat itu rotornya dalam keadaan diam. Arus yang mengalir ke gulungan stator besar. Lapangan putar yang berputar dengan kecepatan sinkron. Lapangan putar pada stator akan segera menginduksikan ggl pada gulungan rotor. Karena arus besar maka lapangan putarnya menjadi kuat sehingga ggl yang dibangkitkan pada gulungan rotor pun besar. Gulungan rotor yang terdiri dari batang-batang kawat yang berada dalam keadaan terhubung singkat yang selain mempunyai harga tahanan R juga mempunyai reaktansi X karena batang-batang kawat tersebut dikelilingi oleh besi.



Gambar 2-7: Bagian-bagian Rotor sangkar

Dalam hal ini R kecil sekali, sedangkan $X_L = 2 \pi f L$

X_L = reaktansi; f = frekuensi L = induksi

Karena frekuensi pada gulungan rotor tidak konstan maka harga X pun tidak konstan. Sebelum motor berputar frekuensi rotor sama dengan frekuensi jala-jala. Jika rotor sudah berputar maka X kecil sekali terhadap R. misalnya pada beban penuh $X = 1/5 R$ maka besar impedansi rotor dalam keadaan berputar :

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{5}R\right)^2} \approx R$$

$$\text{maka } \cos \phi = \frac{Z}{R}$$

Ini berarti tegangan dan arus pada gulungan rotor bersama-sama mencapai harga nol maksimum positif.

Diatas telah dijelaskan pada waktu rotor belum berputar frekuensi rotor sama dengan frekuensi jala-jala, yaitu 50 Cs, sehingga pada saat harga

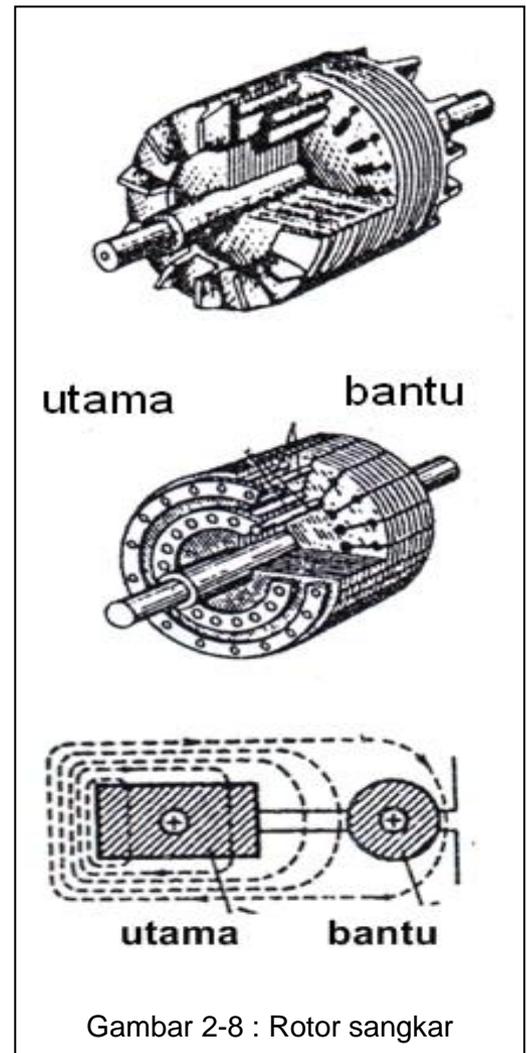
$X = \frac{50}{20} = 25$ kali lebih besar pada waktu rotor sedang berputar. Karena harga X pada waktu pembebanan sebesar $\frac{1}{5} R$ berarti harga X pada

waktu rotor belum berputar $25 \times \frac{1}{5} = 5 R$.

$$\text{Sehingga } \cos \phi = \frac{R}{Z} = 0,2$$

Sekarang kita tinjau keadaan kopel atas dasar 2 kemungkinan :

1. Pada keadaan $\cos \phi = 1$ keadaan tegangan dan arus pada gulungan rotor bersama-sama mencapai harga nol dan maksimum.
2. Pada keadaan $\cos \phi = 0$ arus terbelakang 90° terhadap tegangan pada gulungan rotor.



Gambar 2-8 : Rotor sangkar

Untuk mengetahui keadaan kopel pada kedua keadaan tersebut perhatikan gambar 2-9..

Arah dari lapangan putar yang berasal dari stator untuk suatu saat umpamanya dari atas ke bawah dan berputar ke kanan. Dengan demikian arah ggl yang diinduksikan pada batang a , b dan h arah gglnya menuju kita pada batang kawat c dan g gglnya sama sama dengan nol pada kawat d, e dan f arah gglnya meninggalkan arah kita. Arah arus yang mengalir pada batang kawat sama dengan arah gglnya.

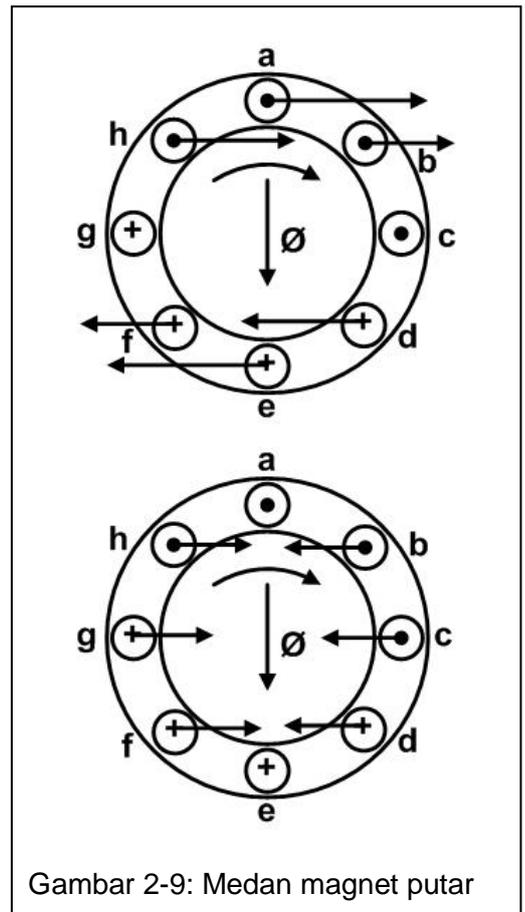
Pada keadaan $\cos \phi = 0$ tanda mengalirnya kuat arus sama dengan tanda arah dibangkitkannya ggl pada setiap kawat. Dengan didapatkannya arah mengalirnya serta juga diketahui arah lapang putar maka dapat dicari arahnya kopel yang bekerja pada kawat-kawat itu adalah nol. Pada $\cos \phi = 1$ kekuatan pada kawat-kawat bekerja bersama-sama dan memberikan kopel yang baik. Artinya pada keadaan $\cos \phi = 0$ pada rotor tidak ada kopel pada keadaan $\cos \phi = 1$ pada rotor ada kopel.

Karena harga yang sebenarnya dari $\cos \phi$ itu selalu berubah-ubah antara $0,21 = 1$ (berlaku sebelum berputar dan sesudah berputar). Maka jelaslah bahwa pada permulaan jalan kopelnya kecil akan lebih jelas lagi bahwa yang menentukan kopel adalah arus rotor kali $\cos \phi$ rotor.

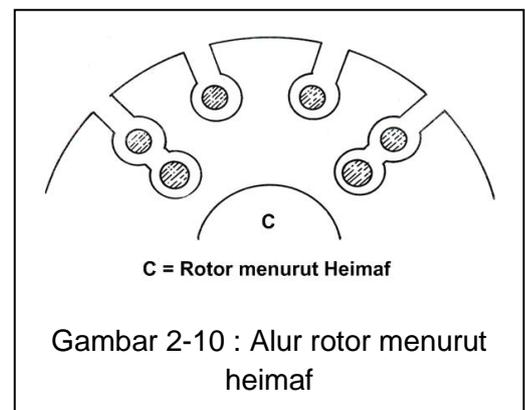
Dalam pemakaian motor rotor sangkar mempunyai arus starting 4-5 kali arus nominal sehingga pabrik-pabrik pemakai agak membatasi adanya pemakai motor rotor sangkar. Dengan adanya perbaikan bentuk rotor sangkar biasa (rotor menurut Bradley) menjadi rotor sangkar ganda (diubah oleh Boucherot) akan memperbaiki arus starting menjadi 2-3 kali arus nominal. Batang kawat yang kecil yang ada di tepi/luar mempunyai R besar dan X yang kecil. Sedangkan batang kawat yang besar ada sebelah dalam mempunyai R yang kecil dan X yang besar.

Pada saat gulungan stator dihubungkan dengan sumber arus dan rotor belum berputar maka frekuensi gulungan rotor dan frekuensi jala-jala sama. Pada saat itu harga reaktansi tiap-tiap sangkar menjadi besar. Pada mulanya reaktansi dari sangkar luar lebih kecil dari pada reaktansi dari sangkar dalam. Maka ini akan berakibat $\cos \phi$ untuk sangkar luar lebih besar dari pada $\cos \phi$ untuk sangkar dalam. Hal ini membuat sangkar luar akan memberi kopel pada permulaan jalan. Oleh karena itu, sangkar luar disebut sangkar mula gerak. Setelah itu, putaran rotor akan bertambah cepat sehingga frekuensi rotornya semakin berkurang. Hal tersebut menyebabkan penghambat reaktansi dari sangkar luar dan sangkar dalam menjadi

kecil. Jadi karena reaktansi dari sangkar dalam yang semula besar kemudian menjadi kecil berarti $\cos \phi$ untuk sangkar dalam menjadi lebih baik. Sehingga setelah berputar rotor sangkar dalamnya akan memberikan kopel. Itulah sebabnya sangkar dalam disebut gulungan kerja atau sangkar kerja.



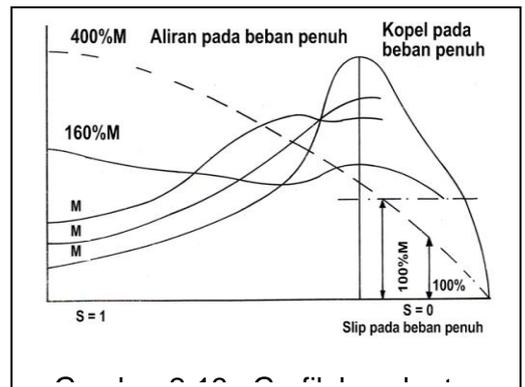
Gambar 2-9: Medan magnet putar



Gambar 2-10 : Alur rotor menurut heimaf



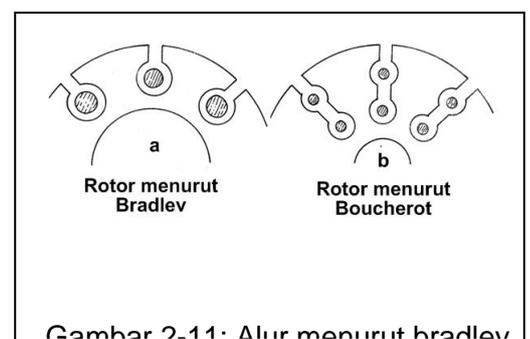
ntuk
men
gura
ngi
keku
rang
an-
keku
rang
rang
an



dari rotor sangkar ganda pabrik motor listrik HEIMAF telah dapat melakukan perbaikan dengan rotor sangkar yang istimewa yang diberi nama S.K.A (Special Kortsluit Angker). Perbaikan berikutnya dilakukan oleh B.B.C (Brow Bover & Cie) yang telah menemukan suatu cara

untuk memperoleh kopel yang kuat dan teratur. Untuk hal tersebut B.B.C membuat saluran-saluran sepanjang rotor tidak dibuat sejajar dengan sumbu poros motor akan tetapi dibuat agak miring seperti diperlihatkan pada gambar 2-11. Penemuan B.B.C banyak ditiru dan dikembangkan oleh pabrik-pabrik motor listrik yang lain.

Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa motor arus putar yang memakai rotor sangkar mempunyai ciri arus starting yang tinggi dan kopel yang kecil. Hal tersebut dapat diatasi dengan cara menggunakan sakelar



star/delta. Dengan menggunakan sakelar delta arus starting menjadi 1,3 -1,5 kali arus nominal (lebih baik sebelum menggunakan sakelar star/delta). Harga faktor kerja ($\cos \phi$) terletak antara 0,7 dan 0,9.

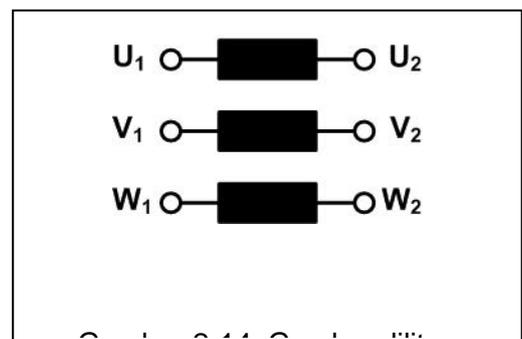
beberapa keuntungan dari motor yang memakai rotor sangkar adalah sederhana konstruksinya pada gambar 2-12 dan mudah dalam pelayanannya. Gambar grafik dari kopel rotor sangkar ganda dibandingkan dengan rotor sangkar tunggal, seperti diperlihatkan pada gambar 2-13.

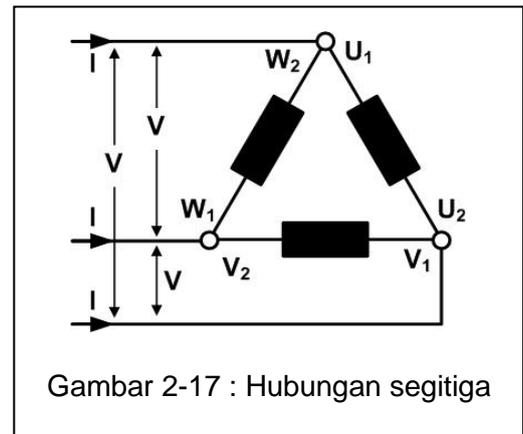
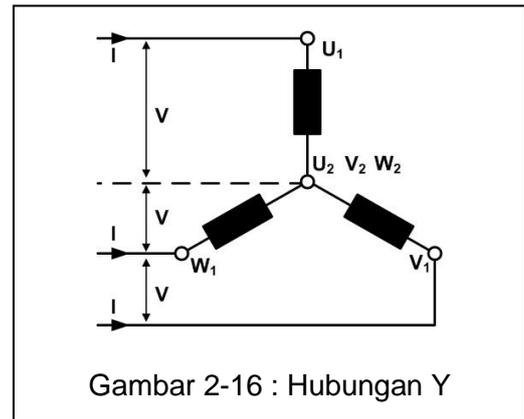
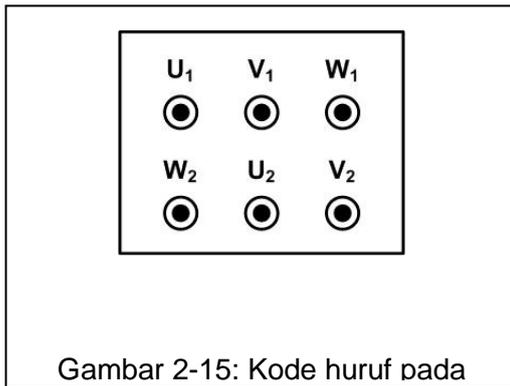
Pertanyaan:

1. Apa nama lain dari motor rotor sangkar ?
2. Bagaimana cara menentukan arah ggl pada rotor ?
3. Jelaskan bagaimana motor induksi bisa berputar ?
4. Mengapa motor sangkar rotor disebut motor hubung singkat ?
5. Apa yang dimaksud dengan slip ?
6. sebutkan bagian-bagian pokok dari motor rotor sangkar ?
7. Ada berapa macam bentuk gulungan stator ?
8. Apa yang dimaksud hubungan bintang ?
9. Apa yang dimaksud hubungan segitiga ?
10. Motor rotor sangkar 3 fasa yang bagaimana yang dapat dihubungkan langsung tanpa alat pengasut ?

4) Menentukan Kode dan Sistim Sambungan

Seperti dijelaskan diatas bahwa rotor induksi 3 fasa yang mempunyai tenaga lebih dari 2 PH harus dijalankan dengan alat pengasut. Hal ini disebabkan motor induksi 3 fasa mempunyai gulungan startor tahanannya rendah.. Karena tahanannya rendah, motor akan mengambil arus besar pada permulaan jalan. Hal tersebut dapat merusak gulungan stator itu sendiri. Untuk itu, pada waktu menjalankan motor induksi 3 fasa harus menggunakan alat pengasut. Alat pengasut dapat merupakan kontraktor, sakelar atau penghambat lainnya. Untuk memudahkan dan menghindari kesalahan maka setiap ujung-ujung kumparan yang dihubungkan dengan terminal diberi tanda/kode, seperti pada gambar 2-14 dan 2-15

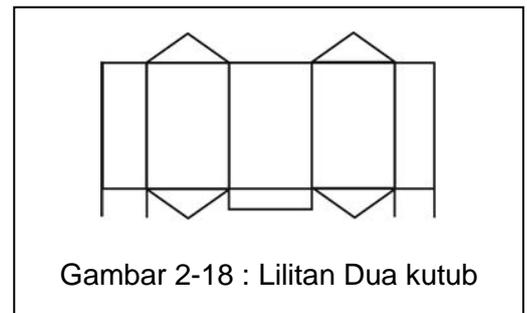




Selanjutnya ujung-ujung kumparan tersebut dapat dihubungkan bintang dan segitiga, seperti pada gambar 2-16 dan 2-17.

1. Bila pada plat motor dituliskan 220 Δ, 380 Y. artinya kumparan tiap fasa dari motor itu dirancang untuk tegangan 220 V. Jadi bila tegangan jala-jala 220 volt maka motor itu akan memberikan daya nominal bila disambungkan segitiga. Apabila tegangan jala-jala 380 volt motor harus dihubungkan bintang sebab bila dihubungkan segitiga kumparannya tidak akan mampu.
2. Bila motor dihubungkan pada tegangan yang tetap dalam hubungan bintang kumparan motor menerima tegangan $\frac{1}{\sqrt{3}}$ tegangan jala-jala hingga arus fasa juga turun $\frac{1}{\sqrt{3}}$ bila dihubungkan segitiga. $\frac{1}{\sqrt{3}} V$
3. Bila sambungan motor itu diubah ke segitiga maka setiap kumparan motor disambungkan langsung pada jala-jala (mendapat tegangan jala-jala). $V_{\text{fasa}} = V_{\text{jala}}$

Cara menjalankan motor induksi 3 fasa kumparan satornya harus dihubungkan bintang terlebih dahulu, kemudian setelah berputar mencapai 75% dari kecepatan penuh baru dipindah pada hubungan



segitiga.

5) Motor Dengan Dua Kecepatan atau Lebih

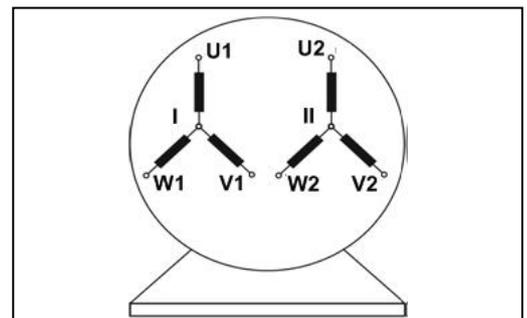
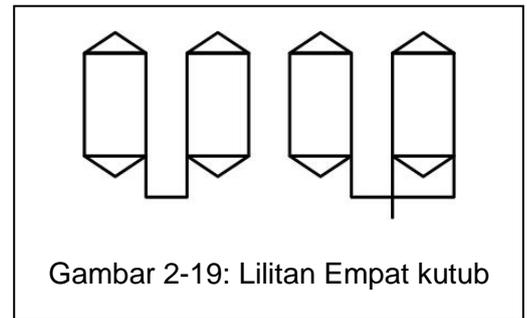
Untuk merubah kecepatan kita berpedoman pada rumus :

$$n = \frac{60f}{p} = \frac{120f}{p}$$

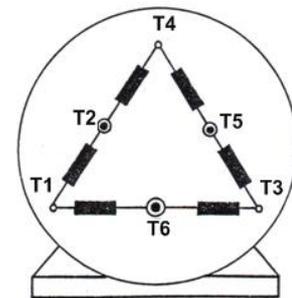
1. Jadi untuk merubah kecepatan/putaran dapat dilakukan dengan cara :
2. Merubah frekuensinya, hal ini tidak mungkin dilaksanakan karena frekuensi ditentukan oleh pembangkitnya.
3. Merubah jumlah kutubnya, hal ini dapat dilakukan dengan 2 cara :
 - a. Memasang dua jenis kumparan pada statornya.
 - b. Memasang sebuah kumparan tetap dengan jalan merubah sambungannya.

Contoh di atas hanya mengambil satu fasa hal ini untuk mempermudah penjelasan seperti pada gambar 2-18 dan 2-19 . Motor dua kecepatan akan mempunyai ukuran lebih besar bila dibandingkan dengan motor satu kecepatan untuk daya yang sama. Motor dua kecepatan/lebih dinamakan motor DAHLANDER. Untuk motor yang mempunyai dua jenis kumparan pada statornya biasanya masing-masing kecepatan dihubungkan bintang seperti diperlihatkan dalam gambar 2-20. Motor induksi 3 fasa 2 kecepatan dengan 2 gulungan stator (gulungan I untuk kecepatan I, gulungan II untuk kecepatan II).

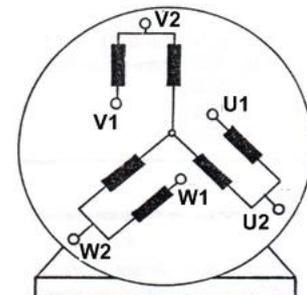
Merubah kecepatan putaran motor yang mempunyai sebuah kumparan stator.



Gambar 2-20 : Motor dua lilitan



Gambar 2-21 : Motor satu lilitan



Gambar 2-22 : Sambungan kecepatan rendah

Pada gambar 2-21 maupun gambar 2-22 dalam kecepatan I dimana kumparan tersambung deret.

Hal ini akan menghasilkan kutub lebih banyak. Jadi putarannya akan rendah. Sedangkan pada kecepatan II kumparan akan tersambung paralel sehingga akan terlihat bahwa jumlah kutub sedikit sehingga motor akan berputar lebih cepat. Pada putaran cepat maupun rendah akan terlihat banyaknya kumparan yang diapit oleh tegangan jala-jala selalu sama. Jadi, meskipun kedua sambungan menghasilkan putaran yang berbeda tetapi tetap akan menghasilkan daya yang sama.

Pertanyaan:

1. Mengapa motor induksi 3 fasa tidak boleh dijalankan langsung khususnya motor yang berkapasitas yang besar ?

2. Buatlah gambar diagram hubungan bintang !

Kec	Jala-jala	Hub. Singkat
I	$U_1 V_1 W_1$	--
II	$U_2 V_2 W_2$	$U_1 V_1 W_1$

3. Buatlah gambar diagram hubungan segitiga !

4. Apa artinya bila motor ditulis 220

Kec	Jala-jala	Hub. Singkat
I	$U_1 V_1 W_1$	--
II	$U_2 V_2 W_2$	$U_1 V_1 W_1$

5. Bagaimana tegangan fasanya

jika motor dihubungkan bintang dan bagaimana pula jika dihubungkan segitiga ?

6. Mengapa motor induksi 3 fasa pada awal jalan harus dihubungkan bintang ?

7. Jelaskan cara kerjanya gambar diagram hubungan bintang dan gambar diagram hubungan segitiga !

8. Bisa disebut apa motor dua kecepatannya ?

9. Apa yang menjadi dasar merubah kecepatan motor ?

10. Bagaimana caranya merubah kecepatan ?

11. Berilah gambaran bagaimana kecepatan motor dapat dilakukan !

12. Apakah ada perbedaan daya dari motor dua kecepatan pada kecepatan I dan kecepatan II ? Mengapa ?

V/380V ?

Kecepatan	Hubungan Dengan Terminal
I	$U_1 - R - V_1 - S - W_1 - T$
II	$U_2 - R - V_2 - S - W_2 - T$

13. Ada berapa jenis motor dua kecepatan ?

6) Motor Slipring

Walaupun konstruksi rotor motor induksi rotor sangkar dengan rotor motor slipring berbeda namun prinsip kerjanya sama. Seperti telah diuraikan di atas untuk motor rotor sangkar bahwa pada saat start reaktansi rotor lebih besar dibandingkan dengan tahanan rotornya. Sehingga faktor kerja menjadi kecil dan momen kopelnya juga kecil. Ketika motor masih berhenti reaktansi motor tiap pisa $x = 2 \pi f L$

$$\text{Maka arus rotor } I_r = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

$$\text{Faktor daya } \cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + Z^2}}$$

$$\text{Kopel gerak mula } M_p \sim I_r \phi \cos \phi$$

$$M_p \sim \frac{E\phi}{z}, \frac{R}{z} \sim \frac{E\phi R}{z^2} \sim \frac{E\phi R}{R^2 + X^2}$$

Karena dengan tegangan jala-jala konstan, ϕ konstan sehingga ggl juga konstan.

$$\text{Maka } M_p = c \frac{R}{R^2 + X^2}$$

M_p = Momen kopel

R = Tahanan rotor

z = Induksi rotor

x = Reaktansi rotor

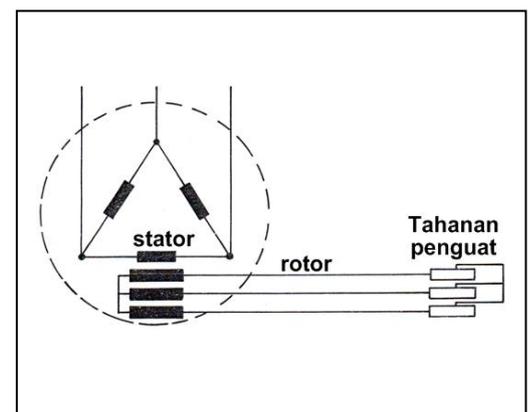
E = Ggl yang dibangkitkan pada kumparan rotor

V = Tegangan dari jala-jala

ϕ = Fluks

c = Suatu konstanta

Untuk memperbaiki kopel sudut fasanya harus diperkecil. Memperkecil sudut fasa ada dua cara, yaitu dengan cara memperkecil reaktansinya atau memperbesar tahananannya. Untuk memperkecil reaktansi tidak mungkin dilakukan, sedangkan memperbesar tahanan dapat dilakukan dengan cara menghubungkan tiga buah tahanan secara deret melalui cincin geser dengan ketiga kumparan rotornya seperti pada gambar 2-23.



Dengan dihubungkannya kumparan rotor dengan tahanan luar berarti kumparan fasanya nilia tahanan akan diperbesar. Hal tersebut akan menaikkan harga impedansi (z) sehingga arus (i) akan turun (dapat mengamankan sikring) pada saat start dan sudah barang tentu sudut fasa juga turun.

(E) ggl $\sim \square \sim$ (V) tegangan jala-jala.

Berarti \square dapat mengimbangi.

$$\text{Maka } M_p = c \frac{V^2 R}{R^2 + X^2}$$

Dari uraian diatas perubahan tegangan jala-jala sangat mempengaruhi moment kopel mula.

Contoh :

Sebuah motor induksi 3 fasa dihubungkan pada tegangan normal. Ggl antara cincin geser pada saat masih berhenti 72 volt; tahanan rotornya 0,5 ohm tiap fasa dan reaktansi setiap fasa pada saat berhenti 3,5 ohm, jika rotornya dihubungkan bintang tentukan :

1. Arus fasa rotor
2. Faktor kerja pada mulai berputar.
 - a. Bila cincin geser langsung dihubung singkat
 - b. Dihubungkan pada tahanan yang dihubungkan bintang masing-masing tahanan 4,5 ohm.

Penyelesaian

Pada saat masih berhenti ggl fasa

$$E = \frac{72}{\sqrt{3}} = 41,6 \text{ volt}$$

- a. Cincin geser dihubung singkat

$$\text{Arus rotor (I)} = \frac{41,6}{\sqrt{0,5^2 + 3,5^2}} = \frac{41,6}{3,54} \text{ A} = 11,75 \text{ A}$$

$$\text{Faktor kerja} = \frac{R}{z} = \frac{0,5}{3,54} = 0,14$$

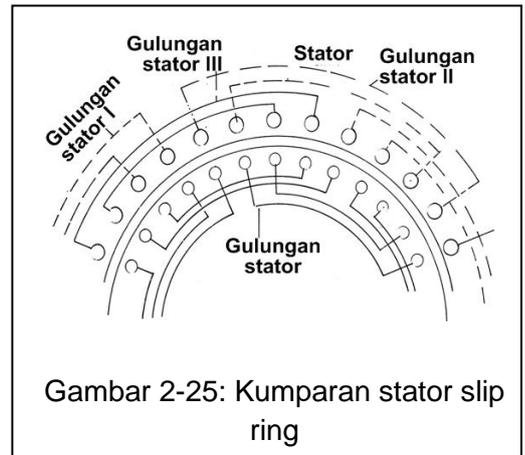
- b. Dengan tahanan luar

$$I = \frac{41,6}{\sqrt{4,5^2 + 3,5^2}} = 7,26 \text{ A}$$

$$\text{Faktor kerja} = \frac{4,57}{5,70} = 0,79$$

7) Konstruksi Motor Slipring

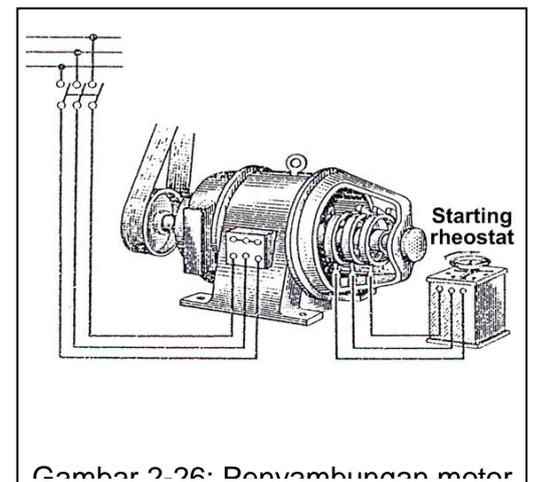
Perbedaan konstruksi motor slipring dengan motor rotor sangkar hanya pada gulungan rotornya yang gulungan rotornya tidak dihubungkan singkatkan secara langsung seperti pada rotor motor sangkar. Motor slipring dilengkapi dengan 3 buah cincin geser yang dipasang pada poros motor diperlihatkan pada gambar 2-24.



Gambar 2-25: Kumparan stator slip ring

8) Stator Motor Slipring

Bentuk besi stator maupun gulungannya sama seperti motor rotor sangkar seperti yang sudah dibicarakan. Gulungan statornya dapat dihubungkan bintang segitiga.

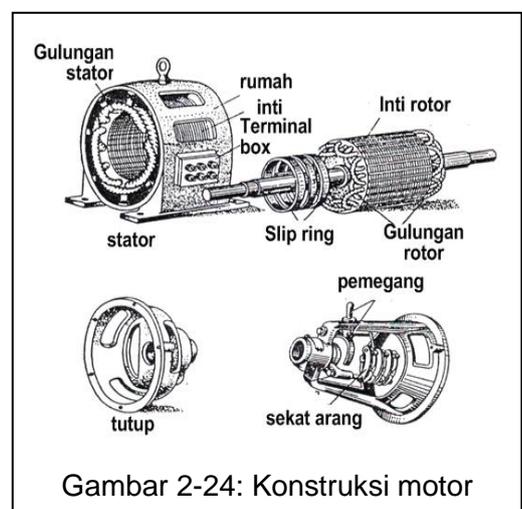


Gambar 2-26: Penyambungan motor

9) Rotor Motor Slipring

Gulungan rotor motor slipring bentuknya sama seperti gulungan statornya. Dimana gulungannya dibagi tidak gulungan fasa yang ujung-ujungnya U - U₁; V - V₁; W - W₁. Setiap ujung fasanya dapat dihubungkan bintang maupun segitiga seperti gulungan statornya. Akan tetapi, yang biasa dipakai adalah hubungan bintang. Sebagai titik bintang ialah U₁ V₁ dan W₁. sedangkan ujung U V dan W masing-masing disambung dengan tiga buah cincin geser yang dipasang pada poros.

Bila rotornya sedang berputar maka gulungan rotornya dapat dihubungkan singkat melalui tiga buah penghambat yang dapat diatur melalui tiga buah cincin geser (slipring) yang dipasang pada poros. Karena adanya cincin geser itu maka motor ini dinamakan motor slip ring.



Gambar 2-24: Konstruksi motor

10) Mengoperasikan Motor Slipring

Motor slipring biasanya digunakan untuk mengerjakan beban-beban berat. Untuk mengoperasikan motor slipring perlu disiapkan tiga buah tahanan (reostat). Ketiga tahanan tersebut

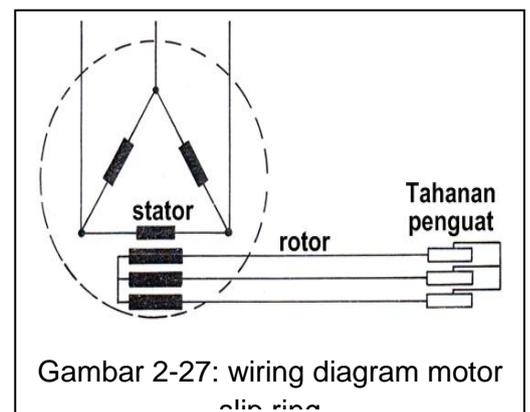
dihubungkan bintang yang ujung lainnya dihubungkan deret dengan gulungan rotor melalui terminal seperti pada gambar 2-26.

