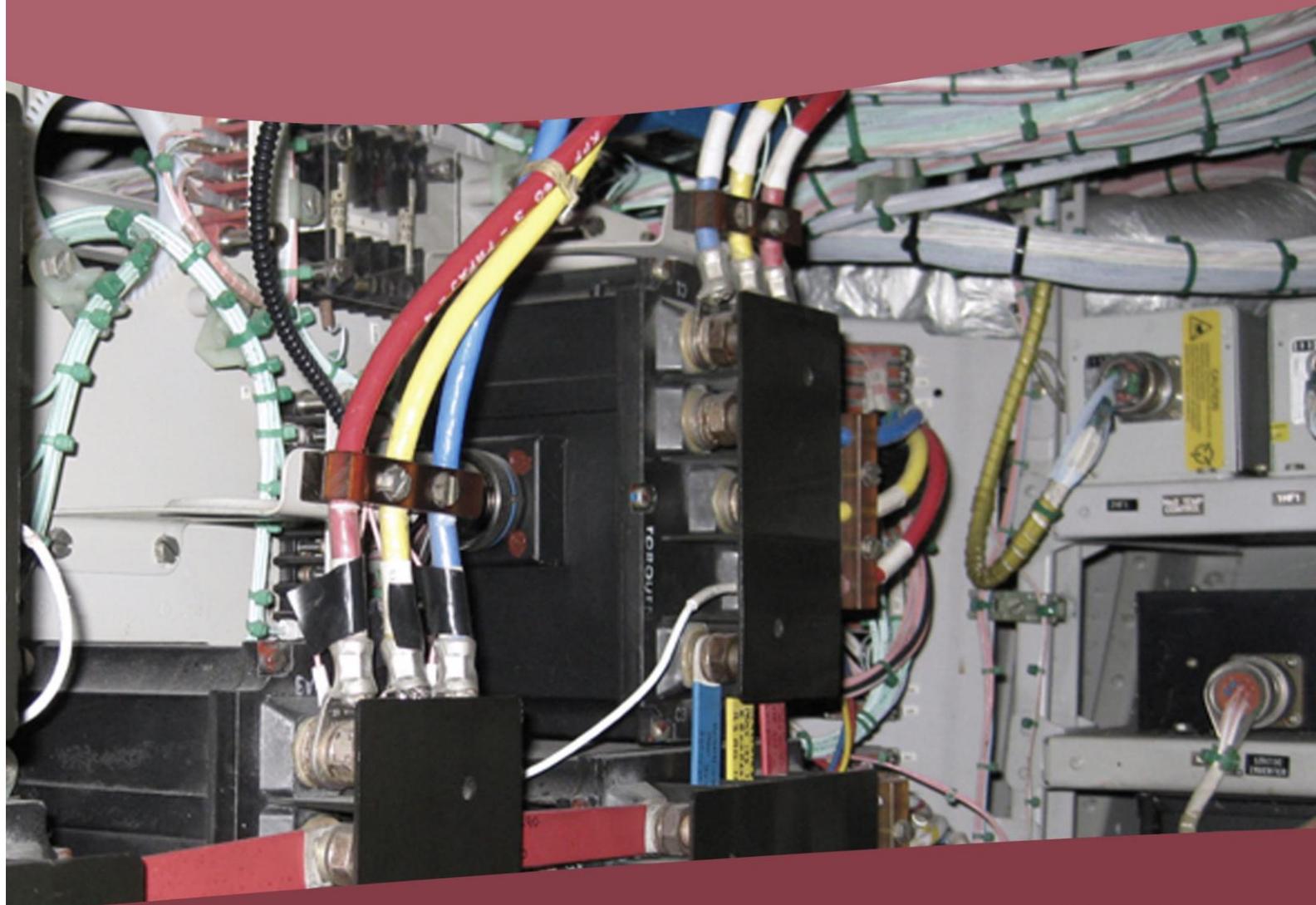




KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
REPUBLIK INDONESIA
2013



AIRCRAFT ELECTRICALS



XI
SEMESTER 4

Aircraft KATA

PENULIS



**Aircraft Electrical Paket Keahlian
Pemeliharaan dan Perbaikan Instrumen
Elektronika Pesawat Udara
Kelas 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

Sampul Muka

Halaman Francis

Kata Pengantar

Daftar Isi

Peta Kedudukan Bahan Ajar

Glosarium

Bab 1 Pendahuluan

- A. Deskripsi
- B. Prasyarat
- C. Petunjuk Penggunaan
- D. Tujuan Akhir
- E. Kompetensi Inti Dan Kompetensi Dasar

F. Cek Kemampuan Awal

Bab 5 Prinsip Timbulnya GGL dan Torsi

Bab 3 Dasar Mesin Arus Bolak Balik (AC)

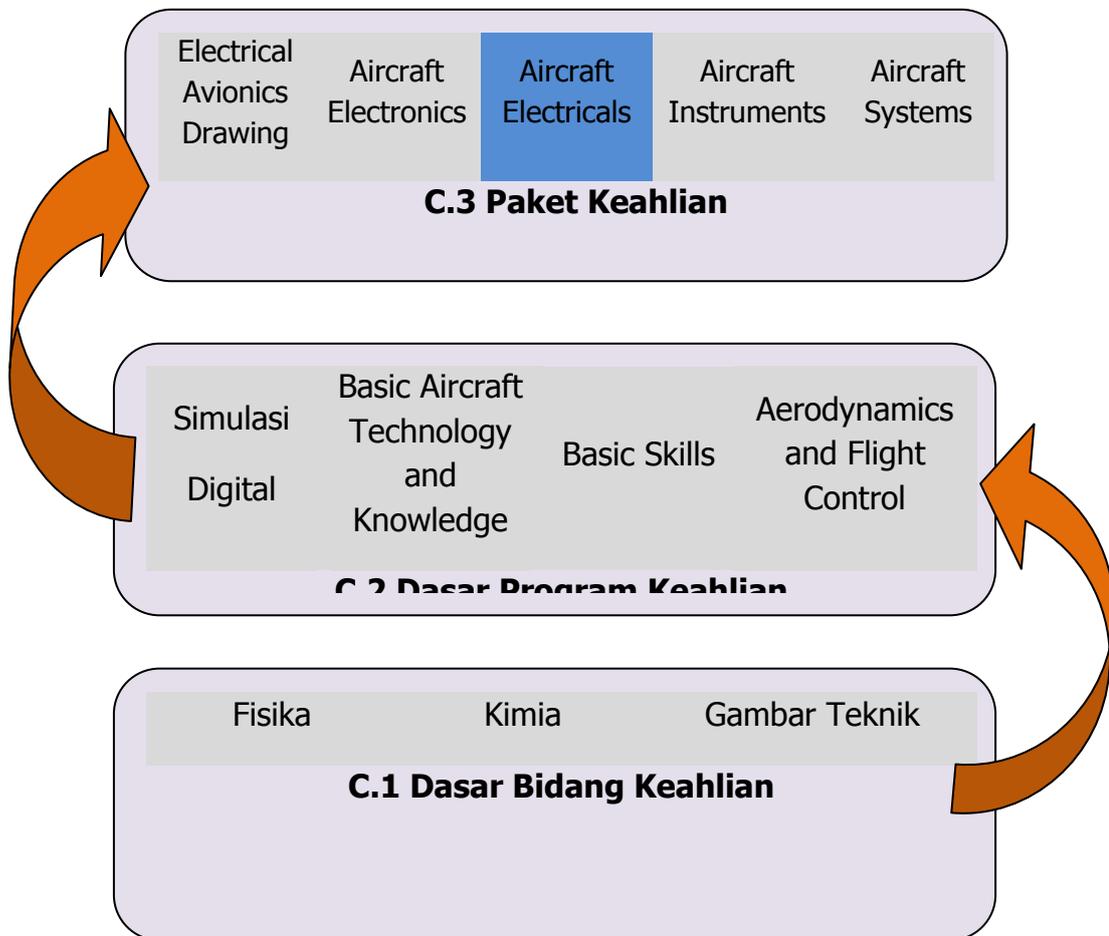
Daftar Pustaka

Peta Kedudukan Bahan Ajar

Peta kedudukan bahan ajar ini merupakan diagram, yang menunjukkan tahapan atau tata urutan pencapaian kompetensi yang diajarkan dan dilatihkan kepada siswa, dalam kurun waktu yang dibutuhkan.

Dengan membaca peta kedudukan bahan ajar ini, dapat dilihat urutan logis pembelajaran Bidang Keahlian Teknologi Dan Rekayasa Program Keahlian Teknik Instrumentasi Industri. Guru dan siswa dapat

menggunakan Buku Teks Bahan Ajar Siswa ini, sesuai dengan urutan pada diagram ini.



Glosarium

Armatur / jangkar, belitan konduktor pada inti mesin.

Arus pusar, arus yang mengalir pada laminasi inti

Ggl *induksi*, ggl yang timbul akibat adanya induksi magnetik

Fluks: garis gaya

Jatuh tegangan, rugi-rugi tegangan akibat adanya tahanan.

Konversi: perubahan

Medan putar: medan yang bergerak sesuai fasa listrik

Reaktansi: tahanan semu yang disebabkan adanya kapasitor maupun lilitan

Reaksi jangkar: reaksi yang terjadi pada jangkar karena pelemahan maupun penguatan fluks.

Resultan: hasil penjumlahan (gaya)

Sinusoida, gelombang sinus/bolak-balik.

Torsi, gaya yang timbul jika suatu penghantar berarus berada pada medan magnet

PENDAHULUAN

Bab 1

Buku Teks Bahan Ajar Siswa tentang Aircraft Electrical digunakan sebagai buku sumber pada kegiatan belajar untuk pencapaian kompetensi siswa pada Mata Pelajaran Aircraft Electrical 2, Sebagai Dasar Program Keahlian pada Kelompok Kejuruan Program Keahlian Pemeliharaan dan Perbaikan Instrumen Elektronika Pesawat Udara (Electrical Avionics) Bidang Keahlian Teknologi dan Rekayasa.

Buku Teks Bahan Ajar Siswa Teknik Dasar Instrumentasi terdiri atas 4 jilid buku. Buku Aircraft Electrical 2 digunakan untuk pembelajaran Kelas XI semester 2. Pada buku jilid 1 ini dibahas materi belajar yang meliputi;

Prinsip Dasar timbulnya GGL dan Torsi

Generator Arus searah

Motor Arus Searah

Transformator

Generator Arus Bolak Balik

Generator Arus Searah

Buku Teks Bahan Ajar Siswa ; Aircraft Electrical 2 disusun berdasarkan penguasaan konsep dan prinsip serta keterampilan teknis keahlian sehingga setelah mempelajari buku ini, siswa memiliki penguasaan pelaksanaan pekerjaan Dasar Aircraft Electrical .

A. Prasyarat

Kemampuan awal peserta didik sebelum mempelajari Buku Teks Bahan Ajar "Aircraft Electrical 2" yaitu:

- Peserta diklat telah memahami konsep-konsep fisika listrik .
- Peserta diklat telah memahami konsep-konsep kemagnetan .
- Peserta diklat telah memahami konsep-konsep rangkaian listrik

B. Petunjuk Penggunaan

1. Petunjuk penggunaan bagi Siswa :

- a. Siswa harus memahami mata pelajaran atau materi yang menjadi prasarat pemelajaran buku ini,
- b. Lakukan kegiatan pemelajaran secara berurutan dari Kegiatan Bab 1 kegiatan pembelajaran berikutnya.
- c. Pelajari dan pahami setiap uraian materi dengan seksama.
- d. Lakukan kegiatan yang diberikan pada uraian materi pembelajaran. Kegiatan tersebut dirancang dalam bentuk; Eksplorasi, Diskusikan dan Simpulkan serta kegiatan Asosiasi.
- e. Kegiatan praktik kejuruan dilaksanakan dalam bentuk latihan keterampilan, kerjakan latihan tersebut dibawah pengawasan guru.
- f. Persiapkan alat dan bahan yang digunakan pada setiap pembelajaran untuk menyelesaikan tugas dan evaluasi hasil belajar
- g. Lakukan setiap kegiatan dengan tekun, teliti dan hati-hati.
- h. Jawablah soal evaluasi pada bagian Review secara individual
- i. Jawablah soal evaluasi pada bagian penerapan dan diskusikan dikelas hasil jawaban tersebut.
- j. Lakukan tugas proyek yang diberikan pada soal evaluasi bagian tugas proyek secara individu atau kelompok, lalu presentasikan dikelas hasil pelaksanaan tugas proyek tersebut.
- k. Uji kompetensi kejuruan adalah tugas proyek individual untuk mengevaluasi capaian keterampilan siswa, kerjakan uji kompetensi sesuai petunjuk.
- l. Siswa dinyatakan tuntas menyelesaikan materi pada bab terkait, jika Siswa menyelesaikan kegiatan yang ditugaskan dan menyelesaikan

kegiatan evaluasi dengan nilai minimal sama dengan Kriteria Kelulusan Minimal (KKM).

2. Peran Guru:

- a. Merencanakan kegiatan pembelajaran siswa selama satu semester sesuai silabus.
- b. Membantu Siswa dalam merencanakan proses belajar
- c. Membantu Siswa dalam memahami konsep dan praktik.
- d. Memberikan motivasi, membimbing dan mengarahkan siswa dalam melakukan kegiatan yang diberikan pada uraian materi pembelajaran. Kegiatan tersebut dirancang dalam bentuk; Eksplorasi, Diskusikan dan Simpulkan dan Asosiasi.
- e. Menekankan, selalu mengecek dan memfasilitasi penggunaan K3 sesuai kegiatan yang dilaksanakan.
- f. Memberikan contoh, memandu dan melakukan pengawasan pelaksanaan tugas siswa yang berkaitan dengan pembelajaran praktik di lab atau bengkel kerja.
- g. Membantu Siswa untuk menentukan dan mengakses sumber belajar lain yang diperlukan untuk kegiatan pembelajaran.
- h. Merencanakan seorang ahli/pendamping guru dari tempat kerja/industri untuk membantu jika diperlukan
- i. Merencanakan proses penilaian dan menyiapkan perangkatnya
- j. Memeriksa seluruh hasil pekerjaan siswa baik berupa hasil pelaksanaan kegiatan maupun jawaban dari evaluasi belajar.
- k. Mencatat dan melaporkan pencapaian kemajuan Siswa kepada yang berwenang.