Gulungan stator dapat dihubungkan bintang maupun segitiga untuk pemula jalan harus dihubungkan bintang. Melalui alat penghubung (sakelar) gulungan stator dihubungkan dengan tegangan jala-jala posisi reostat pada posisi maksimum supaya nilai tahanan setiap gulungan fasanya menjadi besar seperti pada gambar 2-27.

Seterusnya posisi reostat sedikit demi sedikit ke posisi nol. Dengan demikian putaran akan bergerak ke arah putaran normal posisi reostat nol. Demikian juga sebaiknya pada waktu memberhentikan motor slipring terlebih dahulu mengatur posisi reostat ke arah maksimum. Setelah itu, alat penghubung diputuskan.

Rangkuman

- 1) Motor induksi adalah suatu mesin listrik yang merubah energi listrik menjadi energi gerak dengan menggunakan gandingan medan listrik dan mempunyai slip antara medan stator dan medan rotor
- 2) Stator adalah bagian dari mesin yang tidak berputar dan terletak pada bagian luar. Dibuat dari besi bundar berlaminasi dan mempunyai alur-alur tempat meletakkan kumparan.
- 3) Rotor adalah bagian dari mesin yang berputar bebas dan letaknya bagian dalam. Terbuat dari besi laminasi yang mempunyai slot dengan batang aluminium/tembaga yang dihubungkan singkat pada ujungnya.
- 4) Motor induksi tiga fasa ada dua macam berdasarkan rotornya yaitu motor rotor sangkar dan motor rotor lilit
- 5) Perbedaan konstruksi motor slipring dengan motor rotor sangkarhanya pada gulungan rotornya yang gulungan rotornya tidak dihubungkan singkatkan secara langsung seperti pada rotor motor sangkar
- 6) Apabila rotor dari motor induksi berputar dengan kecepatan n_r , dan kecepatan medan putar stator adalah n_s maka slip (s) adalah



$$S =$$

n_s = kecepatan medan stator dan n_r = kecepatan medan rotor

- 7) Bila pada plat motor dituliskan 220 Δ , 380 Y. artinya kumparan tiap phasa dari motor itu dirancang untuk tegangan 220 V. Jadi bila tegangan jala-jala 220 volt maka motor itu akan memberikan daya nominal bila disambungkan segitiga. Apabila tegangan jala-jala 380 volt

motor harus dihubungkan bintang sebab bila dihubungkan segitiga kumparnya tidak akan mampu.

- 8) Kecepatan putaran motor tiga fasa dapat diubah dengan dua cara yaitu mengubah jumlah kutub, dengan frekuensi sumber tetap dan mengubah frekuensi sumber, dengan jumlah kutub.
- 9) Perbedaan konstruksi motor slipring dengan motor rotor sangkar hanya pada gulungan rotornya yang gulungan rotornya tidak dihubungkan secara langsung seperti pada rotor motor sangkar.
- 10) Gulungan rotor motor slipring bentuknya sama seperti gulungan statornya. Dimana gulungannya dibagi tidak gulungan fasa yang ujung-ujungnya U - U₁; V - V₁; W - W₁.
- 11) Motor slipring biasanya digunakan untuk mengerjakan beban-beban berat.

d. Tugas

Pertanyaan:

1. Mengapa motor rotor sangkar momen kopelnya kecil ?
2. Ada berapa cara untuk memperbaiki momen kopel ? Sebutkan caranya !
3. Apa yang terjadi kalau nilai tahanan fasanya diperbesar ?
4. Apa perbedaan motor rotor sangkar dengan motor slipring ?
5. Mengapa disebut motor slip ring ?
6. Sebutkan perbedaan konstruksinya motor rotor sangkar dengan motor slipring ?
7. Bagaimana cara menghubungkan gulungan rotor pada motor slipring ?
8. Dimana motor slipring dipakai ?
9. Apa yang terjadi bila gulungan rotor motor slipring dihubungkan langsung tanpa menggunakan reostat ?
10. Sebuah motor slipring dihubungkan dengan tegangan jala-jala tegangan fasanya 50 volt. Pada saat rotornya dihubungkan singkat arus mengalir 15 amper. Besar reaktansi tiap fasa 4 ohm. Untuk memperbesar tahanan rotor dipasang tahanan luar masing-masing 5 ohm, Tentukan :
 - a. $\cos \phi$ pada saat hubung singkat
 - b. I setelah dihubungkan dengan tahanan luar
 - c. $\cos \phi$ setelah dihubungkan dengan tahanan luar.

e. Lembar kerja siswa

Judul : Mengukur Besaran-Besaran Listrik Motor Induksi Tiga Fasa Berbeban

I. Tujuan

Setelah selesai melakukan percobaan ini siswa diharapkan dapat:

- A. Mengoperasikan motor induksi tiga fasa pada hubungan bintang (Y) dan segitiga (Δ) secara manual dengan menggunakan peralatan yang ada dengan benar
- B. Mengoperasikan motor induksi 3 fasa pada waktu berbeban
- C. Menghitung slip motor induksi 3 fasa
- D. Menggambar grafik dari $n = f(I_a)$ dan $n = f(s)$
- E. Menganalisa dan menarik kesimpulan dari hasil percobaan

II. Teori Singkat

Motor induksi tiga fasa adalah suatu motor induksi yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektro magnetik. Pada motor jenis ini terbentuk dua medan yaitu medan fluksi putar stator dan medan fluksi rotor. Interaksi antara kedua medan menghasilkan kopel putar pada rotor.

Seperti diketahui bahwa untuk mengatur putaran motor induksi kita mengenal persamaan, yaitu :

$$E_b = 4,44 k f \Phi Z \text{ volt}$$

$$\Phi \approx I_m$$

$$V = E + I_a Z$$

$$I_a = I_L \quad \text{Dimana : } I_a = \text{ arus jangkar (A) dan } I_L = \text{ arus beban (A)}$$

Kecepatan medan putar stator dinyatakan dengan persamaan :

$$n_s =$$

sedangkan prosentase perbedaan antara kedua percepatan medan disebut slip (S) dan dinyatakan dengan persamaan :

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100\%$$

Dimana : n_s = putaran medan stator (rpm)

n_r = putaran rotor (rpm)

f = frekuensi (Hz)

P = jumlah kutub magnet

Hubungan kumparan stator dapat dibuat dalam hubungan bintang (Y) dan segitiga (Δ). Pada prakteknya hubungan bintang (Y) digunakan untuk start motor dan hubungan segitiga (Δ) untuk keadaan jalan running. Pemindahan hubungan dari bintang ke segitiga umumnya dilakukan pada kecepatan + 75 dari kecepatan nominal motor. Sedangkan cara pemindahan tersebut dapat dilakukan secara manual dan secara otomatis.

III. Alat dan Bahan

1. Power supply unit cm 20m (1 buah)
2. Sakelar bintang – segitiga (1 buah)
3. Motor induksi 3 fasa 1,5 kw (1 buah)
4. Generator DC (1 buah)
5. Voltmeter AC 0 - 450 V (1 buah)
6. Voltmeter DC 0 – 300 V (2 buah)
7. Amperemeter AC 0 – 10 A (1 buah)
8. Amperemeter DC 0 – 1 A 0 – 10 A(1 buah)
9. Rheostat 680 (1 buah)
10. Wattmeter 5 A, 10/459 V (1 buah)
11. Beban resistif 0,1 – 4 kw (1 buah)
12. Kawat penghubung (1 buah)

IV. Keselamatan Kerja

1. Jangan meletakkan alat di pinggir meja dan setiap alat yang digunakan harus diperiksa terlebih dahulu.
2. Hati-hati terhadap sumber tegangan, karena saudara bekerja terhadap tegangan tiga fasa.

V. Langkah Kerja

1. Siapkan alat dan bahan yang diperlukan

2. Rakitlah rangkaian sesuai dengan gambar percobaan
3. Setelah selesai merakit rangkaian, laporkan kepada guru pembimbing agar diperiksa kebenarannya
4. Hubungkan rangkaian ke sumber tegangan 3 fasa dan posisi sakelar bintang segitiga pada keadaan beban nol
5. Operasikan motor induksi 3 fasa pada keadaan beban nol hubungan motor 3 fasa keadaan hubungan bintang dan catat start pada saat start bintang dan setelah putaran motor induksi 3 fasa pindahkan sakelar pada posisi segitiga dan perhatikan parameter-parameter yang ada dan catat perubahannya
6. Kembalikan posisi sakelar pada hubungan bintang dan beban pada motor sesuai dengan kemampuan arus hubungan bintang dan catat data-data pengukuran
7. Setelah itu rubah posisi sakelar pada posisi segitiga dan berikan beban pada motor sesuai dengan pengaturan beban pada tabel yang telah disediakan
8. Data-data dari hasil pengukuran catat dan isikan pada tabel yang telah disediakan
9. Setelah selesai kembalikan posisi beban pada keadaan nol dan OFF-kan sakelar penguat pada generator DC dan kembalikan sakelar bintang segitiga pada posisi nol
10. OFF-kan sakelar pada power supply unit cm 20 m dan kembalikan alat dan bahan pada posisi semula

VI. Tabel Hasil Percobaan

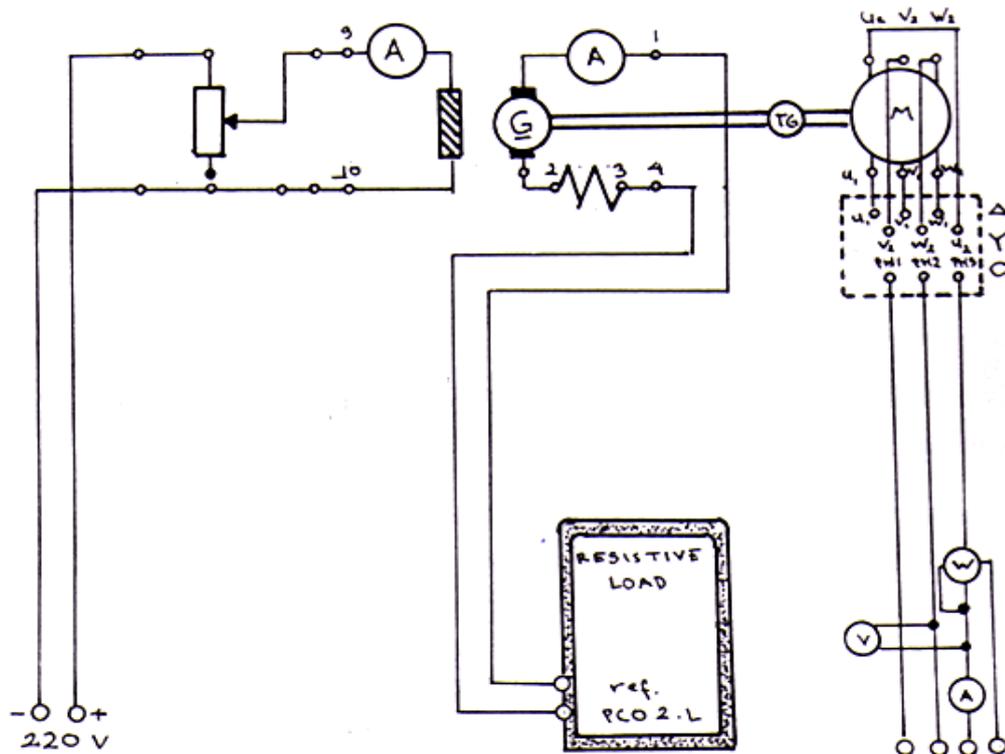
Hubungan bintang(Y)

Hubungan segitiga (Δ)

Beban	Ia	P10	P30	n	s
%	A	W	W	rpm	%
10%					
20%					
30%					
40%					
60%					
90%					
100%					
120%					

Beban	Ia	P10	P30	n	s
%	A	W	W	rpm	%
10%					
20%					
30%					
40%					
60%					
90%					
100%					
120%					

VII. Gambar Rangkaia



VIII. Pertanyaan

Electric Machine

1. Buatlah analisa data percobaan motor induksi 3 fasa tanpa beban !
2. Gambarkan karakteristik dari motor induksi 3 fasa berbeban !
 $n = f(I_a)$ dan $n = f(s)$ dan buat kesimpulan dari hasil percobaan

3. Pembelajaran Ketiga

a. Tujuan Pembelajaran

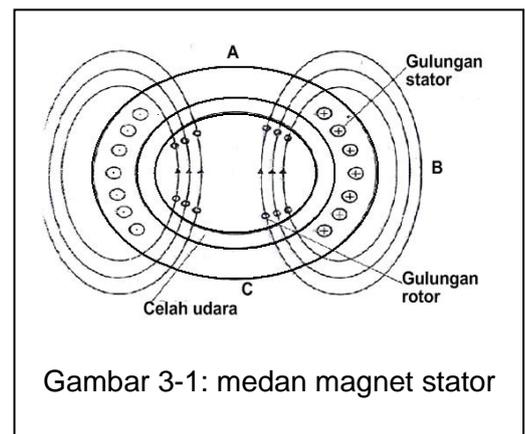
Setelah mempelajari materi ini siswa dapat :

- 1) Menjelaskan prinsip kerja motor AC satu fasa
- 2) Mengidentifikasi motor AC satu fasa
- 3) Menjelaskan cara membalik arah putaran motor AC satu fasa
- 4) Menggambar diagram lilitan motor AC satu fasa
- 5) Mengoperasikan motor AC satu fasa untuk satu arah putaran dengan sakelar manual
- 6) Mengoperasikan motor AC satu fasa untuk dua arah putaran dengan sakelar manual

b. Uraian materi

MOTOR AC SATU FASA

Dalam motor induksi fasa tunggal medan magnetnya naik turun (bergelombang) dari A – C dan C – A seperti terlihat pada gambar 3-1. Ggl induksi dalam kumparan rotor dapat dilihat pada gambar 3-2 kopel akan dihasilkan menurut arah jarum jam pada satu sisi dari rotor dan dari sisi yang berlawanan akan dihasilkan kopel yang arahnya berlawanan dengan jarum jam. Sehingga menghasilkan kopel resultan adalah nol. Ini berarti bahwa motor induksi satu fasa tidak dapat start sendiri. Jadi pada gerak awal rotornya perlu dibantu.

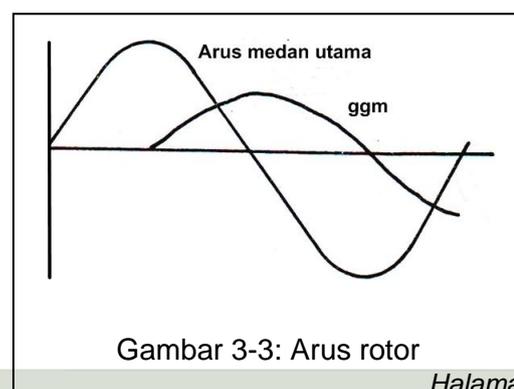
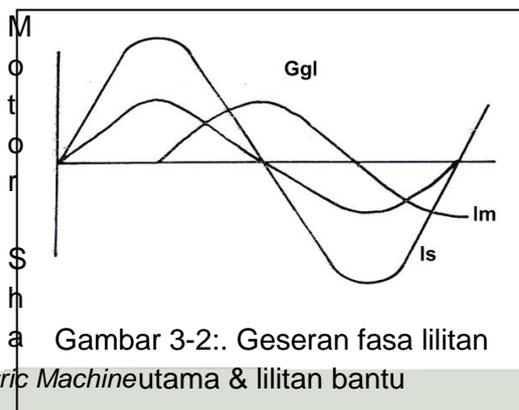


Gambar 3-1: medan magnet stator

Ggl yang dihasilkan dalam penghantar rotor dapat dilihat pada gambar 3-3 dan akan terjadi kopel dalam satu arah saja sehingga rotor berputar dengan sendirinya. Medan yang dihasilkan oleh arus rotor akan timbul dalam arah B – D (atas) atau B – D (bawah) tergantung dari pada *cycle* seperti diperlihatkan pada gambar 90. Karena adanya pergeseran fasa 90° dengan fasa terhadap medan utama maka hal tersebut disebut medan silang. Karena induktansi yang tinggi dan tahanan yang rendah dari penghantar rotor. Garis-garis gaya dari medan rotor ketinggalan 90° listrik. Ini berarti bahwa medan utama adalah nol. Sedangkan medan rotor ada pada maksimum.

Dengan kedua garis-garis gaya dengan masing-masing perbedaan waktu akan menghasilkan medan magnet putar dengan kecepatan syncroon. Oleh karena garis-garis gaya rotor agak sedikit lemah dibanding dengan garis-garis gaya dari medan utama (stator) maka motor induksi satu fasa kemungkinan agak bergetar. Konstruksi motor induksi satu fasa tidak sama dengan motor DC yang kumparan statornya dibuat hanya untuk satu fasa yang digulung sedemikian rupa sehingga apabila dialiri arus akan membentuk kutub-kutub yang berpasangan. Sedangkan rotornya digunakan rotor sangkar.

1)



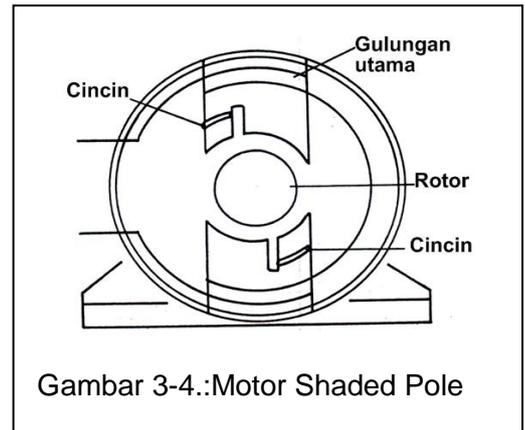
ded Pole

Pada *motor shaded pole* selain kutub-kutubnya digulung juga setengah dari kutubnya diberi cincin yang tebal sehingga merupakan kumparan bantu. Pada saat fluks dalam inti kutubnya naik induksi akan terjadi dan pada cincin akan terjadi arus mengalir. Arus ini akan membangkitkan fluks di bagian yang bercincin yang ketinggalan. Perubahan ini mengakibatkan kuat kutub berpindah tempat dari bagian yang tidak bercincin ke bagian yang bercincin secara berkala (periodik) sehingga menimbulkan momen kopel yang lemah pada bagian kutub yang bercincin. Sehingga kutub-kutub yang tidak bercincin akan menghasilkan momen kopel yang berlawanan yang akhirnya motor berputar seperti pada gambar 3-4.

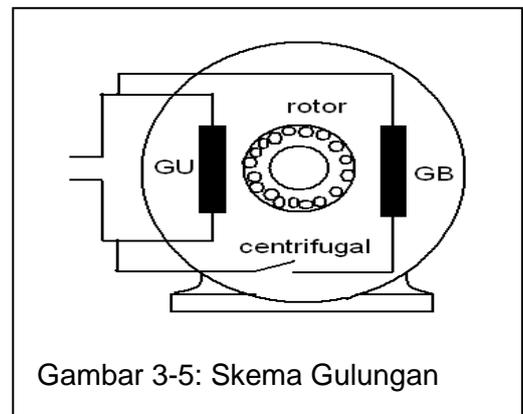
2) Motor Split Fasa

Motor *splet phasa*/motor phasa belah biasa disebut juga motor resistansi start/motor dengan tahanan. Motor ini termasuk motor induksi. Seperti motor listrik lainnya motor splet phasa terdiri dari dua bagian, yaitu stator dan rotor. Rotor dalam bentuk rotor sangkar, sedangkan dalam stator terdapat dua gulungan, yaitu gulungan utama dan gulungan bantu.

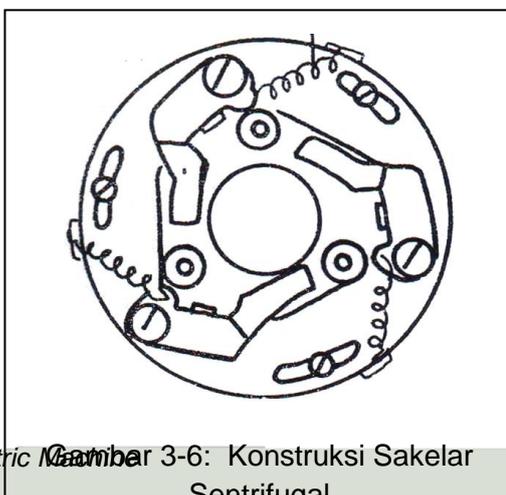
Kumparan utama dibuat dari kawat yang lebih besar daripada kawat untuk kumparan bantunya seperti pada gambar 3-5.



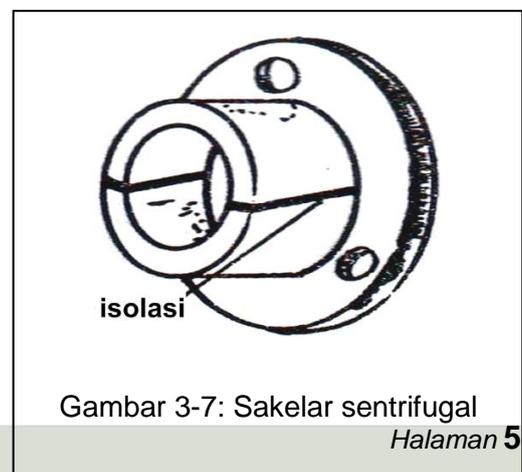
Gambar 3-4.:Motor Shaded Pole



Gambar 3-5: Skema Gulungan



Gambar 3-6: Konstruksi Sakelar Sentrifugal



Gambar 3-7: Sakelar sentrifugal

Hal ini akan memberikan induktansi yang tinggi dan tahanan yang rendah. Kumparan bantu dibuat dari kawat yang lebih kecil dan dipasang di atas kumparan utama. Dalam hal ini akan memberikan tahanan yang tinggi dan induktansi yang rendah ini berarti arus dalam kumparan bantu akan mendahului daripada kumparan utama seperti terlihat dalam diagram.

Sudut yang tepat antara kedua arus harus 90° listrik, akan tetapi hal ini tidak memungkinkan dalam *motor split phase*. Karena adanya sudut phasa antara maka akan timbul medan putar yang tidak sempurna tapi cukup untuk start motor tersebut. Ini berarti bahwa tipe motor ini mempunyai kopel star yang buruk.

Untuk mendapatkan medan putar yang baik maka kumparan bantu harus diputuskan jika motor sudah berputar normal. Untuk hal tersebut digunakan sakelar sentrifugal yang dipasang pada poros rotor. Sakelar sentrifugal akan bekerja (membuka) karena gaya sentrifugal seperti pada gambar 3-6. Kumparan bantu yang dihubungkan deret dengan sakelar sentrifugal akan membuka pada saat putaran mencapai 75% dari putaran penuh.

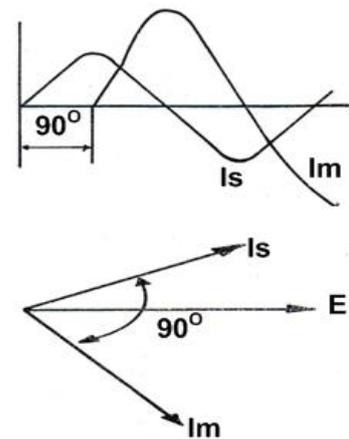
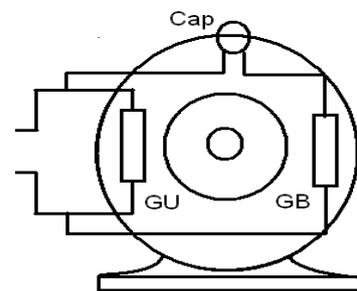
3) Motor Capacitor

Motor capacitor dibuat umumnya sama seperti *motor split phase*, perbedaan yang pokok pada motor kapasitor menggunakan condensator. Jenis motor ini lebih populer dibanding dengan motor 1 fasa lainnya karena motor kapasitor lebih tahan lama. Motor kapasitor ada 2 macam, yaitu :

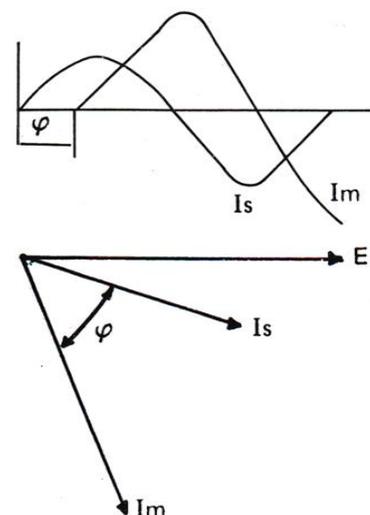
4) Motor Capacitor Type I

Motor capacitor type I mempunyai yang dihubungkan deret dengan kumparan bantu tanpa sakelar sentrifugal. Jadi motor ini pada saat dialiri arus kumparan bantu, kondensator bersama-sama dengan kumparan utama menerima aliran arus tersebut. Hasil kompensasi kumparan bantu dengan kondensator

Gambar 3-8 : Motor kapasitor type I



Gambar 3-9: Diagram dan Vektor motor kapasitor tipe I



Gambar 3-10: Diagram dan Vektor motor kapasitor tipe II

ternyata sudut antara fasa tidak begitu tepat 90° listrik. Walaupun karakteristik motor ini lebih baik daripada *motor split phasa*. Daya motor ini paling besar 1,5 HP.

5) Motor Capacitor Type II

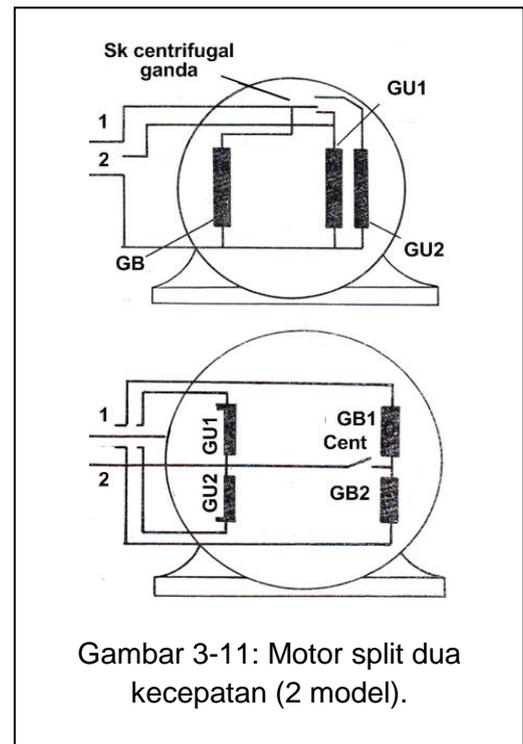
Motor capacitor type II sama seperti *motor capacitor type I*, hanya pada motor ini dilengkapi dengan sakelar sentri-fugal yang dihubungkan deret dengan kumparan bantu dan kondensator. Sakelar sentrifugal akan memutuskan kumparan bantu dan kondensator pada saat putaran mencapai penuh ($\pm 75\%$).

Kumparan bantu pada motor ini dibuat dari kawat yang agak besar dari kumparan utama dan oleh kompensasi dari kondensator maka sudut fasa antara kumparan utama dan kumparan bantu harus mendapat sudut 90° listrik dengan nilai yang tepat dari kondensator. Motor ini mempunyai karakteristik star maupun *kopelstart* lebih baik daripada *motor split phasa*. Daya motor ini dibuat sampai 2 HP.

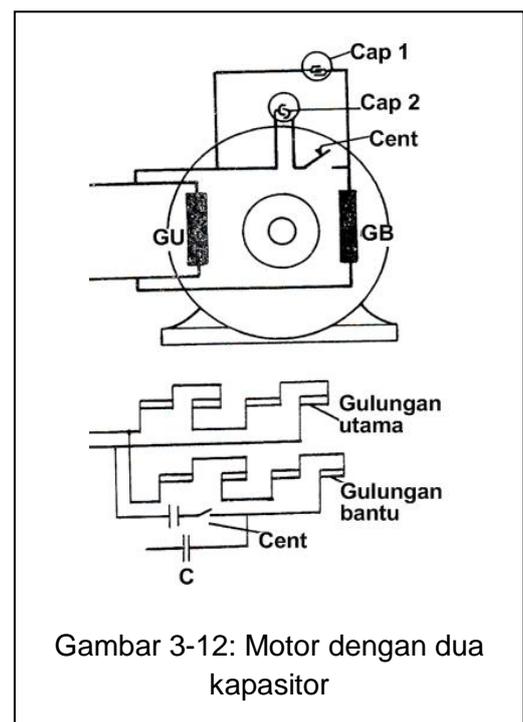
Selanjutnya, bila kumparan bantu sudah terputus motor akan berputar oleh bantuan medan magnet putar dari medan utama dan medan rotor. Keburukan motor ini pada saat berputar bergetar. Hal ini disebabkan adanya perbedaan kekuatan dari kedua medan, yaitu medan utama dan medan rotor. Akan tetapi, motor ini mudah dalam perawatannya maupun perbaikannya. Biasanya motor ini dapat dibuat dari 2 sampai 8 kutub dan kecepatannya dapat dibuat lebih dari 1 kecepatan dengan kekuatan 1 HP.

6) Motor Capacitor Type III

Motor capacitor type III mempunyai dua buah kondensator yang kedua condensatornya bekerja sewaktu star. Akan tetapi, setelah motor berputar hampir mencapai putaran penuh salah satu dari kondensator diputuskan oleh sakelar sentrifugal. Hal ini akan membuat sudut antara fasa kumparan bantu dan utama pada saat star 90° listrik. Sewaktu berputar motor hanya dengan satu condensator yang terhubung akan tetapi garis-garis gaya tetap mempunyai perbedaan sudut 90° satu sama lainnya. Selama berputar garis-garis gaya rotor dan garis-garis gaya kumparan bantu merupakan suatu kombinasi untuk membuat garis-garis gaya dengan pembuatan yang sama



Gambar 3-11: Motor split dua kecepatan (2 model).



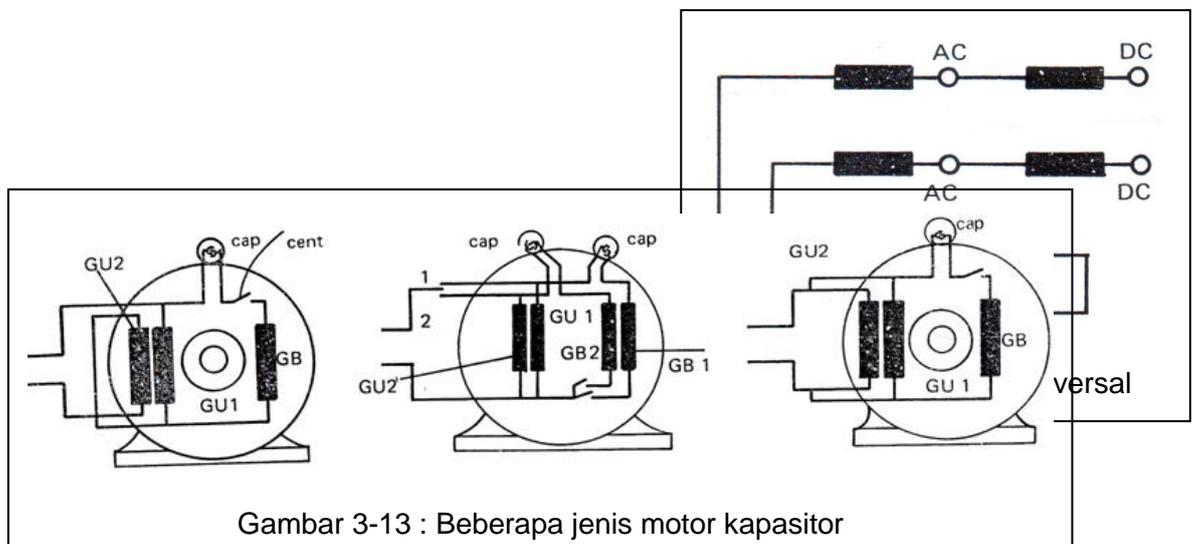
Gambar 3-12: Motor dengan dua kapasitor

terhadap garis-garis gaya kumparan utama. Dan kedua garis gaya tersebut tetap mempunyai perbedaan sudut 90° terhadap satu sama lainnya.

Seperti yang terlihat dalam vektor diagram dan gelombang sinus. Ini berarti bahwa tipe motor ini berputar lebih baik/ halus dibandingkan dengan motor kondensator tipe lainnya.

Motor ini dayanya dapat dibuat sampai 3 HP.

Motor kondensator banyak digunakan untuk alat-alat rumah tangga (mesin cuci, kipas angin, kulkas, pompa air, dan sebagainya) dan mesin perkakas yang berkapasitas kecil (mesin bor, mesin gerinda, dan sebagainya). Untuk hal tertentu *motor capasitor* dibuat untuk dua kecepatan atau lebih. Selain itu, dibuat juga untuk dua tegangan.



7) Motor Komutator

a) Motor Deret

Seperti telah kita ketahui bahwa motor deret DC mempunyai gulungan rotor dihubungkan deret dengan gulungan statornya sehingga kedua arus tersebut sefasa. Ini berarti motor deret DC memungkinkan dapat dihubungkan dengan sumber AC. Meskipun demikian kita tidak akan melakukannya karena reaktansi impedansinya akan menjadi tinggi sehingga momen kopel akan turun dibandingkan bila motor tersebut dihubungkan dengan sumber DC.

Dari hal tersebut di atas maka motor deret untuk AC harus mempunyai gulungan yang dapat mengurangi reaktansi dan menjadikan Z dalam AC sama dengan R dalam DC. Agar motor tersebut momen kopelnya tidak menurun apabila dialiri sumber AC. Ini berarti pula motor deret AC tidak dapat dipergunakan pada sumber DC. Jika hal ini dilakukan motor tersebut akan mendapat arus terlampaui tinggi dan motor akan panas yang berlebihan.

b) Motor Universal

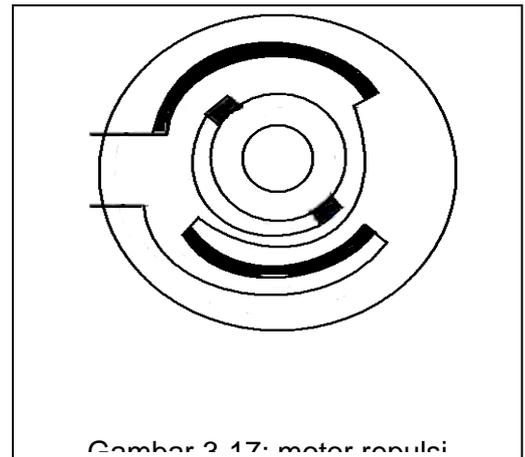
Motor universal termasuk *motor comutator* yang dihubungkan dan dibuat sama seperti dalam motor-motor deret DC maupun AC. Gulungan dai kumparan medan dibuat sedemikian rupa sehingga motor tersebut dapat dipergunakan untuk sumber AC maupun DC. Jumlah gulungan untuk motor DC lebih sedikit dibandingkan untuk motor AC. Motor universal adalah motor deret AC/DC. Motor universal biasanya mempunyai daya kurang dari 1 HP. Daya yang dikeluarkan oleh motor pada saat diberikan sumber AC lebih kecil bila pada saat diberikan sumber DC.

Type motor ini mempunyai kecenderungan mudah panas bila digunakan dalam waktu yang agak lama terutama bila dialiri sumber DC. Perlu diperhatikan motor ini tidak boleh dibiarkan panas yang berlebihan.

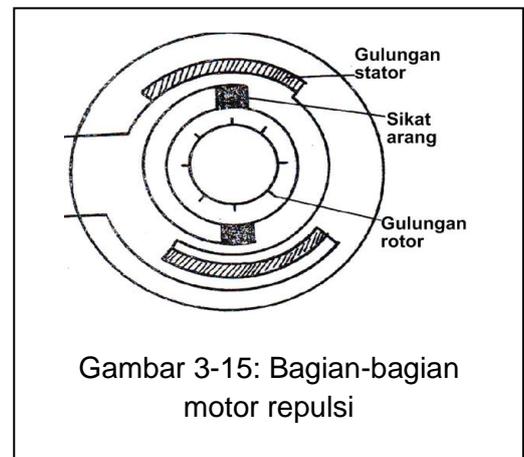
c) Motor Repulsi

Motor repulsi tergolong motor komutator. Seperti halnya motor DC motor repulsi mempunyai gulungan angker dan sekat-sekat. Perbedaannya sekat-sekat pada motor repulsi dapat digeser-geser dengan komutator. Pada motor repulsi terminal statornya dihubungkan langsung dengan sumber tegangan konstan, sedangkan terminal sekatnya dihubungkan singkat. Kedudukan sekat dapat digeser-geser baik ke kiri maupun ke kanan.

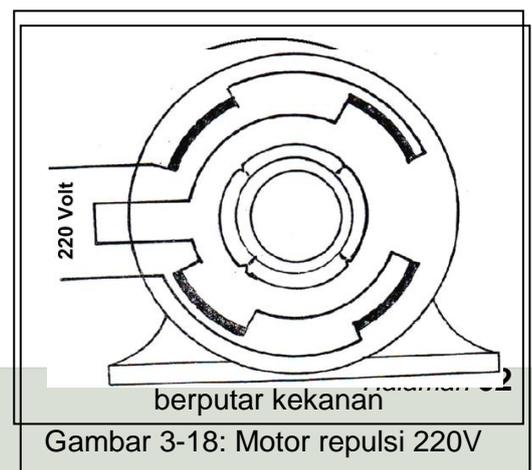
Sekat dipasang horizontal dengan medan magnet. Jika arus statornya dinaikkan sehingga arus gaya dibangkitkan maka akan terjadi induksi ggl dalam kawat rotor. Ggl ini saling membantu setia sisi sekat sehingga mengalir arus yang besar baik dari sisi atas maupun bawah bersama-sama mauk ke sekat yang kiri mengalir ke sekat yang kanan. Momen kopel tidak dibangkitkan karena dimuka masing-masing kutub



Gambar 3-17: motor repulsi



Gambar 3-15: Bagian-bagian motor repulsi



Gambar 3-18: Motor repulsi 220V

setengah dari jumlah kawatnya mempunyai yang arah arusnya ke atas dan yang setengahnya lagi ke bawah.

Pada kedudukan ggl saling melawan jadi arusnya nol. Jika posisi sekat digeser arah arus ditentukan oleh kedudukan sekatnya (dibagi dua oleh sekat-sekatnya).

Sekarang kawat yang ada dimuka kutub lebih banyak yang arah arusnya ke atas sehingga momen kopel lebih kuat. Momen kopel akan memutar rotor ke arah tertentu sesuai dengan kaidah tangan kiri.

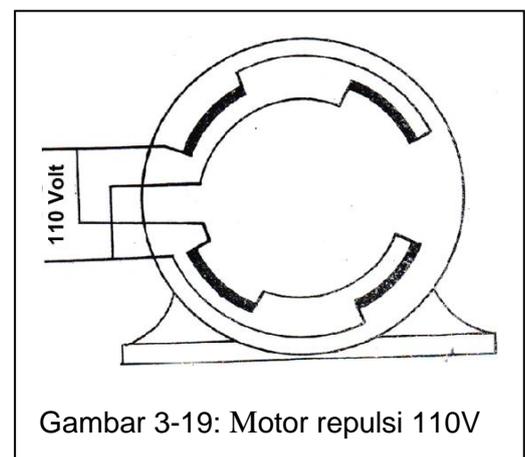
Jadi dapat disimpulkan besar kecilnya sudut pergeseran akan mempengaruhi kecepatan putaran. Bila sekat digeser ke kiri maka rotor akan berputar berlawanan dengan jarum jam. *Motor shaded pole* banyak dipakai untuk keperluan alat-alat rumah tangga karena dayanya kecil misalnya kipas angin, mixer, dan sebagainya.

8) Membalik Putaran

Pada dasarnya membalik putaran motor AC 1 fasa sama seperti membalik putaran motor DC, yaitu dengan cara membalik arah arus pada gulungan rotornya atau gulungan statornya. Hal tersebut berlaku untuk motor 1 fasa jenis komutator. Akan tetapi untuk jenis motor induksi satu fasa karena gulungan rotornya tidak dihubungkan langsung dengan sumber arus maka arah arusnya pun tidak dapat dibalik. Oleh karena itu, membalik putaran motor induksi satu fasa cukup membalikkan arah arus pada salah satu gulungan statornya, yaitu gulungan utamanya atau gulungan bantuannya.

c. Rangkuman

- 1) Pada motor induksi 3 fasa, fluks magnet yang terbentuk di sekitar stator merupakan medan yang berputar. Lain halnya dengan medan magnet yang terbentuk pada kumparan satu fase, di mana fluks magnet hanya berganti-ganti arah saja yang mengakibatkan motor sukar sewaktu akan dijalankan (start). Untuk itu maka diperlukan bantuan yang prinsipnya membentuk medan magnet baru yang tidak sfase dengan medan magnet lilitan utama, yang berarti harus terdapat lilitan kedua yang terpisah dari lilitan utama.
- 2) Untuk membentuk adanya dua arus listrik yang berbeda fasa, digunakan penggeser fasa yaitu induktor atau kapasitor. Pada motor shaded pole (kutub bayangan) motor repulsi, motor seri prinsip kerjanya berbeda dengan fasa belah.



Gambar 3-19: Motor repulsi 110V

- 3) Motor satu fasa dikenal bermacam-macam yaitu: motor kapasitor, motor kutub bayangan, motor repulsi dan motor seri.
- 4) Untuk membalik arah putaran motor dapat dilakukan dengan membalik arah arus pada kumparan utama. Apabila kedua kumparan tersebut dibalik arah arusnya maka arah putaran tidak berubah.
- 5) Pada motor kapasitor, pergeseran fasa antara arus lilitan utama (I_u) dan arus lilitan bantu (I_b) didapatkan dengan memasang sebuah kapasitor yang dipasang seri terhadap kumparan bantunya.
- 6) Untuk mendapatkan medan putar yang baik maka kumparan bantu harus diputuskan jika motor sudah berputar normal. Untuk hal tersebut digunakan sakelar sentrifugal yang dipasang pada poros motor. Sakelar sentrifugal akan bekerja (membuka) karena gaya sentrifugal. Kumparan bantu yang dihubungkan deret dengan sakelar sentrifugal akan membuka pada saat putaran mencapai 75% dari putaran penuh.
- 7) Motor universal termasuk motor comutator yang dihubungkan dan dibuat sama seperti dalam motor-motor deret DC maupun AC. Gulungan dari kumparan medan dibuat sedemikian rupa sehingga motor tersebut dapat dipergunakan untuk sumber AC maupun DC.

d. Tugas

Pertanyaan:

1. Mengapa motor induksi 1 fasa tidak dapat start sendiri?
2. Motor induksi 1 fasa ada kemungkinan bergetar, mengapa?
3. Apa yang anda ketahui tentang konstruksi motor induksi 1 fasa?
4. Apa fungsinya cincin hubung singkat pada *motor shaded pole*?
5. Jelaskan dengan singkat prinsip kerja *motor shaded pole*?
6. Sebutkan bagian penting dari *motor split phasa* dan apa fungsinya?
7. Apa bedanya gulungan utama dan gulungan bantu?
8. Untuk apa sakelar sentrifugal dan bagaimana kerjanya?
9. Mengapa gulungan utama dibuat dari kawat yang lebih besar, sedangkan gulungan bantunya dibuat dari kawat kecil?
10. Mengapa perbedaan sudut antara gulungan utama dan gulungan bantu harus 90° listrik?

e. Lembaran Kerja Siswa

Judul Percobaan : Mengoperasikan Dan Mengukur Besaran-Besaran Listrik Motor Kapasitor

I. Tujuan:

setelah selesai melakukan percobaan ini, siswa diharapkan dapat:

1. Melakukan percobaan menentukan lilitan utama dan lilitan bantu pada motor kapasitor menggunakan peralatan yang ada dengan benar.
2. Melakukan percobaan membalikkan arah putaran motor kapasitor menggunakan peralatan yang ada dengan baik dan benar.
3. Membuat analisa dan perhitungan dari percobaan motor DC penguat terpisah berdasarkan data-data hasil percobaan dengan tepat

II. Alat dan Bahan

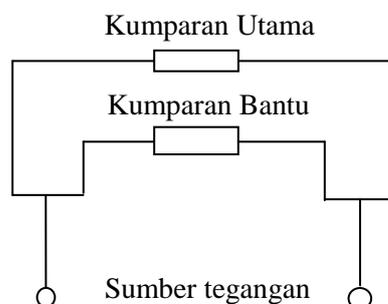
1. Motor kapasitor
2. Wattmeter satu fasa
3. Multimeter
4. Voltmeter AC
5. Amperemeter AC
6. Kabel penghubung

III. Keselamatan Kerja

1. Jangan meletakkan alat di pinggir meja dan setiap alat yang digunakan harus diperiksa terlebih dahulu.
2. Hati-hati terhadap sumber tegangan, karena anda bekerja terhadap tegangan 220 Volt.

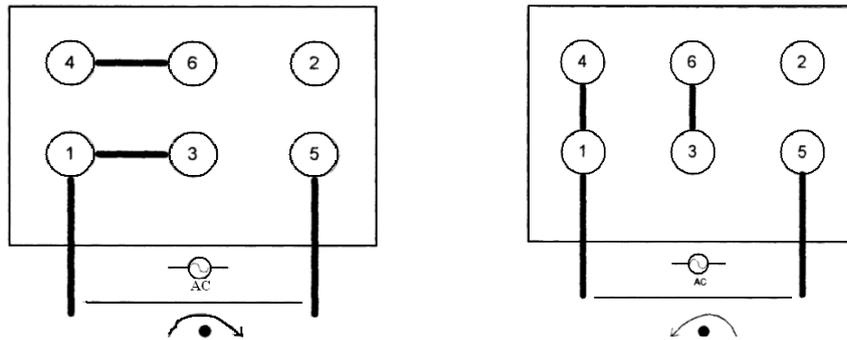
IV. Gambar Skema Rangkaian

Percobaan 1 : Menentukan lilitan utama dan lilitan bantu pada motor kapasitor.

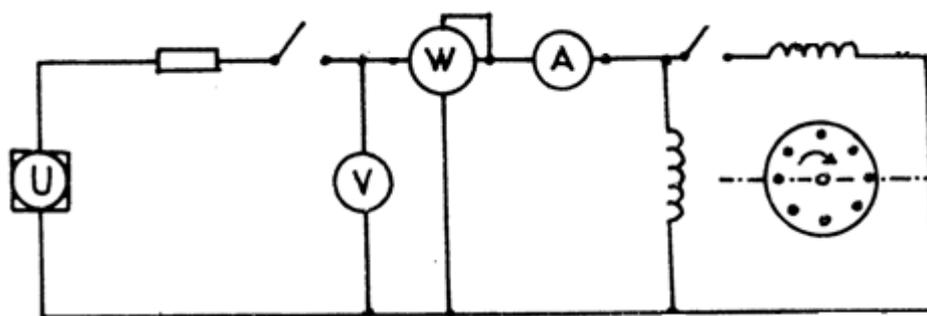


Percobaan Ke-	R_u	R_b

Percobaan 2: Membalikkan arah putaran motor kapasitor



Percobaan 3 : Mengukur besaran arus, tegangan, daya dan tahanan lilitan



Pengukuran ke	Harga Pengukuran			Harga Perhitungan	
	P_{IN} Watt	V Volt	A Ampere	VA	$\text{Cos } \varphi$

V. Langkah Kerja

1. Siapkan semua pralatan yang diperlukan untuk percobaan diatas.
2. Hubungkan alat-alat tadi seperti disirkuit diagram.

3. Catat data motor fasa belah seperti tertera dalam pelat nama.
4. Guru memeriksa hubungannya. Tidak boleh memasukkan tegangan sebelum mendapat persetujuan dari guru.
5. Memeriksa lilitan bantu dan lilitan utama untuk dicek tahanannya.
6. Menghubungkan kabel keterminal sesuai dengan rangkaian.
7. Menghubungkan TPDT ke motor fasa belah.
8. Rangkai besaran-besaran arus, tegangan, daya dan tahanan lilitan.
9. Hubungkan rangkaian kesumber tegangan satu fasa.
10. Setelah itu OFF kan sumber tegangan.
11. Bongkar rangkaian dan selanjutnya simpan masing-masing peralatan dengan baik.
12. Selesaikan pengisian daftar dari hasil percobaan dengan rumus :

$$\text{Cos } \varphi = P_{IN}/VA = \text{Watt}/VA.$$

Pertanyaan/Tugas

1. Bagaimana menentukan lilitan utama dan lilitan bantu pada motor kapasitor?
2. Bagaimana cara membalikkan arah putaran pada motor kapasitor?
3. Buat laporan dan kesimpulan dari hasil percobaan tersebut diatas

4. Pembelajaran Keempat

a. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini, siswa dapat :

1. Menjelaskan prinsip kerja generator AC 3 fasa
2. Menuliskan rumus hubungan tertentu antara kecepatan putar (n) dari rotor frekuensi (f) dari Emf yang dibangkitkan dan jumlah kutub (p)

3. Menjelaskan konstruksi dasar generator AC 3 fasa
4. Menjelaskan hal-hal yang perlu diperhatikan sehubungan dengan pekerjaan melilit suatu mesin arus bolak-balik
5. Menggambarkan sistem sambungan generator 3 fasa hubungan bintang dan hubungan segitiga
6. Menjelaskan faktor yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan terminal (V) generator AC 3 fasa pada keadaan berbeban
7. Menyebutkan syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk memparalelkan generator AC 3 fasa
8. Menggambarkan karakteristik generator AC 3 fasa
9. Melakukan percobaan generator 3 fasa pengujian beban nol
10. Melakukan percobaan generator 3 fasa pengujian keadaan berbeban

b. **Uraian materi**

GENERATOR AC

Generator adalah suatu alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan menerapkan hukum Faraday. Timbulnya ggl pada generator pada prinsipnya adalah sebatang penghantar yang digerakan di dalam medan magnet serba sama (homogen). Gerakan batang penghantar di dalam medan magnet homogen ini sesuai/ memenuhi hukum Faraday (Faradays Law). Untuk memahami prinsip kerja dari generator 3 fase perlu diingat kembali cara kerja generator listrik arus bolak balik 1 fasa yang sudah dipelajari sebelumnya. Artinya bahwa bentuk ggl (Gaya Gerak Listrik) yang diinduksikan pada lilitan jangkar adalah sama, yaitu ggl arus bolak balik (AC).

Timbulnya ggl pada generator pada prinsipnya adalah sebatang penghantar yang digerakan di dalam medan magnet serba sama (homogen). Gerakan batang penghantar di dalam medan magnet homogen ini sesuai/ memenuhi hukum Faraday (Faradays Law).

Hukum Faraday 1 mengandung pengertian bahwa setiap ada perpotongan fluksi magnet persatuan waktu (dt) oleh sebatang penghantar, maka pada batang penghantar tersebut akan diinduksikan ggl sebesar (e). dapat ditulis sebagai :

$$e = \frac{d\phi}{dt} \text{ (volt)}$$

berarti bahwa gerakan dari batang penghantar (dv) akan memotong fluksi magnet persatuan waktu (dt). Artinya bahwa besar fluksi yang dipotong per satuan waktu juga berubah besarnya. Dapat dituliskan dalam bentuk trigonometri, yaitu $\phi = \phi_m \cos \omega t$. Dengan demikian, pada batang penghantar juga akan terinduksi ggl sebesar $(e) = \frac{d\phi}{dt}$ (v)

untuk N jumlah batang penghantar, tegangan yang diinduksikan pada lilitan jangkar menjadi

$$(e) = -N \frac{d\phi}{dt} \text{ (Volt)}$$

Tanda minus adalah menurut hukum Lenz, yaitu arah dari ggl (e) akan menentang terhadap penyebabnya, dalam hal ini adalah energi mekanik yang diberikan pada jangkar generator.

Bentuk ggl yang diinduksikan lebih lanjut dapat dikemukakan bahwa :

$$\begin{aligned} (e) &= -N \frac{d\phi}{dt} \text{ (Volt)} \\ &= -N \frac{d\phi_m \cos \omega t}{dt} \text{ (Volt)} \\ &= -N \cdot \phi_m \cdot -\sin \omega t \cdot \omega \\ &= +N \cdot \phi_m \cdot \sin \omega t \cdot \omega \\ &= \omega \cdot N \cdot \phi_m \cdot \sin \omega t \quad \text{_____} \quad \omega t = 90^\circ \\ &= \omega \cdot N \cdot \phi_m \cdot \quad \text{_____} \quad \omega = 2 \cdot \pi \cdot f \\ &= 2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \phi_m \quad \text{(Volt)} \end{aligned}$$

$$\text{Selanjutnya : } \omega = 2 \cdot \pi \cdot f = P \frac{n}{60}$$

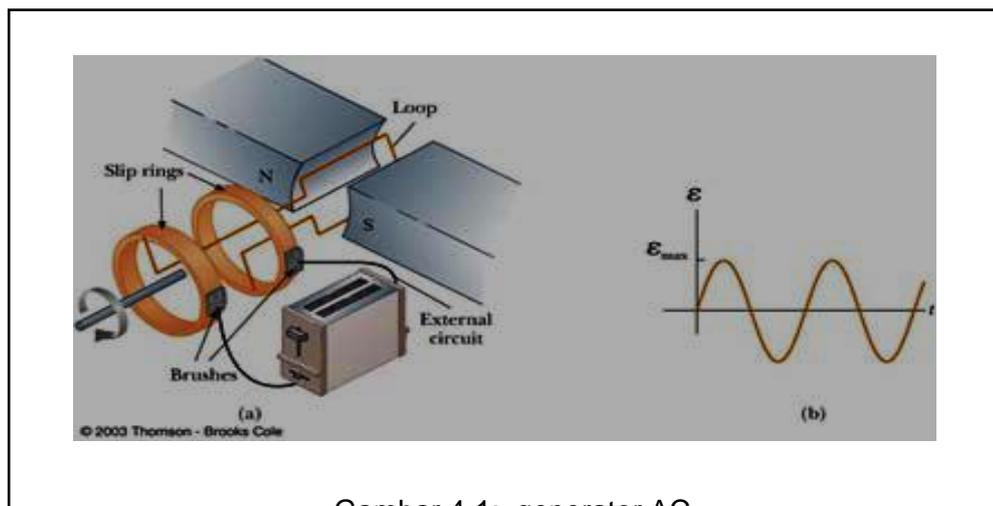
$$N = \frac{P \cdot z}{a}$$

Sehingga :

$$E = \frac{p \cdot n \cdot z \cdot \phi \cdot 10^{-8}}{a \cdot 60} \text{ (volt)}$$

Dimana :

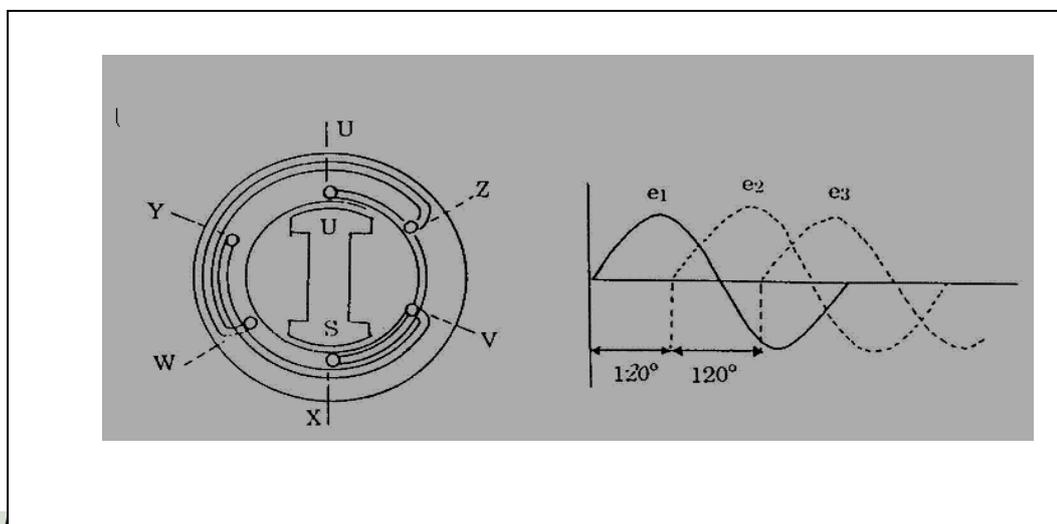
- E = Ggl yang dihasilkan pada jangkar (volt)
- p = Jumlah pasang kutub generator
- a = Jumlah cabang sejajar lilitan jangkar
- n = Kecepatan putaran jangkar (Rpm)
- z = Jumlah batang kawat di dalam jangkar
- Φ = Fluksi magnet (Maxswell)



Gambar 4-1: generator AC

Prinsip kerja yang mendasari timbulnya ggl pada generator AC 3 fasa juga sama dengan prinsip kerja generator AC 1 fasa di atas. Perbedaannya adalah pada generator fasa banyak, jumlah kumparan tempat terinduksinya ggl lebih dari satu.

Khusus untuk generator 3 fasa terdapat 3 buah kumparan fasa, ketiga kumparan fasa tersebut saling berbeda letak (posisi) satu sama lainnya sebesar 120° ruang.



Gambar 4-2: Konstruksi dasar dan ggl generator AC 3 fasa

Pada gambar 4-2 diperlihatkan penampang terpotong dari satu batang penghantar untuk setiap kumparan fasa. Kumparan U – X adalah kumparan fasa pertama (I). Titik U – X berturut-turut adalah ujung dan pangkal kumparan fasa pertama. Kumparan V– Y adalah kumparan fasa ke dua (II). Titik V dan Y masing-masing adalah ujung dan pangkal kumparan fasa ke dua. Kumparan W – Z adalah kumparan fasa ke tiga (III), dengan titik W sebagai ujung kumparan dan Z sebagai pangkal kumparan fasa ketiga.

Bila ketiga kumparan fasa diputar didalam medan magnet serda sama (homogen) dengan suatu kecepatan putaran (n) tertentu, maka akan terinduksi arus bolak balik (e) pada setiap kumparan fasa. Tegangan induksi (e_2) adalah tegangan yang terinduksi pada kumparan fasa III.

Secara listrik akan ternyata bahwa masing-masing tegangan induksi akan saling berbeda letak / fasa sebesar 120 listrik satu sama lainnya. Secara matematis dapat dituliskan :

$$\begin{aligned} e_1 &= E_m \sin \omega t. \\ e_2 &= E_m \sin (\omega t - 120^\circ) \\ e_3 &= E_m \sin (\omega t - 240^\circ) \\ &= E_m \sin (\omega t + 120^\circ) \end{aligned}$$

1) Konstruksi Dasar Generator AC dan jenis kutub magnet

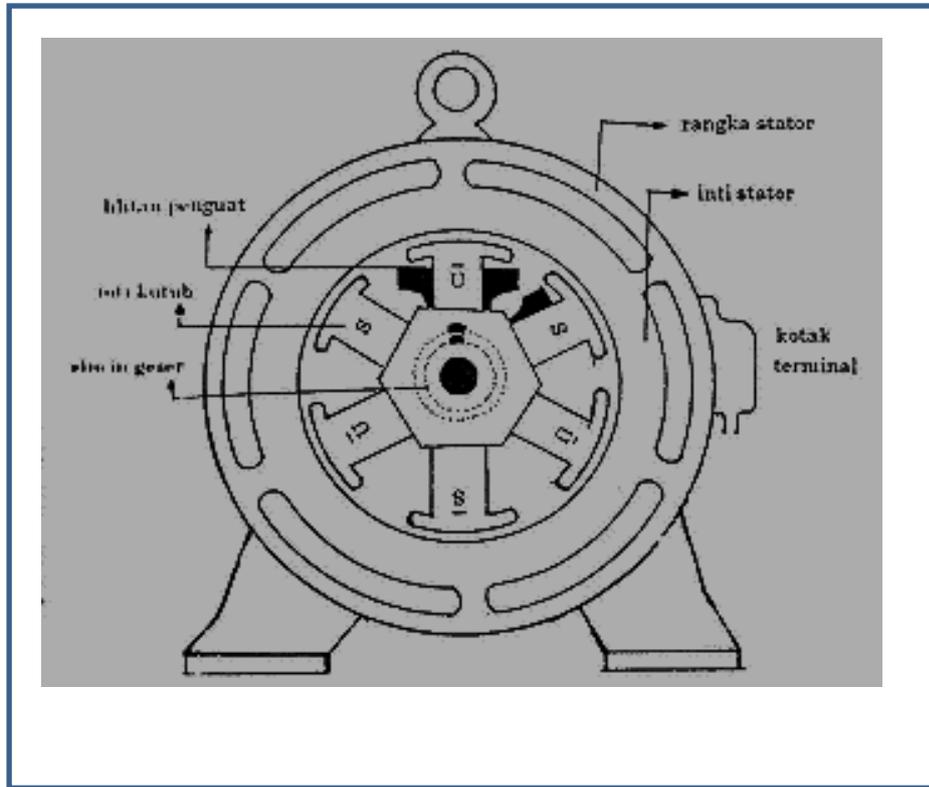
Secara umum keseluruhan bagian dari generator AC 3 fasa dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu stator dan rotor.

- 1) Rangka Stator, dibuat dari besi tuang, rangka stator merupakan rumah dari bagian generator lainnya
- 2) Stator Bagian ini tersusun dari pelat-pelat stator yang mempunyai alur-alur sebagai tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator berfungsi sebagai tempat terjadinya GGL induksi
- 3) Rotor, merupakan bagian yang berputar, pada rotor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitan yang dialiri arus searah, melewati cincin geser dan sikat-sikat
- 4) Slip Ring Atau Cincin Geser, dibuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasangkan pada poros dengan memakai bahan isolasi. Slip ring ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor. Jumlah slip ring ada dua buah yang masing-masing merupakan sikat positif dan sikat negatif berguna untuk mengalirkan arus penguat magnet ke lilitan magnet pada rotor

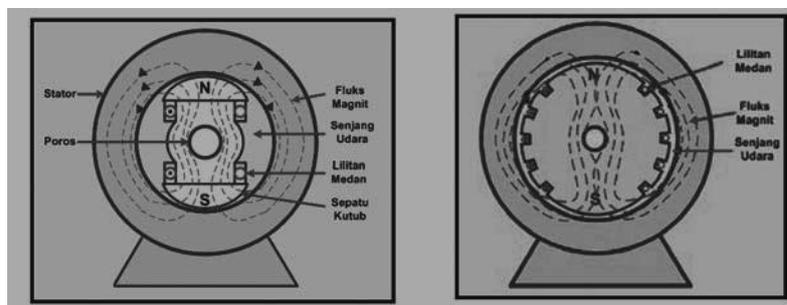
Bagian-bagian terpenting dari stator ialah *rumah stator, inti stator, dan lilitan stator*

Inti stator ialah sebuah silinder yang berlubang, terbuat dari plat-plat dengan alur-alur dibagiankeliling dalamnya. Didalam alur-alur itu dipasang lilitan statornya. Ujung lilitan stator dihubungkan dengan jepitan-jepitan penghubung tetap dari mesin.

Bagian-bagian yang terpenting dari rotor ialah kutub-kutub, lilitan penguat, cincin geser dan sumbu (as)



Gambar 4-3: generator AC Konstruksi



Gambar 4-4a: Rotor kutub menonjol Gambar 4-4b: Rotor silinder kutub

Kutub magnet dengan bagian kutub menonjol (*salient pole*). Konstruksi seperti ini digunakan untuk putaran rendah, dengan jumlah kutub yang banyak. Kutub Magnet dengan bagian kutub yang tidak menonjol (*non salient pole*). Konstruksi ini digunakan untuk putaran tinggi dengan jumlah kutub yang sedikit seperti pada gambar diatas.

2) Penguat pada Rotor

Pada model ini jenis rotor yang digunakan adalah rotor dengan kutub menonjol. Kumparan medan, belitan penguat medan, ditempatkan pada rotor. Sedangkan kumparan-kumparan jangkar/kumparan fasa ditempatkan pada stator. Model penguatan seperti ini pada umumnya digunakan pada generator dengan kapasitas besar. Hal ini akan sangat menguntungkan sekali, karena untuk mengambil tegangan yang relatif besar dari jangkar dapat dilakukan dengan mudah, tanpa melalui pergeseran mekanis. Apalagi untuk kondisi berbeban, dengan cara ini tidak akan terjadi bunga api yang besar pada mesin senagai akibat mengalirnya arus pada kumparan fasa generator.

Generator AC 3 fasa dengan model penguatan seperti ini disebut juga dengan generator "Penguat Dalam".

3) Penguat pada Stator

Khusus untuk generator AC 3 fasa dengan model penguat pada stator, kutub-kutup magnet, belitan penguat ditempatkan pada stator. Sedangkan kumparan jangkar/kumparan fasa ditempatkan pada rotor. Model pemberian penguatan seperti ini biasanya digunakan untuk generator AC 3 fasa dengan kapasitas yang relatif kecil. Hal ini dimungkinkan, karena pengambilan ggl yang relatif kecil melalui bagian yang bergerak (pergeseran mekanis) pada dasarnya tidak banyak membahayakan. Demikian juga dengan pengaliran arus dari kumparan jangkar ke beban tidak akan membahayakan.

Untuk generator AC 3 fasa dengan model penguatan pada stator, maka jenis rotor yang digunakan tipe silinder. Generator dengan model penguatan seperti ini disebut juga generator dengan 'Penguat Luar'. Generator model ini sering digunakan untuk generator turbo yang dioperasikan pada kecepatan putaran yang relatif tinggi.