C. Tujuan Akhir

Hasil akhir dari seluruh kegiatan belajar dalam buku teks bahan ajar siswa ini; adalah peserta didik mampu :

- 1) mengetahui prinsip dasar timbulnya ggl pada mesin arus searah.
- 2) mengetahui jenis-jenis generator arus searah.
- 3) mengetahui daya keluaran generator arus searah.
- 4) mengetahui dan mengoperasikan generator arus searah.
- 5) mengetahui daya keluaran motor arus searah.
- 6) mampu mengetahui dan mengoperasikan motor arus searah.
- 7) mampu mengetahui jenis-jenis motor arus searah.
- 8) Peserta diklat mampu mengetahui besarnya factor daya motor.
- 9) Peserta diklat mampu merangkai transformator 3 phasa yang diperoleh dari 3 buah transformator 1 phasa .
- 10) Peserta diklat mampu mengukur tegangan sekunder trafo 3 fasa.
- 11) Peserta diklat mampu mengetahui slip motor, kecepatan, dan daya motor.

- 12) Peserta diklat mampu mengetahui dan dapat menggambarkan kurva "V" .
- 13) Peserta diklat mampu mengetahui dan dapat menggambarkan karakteristik $I = f(P_{out})$.
- 14) Peserta diklat mampu mengetahui dan mencari besarnya η motor dan η generator (untuk beban R saja) .
- 15) Peserta diklat mampu mengetahui dan mencari besarnya η motor induksi satu fasa jenis kapasitor.

E. Kompetensi Inti Dan Kompetensi Dasar

BIDANG KEAHLIAN : TEKNOLOGI DAN REKAYASA

PAKET KEAHLIAN : ELECTRICAL AVIONICS

MATA PELAJARAN : AIRCRAFT ELECTRICALS

KOMPETENSI INTI (KELAS XI)

KOMPETENSI DASAR

KI-1

Menghayatidan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya

- 1.1 Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan sebagai penerapan *aircraft electrical* pada perawatan pesawat udara
- 1.2 Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam penerapan *aircraft electrical* pada perawatan pesawat udara

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.

- 2.1 Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam menerapkan *aircraft electrical* pada perawatan pesawat udara
- 2.2 Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikirdan cara merawat *aircraft electrical*
- 2.3 Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melakukan tugas merawat *aircraft electrical*

KI-3

- 3.1. Menerapkan dasar-dasar listrik

KOMPETENSI INTI (KELAS XI)

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, menyaji, dan menalar 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 INTI (KELAS XII)

KOMPETENSI DASAR

- 3.2. Menerapkan pembangkit listrik
- 3.3. Menerapkan teori arus bolak balik
- 3.4. Menerapkan transformator
- 4.1. Mengaplikasikan hukum Ohm dan Kirchof pada rangkaian listrik
- 4.2. Mengaplikasikan listrik AC dan DC pada rangkaian listrik
- 4.3. Melakukan pengukuran parameter arus bolak - balik
- 4.4. Membuat lilitan pada transformator

KOMPETENSI DASAR

KOMPETENSI INTI (KELAS XI)

KOMPETENSI DASAR

KI-1

Menghayatidan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya

- 1.1. Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya untuk dipergunakan sebagai penerapan aircraft electrical pada perawatan pesawat udara
- 1.2. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam penerapan aircraft electrical pada perawatan pesawat udara

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.

- 2.1. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam menerapkan aircraft electrical pada perawatan pesawat udara
- 2.2. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikir dan cara merawat aircraft electrical
- 2.3. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melakukan tugas merawat aircraft electrical

KI-3

Memahami, menerapkan, dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan

- 3.1. Menerapkan mesin listrik
- 3.2. Menerapkan alat ukur listrik

KOMPETENSI INTI (KELAS XI)

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 bidangkerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.

KI-4

Mengolah, menyaji, dan menalar 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

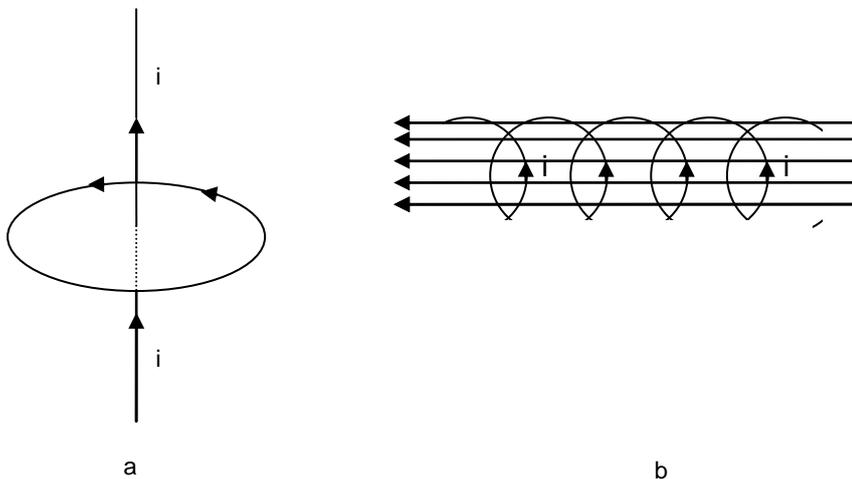
- 3.3. Menerapkan alat kontrol listrik
- 3.4. Menerapkan perawatan battery pesawat udara
- 4.1. Memperbaiki dan merawat mesin – mesin listrik
- 4.2. Melakukan kontiniu tes pada rangkaian listrik dengan menggunakan multimeter
- 4.3. Mengoperasikan penggunaan alat kontrol listrik
- 4.4. Melakukan pengontrolan rangkaian listri dengan bermacam – macam alat control listrik
- 4.5. Merawat battery pesawat udara

DASAR MESIN ARUS SEARAH

A. Prinsip Dasar Timbulnya GGL dan Torsi

1. Kemagnetan dan Timbulnya GGL

Suatu kawat atau penghantar yang dilalui arus listrik maka akan timbul suatu medan magnet di sekelilingnya. Medan magnet juga bisa ditimbulkan oleh suatu magnet permanen.

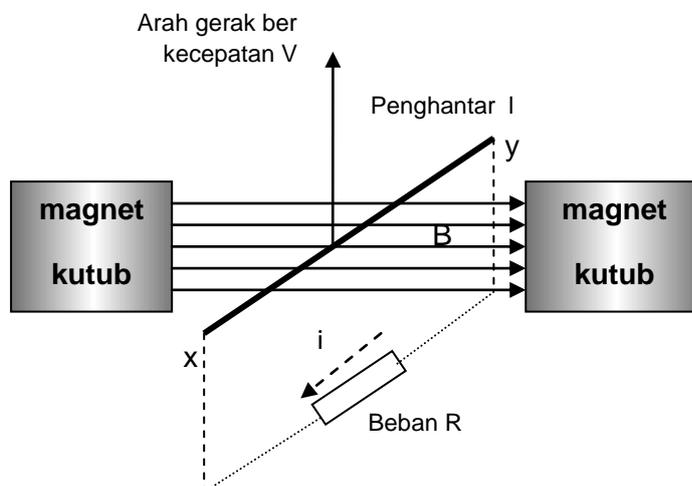


Gambar 1. Garis gaya magnet (a) sebuah penghantar dan (b) sebuah kumparan.

Suatu medan magnet dapat dinyatakan dengan jalannya garis-garis medan atau garis-garis gaya seperti dalam gambar di atas. Kuat medan magnet dinyatakan dengan symbol H serta kerapatan fluks magnet dinyatakan dengan symbol B . Gambar 1.a memperlihatkan sebuah penghantar lurus yang dilalui arus listrik I , dengan sebuah garis gaya di sekelilingnya. Bila penghantar tersebut dililit menjadi sebuah kumparan, akan terbentuk garis-garis gaya dapat dilihat pada Gambar 1.b. Garis gaya magnet akan mengarah dari kutub utara ke kutub selatan.

Apabila sebuah konduktor x-y digerakkan tegak lurus memotong suatu medan magnet dengan kerapatan fluks B , panjang konduktor l , serta kecepatan gerakanya sebesar v , maka gaya gerak listrik yang timbul pada terminal x-y sebesar :

$$e = Bl.v$$



Gambar 2. Skema Prinsip Pembangkitan Ggl

Arah gaya gerak listrik ini dapat ditentukan oleh aturan tangan kanan, dengan jempol menunjukkan arah V , telunjuk menunjukkan arah B dan jari tengah menunjukkan arah e . Jika konduktor tersebut dihubungkan dengan beban R , maka pada konduktor tersebut akan mengalir arus listrik seperti ditunjukkan dengan arah panah. Persamaan $e = Blv$ dapat diartikan bahwa jika dalam medium medan magnet diberikan energi mekanik (untuk menghasilkan kecepatan v), maka akan dibangkitkan energi listrik (e), dan ini merupakan prinsip dasar sebuah generator.

Azas generator berdasarkan pada kerja induksi, yang diketemukan oleh Faraday, yang menyatakan bahwa pada sebuah konduktor (belitan) akan dibangkitkan ggl jika jumlah garis gaya yang dilingkungi oleh konduktor (belitan) tersebut berubah, misalnya karena gerakan.

Timbulnya Kopel

Arus listrik yang dialirkan di dalam suatu medan magnet dengan kerapatan fluks B akan menghasilkan suatu gaya F sebesar :

$$F = B \cdot i \cdot l$$

Jadi jika penghantar x-y yang panjangnya l pada gambar diatas semula dalam keadaan diam dan berada dalam medan magnet berkerapatan fluks B , kemudian pada kedua terminal dihubungkan dengan suatu sumber tegangan V , maka penghantar tersebut akan bergerak dengan gaya sebesar F .

Lembar Kerja

Alat dan Bahan

1. Magnet berkutub Utara dan Selatan yang kuat
medannya cukup besar masing-masing 1 buah.
2. Galvanometer 1 buah.
3. Kabel..... secukupnya.
4. Kawat penghantar kaku panjang..... secukupnya.
5. Sumber dc 1 unit

6. Tahanan sebagai beban 1 unit

Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Gunakan pakaian praktik !
2. Bacalah dan pahami petunjuk praktikum pada setiap lembar kegiatan belajar !
3. Janganlah memberikan tegangan pada rangkaian melebihi batas yang ditentukan !
4. Hati-hati dalam melakukan praktik !

Langkah Kerja

1. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan untuk percobaan !
2. Periksalah alat dan bahan sebelum digunakan dan pastikan semua alat dan bahan dalam keadaan baik !
3. Letakkanlah magnet berkutub utara dan selatan pada posisi sejajar !
4. Hubungkanlah kedua terminal galvanometer dengan ujung-ujung penghantar kaku !

5. Gerakkanlah penghantar kaku tersebut secara searah dan cepat (ke atas saja atau ke bawah saja) diantara kedua kutub utara dan selatan, serta amatilah gerakan jarum galvanometer !
6. Percobaan selanjutnya, hubungkanlah sumber dc, tahanan sebagai beban, dan penghantar kaku !
7. Letakkanlah penghantar kaku tersebut ke dalam medan magnet, amatilah apa yang terjadi dengan penghantar kaku tersebut !

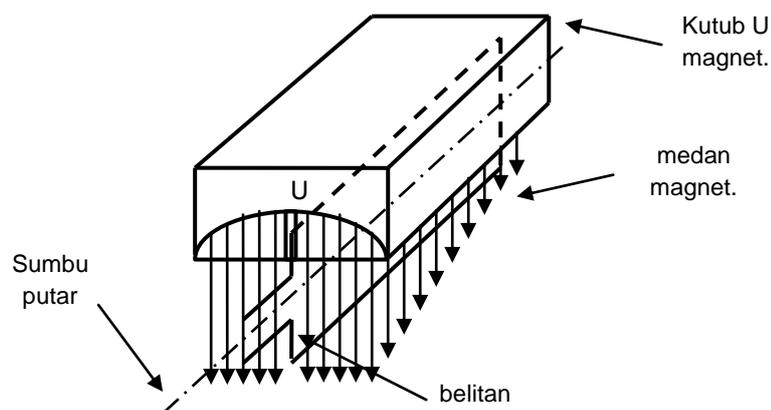
Lembar latihan

1. Jelaskan secara singkat proses timbulnya ggl induksi pada generator !
2. Jelaskan secara singkat proses terjadinya torsi pada motor !

2. Generator arus searah

Mesin arus searah ialah mesin listrik yang digerakkan oleh arus searah (*direct current*) atau yang menghasilkan tegangan searah. Jika mesin tersebut mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik arus searah disebut generator arus searah.

Generator arus searah bekerja berdasarkan prinsip hukum Faraday yang membuktikan bahwa sebuah kumparan akan membangkitkan gaya gerak listrik induksi apabila jumlah garis gaya yang dilingkupi oleh kumparan tersebut berubah-ubah.

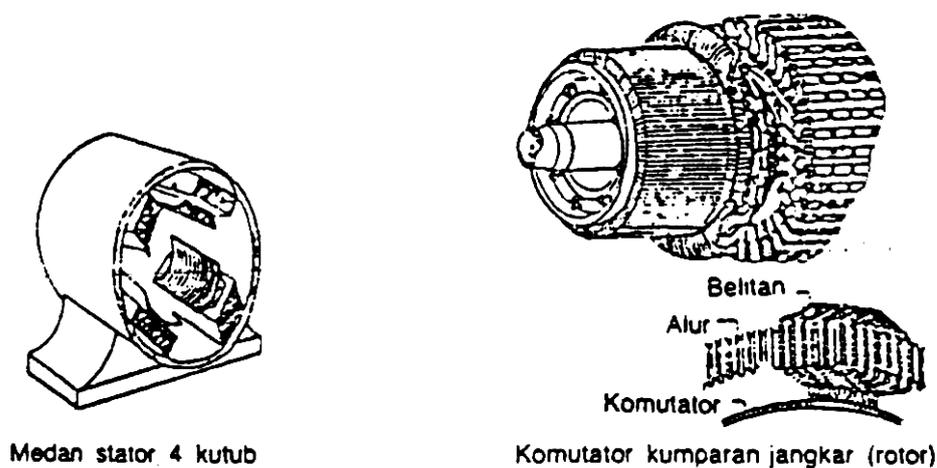


Gambar 3. Belitan yang berputar dalam medan

Gambar 3 menggambarkan sebuah belitan yang berputar beraturan pada sebuah poros medan magnet serba sama, poros itu letaknya tegak lurus pada arah medan.