4) Sistem Sambungan Generator 3 Fasa

Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa pada generator fasa terdapat 3 kumparan fasa, yaitu kumparan fasa I, II dan III. Biasanya untuk lebih memudahkan dalam penyambungan, masing-masing kumparan fasa diberi notasi tertentu. Artinya ujung dan pangkal setiap kumparan diberi

notasi tertentu. Menurut standar IEC (International Electric Comitte) Publikasi No. 34-8/1972 yang diadaptasikan dari standar DIN No. 42401, maka terminal-terminal setiap kumparan fasa diberi simbol sebagai berikut :

Kumparan I	U1 dan U2
Kumparan II	V1 dan V2
Kumparan III	W1 dan W2

Dimana :

U1 = T itik pangkal kumparan fasa I

U2 = Titik ujung kumparan fasa I

V1 = T itik pangkal kumparan fasa II

V2 = Titik ujung kumparan fasa II

W1 = T itik pangkal kumparan fasa III

W2 = Titik ujung kumparan fasa III

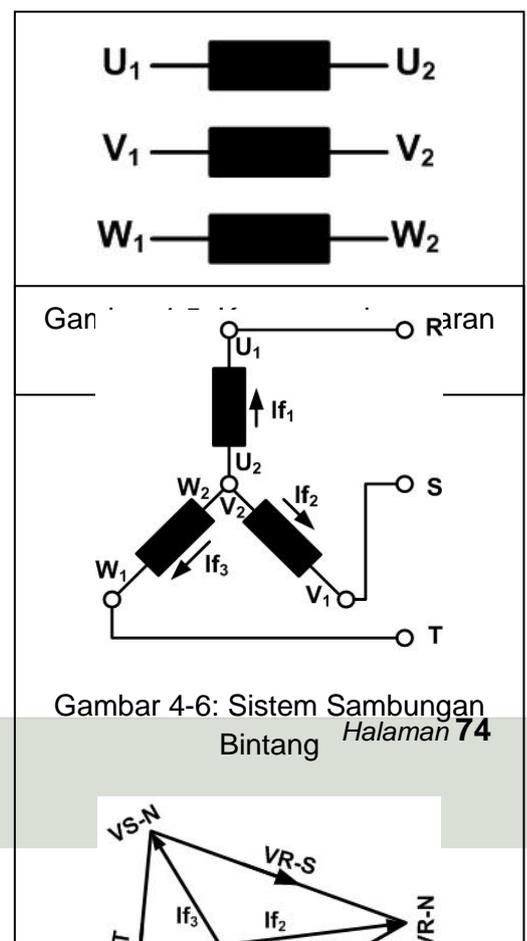
Dalam prakteknya ada dua macam sistem sambungan yang biasa digunakan pada generator 3 fasa yaitu :

- a. Sambungan Bintang (Y)
- b. Sambungan Segitiga (D)

a) Sambungan Bintang

Sambungan bintang dibuat dengan cara menyatukan semua ujung-ujung kumparan fasa menjadi satu titik sambungan. Sedangkan titik pangkal kumparan kumparan fasa dihubungkan dengan beban. Titik gabungan antar ujung-ujung kumparan seperti diatas disebut dengan titik bintang atau titik netral. Dengan demikian pada sistem hubungan bintang dapat dibuat sistem 4 kawat.

Cara lain yang dapat dilakukan, yaitu dengan menggabungkan semua pangkal kumparan fasa menjadi satu titik (titik bintang), sedangkan ujung-ujung kumparan fasa dihubungkan dengan beban. Perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 4-6: Sistem Sambungan Bintang Halaman 74

Tegangan

Berdasarkan diagram pada gambar 8.a dan 8.b diperoleh beberapa aspek penting sehubungan dengan sambungan sistem bintang, yaitu :

1. Tegangan antara fasa dengan fasa disebut dengan tegangan jaring (line voltage).
2. Tegangan antara kawat fasa dengan kawat netral disebut dengan tegangan fasa (phase voltage).

Untuk keadaan berbeban seimbang diperoleh :

1. Arus yang mengalir dari kumparan fasa 1, kumparan fasa 2 serta kumparan fasa 3 disebut arus fasa (phase current)
2. Arus yang mengalir pada kawat 1, kawat 2 dan kawat 3 disebut dengan arus jaring (line current).

Selanjutnya dengan menganalisa vektor diagram sistem sambungan bintang seperti gambar b.d diperoleh lagi beberapa persamaan, yaitu :

$$\begin{aligned} V_R - N &= \\ V_S - N &= \\ V_T - N &= \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} V_R - N \\ V_S - N \\ V_T - N \end{aligned}} \right\} \text{Tegangan fasa} \quad (1)$$

$$V_R - N = V_S - N = V_T - N \quad (2)$$

$$\begin{aligned} V_R - S &= \\ V_R - T &= \\ V_T - S &= \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} V_R - S \\ V_R - T \\ V_T - S \end{aligned}} \right\} \text{Tegangan jaring (line)} \quad (3)$$

$$V_R - S = V_R - T = V_S - T \quad (4)$$

$$I_{f_1} = I_{f_2} = I_{f_3} \quad \text{Arus fasa} \quad (5)$$

$$I_{l_1} = I_{l_2} = I_{l_3} \quad \text{Arus Jaring (line)} \quad (6)$$

$$V_R - S = \sqrt{3} \cdot V_R - N \quad (7)$$

$$V_R - T = \sqrt{3} \cdot V_T - N \quad (8)$$

$$V_S - T = \sqrt{3} \cdot V_S - N \quad (9)$$

b) Sambungan Segitiga (D)

Sistem sambungan segitiga adalah sambungan yang dilakukan secara seri/deret dan tertutup. Jadi pada sistem sambungan segitiga, kumparan fasa I, kumparan fasa II dan kumparan fasa III disambungkan secara seri satu sama lainnya. dengan kata lain ujung kumparan fasa (U_2) dihubungkan dengan pangkal dari kumparan I (V_1). Selanjutnya ujung dari kumparan fasa ke II (V_2) dihubungkan dengan pangkal kumparan fasa III (W_1) dan pangkal dari kumparan fasa ke III (W_2) dihubungkan dengan pangkal dari kumparan fasa I (U_1). Perhatikan gambar di bawah ini.

Diperoleh beberapa aspek penting sehubungan dengan sambungan sistem segitiga, yaitu :

Tegangan antara fasa dengan fasa disebut dengan tegangan tegangan jaring (line voltage). Tegangan ini juga akan sama besarnya dengan tegangan yang terdapat pada masing-masing kumparan fasa dari generator 3 fasa. Berarti disini bahwa tegangan fasa akan sama besarnya dengan tegangan jaring (line voltage).

Untuk keadaan berbeban seimbang diperoleh :

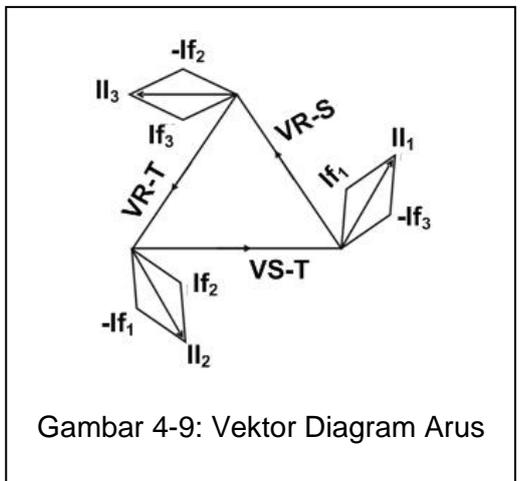
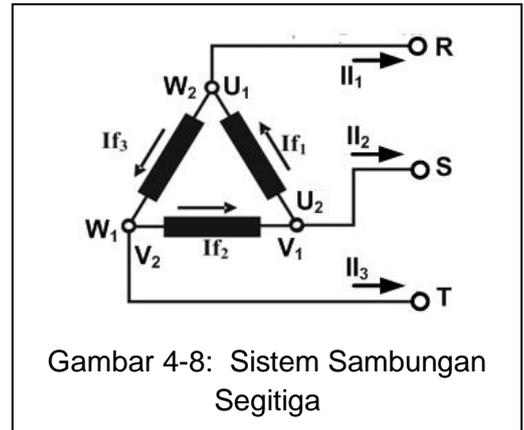
1. Arus yang mengalir pada kumparan fasa 1, kumparan fasa 2 serta kumparan fasa 3 disebut dengan arus fasa (phase current).
2. Arus yang mengalir pada kawat 1, kawat 2 dan kawat 3 disebut dengan arus jaring (line current).

Selanjutnya dengan menganalisa vektor diagram sistem segitiga diperoleh beberapa persamaan, yaitu :

$$\left. \begin{array}{l} VR - N \\ VS - N \\ VT - N \end{array} \right\} \text{ fasa } \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{ Tegangan} \quad (10)$$

$$VR - N = VS - N = VT - N \quad (11)$$

$$\left. \begin{array}{l} VR - S \\ \\ \end{array} \right\} \text{ Tegangan} \quad (12)$$



$V_R - T$ jaring (line)

$V_T - S$

$$V_R - S = V_R - T = V_S - T \quad (13)$$

$$V_R - S = V_R - N \quad (14)$$

$$V_R - T = V_S - N \quad (15)$$

$$V_S - T = V_T - N \quad (16)$$

$$I_{f1} = I_{f2} = I_{f3} \quad (17)$$

$$I_{l1} = I_{l2} = I_{l3} \quad (18)$$

$$I_{l1} = \frac{1}{3} I_{f1} \quad (19)$$

$$I_{l2} = \frac{1}{3} I_{f2} \quad (20)$$

$$I_{l3} = \frac{1}{3} I_{f3} \quad (21)$$

5) Generator 3 Fasa Berbeban

Bila suatu generator AC 3 fasa diberi beban, pada setiap kumparan jangkar akan mengalir arus jangkar sebesar (I_a). Tentu saja besarnya arus jangkar (I_a) tidak tetap, melainkan akan sangat tergantung pada variasi perubahan beban (Z_1) yang diberikan. Dengan mengalirnya arus jangkar (I_a) pada kumparan jangkar, akan timbul kerugian tegangan (voltage drop)

Ada beberapa faktor yang menyebabkan turunnya tegangan terminal (V), yaitu

1. Tahanan jangkar, tahanan jangkar sebesar (R_a) akan menyebabkan turunnya tegangan terminal sebesar $I_a \cdot R_a$ (volt).
2. Reaktansi jangkar, reaktansi jangkar sebesar (X_a) akan menyebabkan turunnya tegangan terminal sebesar $I_a \cdot X_a$ (volt).
3. Reaksi jangkar, yaitu terjadinya penurunan tegangan yang diinduksikan pada kumparan jangkar (E_a) sebagai akibat variasi perubahan beban (Z_1).

Terjadinya reaksi jangkar juga disebabkan oleh arus jangkar (I_a) yang mengalir pada kumparan jangkar. Arus jangkar yang mengalir pada kumparan jangkar akan menimbulkan medan fluksi (medan jangkar) disekitar pengantar jangkar.

6) Kerja Paralel Generator

Bila suatu generator mendapat pembebanan lebih dari kapasitasnya bisa mengakibatkan generator tidak bekerja atau rusak. Untuk mengatasi beban yang terus meningkat tersebut bisa diatasi dengan menjalankan generator lain yang kemudian dioperasikan secara paralel dengan generator yang telah bekerja sebelumnya.

Keuntungan lain, bila salah satu generator tiba-tiba mengalami gangguan, generator tersebut dapat dihentikan serta beban dialihkan pada generator lain, sehingga pemutusan listrik secara total bisa dihindari.

a) Cara memparalel generator

Syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk memparalel dua buah generator adalah:

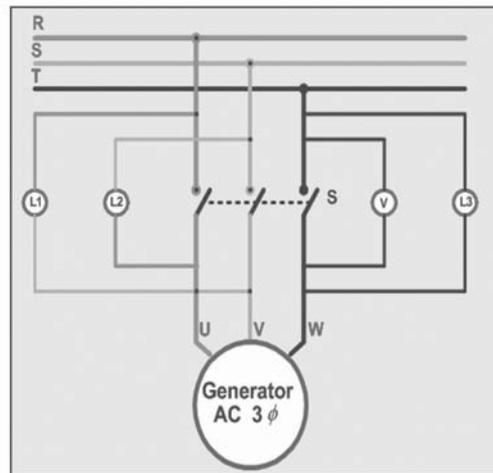
- Polaritas dari generator harus sama dan bertentangan setiap saat terhadap satu sama lainnya.
- Nilai efektif arus bolak-balik dari tegangan harus sama.
- Tegangan generator yang diparalelkan mempunyai bentuk gelombang yang sama.
- Frekuensi kedua generator atau frekuensi generator dengan jala-jala harus sama.
- Urutan fasa dari kedua generator harus sama.

Ada beberapa cara untuk memparalelkan generator dengan mengacupada syarat-syarat di atas, yaitu:

- a. Lampu Cahaya Berputar dan Volt-meter.
- b. Voltmeter, Frekuensi Meter, dan Synchroscope.
- c. Cara Otomatis.

b) Lampu Cahaya Berputar dan Volt-meter

Dengan rangkaian pada Gambar 4-11, pilih lampu dengan tegangan kerja dua kali tegangan fasa netral generator atau gunakan dua lampu yang dihubungkan secara seri. Dalam keadaan sakelar terbuka operasikan generator, kemudian lihat urutan nyala lampu. Urutan lampuan berubah menurut urutan L1-L2-L3-L1-L2-L3.



Gambar4-10RangkaianParalelGenerator

PerhatikanGambar4-11a,padakeadaaniniL1palingterang,L2terang,danL3redup.

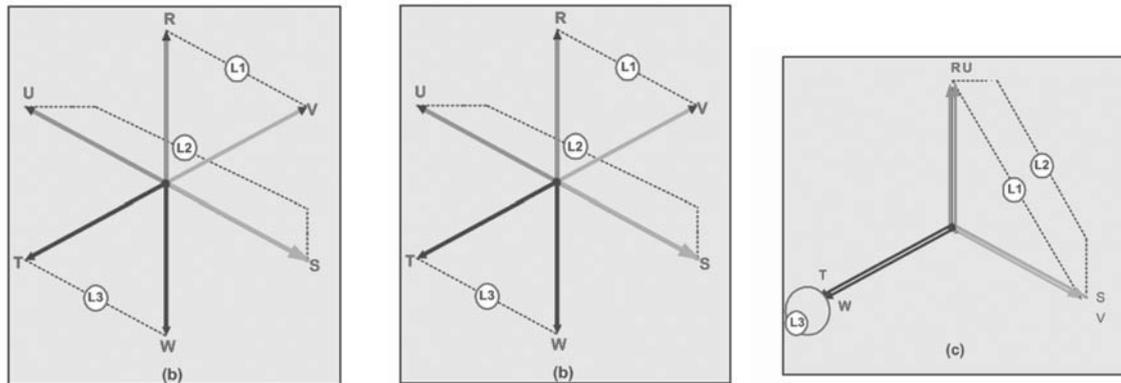
PerhatikanGambar4-11b,padakeadaanini

- L2palingterang
- L1terang
- L3terang

PerhatikanGambar4-11c,padakeadaanini

- L1danL2samaterang
- L3Gelapdanvoltmeter=0V

Padasaatkondisiinimakageneratordapatdiparalelkandenganjala-jala(generatorlain).



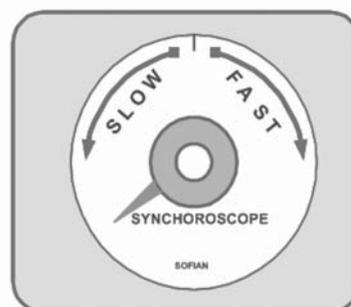
Gambar 4-11: Rangkaian lampu berputar

c) Voltmeter, Frekuensi Meter, dan Synchroscope

Padapusat-pusat pembangkit tenaga listrik, untuk indikator paralel generator banyak yang menggunakan alat *synchroscope* (Gambar 4-11). Penggunaan alat ini dilengkapi dengan Voltmeter untuk memonitor kesamaan tegangan dan Frekuensi meter untuk kesamaan frekuensi.

Ketepatan sudut fasa dapat dilihat dari *synchroscope*. Bila jarum penunjuk berputar berlawanan arah jarum jam berarti frekuensi generator lebih rendah dan bila searah jarum jam berarti frekuensi generator lebih tinggi. Pada saat jarum telah diam dan menunjuk pada kedudukan vertikal, berarti beda fasa generator dan jala-jala telah 0 (Nol) dan selisih

frekuensi telah 0 (Nol), maka pada kondisi ini sakelar dimasukkan (ON). Alat *synchroscope* tidak bisamenunjukkan urutan fasa jala-jala, sehingga untuk memparalelkan perlu dipakai indikator urutan fasa jala-jala.



Gambar4-12: Sychroscope

d) Paralel Otomatis

Paralel generator secara otomatis biasanya menggunakan alat yang secara otomatis memonitor perbedaan fasa, tegangan, frekuensi, dan urutan fasa. Apabila semua kondisi telah tercapai alat pemberi sinyal bahwa sakelar untuk paralel dapat dimasukkan.

7) AC Generator Pesawat Terbang

AC Generator pada pesawat F – 28 adalah generator jenis "BRUSH LESS AC Generator" yang berarti untuk excitation field tidak diperlukan brush (sikat-sikat arang) sebagai konduktor dari luar ke Rotor Field.

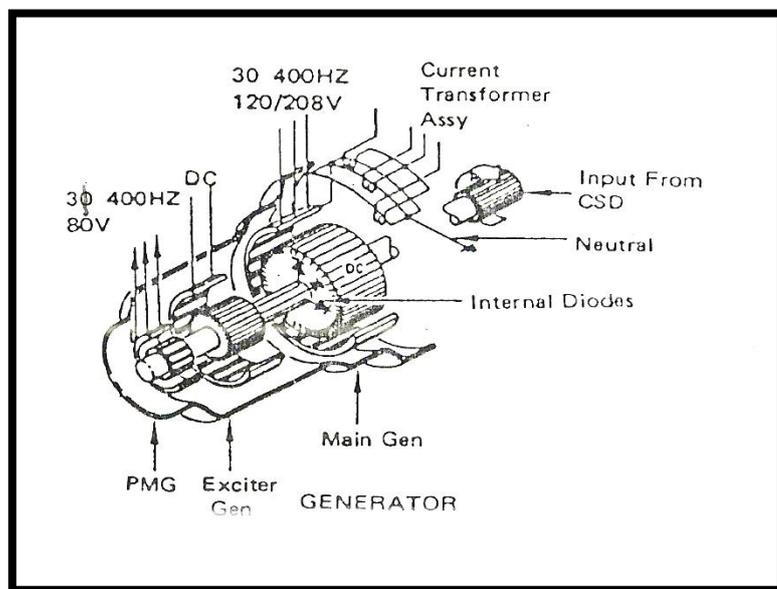
Data generator ini adalah sebagai berikut :

- Voltage : 115 – 120/208 V.
- Fase : 3 fase, 4 kawat dan kawat netral dikebumikan
- Frekuensi : 380/420 cps
- Kecepatan : 7600/8400 Rpm
- Rating : 20 KVA pada Rpm 8000 Continuous
- Pemasangan : Pada CSD

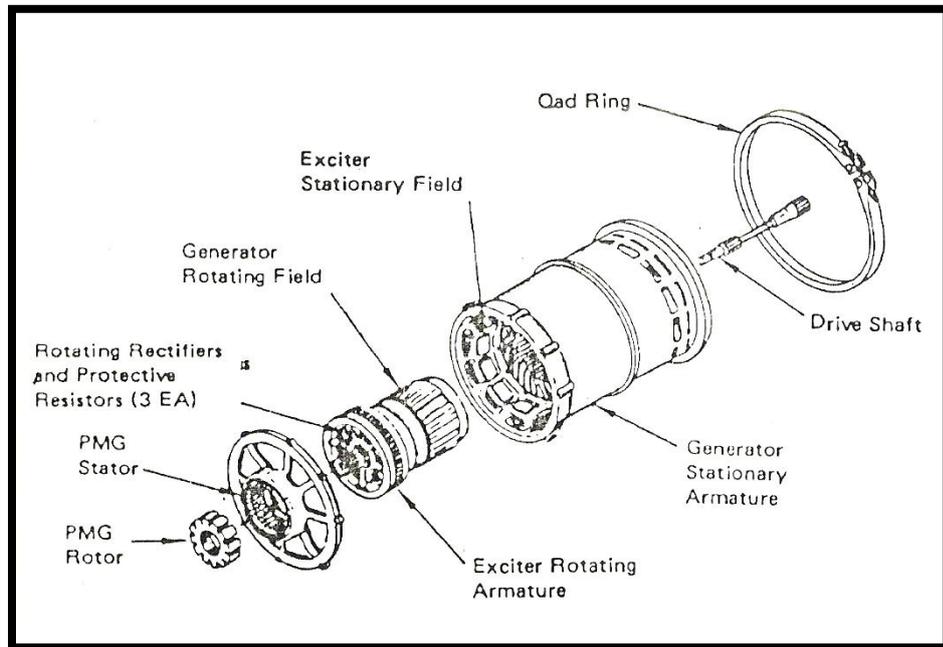
Komponen-komponen pada generator ini dapat dilihat pada gambar yaitu :

- PMG (Permanen Magnet Generator) yang terdiri dari rotor dan Stator.
- Excitor Generator jadi satu unit dengan Rotating Field. (Rotor Field).
- Main Generator, yang menghasilkan output dari stator untuk diteruskan ke busbar 3 fase.

Semua komponen-komponen tersebut di atas berada pada satu sumbu dan menjadi satu unit dengan satu rumah (housing), seperti gambar 4-13 dan 4-14.



Gambar 4-13: komponen-komponen generator AC pesawat F-28



Gambar 4-14: konstruksi generator AC pesawat F-28

Generator ini dipasang pada CSD (Bila diputar dengan engine pada APU tidak dipakai CSD), dengan cara yang cepat dan sederhana yaitu dengan memakai QAD Ring (Quick Attach Detach Ring).

Cara bekerja generator ini ialah sebagai berikut :

- Setelah engine berputar, PMG mengeluarkan output sekitar 80 Volt, 3 fase, 400 Eps.

Output ini masuk ke Voltage regulator setelah melalui GCR (Generator Control Relay), directified, diatur dan dimasukkan kembali ke generator sebagai excitation power (arus eksitasi).

- Sebagian arus dari PMG diteruskan ke control panel dengan lampu-lampu warningnya.
- Arus yang berasal dari voltage regulator tadi masuk ke stator dari exciter generator sebagai DC Filed. Kemudian menginduksi motor 3 fase dan output dari dalam rotor directified memakai dioda sebanyak 3 buah dan rectifier ini pun ikut berputar. (rotating rectifier).

Arus DC ini cukup besar dan selanjutnya dimasukkan ke dalam Rotor Field (D.C)

- Pada stator dari main generator sekarang sudah bisa terinduksi karena Rotor Fieldnya sudah diberi arus DC (excitation). Maka output yang terjadi sekarang sudah dapat dimanfaatkan tenaganya melalui switch GBC terus ke tiga buah bushbar dan seterusnya ke distribusi.

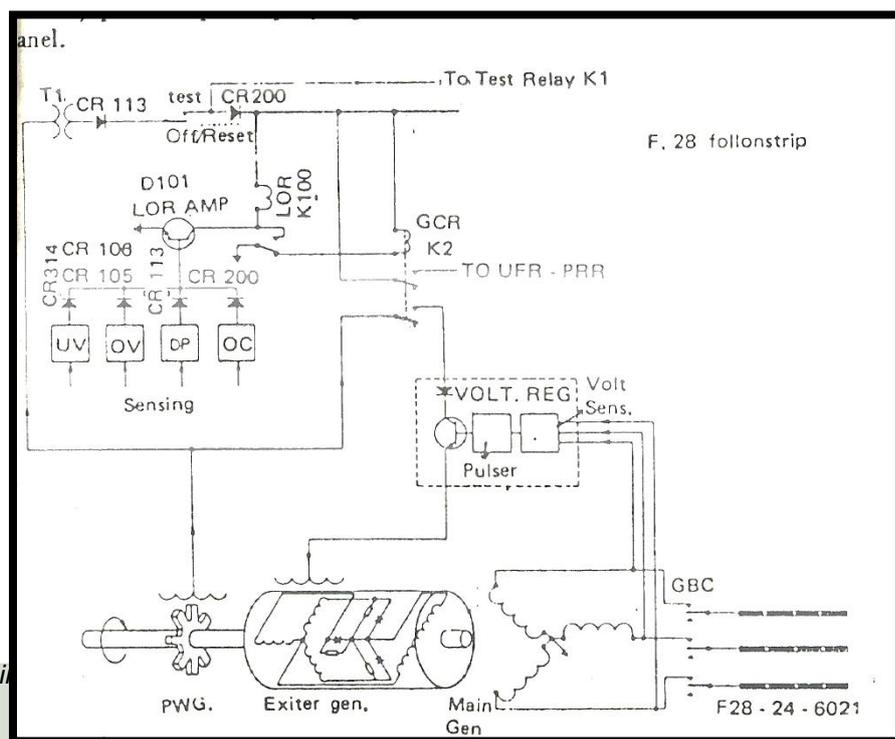
Sebagian output dari generator ini dipakai sebagai feed back dikembalikan ke voltage regulator yang selanjutnya akan mengatur mensatbikan output generator tersebut.

8) Voltage Regulator dan Sistem Proteksi

AC voltage regulator terdiri dari beberapa buah resistor dan tidak ada bagian-bagian yang bergerak ataupun kontaktor-kontaktor, ssperti pada gambar 4-15.

Arus dari PMG directified oleh fullwave rectifier dan diatur oleh silicon transistor terus ke power transistor kemudian di monitor oleh zener diode sebagai reference bridge yang akan tetap menstabilkan output dari generator tersebut.

Disamping voltage regulator generator kontrol masih diatur lagi secara otomatis oleh komponen-komponen yang telah terpadu dan dikontrol seperti komputer oleh sistem proteksi.



Gambar 4-15: sistem proteksi dan generator lock-out pesawat F-28

Sistem proteksi ini terdiri dari :

- a. Differential Current Protection (DP) setelah menerima sensing yang ada pada line to line atau line to ground voltage yang tidak benar (fault) pada suatu daerah tertentu maka eror (kesalahan) ini akan diolah dan diteruskan untuk memutuskan hubungan arus ke voltage regulator melalui GCR.
- b. Over Voltage (OV) dan Under Voltage akan memberi proteksi terhadap kesalahan-kesalahan (fult) yang timbul pada generator regulator.
- c. Over current (OC) akan memberi proteksi pada kesalahan-kesalahan bus (bus fault) yang berarus lebih dari maksimum.
- d. Underfrequency (UF) akan memberi proteksi terhadap semua sirkuit apabila terjadi penurunan frekuensi.

Semua rangsangan (sensing) diatas akan memberi akibat terputusnya hubungan dari field excitation yang berarti akan memberhentikan output dari generator yang berarti "NO output".

Dari bermacam-macam proteksi tadi dikoordinasikan dan dikontrol melalui time delay relay seperti LOR dan GCR. Lockout relay (LCR) berfungsi untuk memutuskan (tripout) kontrol sirkuit apabila terjadi kesalahan-kesalahan yang diterima oleh OV, UV, DP, OC dan UF. Kesemuanya ini dapat dimonitor (dilihat) pada lampu-pampu yang berwarna merah atau amber pada annunciater panel.

c. Rangkuman

- 1) Generator adalah suatu alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan menerapkan hukum faraday
- 2) Rangka Stator, dibuat dari besi tuang, rangka stator merupakan rumah dari bagian generator lainnya
- 3) Stator Bagian ini tersusun dari pelat-pelat stator yang mempunyai alur-alur sebagai tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator berfungsi sebagai tempat terjadinya GGL induksi
- 4) Rotor, merupakan bagian yang berputar, pada rotor terdapat kutub-kutub magnet dengan lilitan yang dialiri arus searah, melewati cincin geser dan sikat-sikat
- 5) Slip Ring Atau Cincin Geser, dibuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasangkan pada poros dengan memakai bahan isolasi. Slip ring ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor. Jumlah slip ring ada dua buah yang masing-masing merupakan sikat positif dan sikat negatif berguna untuk mengalirkan arus penguat magnet ke lilitan magnet pada rotor
- 6) Dalam prakteknya ada dua macam sistem sambungan yang biasa digunakan pada generator 3 fasa yaitu :
 - Sambungan Bintang (Y)
 - Sambungan Segitiga (D)
- 7) Ada beberapa faktor yang menyebabkan turunnya tegangan terminal (V), yaitu
 - Tahanan jangkar, tahanan jangkar sebesar (R_a) akan menyebabkan turunnya tegangan terminal sebesar $I_a \cdot R_a$ (volt).
 - Reaktansi jangkar, reaktansi jangkar sebesar (X_a) akan menyebabkan turunnya tegangan terminal sebesar $I_a \cdot X_a$ (volt).
 - Reaksi jangkar, yaitu terjadinya penurunan tegangan yang diinduksikan pada kumparan jangkar (E_a) sebagai akibat variasi perubahan beban (Z_1).
- 8) Syarat-syarat yang harus dipenuhi untuk memparalel dua buah generator atau lebih ialah:
 - Polaritas dari generator harus sama dan bertentangan setiap saat terhadap satu sama lainnya
 - Nilai efektif arus bolak-balik dari tegangan harus sama.

- Tegangan generator yang diparalelkan mempunyai bentuk gelombang yang sama.
- Frekuensi kedua generator atau frekuensi generator dengan jala-jalah harus sama.
- Urutan fasa dari kedua generator harus sama.

d. Tugas

- 1) Jelaskan prinsip kerja dari generator AC 3 fasa!
- 2) Sebutkan dua bagian besar konstruksi generator AC 3 fasa dan berikan penjelasannya!
- 3) Sebutkan beberapa hal yang penting diperhatikan untuk melilit suatu mesin arus bolak-balik!
- 4) Sebutkan 2 macam sistem sambungan yang digunakan pada output generator AC 3 fasa!
- 5) Apa yang dimaksud dengan penguatan pada rotor dan penguatan pada stator!
- 6) Sebutkan 3 faktor yang dapat menyebabkan turunnya tegangan terminal output generator AC 3 fasa!
- 7) Sebutkan 3 jenis beban yang dapat diberikan atau dihubungkan pada suatu generator AC 3 fasa!
- 8) Jelaskan keuntungan generator AC dibandingkan dengan generator AC 3 fasa!
- 9) Sebutkan cara yang paling praktis untuk menaikkan tegangan, output dari generator AC 3 fasa
- 10) Sebutkan syarat-syarat yang harus diperhatikan untuk memparalelkan generator AC 3 fasa

e. Lembaran Kerja Siswa

Judul Percobaan : Mengoperasikan Generator AC Tiga Fasa Beban Nol

I. Tujuan

Setelah selesai melakukan percobaan ini siswa diharapkan dapat:

- A. Mengoperasikan generator tiga fasa pada hubungan bintang (Y) dan segitiga (Δ) pada beban nol
- B. Membaca parameter-parameter pada rangkaian generator tiga fasa Beban nol
- C. Menggambarkan karakteristik dari pada percobaan Beban nol
- D. Menganalisa dan merumuskan kesimpulan dari hasil percobaan.

II. Teori Singkat

Pada prinsipnya percobaan beban nol generator arus pusar sama dengan generator satu fasa. Hanya perbedaan pada lilitan stator atau lilitan tegangan untuk tiga fasa atau tiga pasang sumber tegangan. Ketiga pasang lilitan tersebut dapat dihubungkan Bintang (sistem 4 hantaran) dan sistem hubungan segitiga (sistem tiga kawat).

Gaya gerak listrik (GGL) yang dibangkitkan oleh generator adalah :

$$E = 4,44 k f \Phi Z \text{ volt ; } \Phi \approx I_m$$

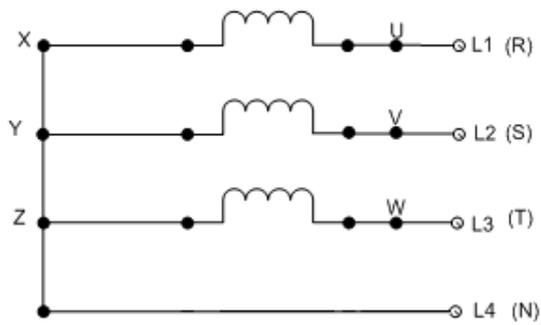
$$n_s =$$

Dimana : n_s = putaran medan stator (rpm) f = frekuensi

n_r = putaran rotor (rpm) p = jumlah kutub

f = frekuensi (Hz)

P = jumlah kutub magnet



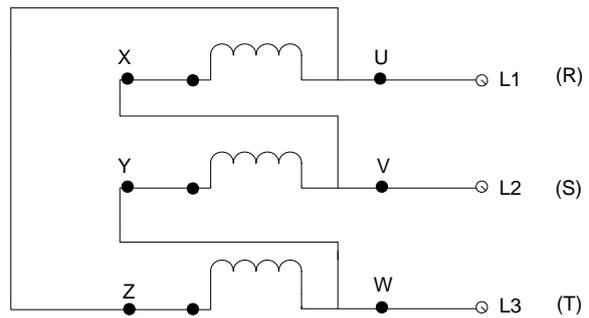
**Gambar II.1 Sistem 4 kawat
(hubungan bintang)**

Hubungan Bintang:

$$E_L = E_f$$

$$I_L = I_f$$

$$P = E_L I_L \cos$$



**Gambar II.2 Sistem 3 kawat
(hubungan segitiga)**

Hubungan Segitiga:

$$E_L = E_f$$

$$I_L = I_f$$

$$P = E_L I_L \cos$$

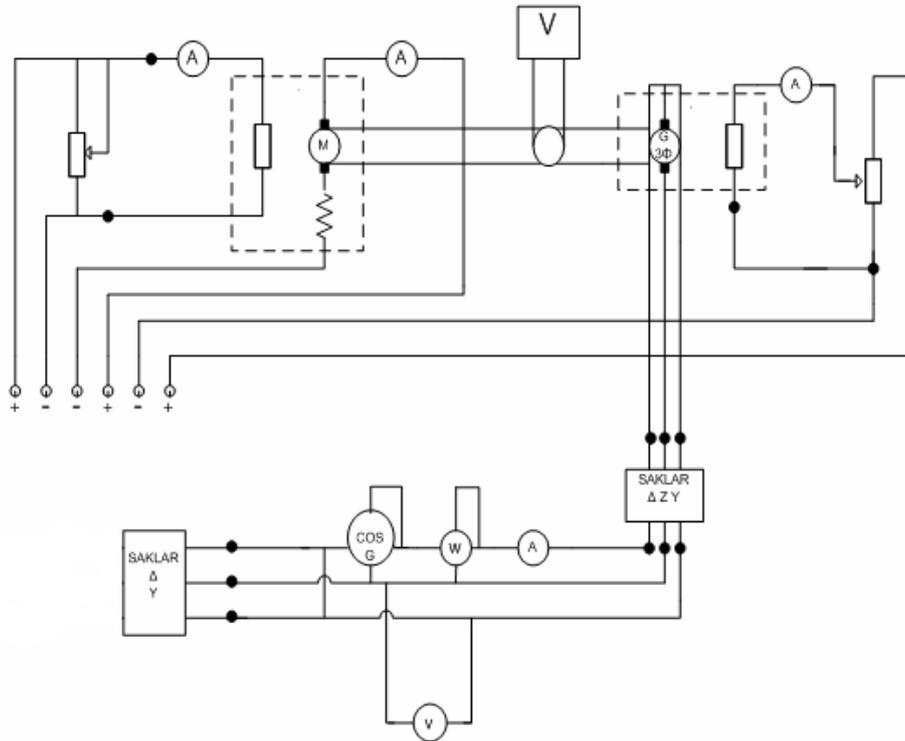
III. Alat dan Bahan

1. Motor DC 6 A / 220 V / 1,5 KW (1 buah)
2. Generator AC 3 fasa 1,5 KW (1 buah)
3. Shunt Rheostat 490 Ohm (2 buah)
4. Saklar bintang dan segitiga (1 buah)
5. Voltmeter AC/DC 300 volt (3 buah)
6. Voltmeter AC 0-500 volt (3 buah)
7. Amperemeter AC/DC 0-3 A (3 buah)
8. Amperemeter AC 0-5 A (2 buah)
9. Wattmeter 1 KW (1 buah)
10. Power supply Edutec (2 buah)
11. Kawat Penghubung (secukupnya)

IV. Keselamatan Kerja

1. Jangan meletakkan alat di pinggir meja dan setiap alat yang digunakan harus diperiksa terlebih dahulu.
2. Hati-hati terhadap sumber tegangan, karena saudara bekerja terhadap tegangan tiga fasa.