Konstruksi

Pada mesin arus searah kumparan medan yang berbentuk kutub sepatu merupakan stator (bagian yang tidak berputar), dan kumparan jangkar merupakan rotor (bagian yang berputar), seperti terlihat pada Gambar di bawah ini

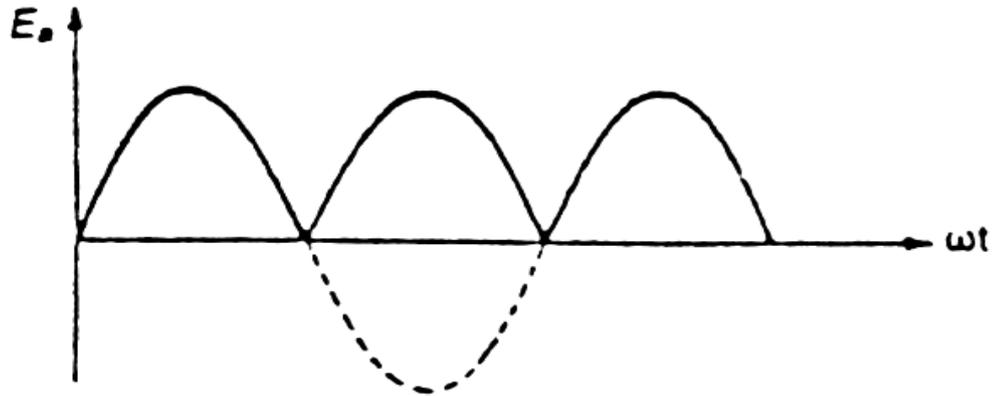


Bila kumparan jangkar berputar dalam medan magnet, akan dibangkitkan tegangan (ggl) yang berubah-ubah arah setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak balik.

$$e = E_{maks} \sin \omega T \quad (1)$$

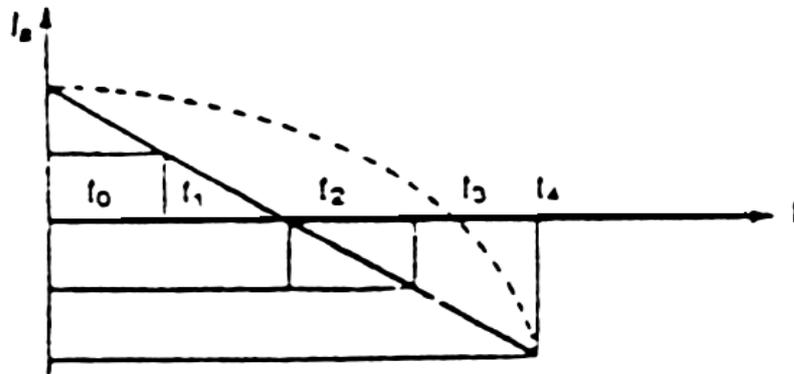
Misalnya pada $t = t_0$, " segmen komutator " tepat berimpit dengan sikat. Dan misalkan ada dua jalan paralel dalam kumparan jangkar magnet tersebut, sehingga arus jangkar I_a yang mengalir pada masing masing jalan paralel adalah $I_a/2$ dengan arah seperti yang ditunjukkan pada gambar. Dengan demikian arus yang mengalir pada kumparan A = $I_a/2$ an arahnya kekanan. Jika arah perputaran jangkar dimisalkan kearah kanan (lihat Gambar 5), dan pada saat $t = t_1$ sikat terletak antara dua komutator dengan perbandingan 1 : 3 (Gambar 5b), maka distribusi arus pada masing masing komutator adalah $I_a/4$ pada komutator sebelah kiri, dan $3 I_a/4$ pada komutator sebelah kanan. Dari hukum Kirchoff untuk arus, kita dapatkan besar arus yang mengalir pada kumparan A = $I_a/4$ dengan arah masih tetap kekanan. Pada $t = t_2$, sikat tepat berada ditengah tengah antara dua segmen komutator tersebut, maka terlihat bahwa tidak ada arus yang mengalir pada kumparan A (keadaan ini sama halnya seperti ketika kumparan A tepat berada pada bidang netral). Pada $t = t_3$, sikat berada antara dua segmen, komutator dengan perbandingan letak 1:3 (Gambar 5d). Disini arus yang mengalir pada kumparan A = $I_a/4$, dengan arah arus terbalik yaitu ke kiri. Akhirnya pada $t = t_4$ sikat meninggalkan segmen komutator sebelah kanan dan tepat berada pada segmen komutator sebelah kiri. Pada kumparan A mengalir arus sebesar $I_a/2$ yang

arahnya ke kiri. Demikianlah dengan adanya arus yang terbalik arah dalam kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet, dihasilkan tegangan induksi (ggl) dengan bentuk gelombang seperti terlihat pada Gambar di bawah ini. Jika arus dalam kumparan A



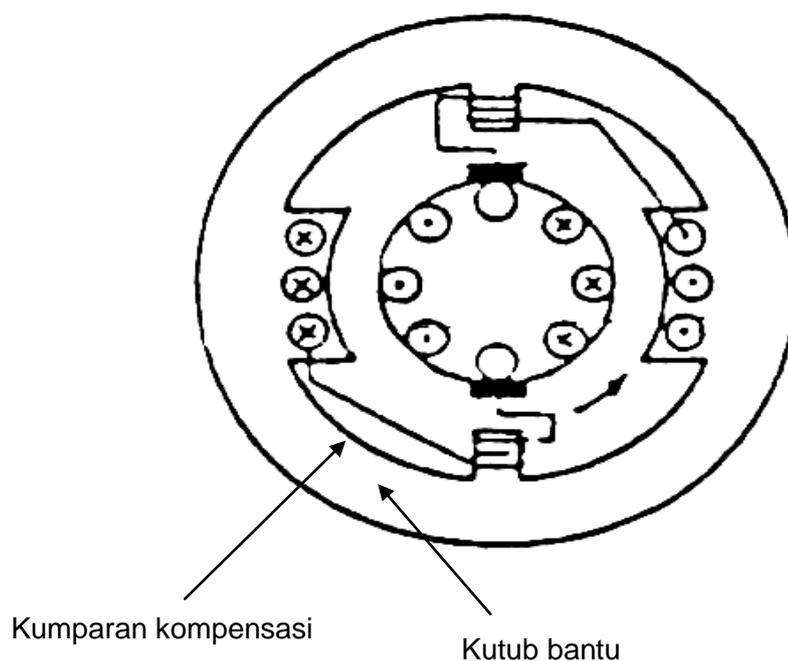
Gambar 6. Tegangan yang keluar pada Sikat Komutator

digambarkan sebagai fungsi waktu diperoleh seperti Gambar di bawah ini



Gambar 7. Arus dalam Kumparan A.

Fungsi tersebut merupakan fungsi linier komutasi yang dihasilkan jika rapat arus dalam sikat seragam. Tetapi karena adanya pengaruh induktansi kumparan dan tahanan sikat untuk arus yang cukup besar, maka fungsi tersebut tidak linier lagi, melainkan berupa garis lengkung (Gambar 7. garis putus putus). Untuk mengkompensasi hal diatas, ditambahkan suatu kutub pembantu dan kumparan kompensasi seperti terlihat pada Gambar 8. Jika kumparan kompensasi dapat dinetralisasi reaksi jangkar, besarnya ggm yang diperlukan pada kutub pembantu samadengan ggm untuk pengaruh induktans pada kumparan.



Gambar 8. Kutub Bantu dan Kumparan Kompensasi.

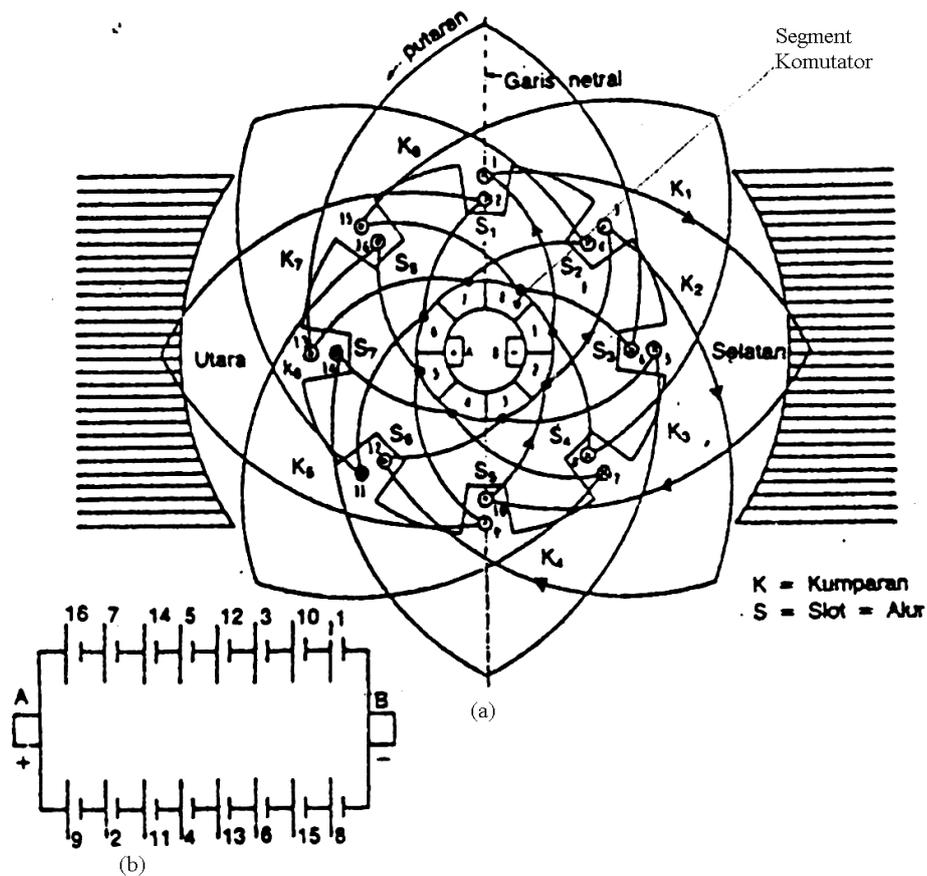
2. Jenis Belitan Mesin Arus Searah

Pada dasarnya ada dua jenis belitan mesin arus searah yaitu belitan gelombang dan belitan gelung.

a. Belitan Gelung

Kumparan biasanya terdiri atas beberapa lilitan. Kumparan yang dihubungkan satu sama lain membentuk belitan. Apabila kumparan dihubungkan dan dibentuk sedemikian rupa hingga setiap kumparan menggulung kembali ke sisi kumparan berikutnya, maka hubungan itu disebut belitan gelung. Gambar 9 memperlihatkan rotor dengan belitan gelung, dua kutub 8 alur dan 8 kumparan.

Karena setiap kumparan mempunyai 2 ujung dan setiap segmen komutator menghubungkan 2 ujung kumparan, terdapatlah segmen komutator yang saling terisolir. Segmen komutator turut berputar bersama rotor. Setiap sikat terbuat dari bahan pengantar karbon. Tidak turut berputar (diam) tetapi bergerak pada segmen komutator yang berputar. Agar tegangan sisi kumparan saling memperbesar, maka bila satu sisi kumparan terletak dibawah kutup utara, maka pasangan sisi kumparan lainnya harus terletak dibawah kutup selatan



Gambar 9.

Rotor Dengan Belitan Gelung, dua Kutup 8 Alur dan 8 Kumbaran

Dengan memperhatikan Gambar 9a cobalah telusuri belitan kumbaran 7 yang dimulai dari segmen komutator 7 menuju ujung sisi kumbaran 13 terus kesisi pasangan kumbaran 6 dan berakhir pada segmen komutator 8. Bila kedelapan kumbaran yang ada teru ditelusuri akan diperoleh belitan tertutup yang berbentuk gelung.

Bila pada rotor diberi energi mekanis dengan arah berlawanan jarum jam, akan diperoleh ggl pada masing masing kumparan. Arah ggl pada ujung kumparan diperlihatkan dengan tanda (.) dan (x).

Dalam posisi terlihat pada Gambar 9a sikat A dan B menghubungkan masing masing kumparan 5 dan juga kumparan 1. Keadaan ini memang dikehendaki karena dengan demikian dikumparan 5 dan 1 tidak timbul tegangan. Dengan cara demikian dapat ditentukan lokasi yang tepat untuk meletakkan sikat. yaitu pada posisi yang akan meletakkan tegangan nol disisi masing masing kumparan 5 dan 1 tadi. Tegangan yang dibangkitkan pada sisi kumparan yang lain akan menambah secara seri diantara sikat A dan B jika beban dihubungkan pada sikat arus akan mengalir Jalur paralel pada kumparan antara sikat A dan B pada dilihat pada Gambar 9b. Dalam contoh keadaan ini sisi atau ujung kumparan 1,10,9 dan 2 bertegangan nol.

Perlu diingat bahwa kumparan berputar terhadap waktu tapi bentuk ggl yang dibangkitkan adalah sama. karena bila kumparan 1 bergerak mengambil posisi kumparan 8. Kumparan akan mengambil posisi kumparan 7 dan seterusnya. Oleh karenanya tegangan yang akan dibangkitkan diujung sikat adalah tegangan searah. Dengan kata lain tegangan bolak balik melalui kerja komutator dan sikat telah diubah menjadi tegangan searah.