V. Gambar Skema Rangkaian



VI. Langkah Kerja

1. Siapkan alat dan bahan yang diperlukan
2. Buat rangkaian sesuai dengan gambar percobaan
3. Setelah selesai merakit rangkaian, laporkan kepada guru pembimbing agar diperiksa kebenarannya
4. Hubungkan rangkaian ke sumber tegangan DC dan atur arus medan motor (if) sebesar 0,6 Ampere, dengan mengatur rheostat dan perhatikan parameter jangan sampai terbalik polaritasnya
5. Hubungkan tegangan pada jangkar motor sampai 220 volt dan perhatikan putaran motor sampai 1500 rpm
6. Hubungkan lilitan terminal generator pada posisi hubungan bintang dan putaran generator konstan 1500 rpm dan berikan arus medan secara bertahap dan catat tegangan terminal generator dan isikan pada tabel percobaan
7. Ulangi kembali pengaturan arus medan untuk hubungan segitiga (Δ) dan isikan pada tabel percobaan
8. Turunkan kembali arus medan generator sampai nol dan off kan sumber tegangan. Turunkan tegangan jangkar motor dan off kan sumber tegangan

9. Rapihkan alat dan bahan, dan kembalikan pada tempat semula
10. Buat laporan singkat dari hasil percobaan

VII. Tabel Hasil Percobaan

$$E_o = f(I_f) : n = \text{Konstan} \quad I_a = 0 \text{ A}$$

Putaran = 1500 rpm		
If (A)	Eo (volt)	
	Hubungan Bintang	Hubungan Segitiga
0		
0.1		
0.2		
0.3		
0.4		
0.5		
0.6		
0.7		
0.8		
0.9		
1		
1.1		
1.2		
1.3		

VIII. Pertanyaan

1. Buatlah analisa data percobaan generator 3 fasa tanpa beban dan tuliskan rumus hubungan bintang dan hubungan segitiga
2. Gambarkan karakteristik daripada percobaan beban nol $E_o = f(I_f)$; $n = \text{konstan}$; $I_a = 0$
3. Buatlah kesimpulan dari hasil percobaan

5. Pembelajaran Kelima

a. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini, siswa dapat :

- 1) Menjelaskan pengertian transformator
- 2) Menyimpulkan teori Faraday yang diterapkan pada transformator
- 3) Menuliskan rumus ggl induksi pada transformator
- 4) Menghitung tegangan sekunder dan tegangan primer dengan diketahui besarnya fluks magnet, frekuensi tegangan primer dan jumlah belitan
- 5) Menghitung harga perbandingan transformasi tegangan dan harga perbandingan transformator arus
- 6) Menyebutkan beberapa macam konstruksi inti dan belitan transformator
- 7) Memberikan alasan penggunaan inti trafo yang terbuat dari besi tipis
- 8) Menggambarkan diagram vektor transformator tanpa beban
- 9) Menggambarkan diagram vektor transformator beban penuh
- 10) Menjelaskan rugi-rugi yang terjadi pada transformator
- 11) Menghitung rugi-rugi tembaga dan rugi-rugi besi
- 12) Menghitung efisiensi (randemen) transformator
- 13) Melaksanakan pengujian transformator tanpa beban dan beban penuh
- 14) Menentukan besaran-besaran listrik yang didapat dari pengujian transformator tanpa beban dan beban penuh.

b. Uraian materi

TRANSFORMATOR

1) Prinsip Kerja Transformator

Transformator ialah sebuah mesin listrik yang dapat memindahkan tenaga listrik dari satu belitan (primer) ke belitan lainnya (sekunder) yang disertai perubahan arus dan tegangan.

Pemindahan tenaga listrik ini terjadi dengan tidak melalui hubungan langsung antar belitan tersebut.

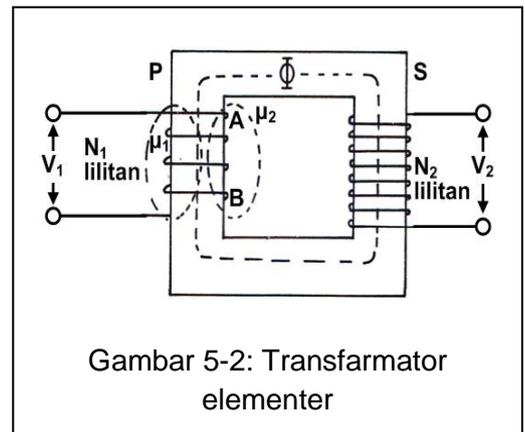
Prinsip pemindahan tenaga listrik pada transformator berdasarkan kepada teori Michael Faraday, yang dikenal dengan teori induksi elektromagnetik. Dalam percobaan Faraday dijelaskan, pada sebuah inti besi lunak yang tertutup dibelit oleh belitan yang dinamakan belitan primer dan belitan sekunder, belitan primer dihubungkan dengan sumber listrik, sedangkan belitan sekunder dihubungkan dengan beban listrik (volt meter).

Bila sakelar S diubah-ubah (ditutup dan dibuka) berganti-ganti dan ternyata pada beban ada tegangan, sedangkan bila sakelar dibiarkan terbuka atau tertutup pada beban timbul tegangan.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa apabila flux magnet (ϕ) yang berubah-ubah yang dihasilkan dari tegangan yang berubah-ubah, maka akan terjadi pemotongan belitan sekunder oleh flux magnet. Akibatnya pada belitan sekunder terbangkit gaya gerak listrik (GGL) yang lazim disebut tegangan listrik.

Menurut sambungan dan cara pemakaiannya, transformator dibedakan menjadi :

1. transformator 1 fasa
2. transformator 3 fasa
3. autotransformator
4. autotransformator ukur
5. transformator tegangan dan arus



Gambar 5-2: Transformator elementer

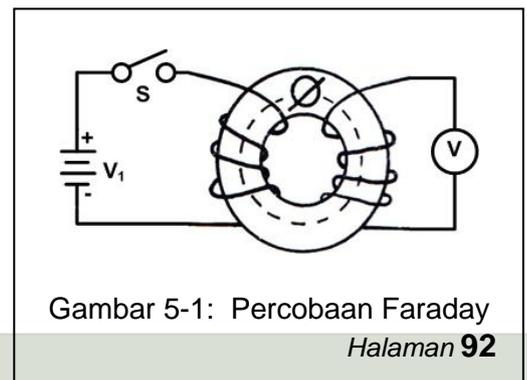
2) Persamaan Tegangan Transformator

Dalam pembahasan tegangan transformator, kita anggap bahwa transformator memiliki konstruksi seperti gambar 5-2, yang sisi primer (p) terdiri N_1 dan sisi sekunder (S) terdiri dari belitan N_2 .

Belitan primer N_1 diberi tegangan V_1 , sedangkan belitan sekunder N_2 dalam keadaan terbuka. Pada belitan primer N_1 mengalir arus listrik I_1 yang besarnya ditentukan oleh impedansi belitannya. Tegangan V_1 yang diberikan kepada belitan primer adalah tegangan bolak-balik yang sinusoidal. Maka berdasarkan Hukum Faraday pada N_1 timbul ggl-induksi yang besarnya :

$$e_1 = -N \frac{d(\phi)}{d(t)} \quad \dots (1)$$

Bila fluks magnet berbentuk sinusoidal :



Gambar 5-1: Percobaan Faraday
Halaman 92

$$\begin{aligned}\Phi &= \phi_m \sin \omega t \\ &= \phi_m \sin 2 \pi f t\end{aligned}$$

Maka ggl induksi pada belitan primer :

$$\begin{aligned}e_1 &= -N \frac{d(\phi_m \sin \omega t)}{d(t)} \\ &= -2 \pi f N_1 \phi_m \cos \omega t \\ e_1 &= 2 \pi f N_1 \phi_m \sin (\omega t - 90^\circ) \dots (2)\end{aligned}$$

(Tanda negatif mengacu kepada hukum Lenz, bahwa ggl-induksi yang terbangkit melawan tegangan yang membangkitkannya).

Dari persamaan (2) terlihat bahwa flux magnet yang sinusoidal menghasilkan ggl-induksi yang sinusoidal pula, tetapi sudut fasanya tertinggal 90° .

GGL-induksi e_1 akan maksimum apabila sudut fasanya $= 1 (\sin \omega t - 90^\circ) = 1$ sehingga ggl-induksi w_1 :

$$E_{1 \text{ maks}} = 2 \pi f N_1 \phi_m$$

Sedangkan harga ggl-induksi efektif adalah :

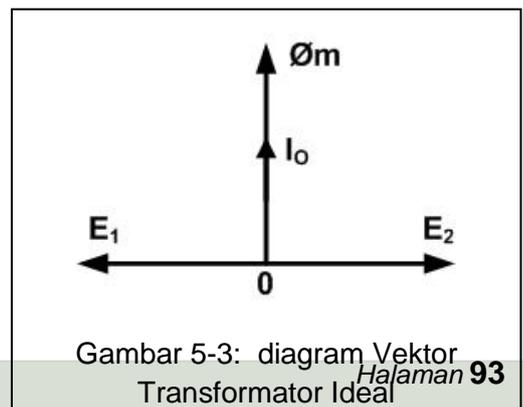
$$E_1 = \frac{E_{1 \text{ maks}}}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = \frac{2 \pi f N_1 \phi_m}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = 4,44 f N_1 \phi_m \dots\dots\dots(3)$$

Bila kerugian diabaikan, atau transformator dianggap ideal maka tegangan primer $V_1 = E_1$. Perhatikan gambar diagram vector pada gambar 5-3.

Dalam digram vektor transformator ideal terlihat bahwa ggl-induksi E_1 arahnya melawan tegangan V_1 , yaitu OE_1 . Sudutnya tertinggal 90° , di belakang vektor.



Sedangkan arus tanpa beban (I_0) selalu sefasa dengan ϕ_m .

Dengan cara yang sama pada belitan sekunder didapat : $E_2 = 4,44 f N_2 \phi_m$

Contoh soal

1. Suatu trafo ideal 60 Hz, betitan primer mempunyai jumlah lilitan sebanyak 4800, diberi tegangan dari sumber sebesar 2300 volt, hitung:

a. Fluks (Φ_{mm})

b. Lilitan sekunder bila tegangannya 230 volt

Penyelesaian:

a. $V_1 = E_1 = 2300$ volt

$$N_1 = N_p = 4800; f = 60 \text{ Hz}$$

$$E_1 = 4,44 \times f \times N_p \times \Phi_{mm} \times 10^{-8} \text{ volt}$$

$$2300 = 4,44 \times 60 \times 4800 \times \Phi_{mm} \times 10^{-8} \text{ volt}$$

$$\Phi_{mm} = \frac{2300 \times 10^8}{4,44 \times 60 \times 4800} = 1,8 \times 10^5 \text{ maxwell}$$

b. $E_2 = 4,44 \times f \times N_s \times \Phi_{mm} \times 10^{-8}$ Volt

$$230 = 4,44 \times 60 \times N_s \times 1,8 \times 10^5 \times 10^{-8} \text{ Volt}$$

$$N_s = \frac{230 \times 10^3}{4,44 \times 60 \times 1,8} = 480 \text{ lilitan}$$

2. Fluks maksimum pada inti dari transformator 60 Hz sebesar $3,76 \times 10^6$ maxwell. Trafo tersebut mempunyai lilitan primer sebesar 1320 dan lilitan sekunder sebanyak 46. Hitung tegangan induksi pada primer dan sekunder trafo!

Penyelesaian:

$$\Phi_{mm} = 3,76 \times 10^6 \text{ maxwell}$$

$$N_1 = 1320 \text{ lilitan}; N_2 = 46 \text{ lilitan}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$E_1 = 4,44 \times f \times (\Phi_{mm} \times N_1 \times 10^{-8}) \text{ volt}$$

$$\begin{aligned}
&= 4,44 \times 60 \times 3,76 \times 10^6 \times 1320 \times 1^{-8} \text{ volt} \\
&= 13200 \text{ volt} \\
E_2 &= 4,44 \times f \times (\Phi_{mm} \times N_2 \times 10^{-8} \text{ volt} \\
&= 4,44 \times 60 \times 3,76 \times 10^6 \times 46 \times 10^{-8} \text{ volt} \\
&= 460 \text{ volt}
\end{aligned}$$

Tegangan induksi pada primer 13200 Volt dan tegangan induksi pada sekunder 460 Volt.

3) Perbandingan Transformasi Tegangan

Apabila persamaan ggl-induksi pada belitan sekunder E_2 dibandingkan dengan ggl-induksi primer E_1 dihasilkan :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{4,44 f N_2 \phi_m}{4,44 f N_1 \phi_m}$$

Sehingga menjadi :

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} = a \dots (4)$$

Persamaan (4) di atas disebut perbandingan transformasi tegangan. Dengan menggunakan perbandingan transformasi tegangan maka untuk belitan sekunder di dapat :

$$E_2 = a \cdot E_1 \dots (5)$$

Dari persamaan (5) dapat disimpulkan bahwa :

- bila $a > 1$ disebut transformator penaik tegangan (step-up)
- bila $a < 1$ disebut transformator penurun tegangan (step-down)
- bila $a = 1$ disebut transformator stabilisator.

4) Perbandingan Transformasi Arus

Dalam transformator ideal dapat dikatakan bahwa daya semu (volt ampere) yang dicatu ke sisi primer sama dengan volt ampere yang keluar dari sisi sekunder. Dengan demikian :

$$E_1 \cdot I_1 = E_2 \cdot I_2$$

dan

$$E_2 = \frac{E_1 I_1}{I_2}$$

atau

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} \dots (6)$$

Harga $\frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{a}$ disebut perbandingan transformasi arus.

Jadi, perbandingan transformasi tegangan adalah sebaliknya dari perbandingan transformasi arus.

Contoh soal:

Suatu trafo ideal satu fase mempunyai 200 lilitan pada belitan primer dan 100 lilitan pada sekunder. Jika belitan primer dihubungkan dengan tegangan sumber sebesar 200 volt dan arus beban sekunder 20 Ampere, hitung:

- Arus primer!
- Tegangan Sekunder!

Penyelesaian:

- $N_1 = 200$ lilitan ; $N_2 = 100$ lilitan

$$V_1 = 200 \text{ volt}; I_2 = 20 \text{ Amper}$$

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{200}{100} = 2$$

$$\frac{I_2}{I_1} = a \rightarrow \frac{20}{I_1} = 2 \rightarrow I_1 = 10 \text{ Amper}$$

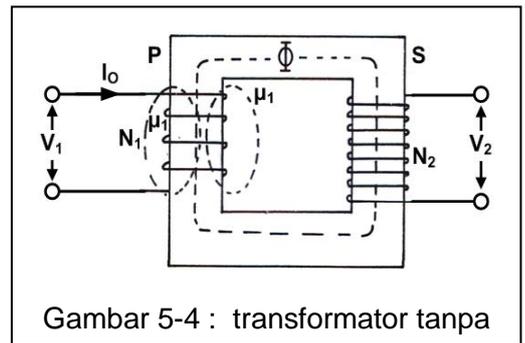
- $E_2 = E_1 / a = 200 / 2 = 100 \text{ Volt}$

5) Transformasi Tanpa Beban (Beban Nol)

Telah dijelaskan di atas bahwa bila belitan primer diberi tegangan V_1 yang sinusoidal maka pada belitan tersebut mengalir arus sebesar I_0 yang juga sinusoidal. Dengan beranggapan bahwa

belitan primer mempunyai reaktansi murni, maka I_0 tertinggal (lag) dari tegangan V_1 sebesar 90° . Dan arus I_0 membangkitkan flux magnet yang berbentuk sinusoidal. (Lihat gambar 5-4).

Dalam hal ini I_0 disebut arus tanpa beban (beban nol). Bila arus tanpa beban yang semula dianggap induksi murni, sebenarnya tidaklah demikian karena terdapat rugi-rugi pada inti transformator sehingga beda fasa antara I_0 dengan E_1 tidaklah 90° akan tetapi kurang dari 90° . (Lihat gambar 5-5).



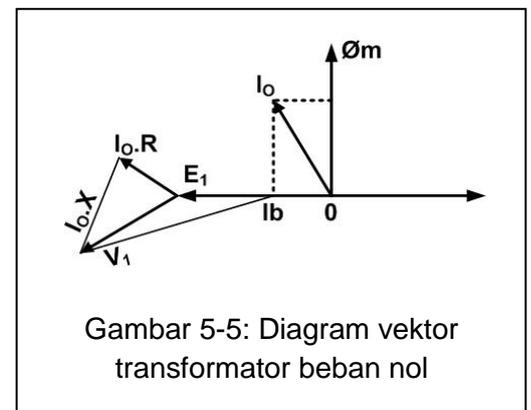
Gambar 5-4 : transformator tanpa

Dari gambar diagram vektor (gambar 5-5) dapat dilihat besarnya arus penguat I_0 terdiri dari dua komponen, yaitu :

- Komponen arus penguat I_w , yaitu arus yang aktif dapat menimbulkan rugi besi, disebut arus rugi besi.
- Arus yang timbul karena adanya inti besi I_b , di yang fluxnya menimbulkan arus eddy dan arus histerisis yang dikenal sebagai arus magnetisasi.

Arus ini merupakan jumlah dari arus eddy dan arus histerisis yang menimbulkan rugi tembaga (Cu).

Arus I_w berimpit dengan tegangan primer V_1 dan I_b berimpit dengan flux ϕ . Jumlah vektor kedua arus ini = I_0



Gambar 5-5: Diagram vektor transformator beban nol

Jadi :

$$I_0 = \phi I_b^2 + I_w^2 \dots (7), \text{ dimana :}$$

$$I_b = I \cdot \cos \mu_0$$

$$I_w = I \cdot \sin \mu_0$$

$$I_0 = \text{ arus beban nol (tanpa beban)}$$

$$I_b = \text{ arus rugi besi (arus eddy dan arus histerisis)}$$

$$I_w = \text{ arus penguat (magnetisasi)}$$

Daya pada transformator tanpa beban :

$$P_0 = I_0 \cdot V_1 \cdot \cos \mu_0 \dots (8)$$

6) Transformator Berbeban

Pada keadaan berbeban arus pada belitan sekunder adalah :

$$I_2 = \frac{V_2}{Z}$$

Arus I_0 disebut arus beban nol yang juga disebut arus penguat. Bila arus penguat semula dianggap induktif murni, sebenarnya arus I_0 tidaklah induktif murni karena pada belitan transformator dapat resistensi R.

$$I_2 = \frac{V_2}{\sqrt{(R + R_2)^2 + (x + x)^2}}$$

di mana :

R = resistansi beban

X = reaktansi beban

R_2 = resistansi belitan sekunder

X_2 = reaktansi belitan sekunder

Arus tanpa beban I_0 akan membangkitkan flux magnetisasi ϕ_0 , dan arus sekunder I_2 juga menghasilkan ϕ_2 yang cenderung menentang ϕ_0 . Agar besarnya ϕ_0 tidak berubah nilainya maka pada kumparan primer seolah-olah ada I_2 yang menghasilkan flux magnet ϕ_2 untuk menentang flux magnet yang dihasilkan oleh I_2 .

Sehingga :

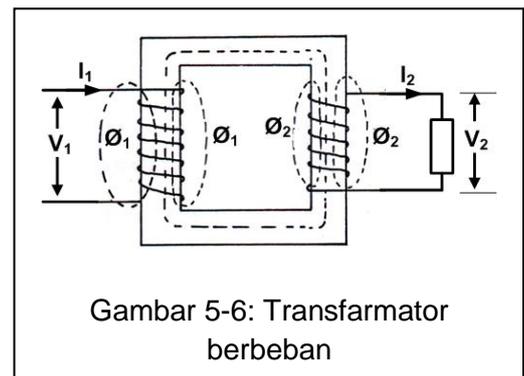
$$\phi_2 = \phi_2$$

$$I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2 \quad \text{karena } I_2 = I_1$$

Maka $I_2 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2$

Dan $I_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2 \quad \dots (9)$

Arus I_2 berlawanan arah dengan I_2 .



Latihan :

1. Apakah yang dimaksud transformator?
2. Dapatkah transformator memindahkan arus listrik DC?
3. Terangkanlah menurut bahasamu cara transformator memindahkan tenaga listrik!

4. Sebutkanlah komponen arus pada saat transformator tanpa beban!
5. Sebuah transformator 1 fasa 6600/600 volt, 50 Hz mempunyai rapat flux maksimum $1,35 \text{ weber/m}^2$. Jika luas penampang intinya 200 cm^2 , hitunglah jumlah belitan primer dan sekunder transformator tersebut!

7) Konstruksi Transformator

Konstruksi dari transformator dibagi menjadi konstruksi inti (core) dan konstruksi belitan.

a) Konstruksi Inti Transformator

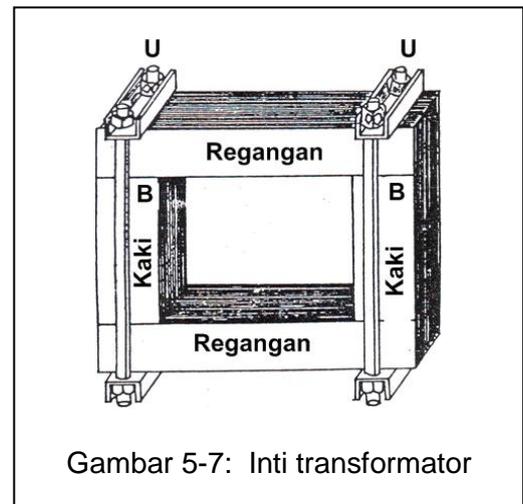
Perhatikan gambar 5-7 adalah inti sebuah transformator yang terdiri dari 4 bagian, yaitu 2 buah regangan dan 2 buah kaki inti transformator. Inti transformator terdiri dari pelat-pelat tipis (biasa disebut dinamo) yang disusun berlapis-lapis menjadi satu tumpukan dengan ukuran tebal tertentu.

Antara pelat-pelat tipis itu diisolasi dengan menggunakan lak dengan maksud untuk mengikat arus foucault.

Belitan-belitan dililitkan pada salah satu kaki atau kedua kaki inti transformator. Semua ini diikat menjadi satu bagian yang merupakan rangkaian tertutup. Pengikat inti terdiri dari baut dan besi U harus diisolasi agar tidak menjadi satu rangkaian dengan inti. Bila hal ini terabaikan maka di dalam besi U dan baut akan terbangkit arus induksi yang merupakan kerugian trafo.

Konstruksi inti trafo yang terbuat dari pelat-pelat tipis dimaksudkan agar pada inti rugi arus eddy dapat ditekan sekecil mungkin. Rugi arus eddy disebabkan oleh induksi yang mengalir pada inti transformator.

Bentuk lain dari inti transformator ialah inti yang mempunyai 3 kaki. Inti yang demikian dinamakan inti mantol. Belitan primer dan sekunder dililitkan pada kaki tengah. Dengan demikian banyaknya flux bocor menjadi sangat kurang. Inti transformator yang digambarkan di atas mempunyai dua kaki dinamakan inti transformator tertutup. Ini transformator yang digambarkan di atas mempunyai irisan segiempat. Akan tetapi, ada kalanya orang lebih menyukai bentuk bundar.



Gambar 5-7: Inti transformator

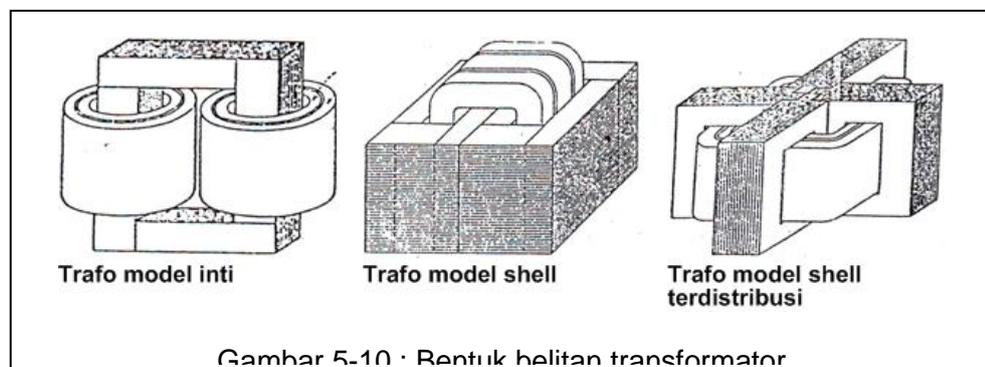
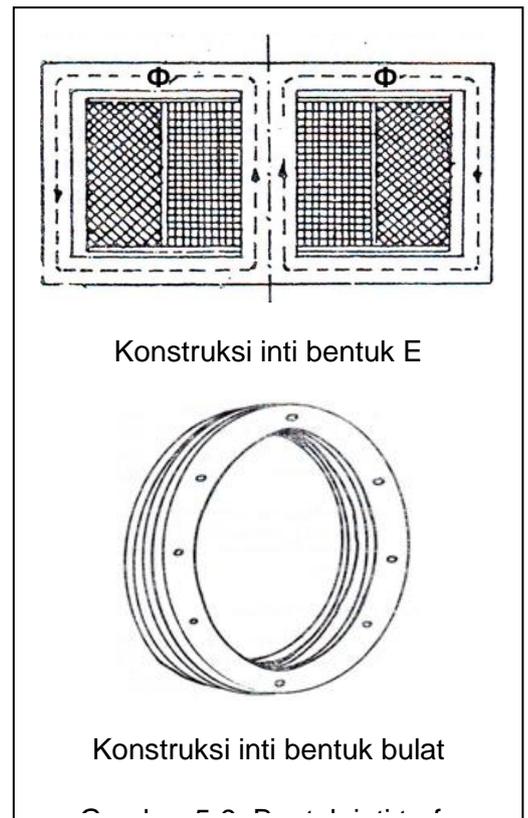


Gambar 5-8: : pemasangan Inti transformator Halaman 99

Inti transformator bentuk bundar terbuat dari beberapa lapisan yang lebarnya berlainan, sehingga menjadi jajaran siku-siku kecil. Konstruksi ini dipergunakan pada transformator besar agar belitan-belitan dapat dibuat lebih mudah, cermat, dan rapi. Antara tiap-tiap belitan diberi celah udara 10 mm. Celah-celah tersebut adalah untuk peredaran udara pendingin di antara pelat-pelat besi sehingga inti transformator tidak menjadi terlalu panas.

b) Konstruksi Belitan Transformator

Belitan transformator dapat dibuat 2 cara, yaitu belitan silinder dan belitan cincin. Belitan silinder dibuat dalam bentuk silinder yang melingkari sebuah inti transformator. Apabila kedua belitan dibelitkan dalam satu kaki maka belitan tegangan rendah selalu ditempatkan di bawah hingga bedekatan dengan inti besi. Pada belitan cincin hanya mempunyai 4 – 5 belitan tiap-tiap lapis. Untuk mendapatkan satu belitan lengkap harus dibuat beberapa belitan cincin yang kemudian disambung deret.



c) Kerugian Dan Randemen Transformator

Rugi-rugi transformator ada 3 macam, yaitu :

1. *Rugi-rugi tembaga*, yaitu rugi yang terdapat pada resistansi murni R. Rugi-rugi tembaga dapat diketahui dengan pengujian transformator hubung singkat. Besarnya rugi tembaga ialah :

$$P_{cu} = I^2 \cdot (R_1 + R_2) \dots (10)$$

2. *Rugi histerisis*, yaitu yang disebabkan oleh adanya gesekan molekul partikel-partikel pada inti transformator akibat perubahan akibat perubahan flux magnet.
3. *Rugi arus eddy pada inti transformator* ialah akibat adanya induksi pada inti transformator (kejadiannya mirip dengan arus yang terinduksi belitan).

d) Efisiensi (Randemen)

Efisien dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya keluaran (out put) dengan daya masukan (input).

$$\eta = \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya masukan}} \times 100\% \dots (11)$$

$$\eta = \frac{E_2 \cdot I_2 \cdot \cos \phi_2}{E_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi_1} \times 100\%$$

Daya masukan ialah daya keluaran + rugi-rugi

$$P_{in} = P_{out} + P_{rugi}$$

$$\text{Atau : } P_{out} = P_{in} - P_{rugi}$$

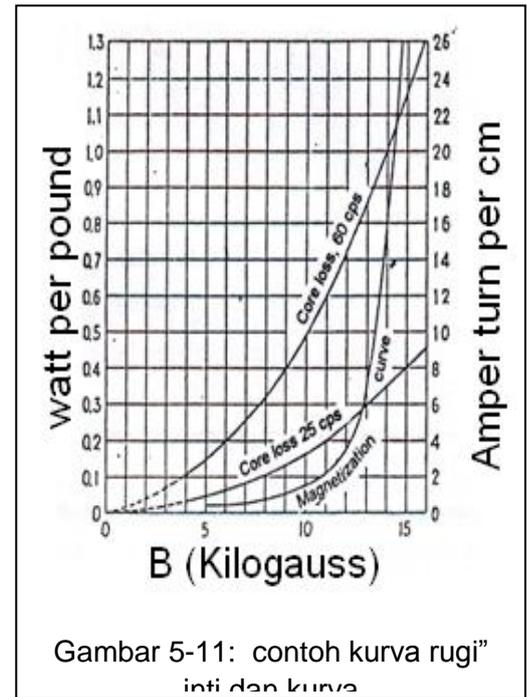
Jadi : η

$$\eta = \frac{P_{in} - P_{rugi}}{P_{in}} \times 100\%$$

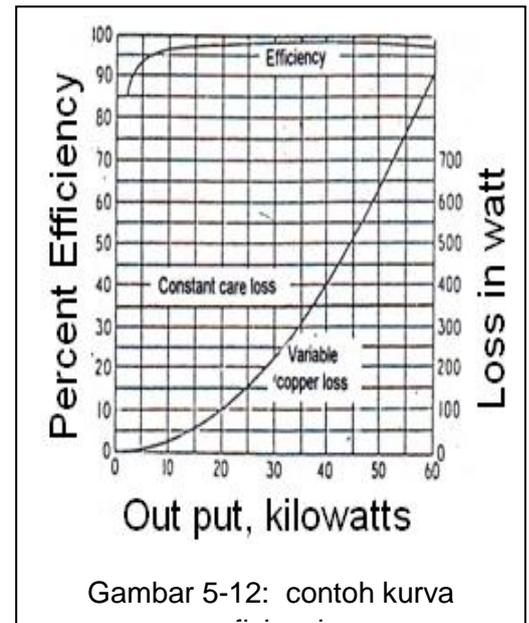
(η = dibaca randemen)

Rugi-rugi pada suhu 70°C terdiri dari rugi-rugi histerisis, rugi arus eddy, dan rugi arus tembaga belitan transformator.

Apabila rugi tembaga adalah $P_{cu} = I^2 \cdot R_{01}$



Gambar 5-11: contoh kurva rugi” inti dan kurva



Gambar 5-12: contoh kurva

Dimana : $R_{01} = R_1 + R_2$

Dan rugi besi = rugi histerisis + rugi arus eddy

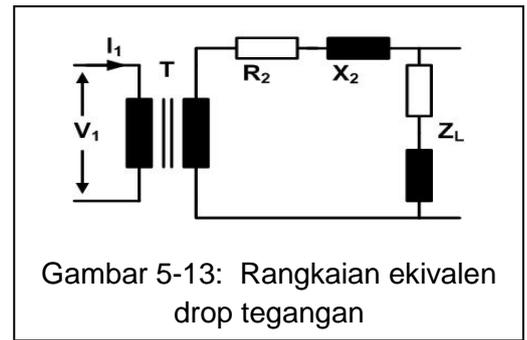
$$W_b = W_h + W_e$$

Daya masuk primer : $P_1 = E_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi_1$

Jadi efisiensi :

$$\eta = \frac{E_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi_1 - (\text{rugi} - \text{rugi})}{E_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi_1} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{E_1 \cdot I_1 \cos \phi_1 - I_2 \cdot R_{01} - W_b}{E_1 \cdot I_1 \cdot \cos \phi_1}$$



Gambar 5-13: Rangkaian ekivalen drop tegangan

Pada efisiensi maksimum, rugi tembaga sama dengan rugi besi.

e) Tegangan Jatuh (Voltage drop)

Jika tegangan primer konstan, dan transformator belum dibebani maka besarnya tegangan V_1 akan sama dengan tegangan E_1 . Dan tegangan pada ujung belitan sekunder V_2 akan sama dengan E_2 (ingatlah bahwa V_1 dan V_2 adalah tegangan pada ujung belitan. Sedangkan E_1 dan E_2 adalah tegangan pada belitan atau ggl induksi. Akan tetapi jika transformator telah dibebani harga V_2 tidak akan sama lagi dengan tegangan E_2 karena pada transformator akan terjadi kerugian tegangan yang disebabkan oleh impedensi transformator. Apabila resistansi dan reaktansi kumparan primer dipandang dari bagian sekunder maka rangkaian pengganti transformator tersebut seperti terlihat pada gambar 64, di atas.

Di dalam pembahasan drop tegangan transformator biasanya tegangan kumparan atau ggl-induksi dinyatakan dengan E_{02} , sedangkan tegangan ujung belitan dinyatakan dengan E_2 sehingga :

E_{02} = tegangan ujung belitan sekunder saat tanpa beban

E_2 = tegangan ujung belitan sekunder saat dibebani

Dengan demikian jatuh tegangan :

$$E_r = E_{02} - E_2 \dots (12)$$

Melihat rangkaian pengganti (gambar 64) di atas maka rugi tegangan/jatuh tegangan dapat pula dihitung dengan :

$$E_r = I_2 \cdot \sqrt{R_{e2}^2 + X_{e2}^2}$$

$$= I_2 \cdot R_{e2} \cos \varphi_2 + I_2 \cdot X_{e2} \sin \varphi_2 \dots (13)$$

f) Pengaturan (Regulasi) Tegangan

Apabila sebuah transformator dibebani dengan tegangan primer tetap, dapat dipastikan pada ujung belitan sekunder akan terjadi turun tegangan yang disebabkan oleh resistansi dalam transformator dan adanya reaktansi bocor. Besarnya turun tegangan tersebut dapat dihitung dengan persamaan 12 atau 13.

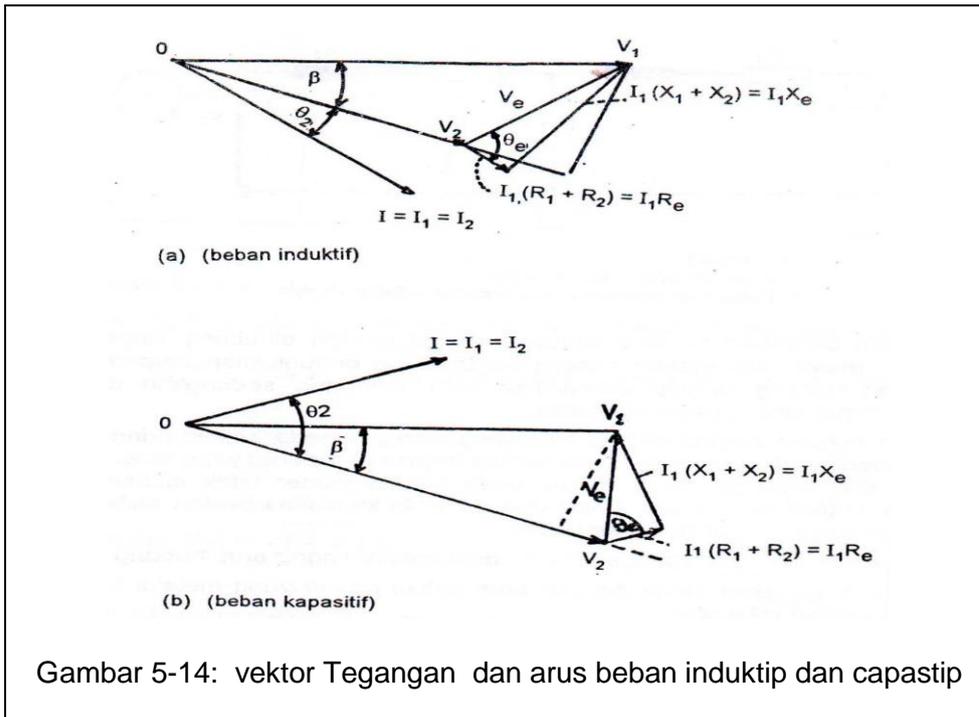
Dengan didasarkan kepada belitan sekunder, maka pengaturan tegangan dapat ditentukan ke dalam pengaturan tegangan turun (*regulation down*) atau pengaturan tegangan naik (*regulation up*).

$$\% \text{ Reg. Down} = \frac{E_0 - E_2}{E_{02}}$$

$$\text{Sedangkan } \textit{regulation up} = \% \text{ Reg. Up} = \frac{E_{02} - E_2}{E_2} \times 100\%$$

Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa regulasi akan nol apabila pada transformator tersebut tidak ada jatuh tegangan. Hal ini berarti $E_{02} = E_0$.

Dengan demikian % regulasi = nol.



g) Diagram vektor beban induktif dan beban kapasitif

Apabila transformator dibebani misalnya dengan beban induktif, maka arus sekunder I_2 akan tertinggal (lag) dari tegangan ujung sekunder V_2 sebesar Jatuh tegangan (drop tegangan) pada resistansi sekunder ialah $I_2 \cdot R_2$ digambarkan sefasa dengan arus I_2 .

Dan drop tegangan pada reaktansi ialah $I_2 \cdot X_2$. Selanjutnya drop tegangan total pada sekunder $I_2 \cdot Z_2$.

Tegangan pada belitan sekunder $E_2 = V_2 + I_2 \cdot Z_2$

Atau belitan tegangan pada belitan sekunder :

$$V_2 = E_2 - I_2 \cdot Z_2$$

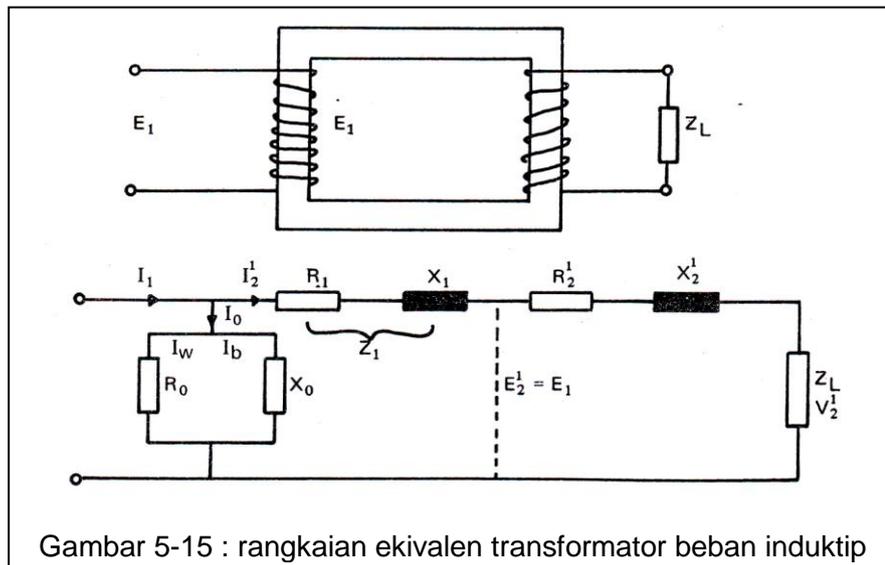
Resistansi total : $R_{01} = R_1 + R_2^1$

Reaktansi total : $X_{01} = X_1 + X_2^1$

Drop tegangan total : $I_2^1 \cdot Z_{01}$

Sedangkan bila transformator dibebani dengan beban yang bersifat kapasitif maka arus pada belitan sekunder akan mendahului (lead) tegangan sekunder. Sebagaimana pada beban induktif, rugi-rugi tegangan pada beban kapasitif juga disebabkan oleh resistansi dan reaktansi.

Dengan memperhatikan kedua vektor tegangannya, jika OV_1 dibuat sama panjang, akan terlihat bahwa tegangan terminal sekunder OV_2 untuk beban kapasitif lebih panjang daripada jika bebannya induktif



Gambar 5-15 : rangkaian ekivalen transformator beban induktif

c. Rangkuman

- 1) Transformator ialah sebuah mesin listrik yang dapat memindahkan tenaga listrik dari satu belitan (primer) ke belitan lainnya (sekunder) yang disertai perubahan arus dan tegangan. Pemindahan tenaga listrik ini terjadi dengan tidak melalui hubungan langsung antar belitan tersebut.
- 2) Menurut sambungan dan cara pemakaiannya, transformator dibedakan menjadi :
 - transformator 1 fasa
 - transformator 3 fasa
 - autotransformator
 - autotransformator ukur
 - transformator tegangan dan arus
- 3) Trafo penaik tegangan (step up) atau disebut trafo daya, untuk menaikkan tegangan pembangkitan menjadi tegangan transmisi.
- 4) Trafo penurun tegangan (step down) atau trafo distribusi, untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi

- 5) Trafo instrumen, untuk pengukuran yang terdiri dari trafo tegangan dan trafo arus, dipakai menurunkan tegangan dan arus agar dapat masuk ke meter-meter pengukuran.
- 6) Rugi-rugi tembaga, yaitu rugi yang terdapat pada resistansi murni R. Rugi-rugi tembaga dapat diketahui dengan pengujian transformator hubung singkat. Besarnya rugi tembaga ialah : $P_{cu} = I^2 \cdot (R_1 + R_2)$
- 7) Rugi histerisis, yaitu yang disebabkan oleh adanya gesekan molekul partikel-partikel pada inti transformator akibat perubahan flux magnet.
- 8) *Rugi arus eddy pada inti transformator* ialah akibat adanya induksi pada inti transformator (kejadiannya mirip dengan arus yang terinduksi)
- 9) Efisien dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya keluaran (out put) dengan daya masukan (input).
- 10) Pengujian beban nol untuk menentukan rugi beban nol atau rugi inti menentukan harga X_0 dan R_0 .
- 11) Menentukan impedans ekivalen Z_{e1} dan Z_{e2} reaktans bocor ekivalen X_{e1} dan X_{e2} dan resistans total dari trafo berdasarkan belitan dimana alat-alat ukur dipasang. Dengan diketahuinya Z_{e1} dan Z_{e2} maka jatuh tegangan total dalam trafo berdasarkan sisi primer atau sisi sekunder dapat dihitung sehingga tegulasi trafo dapat ditentukan. Menentukan rugi tembaga pada waktu beban penuh (pada sembarang beban). Rugi ini dapat di pergunakan untuk menghitung efisiensi trafo.

d. Tugas

- 1) Sebuah trafo mempunyai kumparan primer 20 lilitan, kumparan sekunder 80 lilitan, dan tegangan primer 24 volt. Berapa tegangan pada kumparan sekunder?
- 2) Sebuah transformator mempunyai daya masuk 120 watt dan daya keluar 110 watt. Berapa efisiensi transformator tersebut?
- 3) Sebuah transformator memiliki tegangan primer 220 volt. Transformator itu dilewati arus 4 ampere. Jika kuat arus sekundernya 2 A, berapakah besar tegangan sekundernya?
- 4) Sebuah transformator dihubungkan dengan sumber tegangan 220 volt dan daya listrik 500 watt. Transformator terdiri dari 400 lilitan pada kumparan primer dan 800 lilitan pada kumparan sekunder. Jika efisiensi transformator 80 %, hitunglah :
 - a) tegangan sekunder ,
 - b) daya listrik kumparan sekunder,
 - c) kuat arus pada kumparan primer, dan
 - d) kuat arus pada kumparan sekunder!
- 5) Fungsi dari transformator step down adalah
- 6) Bagian kumparan transformator yang ujung-ujungnya dihubungkan sumber listrik PLN disebut dengan
- 7) Bagian-bagian dari transformator terdiri atas
- 8) Sebab utama trafo tidak dapat digunakan untuk mengubah tegangan arus searah (DC) adalah ..
- 9) Sebuah transformator mempunyai kumparan primer dan sekunder dengan jumlah lilitan masing-masing 500 dan 5000, dihubungkan dengan jaringan bertegangan arus bolak-balik 220 Volt. Berapakah tegangan keluarannya?

- 10) Sebuah transformator step up terdiri atas kumparan primer dengan 100 lilitan dan kumparan sekunder dengan 10.000 lilitan. Jika tegangan pada kumparan primer 12 volt dan kuat arusnya 5A, maka tentukan:
- daya input
 - tegangan pada kumparan sekunder
 - kuat arus pada kumparan sekunder jika efisiensi trafo 100%
 - kuat arus pada kumparan sekunder jika efisiensi trafo 100 %

e. Lembar kerja siswa

Judul Percobaan : Mengukur Besaran-Besaran Listrik Transformator Satu Fasa

I. TUJUAN

Setelah praktek ini diharapkan siswa dapat mengukur besaran- besaran listrik, mengetahui karakteristik transformator tanpa beban dan berbeban.

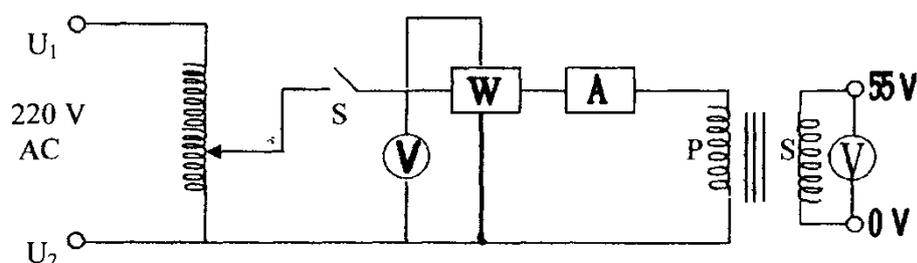
II. ALAT DAN BAHAN

- | | |
|---|------------|
| 1. Power Supply satu fasa yang dapat diatur | 1 buah |
| 2. Transformator yang dapat diatur | 1 buah |
| 3. Wattmeter 5A/300V AC | 2 buah |
| 4. Voltmeter AC 0-300 V | 2 buah |
| 5. Amperemeter AC 0-10 A | 2 buah |
| 6. Beban resistif 0,1-4 KW | 1 buah |
| 7. Switch (saklar) dua kutub | 2 buah |
| 8. Multimeter | 1 buah |
| 9. Kawat penghubung | secukupnya |

III. LANGKAH KERJA

3.1 Transformator Tanpa Beban (beban nol)

- Siapkan alat dan bahan yang diperlukan.
- Rakitlah rangkaian sesuai dengan gambar percobaan 1.



Gambar. 1 Percobaan trafo tanpa beban

3. Sebelum menghubungkan ke sumber tegangan, periksakan rangkaian percobaan kepada guru dan setelah di cek kebenarannya baru hubungkan rangkaian ke sumber tegangan.
4. Atur tegangan pada lilitan primer sebesar 25 volt, dan catat hasil pengukuran pada tabel percobaan 1.
5. Ulangi langkah percobaan 4, untuk harga tegangan yang dinaikkan secara bertahap untuk setiap percobaan tegangan pada lilitan primer sebesar 25 volt dan catat nilai-nilai yang terukur pada semua alat ukur dan isikan pada tabel 1.

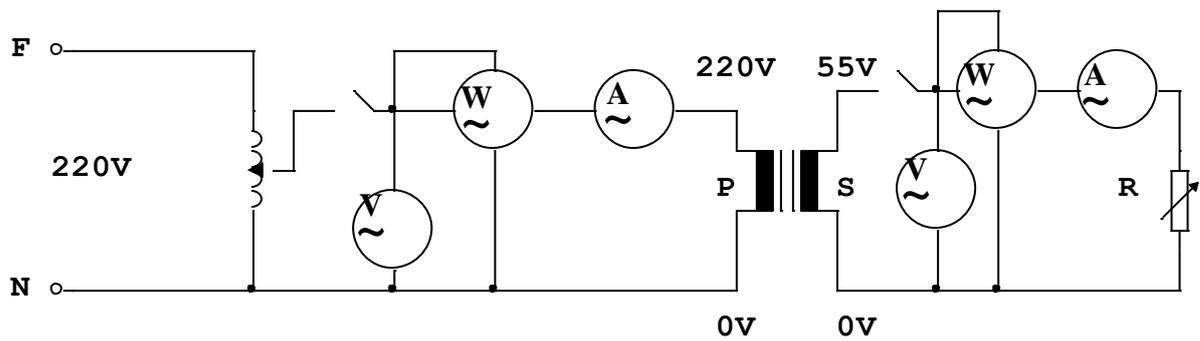
Tabel 1. Hasil Pengukuran Transformator Tanpa Beban

Tegangan (V_P)	Arus (I_o)	Daya (P_o)	Vs
Volt	A	Watt	Volt
25			
50			
75			
100			
125			
150			
175			
200			
220			

6. Off-kan power supply dan pindah ke percobaan berikutnya.

.3.2 Transformator Berbeban

1. Rakitlah rangkaian percobaan 2 ini seperti gambar di bawah ini:



2. Atur tegangan variac sampai 220 V AC, kemudian hukungkan saklar keadaan ON dan atur beban R secara bertahap, nilai-nilai pengukuran pada semua alat ukur catat pada tabel 3.
3. Arus sekunder dapat diatur melalui beban R., sampai harga maksimal 3 A.
4. Untuk setiap kenaikan harga beban, dan arus sekunder juga berubah, semua nilai-nilai pengukuran dicatat.
5. Setelah selesai Off-kan power supply dan buka rangkaian.
6. Semua peralatan dan bahan kembalikan ke tempat semula.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Transformator Berbeban

P = Primer dan S = Sekunder

$V_i(P)$	$I_1(P)$	$P_1(P)$	$V_2(S)$	$I_2(S)$	$P_2(S)$	$I_2/I_1 = a$
Volt	A	Watt	Volt	A	Watt	a = Transpormasi
220				0,5		
220						

IV. Tugas

1. Analisa hasil percobaan trafo tanpa beban

Hitung: $I_m = I_o \cdot \sin$ $V_o =$ tegangan primer

$I_w = I_o \cdot \cos$ $I_o =$ arus primer

Hitung: $R_o \rightarrow R_o =$ $X_o \rightarrow X_o =$

Hitung: $Z_o \rightarrow Z_o =$

2. Gambarkan grafik arus dari percobaan trafo tanpa beban!
3. Jelaskan maksud (fungsi) dari percobaan trafo tanpa beban dan hubung singkat!
Hitung efisiensi trafo berbeban ($= \times 100 \%$)
4. Buat kesimpulan dari percobaan trafo tanpa beban, trafo hubung singkat dan trafo berbeban!

6. Pembelajaran Keenam

a. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini, siswa dapat:

- 1) Menjelaskan transformator 3 fasa
- 2) Mengetahui perbedaan antara transformator 1 fasa dengan 3 fasa
- 3) Menyebutkan hubungan transformator 3 fasa
- 4) Membaca simbol sistem sambungan transformator tiga fasa
- 5) Menggambarkan hubungan bintang, segitiga dan zig-zag transformator tiga fasa
- 6) Menghitung soal-soal yang berhubungan dengan transformator 3 fasa
- 7) Mengukur besaran-besaran listrik transformator tiga fasa

b. Uraian materi

TRANSFORMATOR TIGA FASA

Untuk melayani sistem 3 fasa dibuat transformator 3 fasa. Transformator 3 fasa ini dapat dibuat dari 3 buah transformator fasa tunggal atau sebuah transformator 3 fasa.

Pada dasarnya transformator 3 fasa sama dengan transformator 1 fasa, baik cara kerja maupun teori dasarnya, yaitu bekerja atas dasar cara kerja induksi elektromagnetik.

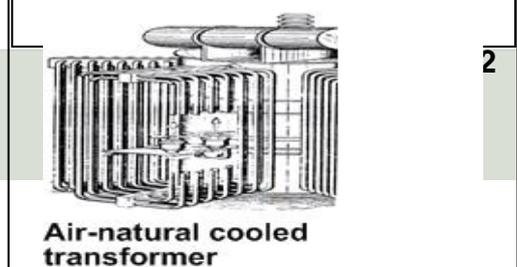
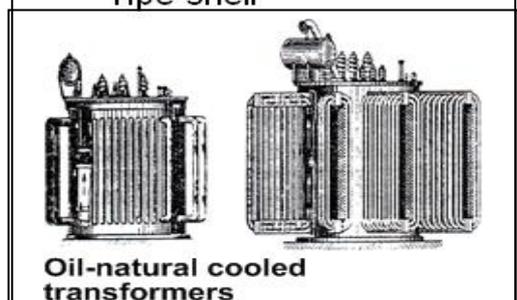
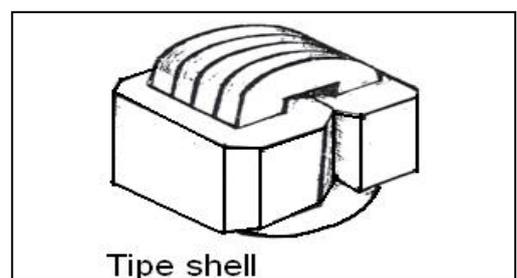
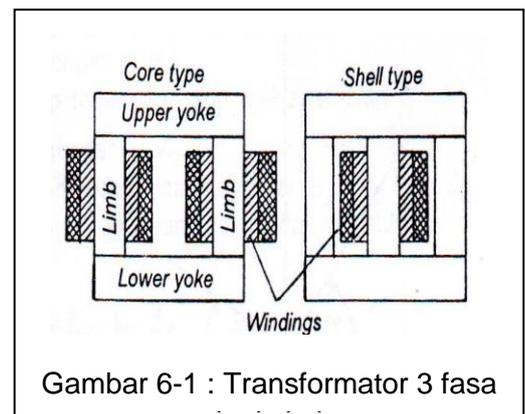
Bila dibandingkan dengan 3 buah transformator fasa tunggal transformator 3 fasa mempunyai beberapa keunggulan di antaranya ialah menghemat bahan, harganya lebih murah, tidak terlalu besar ukurannya hingga hemat tempat, dan pada daya yang sama transformator 3 fasa mempunyai bobot yang lebih ringan. Adapun kelemahan transformator 3 fasa ialah bila salah satu belitan cacat maka kedua belitan lainnya yang masih baik menjadi tidak berguna lagi.

Pada gambar 6-1 diperlihatkan transformator 3 fasa jenis inti yang dapat dianggap 3 buah transformator fasa tunggal yang disusun baik belitan primer maupun belitan sekunder ditumpuk pada satu kaki inti transformator. Karena itu untuk mendapatkan fluk magnet yang seragam maka penampang inti transformator harus dibuat sama luasnya.

1) Konstruksi Transformator 3 Fasa

Telah dijelaskan diatas bahwa sebuah transformator 3 fasa lebih menguntungkan bila dibandingkan dengan 3 buah transformator fasa tunggal yang dibuat menjadi transformator 3 fasa. Karena itu untuk keperluan jaringan listrik 3 fasa lebih disukai pemakaian sebuah transformator 3 fasa. Konstruksi dari transformator 3 fasa dirancang dengan berbagai macam tipe sesuai kebutuhan.

Sebagaimana pada transformator satu fasa, konstruksi transformator 3 fasa dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :



- a. Konstruksi core type transformator (transformator tipe inti)
- b. Konstruksi shell transformator (transformator tipe shell)

Inti transformator terbuat dari bahan ferromagnetis. Bahan ini merupakan campuran beberapa logam, biasa logam baja dan silikon. Konstruksi besi inti dibuat tipis-tipis dan berlapis-lapis. Tiap-tiap lapisan terisolasi satu dengan lainnya. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi rugi akibat arus eddy. Biasanya ketebalan pelat inti transformator berukuran antara 0,35 dan 0,5 mm.

Konstruksi belitan transformator 3 fasa pada dasarnya sama dengan transformator satu fasa. Bagian tegangan tinggi terletak di dalam dan bagian tegangan rendah terletak di bagian luar belitan.

Pendingin transformator dapat dikelompokkan menjadi beberapa macam cara, yaitu :

- a. pendinginan udara alami,
- b. pendinginan dengan minyak sirkulasi alami,
- c. pendinginan dengan udara paksaan,
- d. pendinginan dengan minyak paksaan,
- e. pendingin dengan minyak dan udara.

2) Auto Transformator

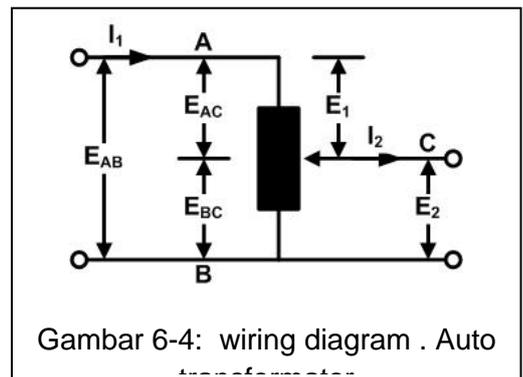
Auto transformator adalah transformator yang belitan primer dan sekundernya bergabung menjadi satu belitan primernya merupakan bagian dari belitan sekunder.

Tegangan yang terbangkit pada N_2 adalah E_2 , sehingga berlaku hubungan :

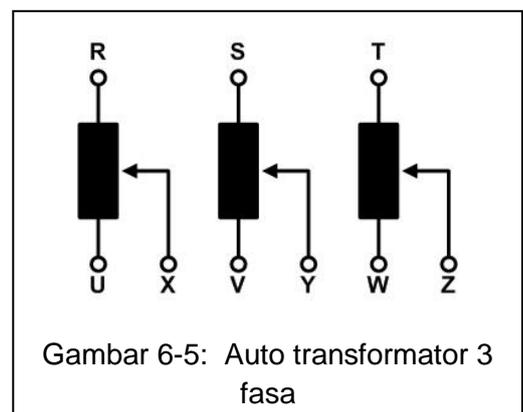
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots 4$$

a) Auto Transformator 3 Fasa

Seperti pada transistor biasa, auto transformator juga ada yang 3 fasa. Perhatikan gambar 6-4. jenis transformator ini biasa digunakan untuk berbagai keperluan misalnya dalam pengasutan motor 3 fasa.



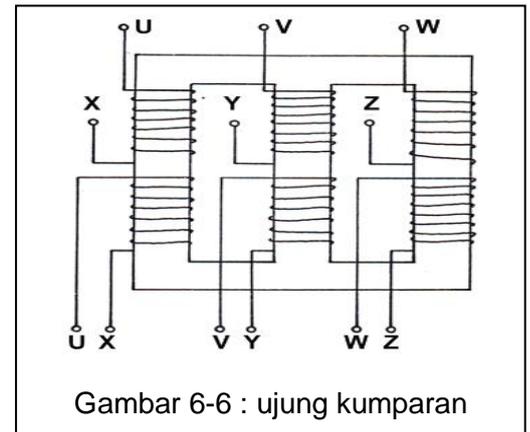
Gambar 6-4: wiring diagram . Auto transformator



Gambar 6-5: Auto transformator 3 fasa

3) Sambungan Transformator 3 Fasa

Telah dijelaskan di atas bahwa transformator 3 fasa dapat dibuat dari 3 buah transformator fasa tunggal atau sebuah transformator 3 fasa, berarti pada transformator 3 fasa mempunyai 3 buah belitan untuk tiap-tiap fasanya. Belitan primer diberi notasi U – X, V – Y dan W – Z. Ketiga belitan tersebut dibuat sama besar dan simetris. Ada kalanya belitan sekunder tiap fasanya dibagi dua lagi secara sama besar hingga memungkinkan disambungkan secara zig-zag.



Sambungan zig-zag transformator hanya dapat dilakukan pada belitan sekudernya

Sambungan Y – Y

Gambar adalah bentuk *transformator shell* dalam sambungan Y – Y. Sedangkan gambar adalah menggambarkan simbol transformator 3 fasa dalam sambungan Y – Y. Dalam sambungan bintang letiga ujung akhir belitan transformator dijadikan satu yang merupakan titik netral transformator. Jika salah satu sisi belitan digambarkan dalam sambungan bintang (gambar 6-7), dapat ditarik kesimpulan bahwa :

- a) Tegangan jala-jala (VL), yaitu tegangan antar fasa adalah :

$$V_L = \sqrt{3 \times \text{tegangan fasa}}$$

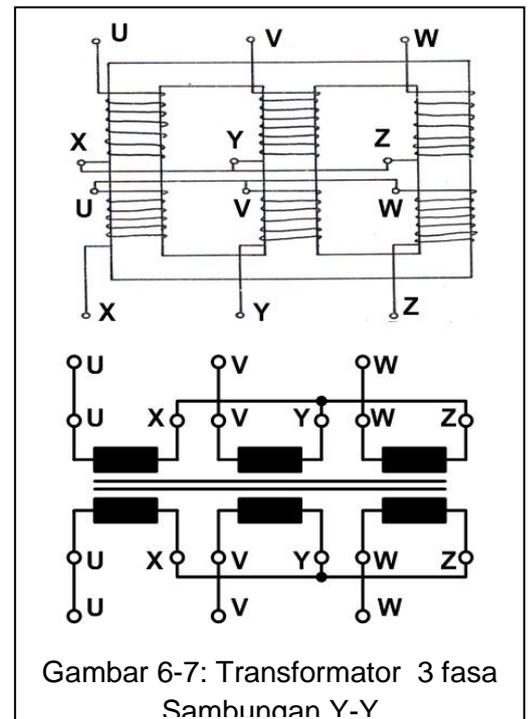
atau

$$V_L = \sqrt{3 \times V_f} \dots\dots 1$$

Dimana V_f = tegangan fasa, yaitu tegangan fasa dengan netralnya.

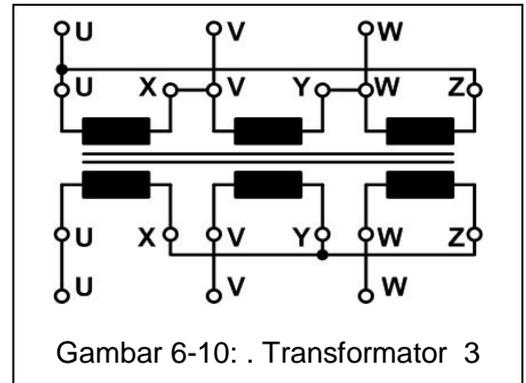
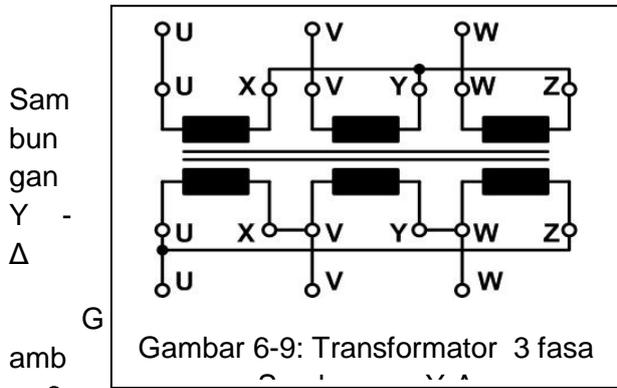
- b) Arus antar fasa (arus line) sama dengan arus fasa, ditulis :

$$I_L = I_f \dots\dots 2$$



Sambungan Δ - Δ

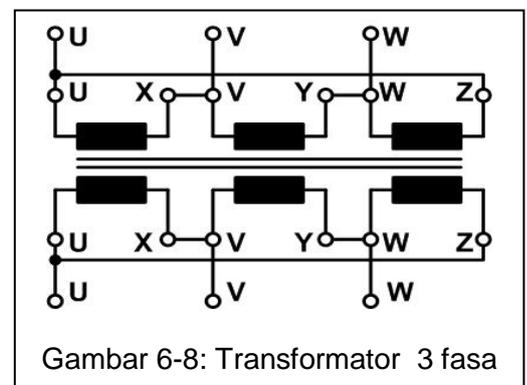
Gambar 6-8 menunjukkan 3 buah transformator 3 fasa yang disambung segitiga baik sisi primernya maupun sekundernya. Pada sambungan ini tidak terdapat geseran fasa antar belitan primer dan sekunder.



9 menunjukkan hubungan transformator Y - Δ . Pada sambungan ini tegangan kumparan primer $V_L / \sqrt{3}$, sedangkan tegangan kumparan sekundernya sama dengan V_L .

Sambungan Δ - Y

Diagram penyambungan Δ / Y diperlihatkan oleh gambar 6-10. Pada belitan primer tegangan yang dapat diberikan sebesar tegangan jala-jala, sedangkan untuk belitan sekunder hanya mampu menerima tengeran $V_L / \sqrt{3}$.