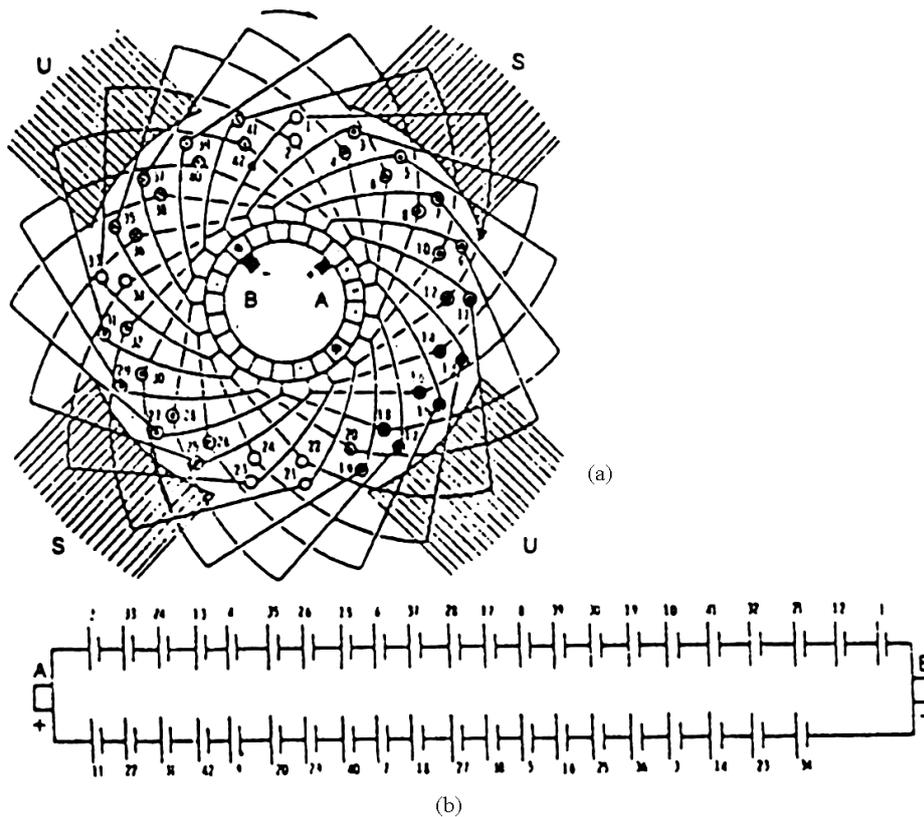
b. Belitan gelombang

Dalam belitan gelombang, kumparan dihubungkan serta dibentuk demikian rupa sehingga berbentuk gelombang. Hubungan ini dapat lebih jelas bila kita telusuri jalan kumparan pada Gambar 10a. Gambar 10a juga menunjukkan adanya 4 kutub dan 21 kumparan rotor dan terdapat dua sisi kumparan dimasing masing alur.

Yang dimaksud dengan kisar komutator, adalah jumlah segmen komutator yang diperlukan untuk membentangkan suatu kumparan tertutup Bila Y_c kisar komutator, p = jumlah kutub dan c = jumlah kumparan. Maka berlaku hubungan:

$$Y_c = 2(c + 1)/p \quad (2)$$

Dalam contoh diatas, dimana $p = 4$ dan $c = 21$ diperoleh $Y_c = 11$ atau 10. Dalam contoh ini diambil harga $Y_c = 10$ Perhatikan dan amatilahlah bentangan kumparan pada Gambar 10a.



Gambar 10.

Belitan Gelung 4 Kutub dan 21 Kumparan Rotor dan 2 Sisi Kumparandi Masing-masing Alur.

Jalur paralel diperhatikan dalam Gambar 10b. Hanya ada dua jalur paralel. Karena tetidaksimetrisan bagian atas jalur paralelmempunyai lebih banyak sisi kumparan daripada bagian bawah. Bila diteliti lebih jauh akan diketahui bahwa pada sisi kumparan 1, 2, 11, 12, 21, 22, 23, 24, 33 dan 34 tidak dibangkitkan tegangan.

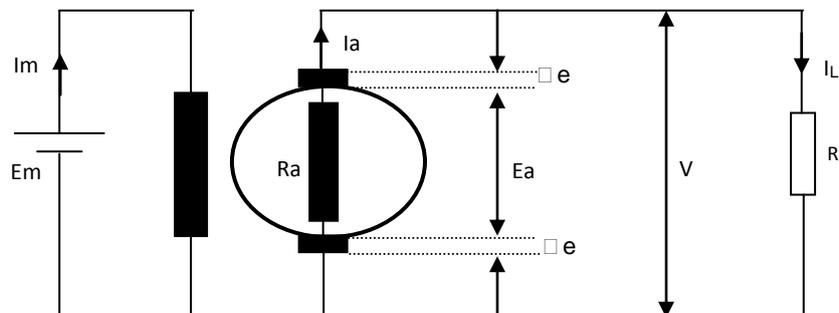
Perlu diingat bahwa untuk belitan gelombang berapa pun jumlah kutub yang ada jalur paralel dan sikat akan selalu berjumlah 2. Tidak demikian halnya dengan belitan galung, yang jumlah jalur paralelnya sebanding dengan bertambahnya jumlah kutub. Biasanya belitan galung digunakan untuk mesin beraliran arus tinggi sedangkan belitan gelombang yang selalu hanya mempunyai dua jalur paralel digunakan untuk mesin bertegangan tinggi.

3. Jenis Generator Arus Searah

Berdasarkan cara memberikan fluks pada kumparan medannya, generator arus searah dapat dibedakan menjadi dua yaitu generator penguat terpisah dan generator penguat sendiri.

a. Generator penguat terpisah

Disebut generator penguat terpisah karena sumber tegangan yang digunakan untuk menyuplai lilitan penguat medan magnet adalah terpisah dari rangkaian kelistrikan generator. Agar lebih jelas perhatikan Gambar berikut ini



Gambar 11. Skema Rangkaian Generator Penguat Terpisah

Persamaan arusnya adalah : $I_m = E_m/R_m$

$$I_a = I_L$$

Persamaan tegangannya adalah : $E_a = V + I_a R_a$

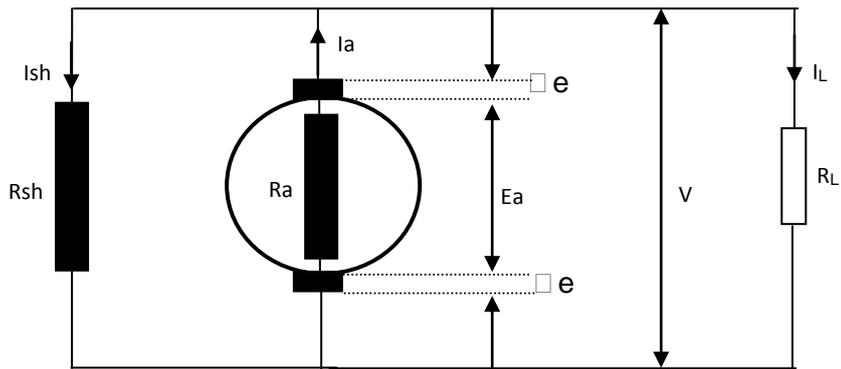
$$V = I_L R_L$$

b. Generator Penguat Sendiri

Dikatakan generator penguat sendiri karena sumber tagangan yang digunakan untuk menyuplai lilitan penguat medan magnet adalah diambil dari keluaran generator tersebut. Ditinjau dari cara menyambung lilitan penguat medan magnetnya, terdapat beberapa jenis generator yaitu :

c. Generator Shunt

Generator shunt adalah generator penguat sendiri yang lilitan penguat medan magnetnya disambung paralel dengan lilitan jangkar. Pada generator ini, jumlah lilitan penguat magnet banyak, namun luas penampang kawatnya kecil. Hal ini bertujuan agar hambatan lilitan penguatnya (R_{sh}) besar. Skema rangkaiannya adalah seperti Gambar 12 berikut :



Gambar 12. Skema Rangkaian Generator Shunt

Persamaan arusnya adalah : $I_a = I_L + I_{sh}$, $I_{sh} = V_{sh}/R_{sh}$

Persamaan tegangannya adalah: $E_a = V + I_a R_a$

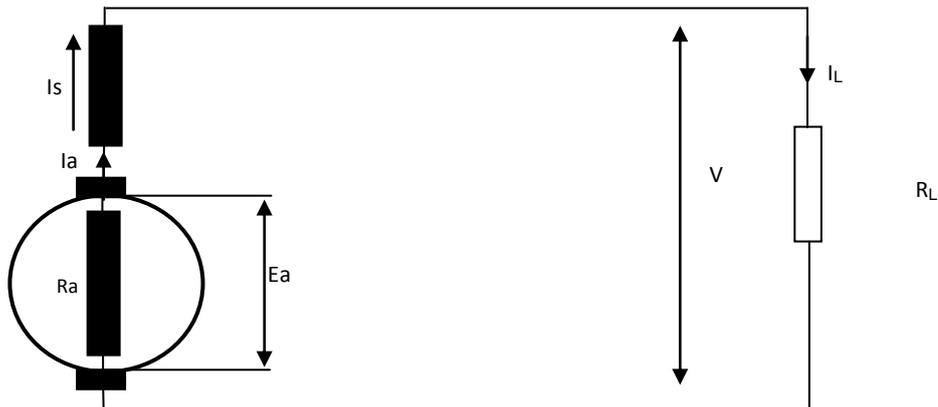
$$V = I_L R_L$$

$$V_{sh} = I_{sh} R_{sh}$$

$$V = V_{sh}$$

d. Generator Seri

Generator seri adalah generator arus searah yang lilitan penguat medan magnetnya disambung seri dengan lilitan jangkar. Pada generator ini, jumlah lilitan penguat magnet sedikit, namun luas penampang kawatnya besar. Hal ini bertujuan agar hambatan lilitan penguatnya (R_s) kecil. Skema rangkaiannya adalah seperti Gambar 13 berikut :



Gambar 13 Skema Rangkaian Generator Seri

Persamaan arusnya adalah : $I_a = I_s = I_L$

Persamaan Tegangannya adalah : $E_a = V + I_a R_a + I_s R_s$

$$V = I_L R_L$$

Keterangan :

E_m = Sumber tegangan pada lilitan penguat magnet pada generator penguat terpisah

E_a = GGL induksi yang dibangkitkan pada lilitan jangkar

V = Tegangan terminal generator

I_a = Arus jangkar

I_s = Arus pada lilitan penguat magnet seri

I_{sh} = Arus pada lilitan penguat magnet shunt

I_L = Arus pada beban

R_a = Hambatan pada lilitan jangkar

R_{sh} = Hambatan pada lilitan penguat magnet shunt

R_s = Hambatan pada lilitan penguat magnet seri

R_m = Hambatan pada lilitan penguat magnet generator penguat terpisah

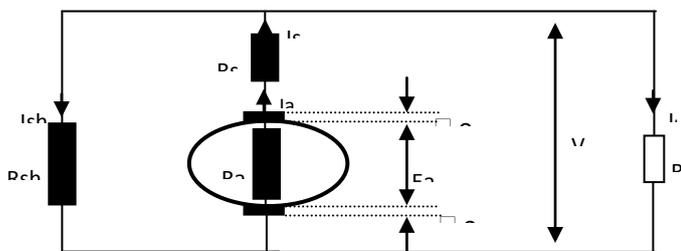
e. Generator Kompon

Disebut generator kompon karena dalam satu inti magnet terdapat dua macam lilitan penguat medan magnet, yaitu lilitan penguat medan magnet yang disambung paralel dengan lilitan jangkar dan lilitan penguat medan magnet yang disambung seri

dengan lilitan jangkar. Ditinjau daricara menjambung masing-masing lilitan penguat medan magnet, dikenal generator kompon panjang dan generator kompon pendek. Dari masing-masing jenis sambungan tersebut, jika ditinjau dariarah garis-garis gaya yang dihasilkan oleh masing-masing lilitan penguat, dikenal generator kompon bantu (kompon lebih) dan generator kompon lawan (kompon kurang). Disebut generator kompon bantu jika garis-garis gaya magnet dari kedua lilitan penguat medan magnet tersebut saling memperkuat, dan disebut generator kompon lawan jika garis-garis gaya magnet yang dihasilkan oleh kedua lilitan penguat medan magnet saling memperlemah.

f. Generator Kompon Panjang

Generator kompon panjang adalah generator yang lilitan penguat medan magnet serinya menjadi satu rangkaian dengan lilitan jangkar. Agar lebihjelas perhatikan skema gambar rangkaiannya seperti Gambar berikut :



Gambar 14. Skema Rangkaian Generator Kompon Panjang

Persamaan arusnya adalah :

$$I_a = I_s = I_L + I_{sh}$$

$$I_{sh} = V_{sh}/R_{sh}$$

$$V_{sh} = V$$

Persamaan tegangannya adalah :

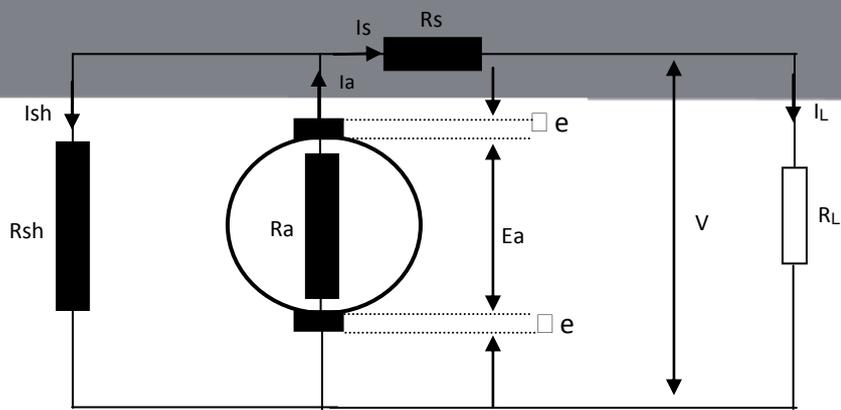
$$E_a = V + I_a R_a + I_s R_s$$

$$V = I_L R_L$$

g. Generator Kompon Pendek

Generator kompon pendek adalah generator yang lilitan penguat medan magnet serinya menjadi satu rangkaian dengan rangkaian beban.