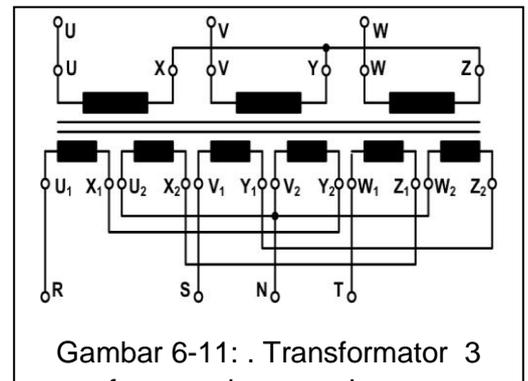


SSambungan Zig-Zag

Untuk dapat membuat sambungan zig-zag, belitan sekunder harus terbagi dua dengan sama besar. Dalam sambungan zig-zag ujung awal belitan kedua (U_2 , V_2 , dan W_2) disambung menjadi satu sehingga merupakan titik netral. Selanjutnya, ujung kumparan belitan pertama (X_1) disambung dengan ujung akhir belitan bagian kedua fasa (Y_2). Ujung akhir belitan pertama fasa kedua (Y_1) disambung dengan ujung akhir belitan kedua fasa ketiga (Z_2). Dan ujung akhir belitan pertama fasa ketiga (Z_1) disambung dengan ujung akhir belitan kedua fasa pertama (X_2). Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar 6-11.

c. Rangkuman

- 1) Autotransformator termasuk trafo yang dibuat dengan rancangan berbeda, karena belitan primer dan belitan sekunder menggunakan satu belitan.
- 2) Transformator 3 fasa digunakan untuk sistem listrik berdaya besar, baik pada sistem pembangkitan, transmisi maupun distribusi.
- 3) Trafo 3 fasa memiliki enam belitan. Tiga belitan primer dan tiga belitan sekunder.
- 4) Ada dua metoda hubungan belitan primer dan belitan sekunder, yaitu hubungan *Delta* (*segitiga*), belitan sekunder *Y* (*bintang*)
- 5) Hubungan transformator 3 fasa antar tegangan primer dan tegangan sekunder perbedaannya dapat diatur dengan metoda aturan hubungan jamba belitan trafo
- 6) Disamping hubungan bintang dan segitiga dikenal juga hubungan segitiga terbuka (*open delta-VV connection*) dan hubungan *Zig-zag*.
- 7) Untuk mendinginkan trafo dipakai minyak trafo yang berfungsi sebagai isolasi antar belitan primer dan sekunder
- 8) Paralel dua transformator dilakukan dengan cara menyambungkan secara paralel dua transformator. Syarat paralel: tegangan harus sama, daya trafo mendekati sama, impedansi trafo sama



d. Tugas

- 1) Sebutkan keuntungan dan kerugian menggunakan transformator tiga fasa!
- 2) Jika diketahui hasil pengukuran fasa-netral (V_f) pada bagian sekunder trafo tiga fasa hubungan Y-Y adalah 220V, berapakah besar tegangan fasa-fasanya (V_L)?

- 3) Gambarkan diagram hubungan trafo Δ -Y dan Y-Y
- 4) Apakah yang dimaksud dengan Auto transformator?
- 5) Syarat apakah yang harus terpenuhi untuk dapat membuat trafo sambungan zig-zag?

e. Lembaran kerja siswa

Judul Percobaan: Mengukur Besaran-Besaran Listrik Transformator Tiga Fasa

I. TUJUAN

Setelah melakukan percobaan ini siswa diharapkan dapat merangkai sebuah transformator 3 fasa dengan langkah-langkah yang benar:

1. Merangkai transformator 3 fasa dalam sambungan Y-Y, Y- Δ dan Y-Z
2. Menentukan konstanta-konstanta transformator seperti impedansi (Z_0), tahanan pengganti (R_0), reaktansi pengganti (X_0) dalam keadaan belitan sekunder beban nol
3. Menghitung perbandingan transformasi untuk sambungan Y-Y, Y- Δ dan Y-Z

II. ALAT DAN BAHAN YANG DIPERLUKAN

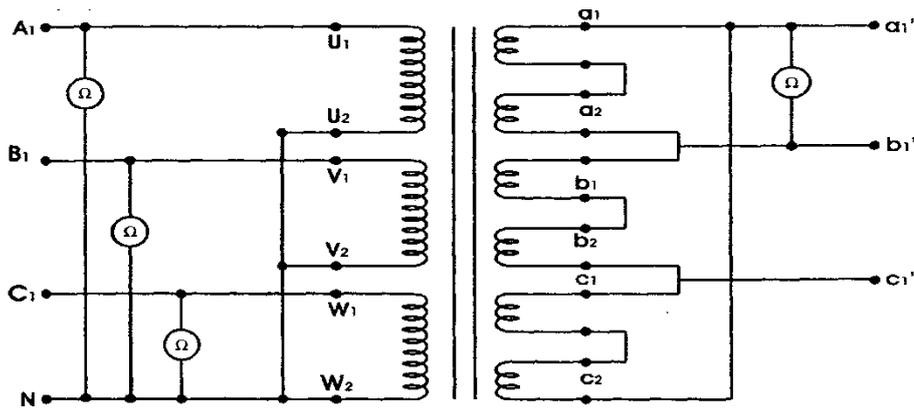
1.	3 KVA; 50/60 Hz	Transformator 3 fasa type tropical 1 buah
2.		Multimeter 1 buah
3.	450 Volt	Volt meter kumparan putar AC 0 – 2 buah
4.		Amperemeter AC 0 – 10 A 2 buah
5.		Wattmeter AC/DC 1 buah
6.		Variac (Slide Regulator) 1 buah
7.		Sakelar 3 fasa 1 buah
8.		Kabel penghubung secukupnya

III. LANGKAH KERJA

Percobaan 1;

Mengukur Tahanan Lilitan Primer dan Sekunder Transformator 3 Fasa

1. Rakitlah rangkaian percobaan seperti gambar1 dengan benar (Y- Δ)



2. Ukurlah tahanan lilitan primer dan sekunder trafo 3 fase sesuai dengan tabel pengamatan.

Tabel 1. Pengamatan

Primer hubungan bintang (□)

A1-N	B1-N	C1-N
Ω	Ω	Ω

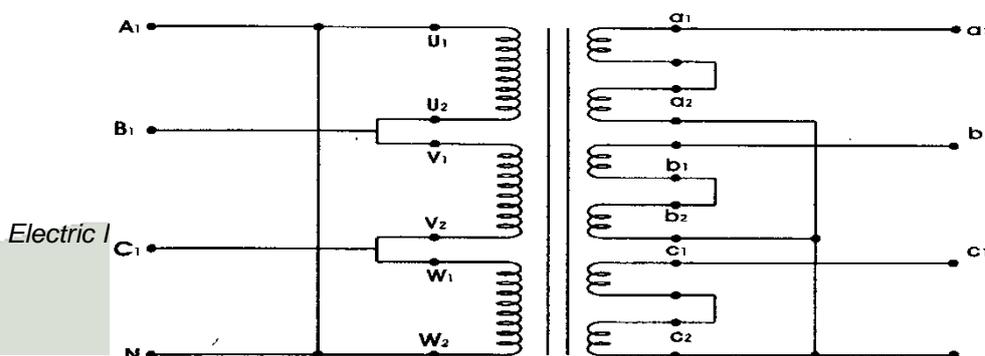
Sekunder hubungan segitiga (□)

A1'-b1'	B1'-c1'	C1'-c1'
Ω	Ω	Ω

3. Setelah selesai lanjutkan ke percobaan 2

Percobaan 2;

Sama seperti langkah percobaan 1, hubungan rangkaian percobaan berubah menjadi hubungan segitiga- bintang (□-□)



4. Ukurlah tahanan lilitan primer dan sekunder trafo 3 fasa sesuai dengan tabel pengamatan

Tabel 2. Pengamatan

Primer hubungan segitiga (Δ)

A1-B1	B1-C1	A1-C1
Ω	Ω	Ω

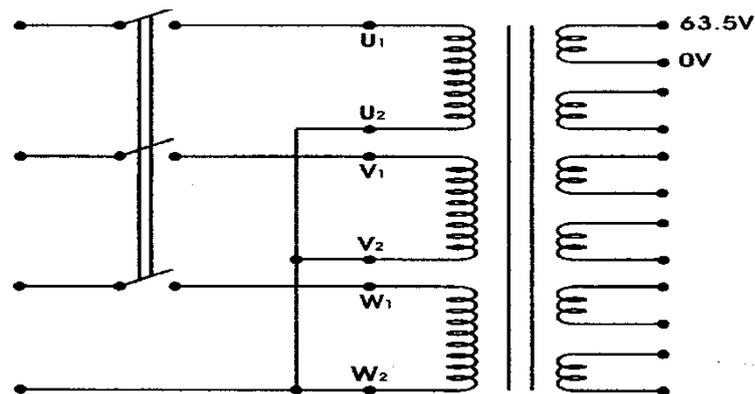
Sekunder hubungan bintang (\star)

a1-N	b1-N	c1-N
Ω	Ω	Ω

5. Setelah selesai buka rangkaian dan lanjutkan ke percobaan selanjutnya.

Percobaan 3;

1. Rakitlah rangkaian percobaan sesuai dengan gambar percobaan 3 dengan benar



2. Setelah disetujui oleh instruktur hubungkan rangkaian saudara ke sumber 3 fasa
3. Hubungkan sakelar (s) dan catat data-data sesuai dengan tabel percobaan di bawah ini (atur tegangan sampai 220 volt, V_{R-S}).

Tabel Percobaan 3

U_1-U_2	V_1-V_2	W_1-W_2	U_1-V_1	V_1-W_1	W_1-U_1
Volt	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt

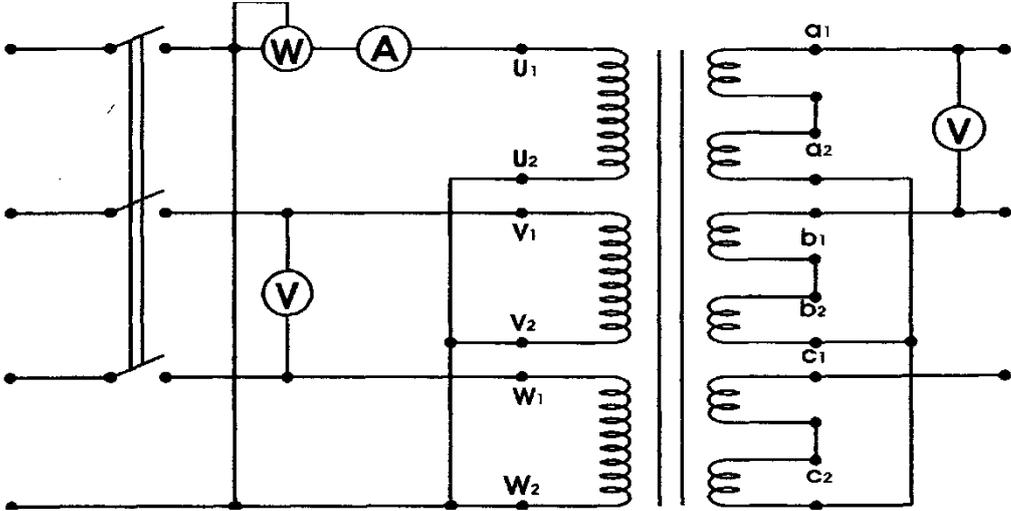
4. Lanjutkan ke percobaan selanjutnya

Percobaan 4;

Percobaan trafo 3 fasa beban nol dengan hubungan lilitan primer dan sekunder Y-Y

1. Rakitlah rangkaian percobaan seperti gambar 4. dengan benar
2. Atur tegangan dari power supply secara bertahap dari 25 volt dan catat semua hasil pengukuran yang ditunjukkan oleh alat ukur

3. Ulangi langkah percobaan 2 untuk tegangan 50, 75, 100, 125,150, 175, 200 dan 220 volt



Gambar. 4. Rangkaian percobaan trafo 3 fasa Y-Y beban nol

Table 4. Percobaan 4.

V_1	I_0	$P_0 I \phi$	V_2
Volt	Ampere	Watt	Volt
25			
50			
75			
100			
125			
150			
175			
200			
220			

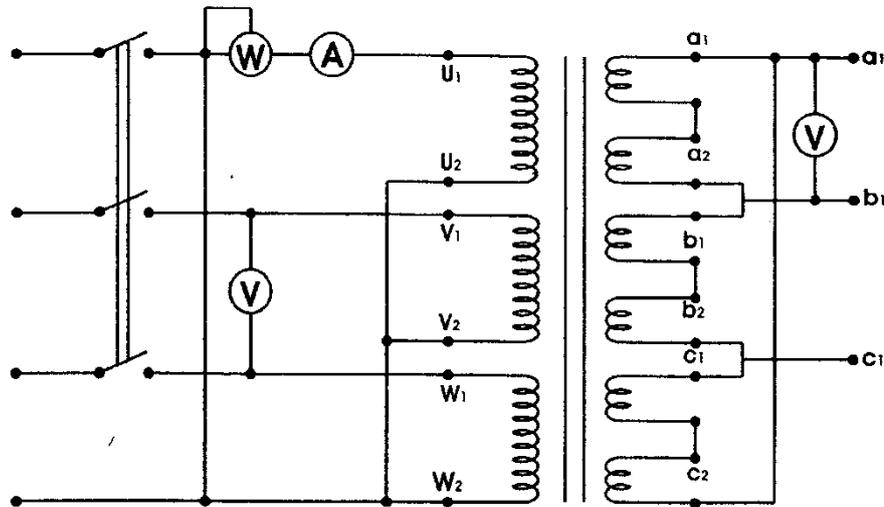
3. Hitung tegangan phasa alitan primer dan sekunder untuk trafo tiga phasa hubungan Y- Y
Lanjutkan ke percobaan berikutnya
4. Lanjutkan ke percobaan selanjutnya.

Percobaan 5;

Percobaan trafo 3 phasa hubungan bintang – delta beban nol

1. Rakitlah rangkaian sesuai dengan gambar 5 dengan benar

- Setelah disetujui Instruktur hubungkan sakelar 3 fasa, dan atur tegangan secara bertahap sesuai data-data tabel 5 dan hasil pengukuran catat juga pada tabel 5



- Hitung tegangan fasa primer
- Setelah selesai lanjutkan percobaan berikutnya

Gambar. 5 Percobaan trafo 3 fasa beban nol hubungan lilitan Y- Δ

Tabel 5.

Pengukuran				Perhitungan						
V_1 (V)	P_0 (W)	I_0 (A)	V_2 (V)	$\cos \varphi$	Φ^0	I_m (A)	I_w (A)	R_0 (Ω)	X_0 (Ω)	Z_0 (Ω)
25										
50										
75										
100										
125										

150										
175										
200										
220										

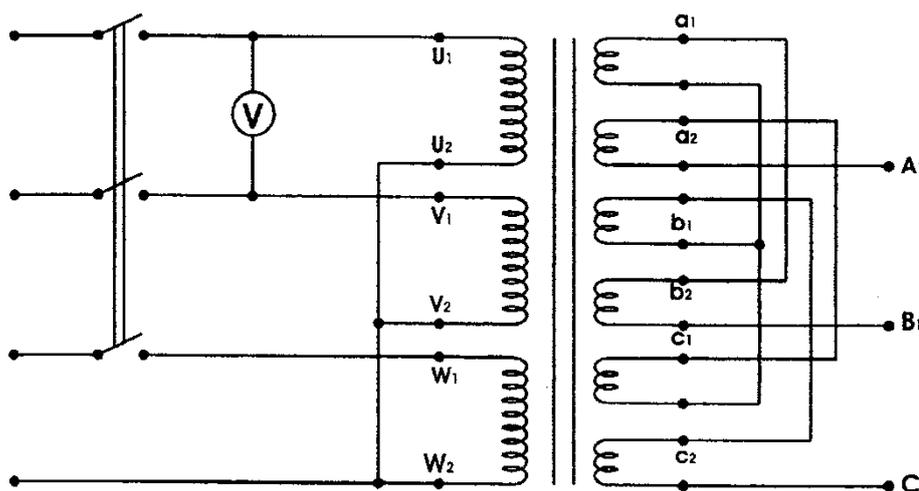
Percobaan 6;

Percobaan trafo 3 fasa hubungan Y-Z beban nol

1. Rakitlah rangkaian sesuai dengan gambar 6 dengan benar
2. Setelah disetujui instruktur hubungkan saklar 3 fasa dan catat data-data sesuai dengan tabel percobaan dibawah ini
3. Analisa hasil Percobaan. tabel 6 dengan:

$$= 1,5 e$$

e = tegangan 1/2 fasa dari lilitan a₁ – b₁



Gambar. 6 trafo 3 fasa hubungan Y-Z

Tabel percobaan 6

Kode Primer	Tegangan (Volt)	Kode Sekunder	Tegangan (Volt)
R – N		$e_{Z1} \rightarrow a_1 - b_1$	
S – N		$e_{Z2} \rightarrow a_2 - a_3$ \rightarrow	
T – N		$e_{Z3} \quad a_3 - b_3$	
R – S		$A_1 - B_1$	
S – T		$B_1 - C_1$	
T – R		$A_1 - C_1$	

7. Pembelajaran Ketujuh

a. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi ini, siswa dapat:

- 1) Menjelaskan prinsip kerja inverter
- 2) Menjelaskan kegunaan inverter yang digunakan dalam bidang elektronika dan pesawat terbang
- 3) Menjelaskan jenis-jenis inverter yang digunakan dalam bidang elektronika dan pada sistem pesawat terbang
- 4) Merancang rangkaian inverter sederhana
- 5) Mengukur besaran tegangan, arus dan frekuensi inverter sederhana

b. Uraian materi

INVERTER

Inverter digunakan untuk mengubah tegangan input DC menjadi tegangan AC. Keluaran inverter dapat berupa tegangan yang dapat diatur dan tegangan yang tetap. Sumber tegangan input inverter dapat menggunakan battery, cell bahan bakar, tenaga surya, atau sumber tegangan DC yang lain. Tegangan output yang biasa dihasilkan adalah 120 V 60 Hz, 220 V 50 Hz, 115V 400 Hz.

Prinsip kerja inverter dapat dijelaskan dengan menggunakan 4 sakelar. Bila sakelar S_1 dan S_2 dalam kondisi on maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan, jika yang hidup adalah sakelar S_3 dan S_4 maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri. Inverter dapat diklasifikasikan menjadi 2 macam : (1) inverter 1 fasa, (2) inverter 3 fasa.

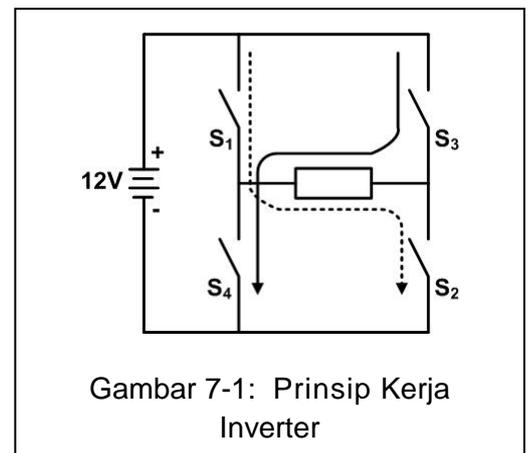
Inverter biasanya menggunakan rangkaian modulasi lebar pulsa (pulse width modulation - PWM). Inverter juga dapat dibedakan dengan cara pengaturan tegangannya, yaitu : (1) jika yang diatur tegangan input konstan disebut Voltage Fed Inverter (VFI), (2) jika yang diatur arus input konstan disebut Current Fed Inverter (CFI), dan (3) jika tegangan input yang diatur disebut Variable dc linked inverter.

1) Inverter Setengah Gelombang

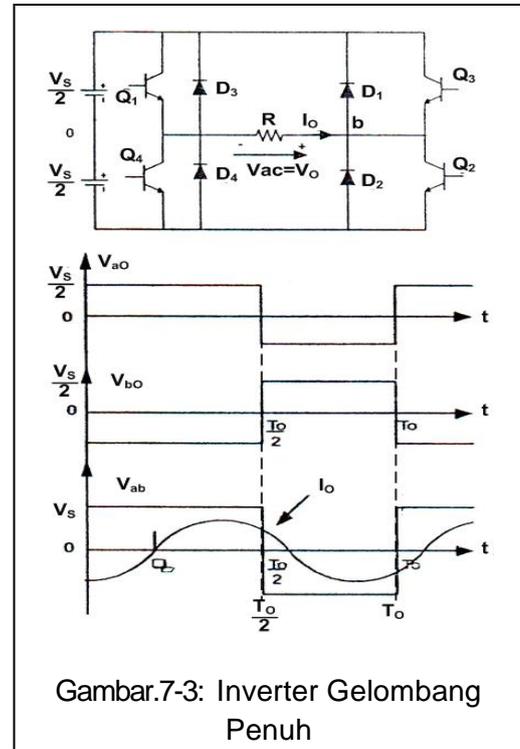
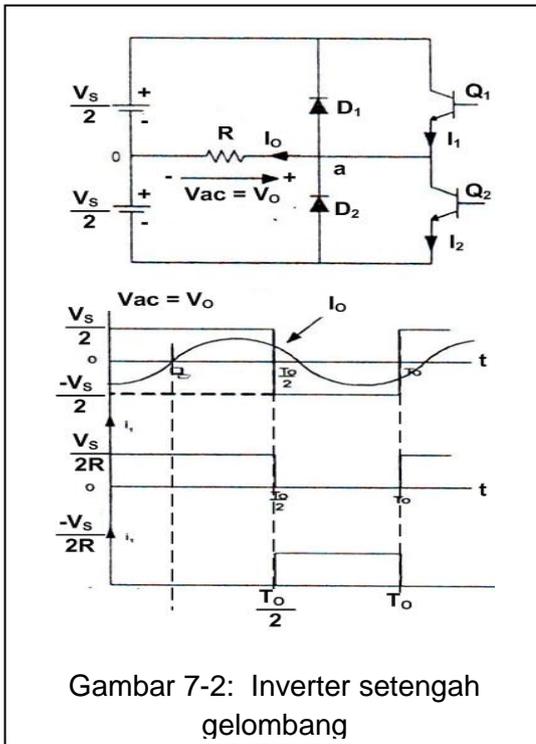
Prinsip kerja dari inverter satu fasa dapat dijelaskan dengan gambar 8a. Ketika transistor Q_1 yang hidup untuk waktu $T/2$, tegangan pada beban V_o sebesar $V_i/2$. Jika transistor Q_2 hanya hidup untuk $T/2$, $V_i/2$ akan melewati beban. Q_1 dan Q_2 dirancang untuk bekerja saling bergantian. Pada gambar menunjukkan bentuk gelombang untuk tegangan keluaran dan arus transistor dengan beban resistif.

2) Inverter Gelombang Penuh

Inverter gelombang penuh ditunjukkan pada gambar. Ketika transistor Q_1 dan Q_2 bekerja (ON), tegangan V_s akan mengalir ke beban tetapi Q_3 dan Q_4 tidak bekerja (OFF). Selanjutnya, transistor Q_3 dan Q_4 bekerja (ON) sedangkan Q_1 dan Q_2 tidak bekerja (OFF), maka pada beban akan timbul tegangan $-V_s$. Bentuk gelombang ditunjukkan pada gambar 9-b.

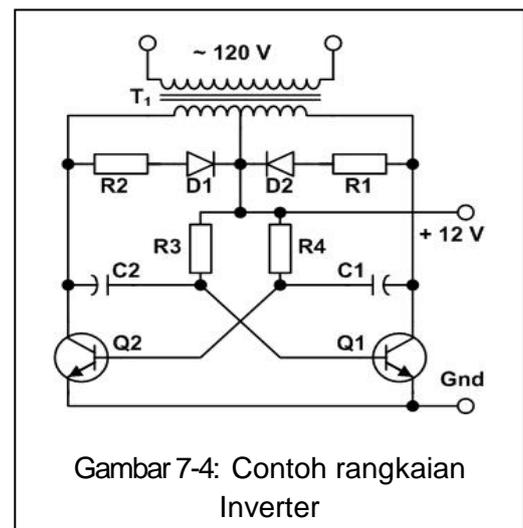


Contoh rangkaian inverter sederhana ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Penggunaan inverter

Dalam bidang elektronika untuk mensuplai beban dengan tegangan AC dengan daya yang disesuaikan

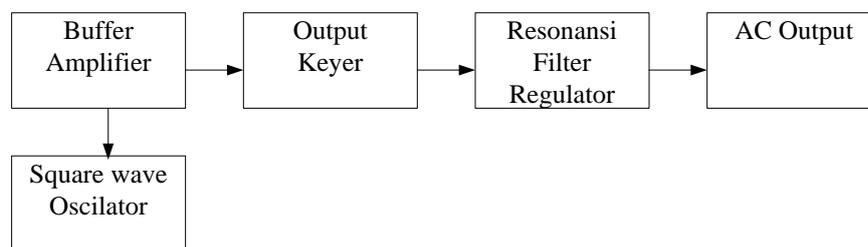


dengan daya tegangan DC yang tersedia. Contoh penggunaan inverter dapat digunakan untuk rangkaian UPS (Uninterrupted Power Supply) untuk suplai tegangan listrik bila terjadi pemutusan listrik dari PLN dengan tiba-tiba.

Penggunaan inverter pada sistem pesawat terbang untuk merubah tegangan DC menjadi sumber AC tersebut digunakan untuk keperluan-keperluan terutama instrumen-instrumen, radio, radar dan keperluan-keperluan lainnya. Dan pada saat pesawat mengalami emergency (keadaan darurat) yang mana sumber AC tidak berfungsi lagi

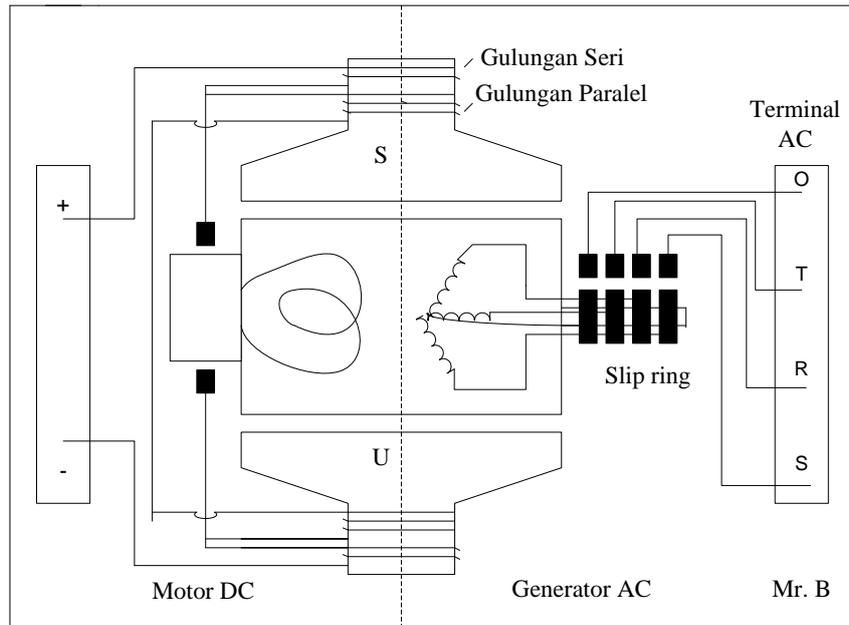
Static inverter

Gambar blok diagram dari Static Inverter. Inverter ini mengubah tegangan DC rendah menjadi tegangan AC yang tinggi



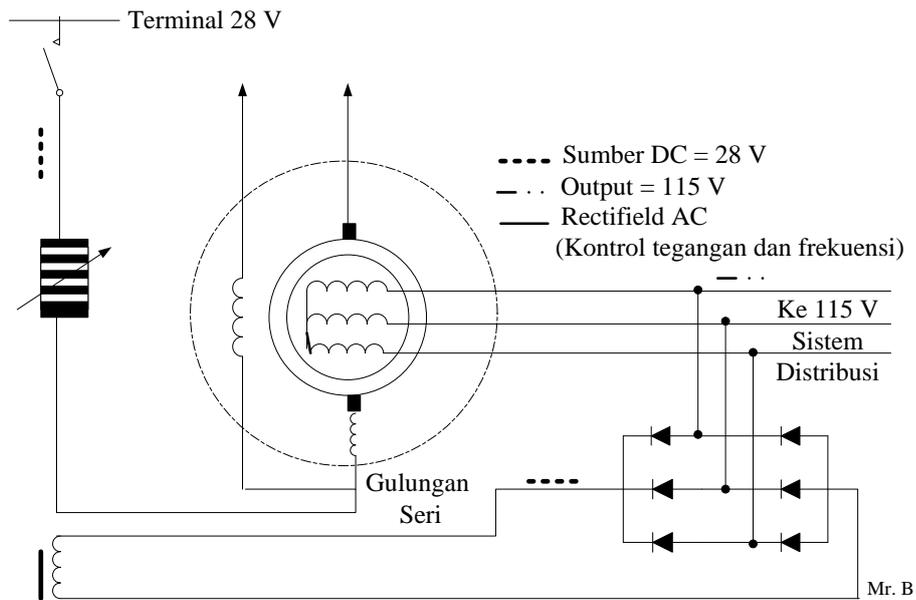
Rotary Conductur Armature sebagai Rotor

Inverter jenis ini mempunyai dua armature yaitu untuk motor dan armature untuk generator AC. Karena fungsi dari kedua armature ini itu sama, yaitu sebagai tempat dari konduktor, maka kedua armature tersebut dijadikan satu sehingga armature tersebut mempunyai dua konduktor untuk motor dan untuk generator DC. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 7-5.

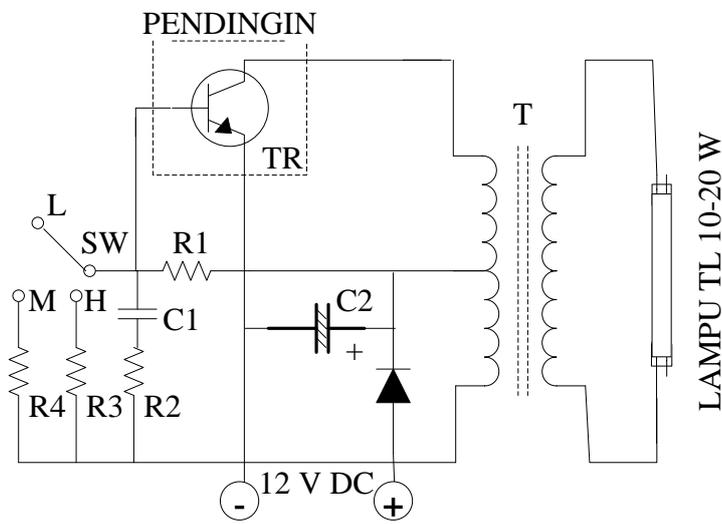


Gambar 7-5: inverter jenis armature

Motor DC yang dipakai adalah jenis kompon yang mempunyai kumparan medan magnet seri dan parallel. Kumparan medan magnet tersebut juga dipakai sebagai pembangkit medan magnet utama bagi generator AC. Hal ini dapat terjadi karena generator AC jenis rotary armature, sehingga medan magnetnya diam sebagai stator dan armature sebagai rotornya. Jika arus DC masuk ke konduktor di dalam armature melalui brush dan komutator. Motor berputar dan armature dari generator AC berpotongan dengan medan magnet, maka akan terjadi induksi listrik. Sedangkan konduktor di dalam armature dihubungkan secara start wound dan menghasilkan output tegangan tiga fasa, melalui cincin (slip ring) dan brush output tersebut dikeluarkan ke beban (load). Untuk mengatur besarnya tegangan dan frekuensi, dipakai carbon pile regulator (regulator tumpukan karbon) yang terletak diluar inverter, dan biasanya di atasnya di dalam kotak (box).



Gambar 7-6.: Inverter dan sistem pengaturannya



Keterangan :

$R1 = 10K$

$R2 = 47 / 2 \text{ watt}$

$R3 = 270$

$R4 = 820$

$C1 = 100 \text{ nF}$

$C2 = 470 \mu\text{F} / 16$

V

D = 1N 5402 /

BY 255

TR = D313 /

C1061

T = T-20

Gambar 7-7: inverter sederhana

c. **Rangkuman**

Inverter adalah sebuah rangkaian elektronika yang digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Prinsip kerja dari sebuah inverter adalah dengan menggabungkan sebuah rangkaian multivibrator yang dihubungkan dengan sebuah transformator penaik tegangan (Step Up). Inverter dapat digunakan untuk mensuplai beban dengan tegangan AC dengan daya yang disesuaikan dengan daya tegangan DC yang tersedia. Contoh penggunaan inverter dapat digunakan untuk rangkaian UPS (Uninterrupted Power Supply) untuk suplai tegangan listrik bila terjadi pemutusan listrik dari PLN dengan tiba-tiba.

d. Tugas

- 1) Apa yang dimaksud dengan inverter?
- 2) Sebutkan penggunaan inverter dalam elektronika!
- 3) Jelaskan prinsip pensakelaran dari inverter gelombang setengah penuh!
- 4) Sebutkan penggunaan inverter pada system pesawat terbang!
- 5) Sebutkan jenis-jenis inverter!

e. Lembaran kerja siswa

Judul percobaan : Merakit inverter sederhana

BAB III

EVALUASI

A. Attitude skill

No.	Nama	Aspek Penilaian					Total nilai
		Penggalian informasi dari media	Kesesuaian materi	Menghargai pendapat orang lain	Bekerja sama dg orang lain	mengendalikan diri	
1							
2							

Kriteria penskoran :

Angka 3 : baik – aktif/logis rasional

Angka 2 : cukup

Angka 1 : kurang

Skor : $\frac{\text{Skor yang diperoleh}}{\text{skor maksimal}} \times \text{nilai maksimal} = 100$

$$\text{Contoh : } \frac{3 + 2 + 3 + 3 + 2}{15} \times 100 = \frac{13}{15} \times 100 = 87$$

B. Kognitif skill

Berilah Tanda Silang Yang Dianggap Benar pada Pertanyaan-Pertanyaan Berikut :

1. Adanya interaksi antara medan magnet yang dihasilkan oleh kutub pada stator dan medan magnet yang dihasilkan oleh arus yang mengalir pada penghantar jangkar motor DC akan menghasilkan:
 - a. rotasi mekanik (gaya)
 - b. GGL lawan
 - c.
 - d. Medan magnet
 - e. arus rendah

2. Untuk mendapatkan torsi yang kuat sewaktu star maka digunakan motor jenis:
 - a. motor AC seri
 - b. motor DC seri
 - c. motor DC shunt
 - d. motor universal
 - e. motor DC kompond

3. Untuk menambah RPM motor DC maka:
 - a. menambah arus yang masuk ke medan magnet
 - b. mengurangi arus yang masuk ke medan magnet
 - c. mengurangi jumlah kutub motor
 - d. memperkecil tegangan
 - e. menambah jumlah kutub motor

4. Suatu motor listrik mempunyai dua set lilitan medan yang dipasang dengan arah yang berlawanan, hal ini memungkinkan :
 - a. kecepatan motor dapat diatur
 - b. daya output motor dapat diatur
 - c. motor dapat diubah arah putarannya
 - d. tegangan motor dapat diatur
 - e. semua pernyataan diatas salah

5. Cara mengurangi akibat dari eddy current adalah dengan:
 - a. membuat armature dari susunan plat-plat sebanyak mungkin
 - b. membuat armature dari susunan plat-plat yang disekat isolasi
 - c. membuat armature dari plat yang resistansinya tinggi
 - d. membuat armature dari besi plat
 - e. membuat armature dari plat-plat yang tidak diisolasi

6. Motor listrik DC jenis apakah yang banyak digunakan sebagai starting APU?
 - a. jenis kompond
 - b. jenis seri
 - c. jenis paralel (shunt)
 - d. jenis universal
 - e. jenis kompond diferensial

7. Untuk mengatur kecepatan pada motor DC maka yang diatur biasanya adalah:
 - a. banyaknya kutub
 - b. arus yang masuk ke lilitan medan
 - c. banyaknya lilitan jangkar
 - d. banyaknya arus yang masuk ke jangkar
 - e. tahanan jangkar

8. Arus starting dari motor DC seri, yang melalui lilitan medan magnet dan lilitan jangkar menghasilkan:
 - a. torsi yang besar
 - b. torsi yang rendah
 - c. gaya pada kecepatan konstan
 - d. kecepatan yang tinggi pada keadaan tanpa beban
 - e. kecepatan yang tinggi pada keadaan berbeban

9. Cara yang paling banyak dipakai untuk merubah putaran motor DC adalah:
 - a. merubah arah arus listrik yang masuk ke lilitan medan dan arah arus listrik yang masuk ke jangkar tetap
 - b. merubah arah arus listrik yang masuk ke jangkar dan arah arus listrik yang masuk ke lilitan medan tetap
 - c. merubah arah arus listrik masuk ke lilitan medan dan jangkar

- d.
16. Pada generator DC jenis apakah yang mempunyai penampang lilitan medan kecil:
- a. seri c. differensial kompond e. Penguat terpisah
 - b. shunt d. komulatif kompond
17. Di bawah ini yang bukan merupakan fungsi kutub bantu pada jangkar DC ialah:
- a. menghilangkan reaksi jangkar
 - b. membuat medan magnet menjadi normal
 - c. mengurangi kekuatan medan magnet
 - d. tegangan output generator tetap konstan
 - e. semua pernyataan diatas salah
18. Suatu generator arus searah berpenguatan bebas melayani beban 400 Ampere pada tegangan terminal 230 Volt, tahanan jangkar 0,05 Ohm dan rugi tegangan sikat 2 Volt, maka tegangan yang dibangkitkan jangkar:
- a. 252 Volt b. 255 Volt c. 260 volt d. 265 Volt e. 275 Volt
19. Manakah yang merupakan bagian-bagian transformator secara umum,
- a. inti besi, brushing, dan system pendingin
 - b. core, belitan, shell, dan system pendingin
 - c. inti besi, belitan, brushing
 - d. inti besi, belitan, brushing, dan system pendingin
 - e. inti besi, belitan, kerent, dan system regulasi
20. Transformator satu phase mempunyai 200 volt tegangan input dengan 1000 lilit pada sisi tegangan tinggi, berapakah jumlah lilitan sekunder jika teganganya 20 volt :
- a. 10000 lilit b. 500 lilit c. 100 lilit d. 50 lilit e. 5000 lilit
21. Dibawah ini manakah yang merupakan maksud dari pengujian trafo
- a. untuk mengetahui ukuran transformator tersebut
 - b. untuk mengetahui besar belitan transformator tersebut
 - c. untuk mengetahui persamaan transformator tersebut

- d. untuk mengetahui karakteristik transformator tersebut
- e. untuk mengetahui usia transformator tersebut

22. Apakah yang dimaksud dengan efisiensi

- a. Perbandingan antara daya keluar dan daya masuk dalam persen
- b. Perbandingan antara daya masuk dengan daya sumber dalam persen
- c. Perbandingan antara daya keluar dengan daya beban dalam persen
- d. Perbandingan anatar daya beban dengan daya sekunder dalam persen
- e. Perbandingan anatar daya masuk dengan daya keluar dalam persen

23. Kecepatan medan stator pada motor induksi 3 fasa dapat dihitung dengan rumus:

a. $NS = \frac{120 - p}{f}$

b. $NS = \frac{60.p}{f}$

c. $NS = \frac{120.f}{p}$

d. $NS = 120.p$

e. E. $NS = 120.f$

24. Prosentase slip (S) motor 3 fasa dapat dihitung dengan rumus :

a. %slip; $S = \frac{NS-NR}{NS} \times 100\%$

b. %slip; $S = \frac{NS+NS}{NS} \times 100\%$

c. %slip; $S = \frac{NS+NS}{NR} \times 100\%$

d. %slip; $S = NS - \frac{NR \times 100\%}{NR}$

e. %slip; $S = NR - \frac{NS \times 100\%}{NR}$

NS

25. Bagian yang diam tempat kumparan dililit pada motor rotor sangkar disebut :
- Rotor
 - Stator
 - Komutator
 - Lamel
 - Sikat
26. Apakah tujuan pengasutan bintang segitiga pada instalasi motor 3 fasa rotor sangkar
- Untuk memperkecil arus kerja motor
 - Untuk memperkecil arus start motor
 - Untuk memperkecil putaran motor
 - Untuk memperbesar putaran motor
 - Untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh putaran motor
27. Dibawah ini bukan merupakan motor satu fasa jenis komutator kecuali
- Motor stepper dan motor DC
 - Motor deret dan motor sinkron
 - Motor universal dan motor repuls
 - Motor repulsi dan motor kapasitor
 - Motor sinkron dan motor asinkron
28. Untuk membatasi arus starting yang besar pada motor induksi 3 fasa rotor belitan dapat dilakukan dengan cara :
- Memasang tahanan luar pada belitan motor
 - Menggunakan sakelar bintang segitiga
 - Memasang tahanan luar pada belitan stator
 - Menghubungkan lilitan rotor secara segitiga
 - Menghubungkan lilitan stator secara bintang
29. Jumlah putaran motor induksi 3 fasa rotor sangkar tergantung dari :
- Besar tegangan jala-jala yang dihubungkan ke motor tersebut
 - Besar arus yang dipakai motor tersebut
 - Besar beban pada poros motor
 - Jumlah lilitan stator
 - Jumlah kutub pada stator
30. Cara membatasi arus starting pada motor induksi 3 fasa dengan rotor sangkar adalah :
- Menggunakan sakelar bintang segitiga
 - Menggunakan auto transformator
 - Menggunakan sakelar bintang segitiga dan auto transformator
 - Menggunakan tahanan luar
 - Menggunakan fuse

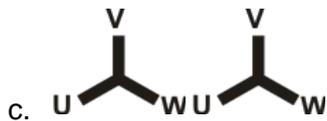
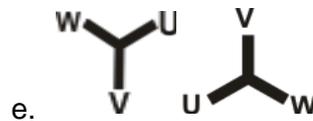
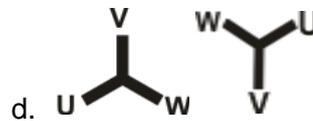
tembaganya.?

- a. Pengujian beban nol
- b. Pengujian tanpa beban
- c. pengujian trafo
- d. pengujian hubung singkat
- e. pengujian tembaga

38. Auto transformator adalah.....

- a. transformator yang belitan primer dan sekundernya terpisah
- b. transformator yang belitan primer dan sekundernya bergabung menjadi satu belitan
- c. transformator yang belitan primer dan sekundernya menjadi dua belitan
- d. transformator yang mamiliki belitan primer dan sekunder pada satu inti
- e. transformator yang mamiliki belitan primer dan sekunder pada dua inti

39. Gambar untuk hubungan trafo Y-Y adalah.....



40. Jika diketahui hasil pengukuran fasa-netral (V_f) pada bagian sekunder trafo tiga fasa hubungan Y-Y adalah 380V, berapakah besar tegangan fasa-fasa nya (V_L)?

- a. 220V
- b. 200V
- c. 458V
- d. 658V
- e. 558 volt

C. Psikomotorik Skill

LEMBAR KERJA PRAKTEK

Mata pelajaran	: Electric Machine
Kompetensi dasar	: Transformator satu fasa
Kelas/ semester	: XI / 3
Waktu	:

I. Tujuan

1. Siswa dapat merangkai percobaan transformator beban nol dan berbeban
2. Siswa dapat membaca hasil pengukuran transformator beban nol dan berbeban
3. Siswa dapat menganalisis hasil pengukuran transformator beban nol dan berbeban

- Siswa dapat membuat kesimpulan dari hasil percobaan transformator beban nol dan berbeban

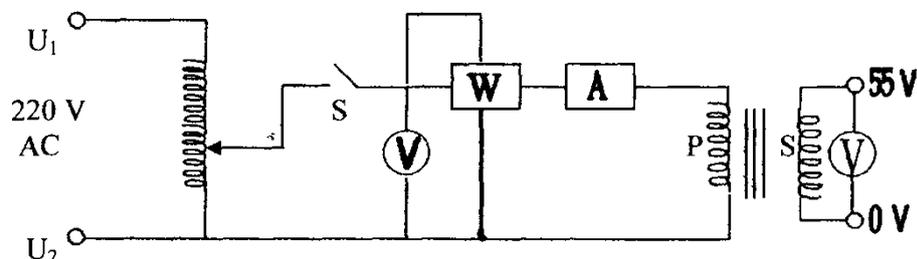
II. ALAT DAN BAHAN

10. Power Supply satu fasa yang dapat diatur	1 buah
11. Transformator yang dapat diatur	1 buah
12. Wattmeter 5A/300V AC	2 buah
13. Voltmeter AC 0-300 V	2 buah
14. Amperemeter AC 0-10 A	2 buah
15. Beban resistif 0,1-4 KW	1 buah
16. Switch (saklar) dua kutub	2 buah
17. Multimeter	1 buah
18. Kawat penghubung	secukupnya

IV. LANGKAH KERJA

4.1 Transformator Tanpa Beban (beban nol)

- Siapkan alat dan bahan yang diperlukan.
- Rakitlah rangkaian sesuai dengan gambar percobaan 1.



Gambar. 1 Percobaan trafo tanpa beban

- Sebelum menghubungkan ke sumber tegangan, periksakan rangkaian percobaan kepada instruktur dan setelah di cek kebenarannya baru hubungkan rangkaian ke sumber tegangan.
- Atur tegangan pada lilitan primer sebesar 25 volt, dan catat hasil pengukuran pada tabel percobaan 1.
- Ulangi langkah percobaan 4, untuk harga tegangan yang dinaikkan secara bertahap untuk setiap percobaan tegangan pada lilitan primer sebesar 25 volt dan catat nilai-nilai yang terukur pada semua alat ukur dan isikan pada tabel 1.

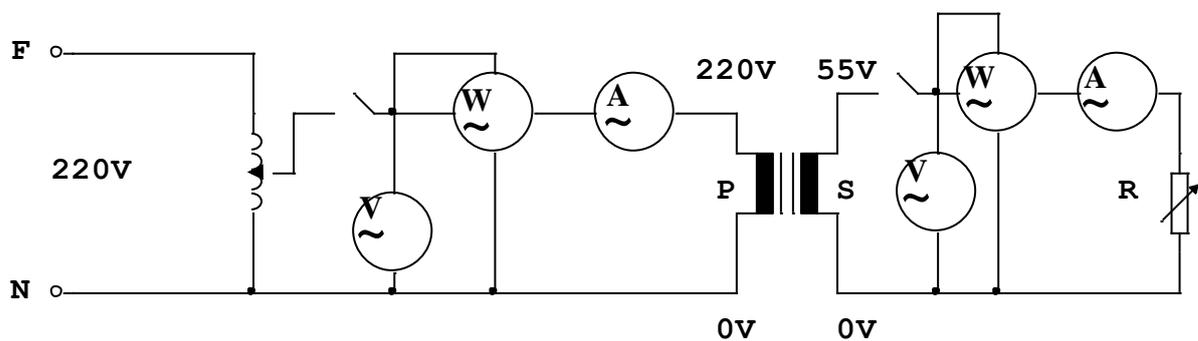
Tabel 1. Hasil Pengukuran Transformator Tanpa Beban

Tegangan (V_P)	Arus (I_o)	Daya (P_o)	V_s
Volt	A	Watt	Volt
25			
50			
75			
100			
125			
150			
175			
200			
220			

6. Off-kan power supply dan pindah ke percobaan berikutnya.

3.2 Transpormator Berbeban

1. Rakitlah rangkaian percobaan 2 ini seperti gainbar di bawah ini:



2. Atur tegangan variac sampai 220 V AC, kemudian hukungkan saklar keadaan ON

dan atur beban R secara bertahap, nilai-nilai pengukuran pada semua alat ukur catat pada tabel 3.

3. Arus sekunder dapat diatur melalui beban R., sampai harga maksimal 3 A.
4. Untuk setiap kenaikan harga beban, dan arus sekunder juga berubah, semua nilai-nilai pengukuran dicatat.
5. Setelah selesai Off-kan power supply dan buka rangkaian
6. .Semua peralatan dan bahan kembalikan ke tempat semula.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Transformator Berbeban

P = Primer dan S = Sekunder

$V_i(P)$	$I_1(P)$	$P_1(P)$	$V_2(S)$	$I_2(S)$	$P_2(S)$	$I_2/I_1 = a$
Volt	A	Watt	Volt	A	Watt	a = Transpormasi
220				0,5		
220						

V. Tugas

5. Analisa hasil percobaan trafo tanpa beban

Hitung: $I_m = I_o \cdot \sin$ $V_o =$ tegangan primer

$I_w = I_o \cdot \cos$ $I_o =$ arus primer

Hitung: $\rightarrow R_o$ $R_o =$ $\rightarrow X_o$ $X_o =$

Hitung: $Z_o \rightarrow Z_o =$

6. Gambarkan grafik arus dari percobaan trafo tanpa beban!

7. Jelaskan maksud (fungsi) dari percobaan trafo tanpa beban dan hubung singkat!

Hitung efisiensi trafo berbeban ($= \times 100 \%$)

8. Buat kesimpulan dari percobaan trafo tanpa beban, trafo hubung singkat dan trafo berbeban!

LEMBAR PENILAIAN

Nama siswa
Tingkat / Kelas
Semester
Standar Kompetensi
Kompetensi Dasar

No	Komponen/Subkomponen Penilaian	Bobot	Pencapaian Kompetensi			
			Tidak (0)	Ya		
				7,0-7,9	8,0-8,9	9,0-10
I	Persiapan Kerja	10				
	▪ emakai pakain praktek					
	▪ emeriksa peralatan					
II	Proses kerja	40				
	▪ erapian memasang alat					
	▪ ebenaran pemasangan alat dan rangkaian					
	▪ etepatan pembacaan alat ukur					
III	Sikap Kerja	20				
	▪ eselamatan kerja					
	▪ anggung jawab					
	▪ aktu penyelesaian praktek					
IV	Laporan	30				

	▪ istematika Penyusunan Laporan					
	▪ esimpulan					
	▪ enyajian Data					
	▪ nalisis Data					
	▪ esimpulan					
Nilai Praktik		100				

Bandung,

Guru mata pelajaran

LEMBAR KERJA PRAKTEK

Mata pelajaran	: Electric Machine
Kompetensi dasar	: Transformator tiga fasa
Kelas/ semester	: XI / 3
Waktu	:

IV. TUJUAN

Setelah melakukan percobaan ini siswa diharapkan dapat merangkai sebuah transformator 3 fasa dengan langkah-langkah yang benar:

4. Merangkai transformator 3 fasa dalam sambungan Y-Y, Y- Δ dan Y-Z
5. Menentukan konstanta-konstanta transformator seperti impedansi (Z_o), tahanan pengganti (R_o), reaktansi pengganti (X_o) dalam keadaan belitan sekunder beban nol
6. Menghitung perbandingan transformasi untuk sambungan Y-Y, Y- Δ dan Y-Z

V. ALAT DAN BAHAN YANG DIPERLUKAN

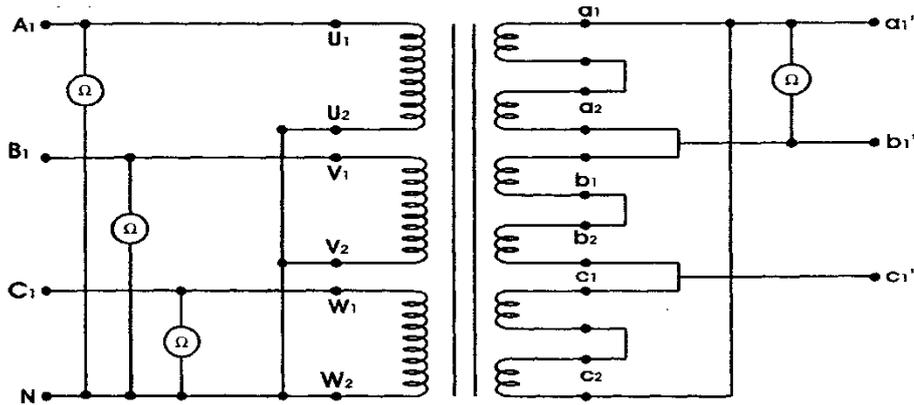
- | | | |
|-----|--------------------------|--|
| 9. | tropical 3 KVA; 50/60 Hz | Transformator 3 fasa type
1 buah |
| 10. | | Multimeter 1 buah |
| 11. | 0 – 450 Volt | Volt meter kumparan putar AC
2 buah |
| 12. | | Amperemeter AC 0 – 10 A
2 buah |
| 13. | | Wattmeter AC/DC 1 buah |
| 14. | | Variac (Slide Regulator) 1 buah |
| 15. | | Sakelar 3 fasa 1 buah |
| 16. | | Kabel penghubung
secukupnya |

VI. LANGKAH KERJA

Percobaan 1;

Mengukur Tahanan Lilitan Primer dan Sekunder Transformator 3 Fasa

3. Rakitlah rangkaian percobaan seperti gambarl dengan benar (Y- Δ)



4. Ukurlah tahanan lilitan primer dan sekunder trafo 3 phasa sesuai dengan tabel pengamatan.

Tabel 1. Pengamatan

Primer hubungan bintang (□)

A1-N	B1-N	C1-N
Ω	Ω	Ω

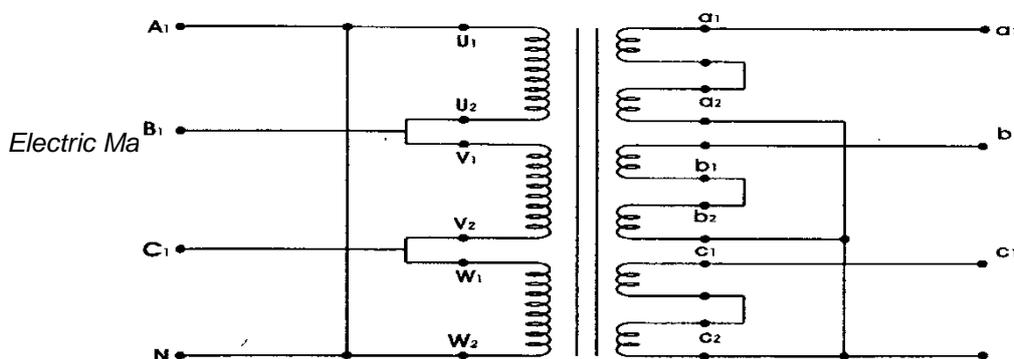
Sekunder hubungan segitiga (□)

A1'-b1'	B1'-c1'	C1'-c1'
Ω	Ω	Ω

3. Setelah selesai lanjutkan ke percobaan 2

Percobaan 2;

Sama seperti langkah percobaan 1, hubungan rangkaian percobaan berubah menjadi hubungan segitiga- bintang (□-□)



4. Ukurlah tahanan lilitan primer dan sekunder trafo 3 phasa sesuai dengan tabel pengamatan

Tabel 2. Pengamatan

Primer hubungan segitiga (□)

A1-B1	B1-C1	A1-C1
Ω	Ω	Ω

Sekunder hubungan bintang (□)

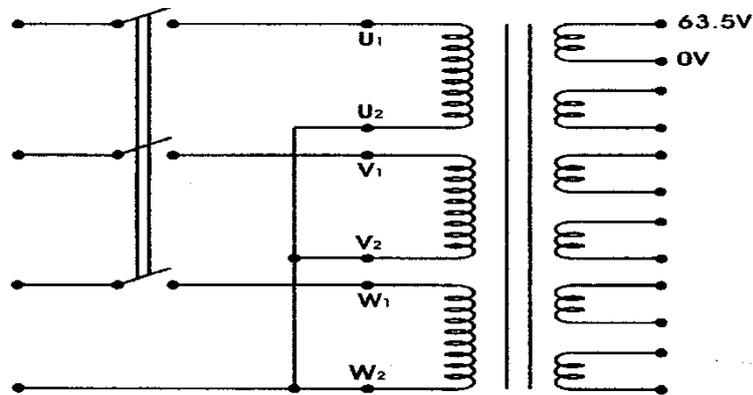
a1-N	b1-N	c1-N

Ω	Ω	Ω

5. Setelah selesai buka rangkaian dan lanjutkan ke percobaan selanjutnya.

Percobaan 3;

2. Rakitlah rangkaian percobaan sesuai dengan gambar percobaan 3 dengan benar



- Setelah disetujui oleh instruktur hubungkan rangkaian saudara ke sumber 3 fasa
- Hubungkan sakelar (s) dan catat data-data sesuai dengan tabel percobaan di bawah ini (atur tegangan sampai 220 volt, V_{R-S}).

Tabel Percobaan 3

U_1-U_2	V_1-V_2	W_1-W_2	U_1-V_1	V_1-W_1	W_1-U_1
Volt	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt

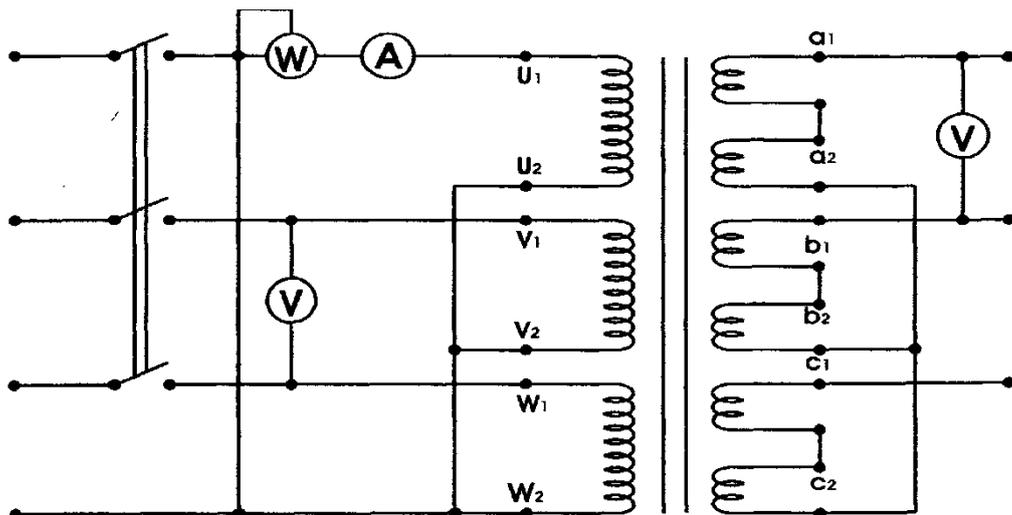
--	--	--	--	--	--

4. Lanjutkan ke percobaan selanjutnya

Percobaan 4;

Percobaan trafo 3 fasa beban nol dengan hubungan lilitan primer dan sekunder Y-Y

- Rakitlah rangkaian percobaan seperti gambar 4. dengan benar
- Atur tegangan dari power supply secara bertahap dari 25 volt dan catat semua hasil pengukuran yang ditunjukkan oleh alat ukur
- Ulangi langkah percobaan 2 untuk tegangan 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 dan 220 volt



Gambar. 4. Rangkaian percobaan trafo 3 fasa Y-Y beban nol

Table 4. Percobaan 4.

V_1	I_0	$P_0 I \phi$	V_2
Volt	Ampere	Watt	Volt
25			
50			
75			
100			
125			
150			
175			

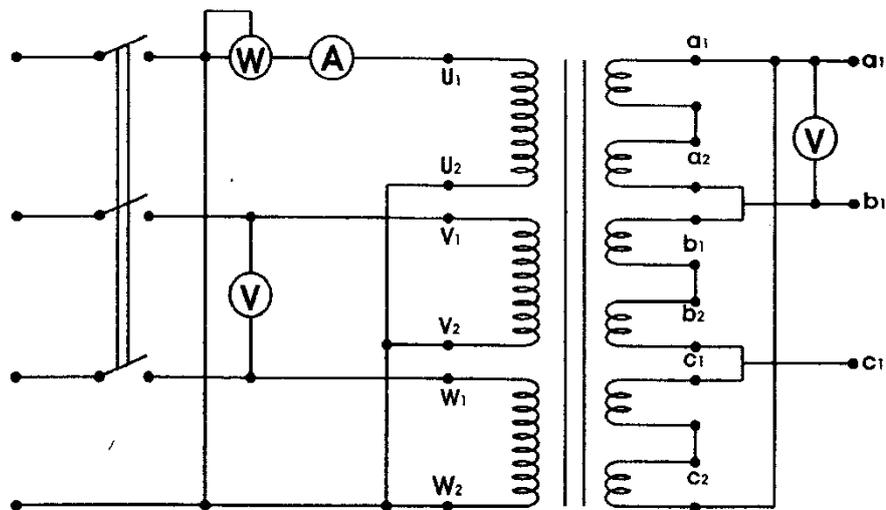
200			
220			

3. Hitung tegangan phasa alitan primer dan sekunder untuk trafo tiga phasa hubungan Y-Y Lanjutkan ke percobaan berikutnya
4. Lanjutkan ke percobaan selanjutnya.

Percobaan 5;

Percobaan trafo 3 phasa hubungan bintang – delta beban nol

5. Rakitlah rangkaian sesuai dengan gambar 5 dengan benar
6. Setelah disetujui Instruktur hubungkan sakelar 3 fasa, dan atur tegangan secara bertahap sesuai data-data tabel 5 dan hasil pengukuran catat juga pada tabel 5



7. Hitung tegangan fasa primer
8. Setelah selesai lanjutkan percobaan berikutnya

Gambar. 5 Percobaan trafo 3 fasa beban nol hubungan lilitan Y- Δ

Tabel 5.

Pengukuran				Perhitungan						
V ₁ (V)	P ₀ (W)	I ₀ (A)	V ₂ (V)	Cos φ	Φ ⁰	I _m (A)	I _w (A)	R ₀ (Ω)	X ₀ (Ω)	Z ₀ (Ω)
25										
50										
75										
100										
125										
150										
175										
200										
220										

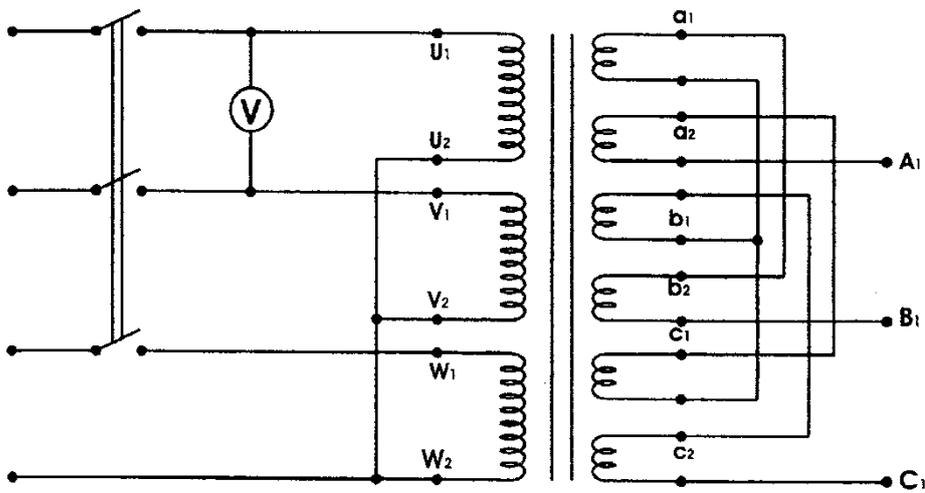
Percobaan 6;

Percobaan trafo 3 fasa hubungan Y-Z beban nol

4. Rakitlah rangkaian sesuai dengan gambar 6 dengan benar
5. Setelah disetujui instruktur hubungkan saklar 3 fasa dan catat data-data sesuai dengan tabel percobaan dibawah ini
6. Analisa basil Percobaan. tabel 6 dengan:

$$= 1,5 e$$

e = tegangan ½ fasa dari lilitan a₁ – b₁



Gambar. 6 trafo 3 fasa hubungan Y-Z

Tabel percobaan 6

Kode Primer	Tegangan (Volt)	Kode Sekunder	Tegangan (Volt)
R - N		$e_{Z1} \rightarrow a_1 - b_1$	
S - N		$e_{Z2} \rightarrow a_2 - a_3$ \rightarrow	
T - N		$e_{Z3} \quad a_3 - b_3$	
R - S		$A_1 - B_1$	

S – T		B ₁ – C ₁	
T – R		A ₁ – C ₁	

LEMBAR PENILAIAN

Nama siswa	:.....
Tingkat / Kelas	:.....
Semester	:.....
Standar Kompetensi	:.....
Kompetensi Dasar	:.....

No	Komponen/Subkomponen Penilaian	Bobot	Pencapaian Kompetensi			
			Tidak (0)	Ya		
				7,0-7,9	8,0-8,9	9,0-10
I	Persiapan Kerja	10				
	▪ emakai pakain praktek					
	▪ emeriksa peralatan					

II	Proses kerja	40				
	▪ erapian memasang alat					
	▪ ebenaran pemasangan alat dan rangkaian					
	▪ etepatan pembacaan alat ukur					
III	Sikap Kerja	20				
	▪ eselamatan kerja					
	▪ anggung jawab					
	▪ aktu penyelesaian praktek					
IV	Laporan	30				
	▪ istematika Penyusunan Laporan					
	▪ esimpulan					
	▪ enyajian Data					
	▪ nalisis Data					
	▪ esimpulan					

Nilai Praktik	100	
----------------------	-----	--

Bandung,

Guru mata pelajaran

DAFTAR PUSTAKA

1. Berahim Hamzah (1991). Teknik Tenaga Listrik. Andi Offset Yoyakarta
2. Wurdono dan Kismet Fadillah (1999). Instalasi Motor-Motor Listrik Jilid 1. Angkasa Bandung
3. Lister C. Eugene, 1993. Mesin dan Rangkaian Listrik. Penerbit Erlangga, Jakarta.
4. Sumanto Drs, M.A,1993. Motor Listrik Arus Bolak-Balik. Penerbit Andi Offset, Yogyakarta
5. Aswardi, Drs. 1987. Diktat Mesin Listrik Jilid I dan II. Padang; Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan (FPTK).
6. Suksmahadji dan Nur Adi (1983), Listrik dan instalasi listrik pesawat terbang jilid 1 dan 2. Depdikbud.
7. General Mechanics Handbook (197). Department Of Transportation FAA
8. Siswoyo.(2008). Teknik listrik Industri Jilid I.Jakarta. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Depdiknas.
9. Theraja B.L. Text- Book of Electrical Technology (1984). Nirja Construction & Development Co. (P) LTD. New Delhi.