Agar lebih jelas perhatikan skema gambar rangkaiannya seperti Gambar berikut :



Gambar 16. Skema Rangkaian Generator Kompon Pendek

Persamaan arusnya adalah :

$$I_a = I_s + I_{sh}$$

$$I_{sh} = V_{sh}/R_{sh}$$

$$V_{sh} = E_a - I_a R_a$$

$$V_{sh} = V + I_s R_s$$

Persamaan tegangannya adalah :

$$E_a = V + I_a R_a + I_s R_s$$

$$V = I_L R_L$$

Keterangan :

E_a = GGL induksi yang dibangkitkan pada lilitan jangkar

V = Tegangan terminal generator

I_a = Arus jangkar

I_s = Arus pada lilitan penguat magnet seri

I_{sh} = Arus pada lilitan penguat magnet shunt

I_L = Arus pada beban

R_a = Hambatan pada lilitan jangkar

R_{sh} = Hambatan pada lilitan penguat magnet shunt

R_s = Hambatan pada lilitan penguat magnet seri

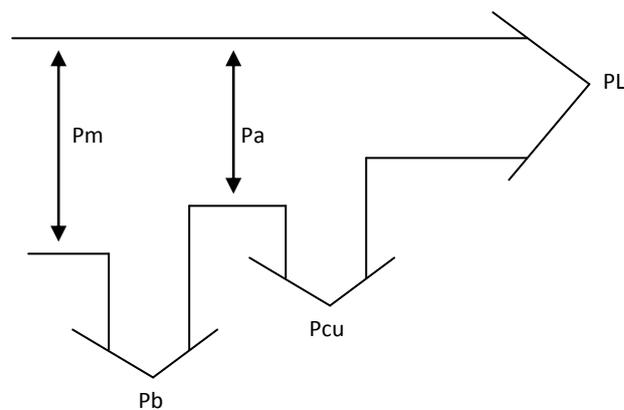
h. **Polaritas Tegangan pada Generator Arus Searah**

Polaritas tegangan yang dihasilkan oleh lilitan jangkar dipengaruhi oleh arah garis-garis gaya magnet (penyambungan ujung-ujung lilitan penguat medan magnet) dan arah putaran jangkar. Pembalikan arah putaran dengan arah garis-garis gaya magnet yang tetap atau dengan penyambungan lilitan penguat medan magnet yang benar, pada generator dengan penguat terpisah tidak mempengaruhi besar tegangan yang dibangkitkan, hanya polaritas tegangan pada terminal generator terbalik. Lain halnya dengan generator dengan penguat sendiri, jika salah satu dari kedua faktor yang mempengaruhi polaritas tegangan terbalik, maka walaupun generator diputar dengan kecepatan nominal, generator tidak menghasilkan tegangan sesuai yang diharapkan.

Hal tersebut terjadi karena untuk memperoleh tegangan pada awal pengoperasiannya diperoleh dari adanya magnet sisa pada kutub-kutub magnetnya. Jika salah satu faktor yang mempengaruhi polaritas tegangan terbalik, maka arus yang mengalir pada lilitan penguat medan magnet akan menghasilkan garis-garis gaya magnet yang melawan magnet sisa, sehingga walaupun generator di putar dengan kecepatan nominal, maka lama kelamaan bukannya generator menghasilkan tegangan yang besar, tetapi tegangan generator akan hilang.

i. Rugi-Rugi dan Efisiensi

Pada generator terdapat dua macam kerugian, yaitu rugi inti - gesek dan rugi tembaga. Secara blok diagram, berbagai jenis daya yang terdapat pada generator adalah sebagai berikut :



Gambar 16. Blok Aliran Daya pada Generator Arus Searah

Keterangan :

P_{in} = daya masukan generator = daya jangkar + rugi inti-gesek
= daya keluaran penggerak mula (HP, 1 HP = 736 watt)

Daya masukan generator (P_{in}) dapat juga ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$P_{in} = T \times 2\pi n/60$$

$$P_a = \text{daya pada jangkar} = E_a I_a$$

$$P_L = P_{out} = \text{Daya keluaran} = V I_L$$

$$= P_a - P_{cu}$$

Efisiensi generator dapat ditentukan dengan rumus :

$$\begin{aligned} \eta_g &= P_L/P_{in} \\ &= V I_L/HP \times 736 \\ &= V I_L/ T \times 2\pi n/60 \end{aligned}$$

Dalam suatu pengujian, daya masukan generator (P_{in}) = daya keluaran penggerak mula generator. Jika penggerak mula daya keluarannya diukur dengan sebuah peralatan (disebut torsi meter),

maka jika diubah kesatuan waat, daya keluaran penggerak mula atau daya masukan generator adalah :

$$P_{in} = T \times 2\pi n/60$$

Keterangan :

T = Torsi keluaran penggerak mula (Nm)

N = Jumlah putaran penggerak mula (rpm)

j. Lilitan Jangkar

Pada generator arus searah, dikenal dua macam lilitan jangkar yaitu lilitan gelung dan lilitan gelombang. Lilitan gelung dilakukan jika dikehendaki tegangan keluaran generator kecil namun arusnya besar, sedangkan lilitan gelombang dilakukan jika dikehendaki tegangan keluaran generator besar namun arusnya kecil.

Disamping itu, pada lilitan gelung jumlah paralel lilitan jangkar $A = \text{jumlah kutub } P$, sedangkan pada lilitan gelombang, jumlah paralel lilitan jangkar $A = 2$. Jika lilitannya majemuk, maka untuk lilitan gelung $A = mP$, pada lilitan gelombang $A = 2m$.

k. Besarnya GGL induksi

Besarnya ggl induksi pada lilitan jangkar dapat ditentukan dengan rumus :

$$E_a = P \Phi (n/60) (Z/A) \text{ volt}$$

$$E_a = C_1 n \Phi$$

Keterangan :

E_a = ggl induksi yang dibangkitkan oleh lilitan jangkar (volt)

P = Jumlah kutub

n = jumlah putaran rotor (rpm)

Z = Jumlah penghantar total lilitan jangkar

Φ = Jumlah garis-garis gaya magnet (Weber)

A = Jumlah cabang paralel lilitan jangkar

Lembar Kerja

Alat dan Bahan

- | | |
|--------------------------|--------|
| 1. Torsi meter | 1 buah |
| 2. Generator DC | 1 buah |
| 3. Motor DC | 1 buah |
| 4. Tacho generator | 1 buah |
| 5. Tahanan pengatur..... | 1 buah |

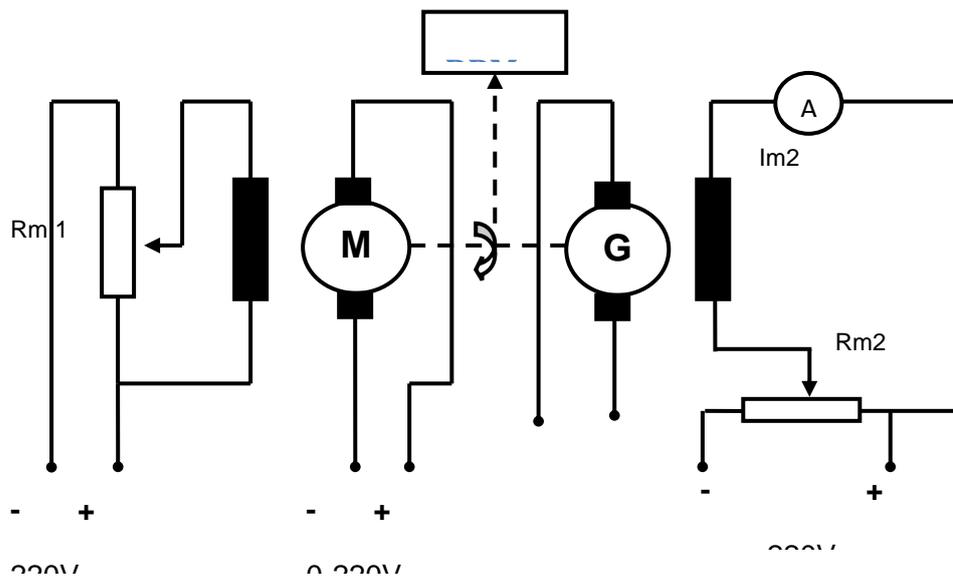
6. Ampere meter DC	1 buah
7. Saklar hubung	1 buah
8. Multi meter	1 buah
9. Unit catu daya	1 buah
10. Tahanan beban	1 buah
11. Kabel penghubung	secukupnya

Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Gunakan pakaian praktik !
2. Bacalah dan pahami petunjuk praktikum pada setiap lembar kegiatan belajar !
3. Janganlah memberikan tegangan pada rangkaian melebihi batas yang ditentukan !
4. Hati-hati dalam melakukan praktik !

Langkah Kerja

1. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan untuk percobaan !
2. Periksalah alat dan bahan sebelum digunakan dan pastikan semua alat dan bahan dalam keadaan baik !
3. Rangkailah percobaan seperti pada Gambar 17. di bawah ini !



Unit Motor Pengerak

Unit Generator Uji

Gambar 17. Percobaan Generator Penguat Terpisah

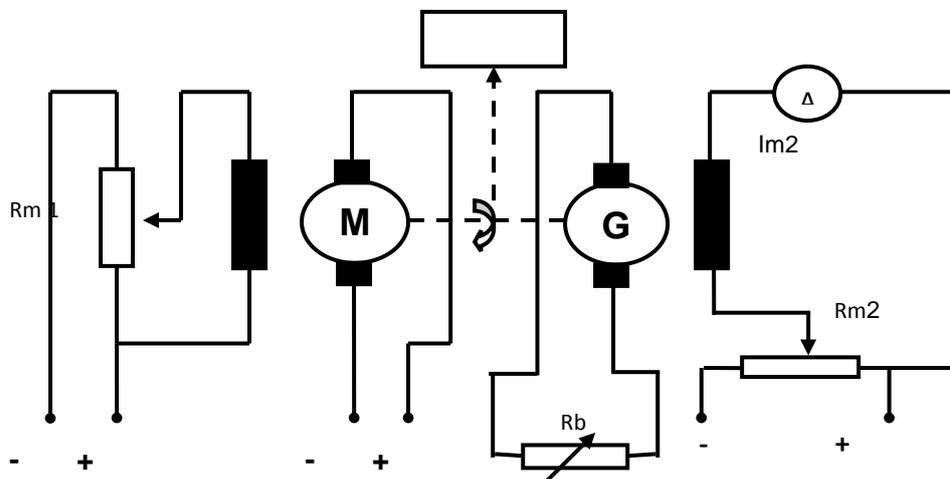
4. Tutuplah saklar tegangan tetap 220 V DC dan aturlah R_{m1} hingga I_{m1} maksimum. Demikian juga aturlah R_{m2} agar diperoleh arus penguat I_{m2} pada posisi minimal (nol) !
5. Tutuplah saklar variable 0-220 V DC, aturlah tegangan variable ini hingga putaran motor mencapai $n=1400$ rpm (usahakanlah selalu konstan) !
6. Aturlah R_{m2} hingga diperoleh arus penguat I_{m2} dan catatlah ke dalam tabel 1 dengan interval 0,05 ampere, yaitu arah menaik dan menurun antara 0 dan 0,5 A. Lihat table 1 !
7. Lakukanlah seperti langkah 4 dan 6 untuk putaran $n=1200$ rpm dan catatlah ke dalam tabel 1 juga !
8. Turunkanlah tegangan variable hingga nol, I_{m1} pada unit penggerak generator arus searah mencapai nol, tutuplah saklar tegangan, lanjutkanlah percobaan berikutnya !

Tabel 1. Percobaan generator penguat terpisah

n = 1400 rpm				n = 1200 rpm			
Kenaikan		penurunan		kenaikan		penurunan	
Im2	V	Im2	V	Im2	V	Im2	V

(Amp)	(volt)	(Amp)	(volt)	(Amp)	(volt)	(Amp)	(volt)
0							
0.05							
...							
0.5							

9. Pada unit generator penguat shunt, rangkailah skema Gambar 18 berikut :



Unit Motor Pengerak

Unit Generator Uji

Gambar 18. Percobaan Generator Penguat Shunt

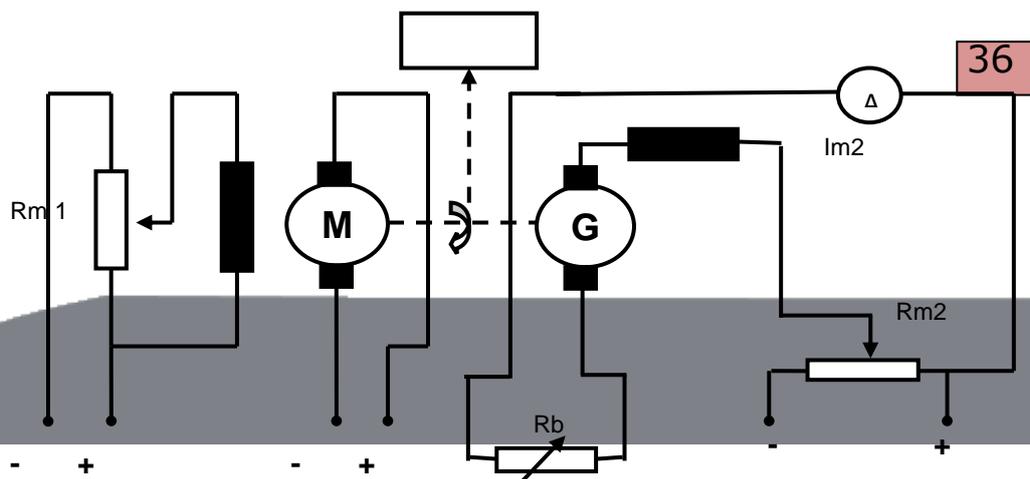
10. Lakukanlah seperti langkah 4 dan 5, atur R_{m2} hingga tegangan jepit $V = 220$ V dengan $n = 1400$ rpm (konstan selama percobaan) !
11. Tutuplah saklar beban S , dan aturlah R_1 hingga memperoleh I_1 . Dari harga terkecil hingga maksimum 4,5 A dengan interval 0,5 A. Catatlah ke dalam pada table 2 !

Tabel 2. Percobaan Generator Penguat Shunt

I_L (A)	V (V)	P (W)	T Nm
0,5			
.....			
4,5			

12. Turunkanlah kembali R_b , bukalah saklar S dan turunkanlah tegangan motor, I_m motor, dan lanjutkanlah percobaan berikutnya

11. Pada unit generator penguat seri, rangkailah seperti gambar 19 berikut ini:



Unit Motor Pengerak

Unit Generator

Gambar 19. Percobaan Generator Penguat Seri

12. Lakukanlah percobaan seperti langkah 9, 10, 11, catatlah hasil pengamatan ke dalam Table 3 !

Tabel 3. Percobaan Generator Penguat Seri

I_L (A)	V (V)	P (W)	T Nm
-----------	-------	-------	------

0,5			
....			
5			

13. Lepaskanlah dan kembalikanlah semua alat dan bahan praktikum ketempat semula, kemudian buat kesimpulan dri kegiatan belajar ini!

Lembar Latihan

1. Besarnya pembangkitan ggl pada generator tergantung pada factor apa saja ?
2. Apakah komutator itu ?
3. Apakah perbedaan antara belitan gelung dan belitan gelombang dalam hal kutub, sikat dan jalur parallel ?
4. Bagaimana cara menekan rugi-rugi besi pada inti generator ?

3. Motor arus searah

1. Azas motor arus searah

Pada lembar kegiatan belajar 3 ini, akan dipelajari mengenai motor arus searah. Dalam mempelajari dan memahami motor arus searah, perlu dipahami mengenai kemagnetan dan teori kelistrikan dan telah dipelajari dalam Modul Dasar Kemagnetan dan Modul Hukum Kelistrikan.

Prinsip kerja suatu motor arus searah adalah suatu kumparan jangkar terdiri dari belitan dan terletak diantara kutub-kutub magnet. Kalau kumparan dilalui arus maka pada kedua sisi kumparan bekerja gaya Lorentz. Aturan tangan kiri dapat digunakan untuk menentukan arah gaya Lorentz, dimana gaya jatuh pada telapak tangan, jari-jari yang direntangkan menunjukkan arah arus, maka ibu jari yang direntangkan menunjukkan arah gaya.

Kedua gaya yang timbul merupakan sebuah kopel. Kopel yang dibangkitkan pada kumparan sangat tidak teratur, karena kopel itu berayun antara nilai maksimum dan nol. Untuk mendapatkan kopel yang relatif sama dan sama besar, dibagi sejumlah besar kumparan di sekeliling jangkar. Kumparan-kumparan itu dihubungkan dengan lamel tersendiri pada komutator, sehingga motor arus searah tidak berbeda dengan generator arus searah.

Perbedaan motor dan generator hanya terletak pada konversi dayanya. Generator adalah mesin listrik yang mengubah daya masuk

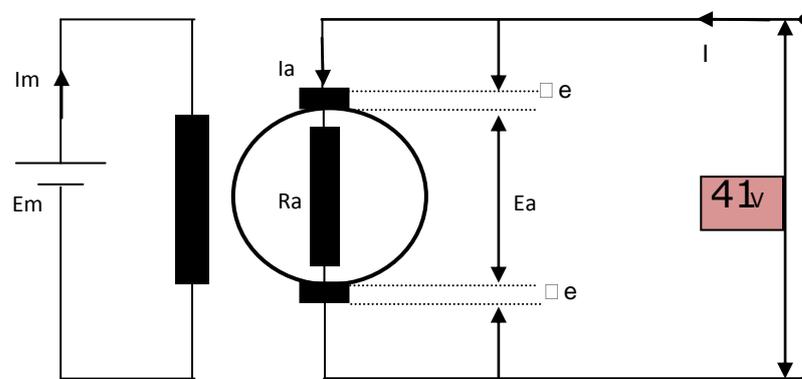
mekanik menjadi daya listrik. Sedangkan motor mengubah daya masuk listrik menjadi mekanik.

2. Jenis Motor Arus Searah

Berdasarkan cara memberikan fluks pada kumparan medannya, motor arus searah dapat dibedakan menjadi dua yaitu motor penguat terpisah dan motor penguat sendiri.

a. Motor Penguat Terpisah

Disebut motor penguat terpisah karena sumber tegangan yang digunakan untuk menyuplai lilitan penguat medan magnet adalah terpisah dari rangkaian kelistrikan motor. Agar lebih jelas perhatikan skema Gambar 20 sebagai berikut :



Gambar 20 Skema Rangkaian Motor Penguat Terpisah

Persamaan arusnya adalah :

$$I_m = E_m/R_m$$

$$I_a = I$$

Persamaan tegangannya adalah :

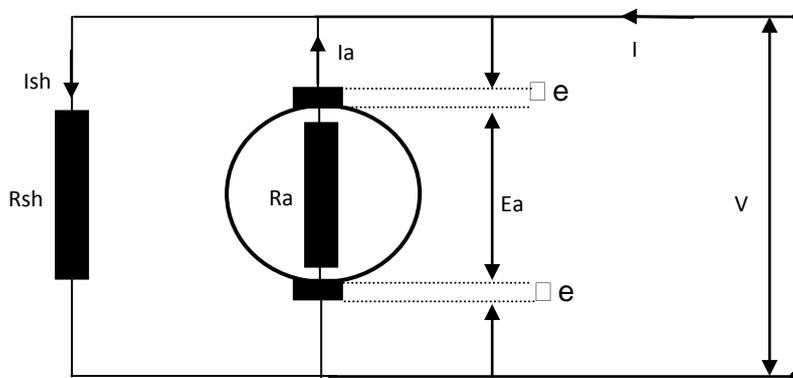
$$E_a = V + I_a R_a$$

b. Motor Penguat Sendiri

Dikatakan motor penguat sendiri karena sumber tagangan yang digunakan untuk menyuplai lilitan penguat medan magnet adalah menjadi satu dengan rangkaian kelistrikan motor. Ditinjau dari cara menyambung lilitan penguat medan magnetnya, terdapat beberapa jenis motor yaitu :

c. Motor Shunt

Motor shunt adalah motor penguat sendiri yang lilitan penguat medan magnetnya disambung paralel dengan lilitan jangkar. Pada motor ini, jumlah lilitan penguat magnet banyak, namun luas penampang kawatnya kecil. Hal ini diharapkan agar hambatan lilitan penguatnya besar. Skema rangkaiannya adalah seperti Gambar 21 berikut :



Gambar 21. Skema Rangkaian Motor Shunt

Persamaan arusnya adalah :

$$I_a = I + I_{sh} ,$$

$$I_{sh} = V_{sh}/R_{sh}$$

Persamaan tegangannya adalah :

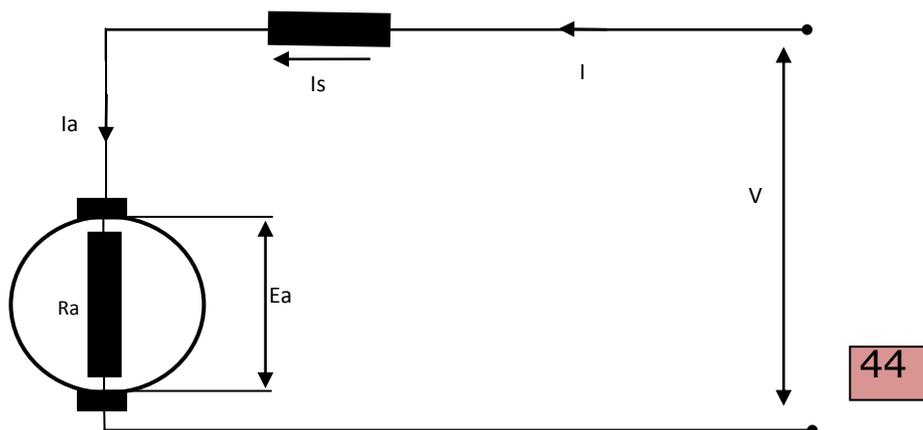
$$E_a = V + I_a R_a$$

$$V_{sh} = I_{sh} R_{sh}$$

$$V = V_{sh}$$

d. Motor Seri

Motor seri adalah motor arus searah yang lilitan penguat medan magnetnya disambung seri dengan lilitan jangkar. Pada motor ini, jumlah lilitan penguat magnet sedikit, namun luas penampang kawatnya besar. Hal ini diharapkan agar hambatan lilitan penguatnya kecil. Skema rangkaiannya dapat dilihat seperti Gambar 22 berikut :



Gambar 22. Skema Rangkaian Motor Seri

Persamaan arusnya adalah : $I_a = I_s = I$

Persamaan Tegangannya adalah :

$$E_a = V + I_a R_a + I_s R_s$$

E_m = Sumber tegangan pada lilitan penguat magnet pada motor penguat terpisah

E_a = GGL lawan motor

V = Tegangan terminal motor

I_a = Arus jangkar

I_s = Arus pada lilitan penguat magnet seri

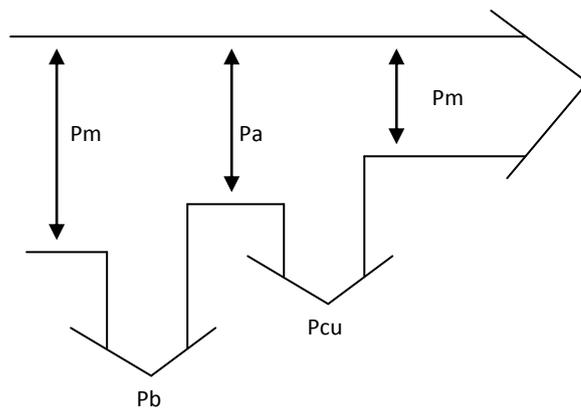
I_{sh} = Arus pada lilitan penguat magnet shunt

I = Arus dari sumber yang masuk ke motor

- Ra = Hambatan pada lilitan jangkar
- Rsh = Hambatan pada lilitan penguat magnet shunt
- Rs = Hambatan pada lilitan penguat magnet seri
- Rm = Hambatan pada lilitan penguat magnet motor penguat terpisah

e. Rugi-Rugi dan Efisiensi

Pada motor terdapat dua macam kerugian, yaitu rugi inti - gesek, dan rugi tembaga. Secara blok diagram, berbagai jenis daya yang terdapat pada motor arus searah adalah sebagai berikut :



Gambar 23. Blok Aliran Daya pada Motor Arus Searah

Keterangan :

P_{in} = daya masukan motor = daya jangkar + rugi tembaga

$$= V \times I$$

P_a = daya pada jangkar = $E_a I_a$

P_{out} = Daya keluaran motor

$$= \text{Daya pada jangkar} - \text{rugi inti-gesek}$$

$$= P_a - P_{\text{inti-gesek}}$$

Besarnya rugi inti gesek, dapat ditentukan pula dengan caara pengujian, yaitu dengan tes beban kosong. Atas dasar blok aliran daya seperti gambar 26 di atas, besarnya rugi inti-gesek adalah : E_a saat beban kosong x I_a saat beban kosong. Daya keluaran motor dapat juga ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$P_{out} = T \times 2\pi n/60$$

Efisiensi motor dapat ditentukan dengan rumus :

$$\eta_m = P_{out}/P_{in}$$

$$= (T \times 2\pi n/60)/V I$$

f. Lilitan Jangkar

Pada motor arus searah, seperti halnya pada generator arus searah dikenal dua macam lilitan jangkar yaitu lilitan gelung dan lilitan gelombang. Lilitan gelung dilakukan jika dikehendaki tegangan masukan motor kecil namun arusnya besar, sedangkan lilitan gelombang dilakukan jika dikehendaki tegangan masukan motor besar namun arusnya kecil. Disamping itu, pada lilitan gelung jumlah cabang paralel lilitan jangkar $A = \text{jumlah kutub } P$, sedangkan pada lilitan gelombang, jumlah cabang paralel lilitan jangkar $A = 2$. Jika lilitannya majemuk, maka untuk lilitan gelung $A = mP$, pada lilitan gelombang $A = 2m$.

g. Besarnya GGL lawan

Besarnya ggl lawan pada lilitan jangkar dapat ditentukan berdasarkan rumus :

$$E_a = P \cdot (n/60) \cdot (Z/A) \text{ volt}$$

$$E_a = C_1 n \cdot \phi$$

Keterangan :

E_a = ggl lawan yang dibangkitkan oleh lilitan jangkar (volt)

P = Jumlah kutub

n = jumlah putaran rotor (rpm)

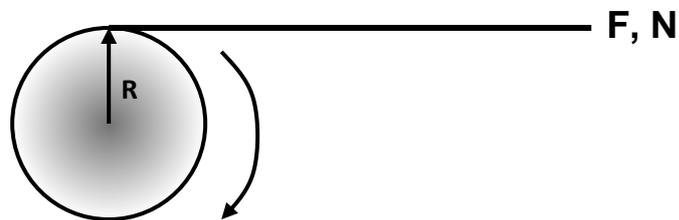
Z = Jumlah penghantar total lilitan jangkar

□ = Jumlah garis-garis gaya magnet tiap kutub (Weber)

A = Jumlah cabang paralel lilitan jangkar

h. Torsi Motor

Untuk mengetahui besarnya torsi yang dihasilkan oleh motor listrik arus searah dapat dilakukan analisis sebagai berikut



Gambar 24. Gaya yang Dihasilkan pada Sebuah Kumpan

Berdasarkan Gambar 24 di atas persamaan untuk Torsi adalah

$$T = F \times R \text{ Nm}$$

Terdapat suatu rumus :

Usaha = Gaya x Jarak

Jika jarak yang ditempuh merupakan suatu bentuk lingkaran seperti Gambar 24 di atas, maka :

$$\text{Usaha} = F \times 2\pi R \text{ Joule}$$

Misal poros berputar n putaran tiap detik, maka :

$$\text{Usaha/detik} = F \times 2\pi R \times n \text{ Joule/detik}$$

$$= F \times R \times 2\pi n \text{ Joule/detik}$$

$$= T \times \omega \text{ Joule/detik}$$

$$\text{Daya} = T \times \omega \text{ Watt}$$

Untuk n = jumlah putaran tiap menit, maka $\omega = (2\pi n/60)$

Dapat juga dituliskan bahwa :

$$T = P / (2\pi n/60) \text{ Nm}$$

Berdasarkan rumus di atas :

$$T_a = P_a / (2\pi n/60) \text{ Nm atau}$$

$$T_a = E_a \times I_a / (2\pi n/60) \text{ Nm}$$

$$T_a = P \left(\frac{n}{60} \right) (Z/A) I_a / (2\pi n/60) \text{ Nm}$$

$$T_a = C_2 \omega I_a$$

Lembar Kerja

Alat dan Bahan

1. Torsi meter	1 buah
2. Generator DC	1 buah
3. Motor DC	1 buah
4. Tacho generator	1 buah
5. Tahanan pengatur.....	1 buah
6. Ampere meter DC	1 buah
7. Saklar hubung	1 buah
8. Multi meter	1 buah
9. Unit catu daya	1 buah
10.Tahanan beban.....	1 buah
11.Kabel penghubung	secukupnya

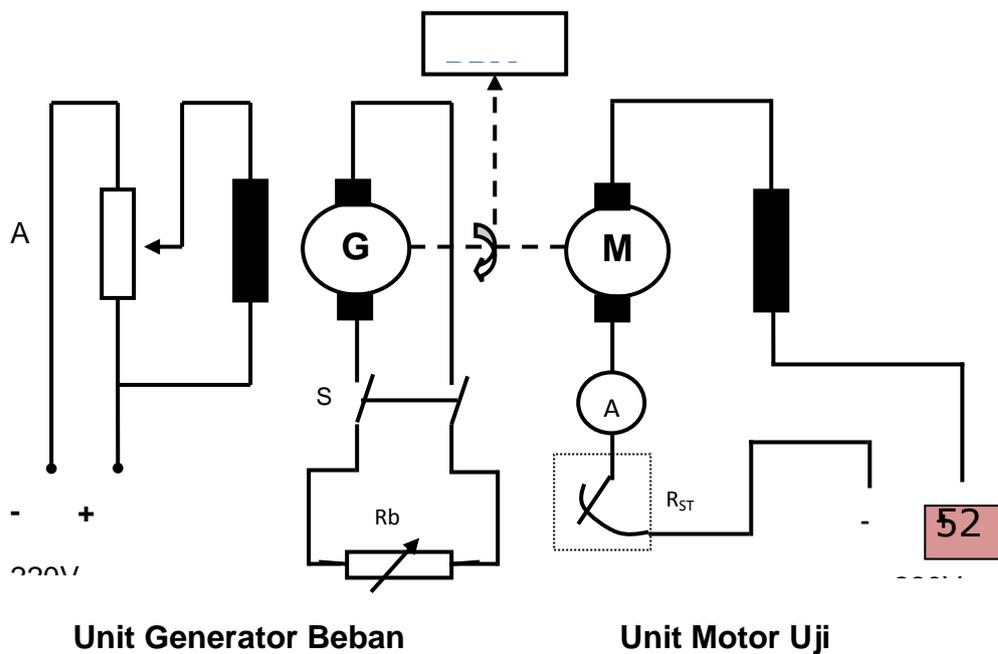
Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Gunakan pakaian praktik !
2. Bacalah dan pahami petunjuk praktikum pada setiap lembar kegiatan belajar !

3. Janganlah memberikan tegangan pada rangkaian melebihi batas yang ditentukan !
4. Hati-hati dalam melakukan praktik !

Langkah Kerja

1. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan untuk percobaan !
2. Periksalah alat dan bahan sebelum digunakan dan pastikan semua alat dan bahan dalam keadaan baik !
3. Rangkailah skemaseperti Gambar 25 di bawah ini, dengan catatan posisi saklar beban S langsung terhubung dengan beban R_b !



Gambar 25. Percobaan Motor Arus Searah Penguat Terpisah

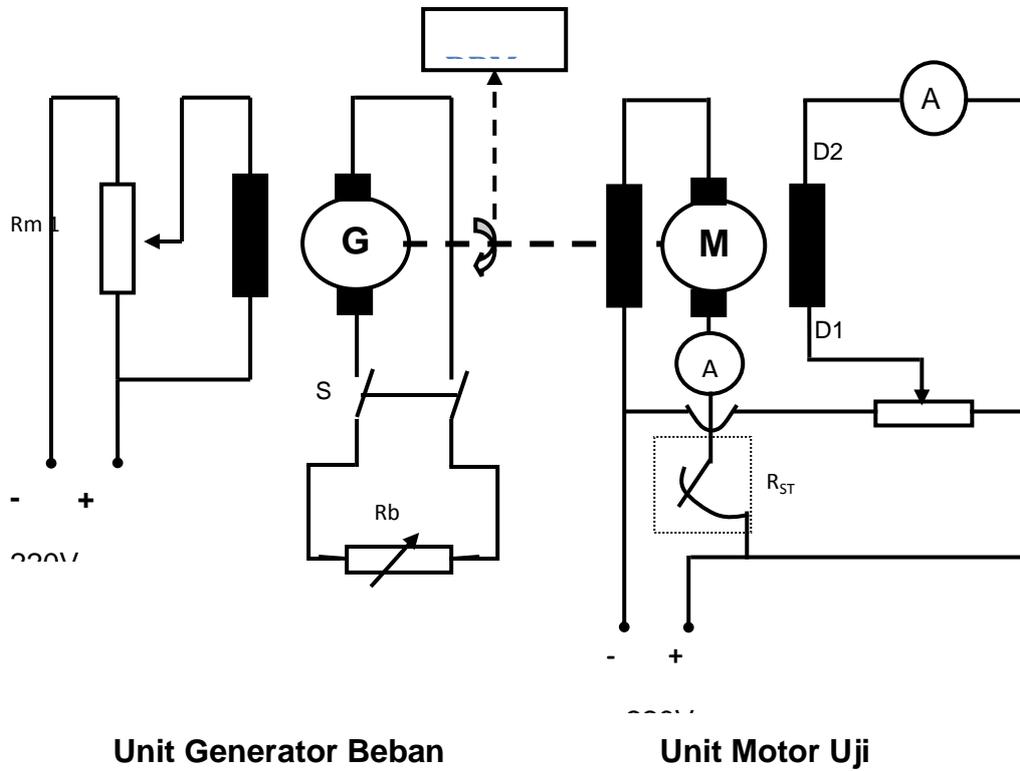
- 4 Tutuplah saklar tegangan tetap 220 V dan aturlah Rm1 pada posisi maksimum !
- 5 Pada saat posisi tahanan Rst maksimum (pada posisi stop) dan R1 pada posisi maksimum, tutuplah saklar tegangan variabel 0-220 V hingga mencapai 220 V. Usahakanlah tegangan ini selalu tetap selama percobaan !
- 6 Putarlah tahanan Rst kekanan hingga Rst 0, dan aturlah hingga diperoleh harga seperti Table 4 seperti berikut.

Tabel 4. Percobaan Motor Arus Searah Penguat Terpisah

Pengukuran			Perhitungan		
I_L (A)	n(rpm)	T(Nm)	P_L (W)	P_2 (W)	Efisiensi

8. Kembalikanlah RL ke posisi maksimum, dan tahanan Rst ke posisi semula, turunkanlah tegangan variabel 220 V ke nol serta turunkanlah juga Rm1 dan Rm2 ke posisi semula. Lanjutkanlah ke percobaan selanjutnya !

9 Rangkailah skema Gambar 26 berikut ini sebagai percobaan motor searah penguat seri !



Gambar 26. Percobaan Motor Arus Searah Penguat Seri

- 10 Tutuplah saklar tegangan tetap 220 V dc dan tegangan variabel dan, aturlah Rm1 dan Rm2 hingga arus penguat mencapai maksimum !
- 11 Dengan tahanan Rst pada posisi stop, tutuplah saklar variabel 0-220 V dc, aturlah tegangan variabel ini hingga mencapai 220 V (dan pertahankanlah tegangan ini selama percobaan berlangsung) !
- 12 Putarlah tahanan Rst ke kanan hingga Rst =0, dan aturlah kembali Rm2 hingga diperoleh putaran n=1400rpm !
- 13 Hubungkanlah saklar beban S dan aturlah R_L sehingga diperoleh harga I_a seperti pada Table 5, dan catatlah penunjukkan T, n, Ish dan pada setiap perubahan beban. Dengan interval 0,5 A, dari harga minimum hingga maksimum = 5 Amper !

Tabel 5. Percobaan Motor Arus Searah Penguat Seri

Perhitungan			Perhitungan		
I_a (A)	I_{sh} (A)	N(rpm)	P2(W)	P2(W)	Efisiensi
2,0					
2,5					
...					
5,0					

14 Lakukanlah seperti langkah 9, dengan tidak merubah rangkaian, berdasarkan Gambar 26 di atas, hubungkanlah lilitan seri pada terminal D1 dan D2 !

15 Setelah selesai seperti langkah 10 s/d 13 dan masukkanlah harga pengukurannya pada Table 6 !

Tabel 6. Percobaan Motor Arus Searah Penguat Seri

Perhitungan			Perhitungan		
I_a (A)	I_{sh} (A)	N(rpm)	P ₂ (W)	P ₂ (W)	Efisiens i
2,0					
2,5					
...					
5,0					

16 Lepaskanlah dan kembalikanlah semua alat dan bahan praktikum ketempat semula, kemudian buat kesimpulan dri kegiatan belajar ini!

Lembar Latihan

1. Apakah gaya Lorentz itu ?
2. Jika arus beban generator sebesar 4 ampere, rugi tembaga 32 watt, berapa rugi tembaganya jika arus beban 1 amper ?
3. Suatu motor shunt daya keluar = 6912 watt tegangan terminal = 240 volt tahanan jangkar dan tahanan medannya masing-masing adalah 0.5 ohm dan 120 ohm efisiensi 0.90 dan putaran = 600 rpm .
 - (a) Tentukan besarnya tahanan mula yang diperlukan jika dikehendaki arus jangkar yang mengalir pada saat start sama dengan arus beban penuhnya!
 - (b) Setelah motor berputar tahanan mula dihilangkan dan disisipkan tahanan yang dipasangkan seri dengan tahanan jangkar sebesar 2,5 ohm sedangkan arus medan dan jangkar tetap. Tentukan perputaran!
- 4 Motor shunt berputar 1000 rpm dengan menarik arus 25 ampere dari sumber. Jika tegangan sumber 250 volt dan tahanan jangkar dan tahanan medan berturut-turut 1 ohm dan 250 ohm. Hitunglah fluks/kutub, jangkar mempunyai 48 alur dengan 4 konduktor/alur yang dihubungkan gelung. Juga hitung efisiensi jika rugi-rugi besi, gesekan dan belitan adalah 800 watt !

Lembar Evaluasi

1. Jelaskan prinsip timbulnya gaya gerak listrik !
2. Apakah yang dimaksud dengan generator dan jelaskan prinsip kerjanya !
3. Jelaskan prinsip motor DC !
4. Sebutkan rugi-rugi dalam Mesin DC!
5. Sebutkan jenis-jenis Generator DC dan gambarkan skema rangkainannya !
6. Sebuah Generator DC Shunt memberi arus ke beban 450 ampere, dengan tegangan 230 V. Tahanan medan 50 ohm, tahanan jangkar 0.003 ohm. Hitung EMF yang dibangkitkan.
7. Sebuah Generator DC shunt, 25 kw, 250 volt, mempunyai tahanan jangkar dan medan berturut-turut 0.06 ohm dan 100 ohm. Hitunglah daya total jangkar yang dipakai apabila dijalankan :
 - a. Sebagai generator, memberikan keluaran 25 Kw !
 - b. Sebagai motor mengambil masukan 25 Kw !

Kriteria Kelulusan

No	Kriteria	Skor (1-10)	Bobot	Nilai	Keterangan
1	Aspek Kognitif		2		Syarat lulus : Nilai minimal 70
2	Kebenaran rangkaian		3		
3	Langkah kerja dan kecepatan kerja		2		
4	Perolehan data analisis data dan interpretasi		2		
5	Keselamatan Kerja		1		
NILAI AKHIR					

Kunci Jawaban Kemagnetan dan Timbulnya GGL

1. Apabila sebuah kumparan digerakkan digerakkan dalam suatu medan magnet dengan kerapatan fluks B , panjang konduktor l , serta kecepatan geraknya sebesar v , maka pada ujung-ujung / terminal kumparan akan timbul gaya gerak listrik.
2. Jadi jika kumparan yang panjangnya l dan berada dalam medan magnet berkerapatan fluks B , kemudian pada kedua terminal dihubungkan dengan suatu sumber tegangan V , maka kumparan tersebut akan bergerak dengan gaya sebesar F .

Kunci Jawaban Generator arus searah

1. Factor yang mempengaruhi besarnya ggl pembangkitan antara lain : kecepatan putar rotor, jumlah lilitan.
2. Komponen dari mesin listrik yang berfungsi untuk penyearahan.
3. belitan gelung jumlah kutub, sikat dan jalur parallel akan selalu sama, sedangkan dalam belitan gelombang selalu berjumlah sama.
4. Inti besi di buat laminasi.
5. Arus medan pada tegangan terminal 230 volt adalah 230/100 ampere

Arus jangkar = arus beban + arus medan

$$= 40 + 2.3$$

$$= 42.3 \text{ A}$$

Induksi ggl:

$$= V_T + \text{tegangan jatuh pada jangkar}$$

$$= 230 + 42.3 \times 0.15 + 2 \times 10$$

$$= 230 + 6.345 + 2.0$$

$$= 238.545$$

Arus yang mengalir pada konduktor:

$$= \text{ arus/kutub}$$

$$= 42.3/4 \text{ jika hubungan gelung untuk 4 kutub}$$

$$= 10.575 \text{ ampere}$$

6. Arus beban mesin pada keadaan beban penuh:

$$I_L = 25 \times 1000/500 = 50 \text{ ampere}$$

Arus medan shunt

$$I_f = 500/200 = 2.5 \text{ ampere}$$

$$\text{Arus jangkar} = 50 + 2.5 = 52.5 \text{ ampere}$$

$$\text{Ggl induksi} = 500 + 52.5 (0.03 + 0.04) + 2 \times 1$$

$$= 505.675 \text{ volt.}$$

Kunci Jawaban **Motor arus searah**

1. Gaya Lorentz adalah gaya yang timbul jika suatu kumparan yang diberi sumber tegangan berada pada daerah medan magnet.

2. 2 watt.

3. Pada beban penuh :

$$\text{Daya masuk} = 6912/0.90 = 7680 \text{ watt}$$

$$\text{arus total} = I_L = 7680/240 = 32 \text{ ampere}$$

$$\text{Arus medan} = I_f = 240/120 = 2 \text{ ampere}$$

$$\text{Arus jangkar} = 32 - 2 = 30 \text{ ampere}$$

(a) Pada keadaan start $n = 0$ dan $E_a = 0$

untuk motor shunt : $V_t = E_a + I_a (R_a + R_m)$ dan R_m = tahanan mula
maka:

$$(R_a + R_m) = V_t/I_a = 240/30 = 8 \text{ ohm}$$

$$\text{Jadi } R_m = 8 - 0.5 = 7.5 \text{ ohm}$$

(b) Pada keadaan beban penuh: $N_1 = 600 \text{ rpm}$

$$E_{a1} = V_t - I_a R_a = 240 - 30 \times 0.5 = 225 \text{ volt}$$

Bila kemudian dipasangkan tahanan seri sebesar 2.5 ohm, sedangkan arus medan dan arus jangkar tetap, maka

$$E_{a2} = 240 - 30 \times (0.5 + 2.5) = 150 \text{ volt}$$

4. Diketahui bahwa

$$E_a = V - I_a R_a = 250 - (I_L - I_f)1$$

Arus sumber = 25 ampere

Tahanan medan 250 ohm, sehingga:

$$I_f = 250/250 = 1 \text{ ampere}$$

$$E_a = 250 - 24 \times 1$$

$$= 226 \text{ volt}$$

$$E_a = \phi ZNP/4 \times 60$$

$$\phi = (226 \times 60)/48 \times 4 \times 1000 \text{ weber}$$

$$\phi = 0.0706 \text{ weber/kutub}$$

(karena merupakan belitan gelung, $P = A$)

daya masuk ke mesin = $250 \times 25 = 6250 \text{ watt}$

daya masuk ke jangkar = $226 \times 24 = 5424 \text{ watt}$

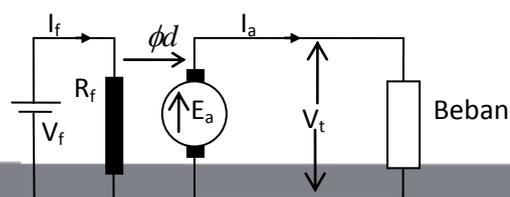
jika rugi-rugi gesekan, belitan, histeresis dan arus eddy sebesar 860 watt, maka daya keluar = $5424 - 800 = 4624 \text{ watt}$

sehingga efisiensi $\eta = 4625/6250 \times 100\%$

$$= 74\%$$

Kunci Jawaban Lembar Evaluasi

1. Bilamana suatu penghantar ditempatkan dalam suatu medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar itu terjadi suatu induksi dari gaya gerak listrik (ggl). Besarnya gaya gerak listrik ini tergantung dari kecepatan perubahan medan, dan besar atau kuatnya medan magnet.
2. Generator dc adalah suatu mesin yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus searah (dc). Generator arus searah bekerja berdasarkan prinsip hukum faraday yang membuktikan bahwa sebuah kumparan akan membangkitkan gaya gerak listrik induksi bila jumlah garis gaya yang dilingkupi oleh kumparan tersebut berubah-ubah.
3. Motor dc mesin yang mengubah daya masuk listrik arus searah (dc) menjadi daya keluar mekanik. Dengan membalik generator arus searah dimana sekarang tegangan V_t menjadi sumber dari tegangan jangkar E_a merupakan ggl lawan, mesin arus searah ini akan berlaku sebagai motor.
4. Rugi-rugi dalam mesin arus searah adalah:
 - a. Rugi besi yang terdiri atas rugi histeresis dan rugi arus eddy
 - b. Rugi listrik yang dikenal saebagai rugi tembaga ($I^2 R$)
 - c. Rugi mekanik yang terdiri atas rugi geser pasda sikat pada sumbu dan angin.
5. Berdasarkan cara memberikan fluks pada kumparan medannya, generator arus searah dapat dibedakan menjadi dua yaitu generator berpenguatan bebas dan generator berpenguatan sendiri. Generator berpenguatan sendiri

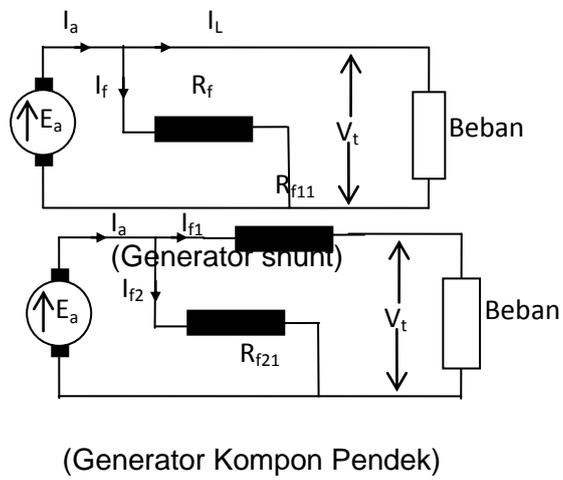
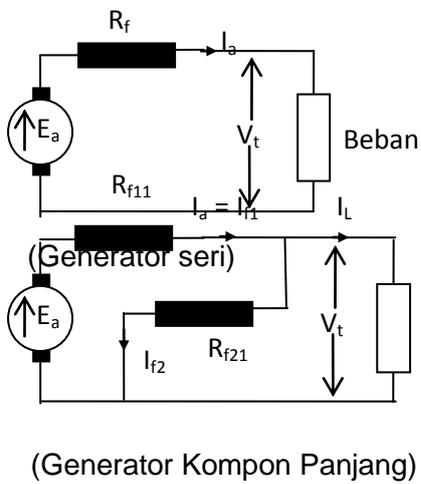


terdiri atas generator searah seri dan generator shunt serta generator kompon.

a. Generator Penguat Terpisah

Beban

b. Generator Penguat Sendiri



6. Diketahui : $R_f = 50 \text{ ohm}$

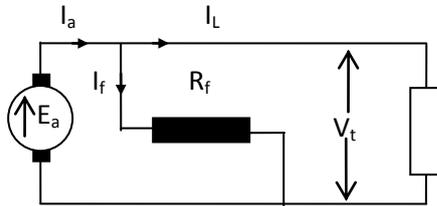
$R_a = 0.03 \text{ ohm}$

$V_t = 230 \text{ V}$

$$I_L = 450 \text{ A}$$

Ditanyakan: E_a (volt) ?

Penyelesaian:



$$I_a = I_L + I_f \quad I_f = \frac{230}{50} = 4.6 \text{ ampere}$$

$$I_a = 450 + 4.6 = 454.6 \text{ ampere}$$

$$E_a = V_t + I_a R_a$$

$$E_a = 230 + 455.6 \times 0.03 = 243.6 \text{ volt.}$$

Jadi total EMF yang dibangkitkan $E_a = 100 + 5.2 + 2 = 107.2 \text{ volt.}$

7. Diketahui : $R_f = 100 \text{ ohm}$

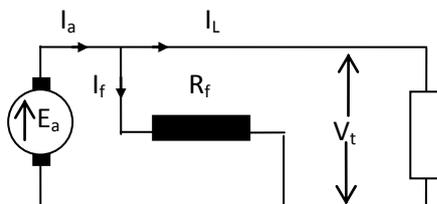
$$R_a = 0.06 \text{ ohm}$$

$$V_t = 250 \text{ V}$$

$$P = 25 \text{ kw}$$

Ditanyakan: P_a (kw) ?

Penyelesaian:



(a) Sebagai Generator

$$I_L = \frac{25000}{250} = 100 \text{ ampere}$$

$$I_a = I_L + I_f \quad I_f = \frac{250}{100} = 2.5 \text{ ampere}$$

$$I_a = 100 + 2.5 = 102.5 \text{ ampere}$$

EMF yang dibangkitkan

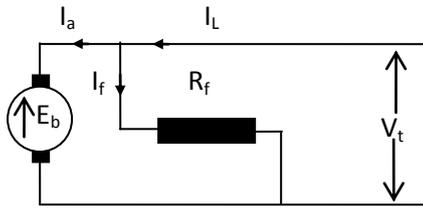
$$\begin{aligned} E_a &= V_t + I_a R_a \\ &= 250 + 102.5 \times 0.06 \\ &= 256.15 \text{ volt} \end{aligned}$$

Daya total yang dipakai dalam jangkar

$$\begin{aligned} P_a &= E_a I_a \text{ watt} \\ &= 256.15 \times 102.5 \\ &= 26255.375 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$= 26.25 \text{ kw}$$

(b) Sebagai Motor



Arus masukan motor (I_L)

$$I_L = \frac{25000}{250} = 100 \text{ ampere}$$

$$I_a = I_L - I_f \quad I_f = \frac{250}{100} = 2.5 \text{ ampere}$$

$$I_a = 100 - 2.5 = 97.5 \text{ ampere}$$

EMF yang dibangkitkan

$$\begin{aligned} E_b &= V_t - I_a R_a \\ &= 250 - 97.5 \times 0.06 \\ &= 244.15 \text{ volt} \end{aligned}$$

Daya total yang dipakai dalam jangkar

$$\begin{aligned} P_a &= E_b I_a \text{ watt} \\ &= 244.15 \times 97.5 \end{aligned}$$

= 23804.625 watt

= 23.8 kw

DASAR MESIN ARUS BOLAK BALIK

Bab



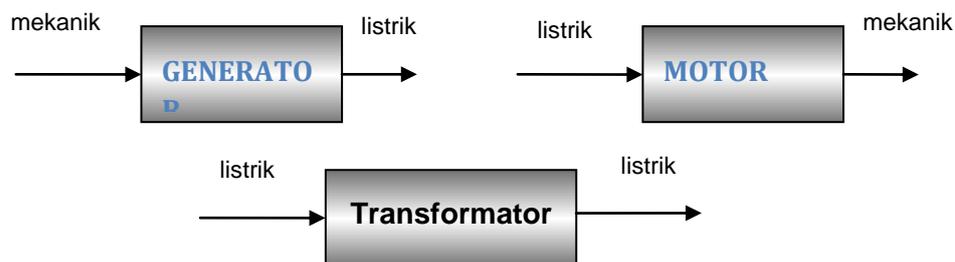
Lembar Informasi

konsep dasar mesin arus bolak-balik atau yang sering disebut mesin ac (*alternating current machines*). Mesin ac mempunyai kelebihan dibandingkan

mesin arus searah, karena konstruksinya lebih sederhana sehingga peralatannya lebih murah.

Mesin listrik ac merupakan peralatan yang bekerja berdasarkan sistem arus bolak-balik (ac) baik catu daya maupun keluarannya. Mesin listrik ac meliputi : generator ac, motor ac dan transformator. Generator ac atau alternator adalah mesin berputar yang membangkitkan listrik bolak-balik yang berbentuk sinusoida, atau mesin yang mempunyai masukan tenaga mekanik dan keluarannya listrik bolak-balik. Motor ac merupakan mesin listrik yang menghasilkan tenaga mekanik dengan masukan listrik bolak-balik. Transformator merupakan mesin listrik yang mengubah energi listrik dari satu tegangan ke tegangan lain yang berbeda (lebih tinggi atau lebih rendah) dalam sistem tenaga listrik bolak-balik.

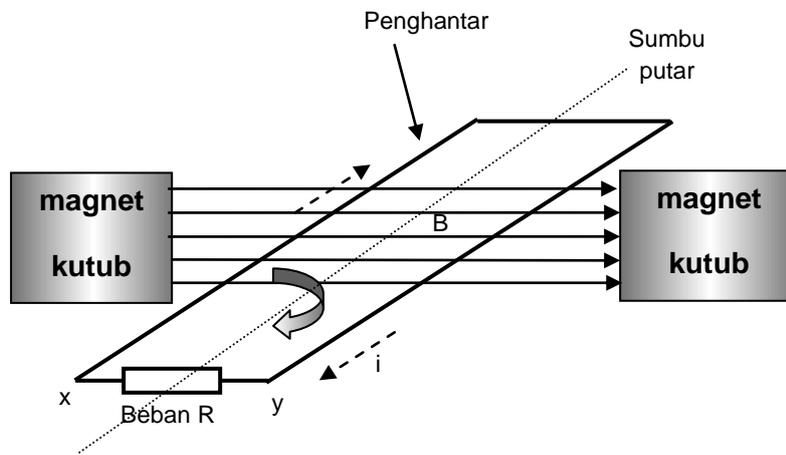
Hubungan masukan dan keluaran dari mesin-mesin listrik di atas dapat diperlihatkan dengan Gambar berikut :



Gambar 27. Konversi Energi dengan Mesin Listrik.

A. Prinsip Kerja Mesin Listrik

Adapun prinsip pembangkitan arus bolak-balik pada mesin listrik adalah sebagai berikut.



Gambar 28. Pembangkitan Arus Bolak Balik.

Jika penghantar (bila jumlahnya banyak disebut kumparan pada mesin listrik) diputar 180 derajat dalam medan magnet berkepadatan B , maka sesuai dengan hukum Faraday pada penghantar tersebut akan terinduksi tegangan listrik pada kedua terminal x-y dengan arah ggl (jika penghantar diberi beban akan mengalir arus seperti terlihat pada gambar) dari tegangan nol menuju titik maksimum kemudian kembali ke titik nol lagi. Ggl akan nol jika garis-garis gaya yang dilingkupi oleh penghantar tersebut adalah nol (saat posisi mendatar) serta ggl akan maksimum saat garis-garis gaya yang

dilingkupi oleh penghantar tersebut adalah maksimum (posisi penghantar tegak lurus terhadap garis-garis gayanya) yang diperlihatkan pada Gambar 2. Pada setengah putaran berikutnya arah arus akan berlawanan dengan arah arus semula tetapi besarnya tegangan dan arusnya sama.

Prinsip pembangkitan listrik bolak-balik ini yang menjadi dasar prinsip kerja pada generator arus searah. Sedangkan pada motor arus searah prinsip kerjanya berkebalikan dengan generator arus bolak-balik dimana arus listrik dicatukan pada penghantar sehingga pada penghantar timbul torsi yang akan memutar penghantar tersebut.

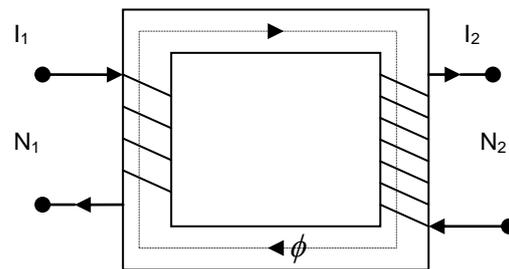
Lembar Latihan

1. Apa perbedaan generator arus searah dengan mesin arus bolak-balik berdasarkan keluaran yang dihasilkan ?
2. Apa perbedaan generator bolak balik dan motor bolak balik ?.
3. Bilamana tegangan generator 1 fasa bernilai nol dan maksimum ?

B. Transformator

Transformator merupakan peralatan elektromagnetik yang merubah energi listrik dari satu tingkat tegangan ke tingkat tegangan lain. Hal ini dilakukan dengan perantaraan suatu medan magnet. Transformator terdiri atas dua kumparan yang digulung pada satu inti feromagnet. Kumparan-kumparan itu pada umumnya tidak berhubungan secara elektrik, melainkan secara magnetik melalui suatu fluks magnet yang berada dalam inti feromagnet.

Kumparan yang berhubungan dengan sumber energi listrik disebut kumparan primer yang memiliki sejumlah N_1 belitan dan kumparan yang dihubungkan ke beban disebut kumparan sekunder sejumlah N_2 belitan, bila terdapat kumparan ketiga maka disebut kumparan tersier.



Gambar 29. Transformator dengan Dua Belitan N_1 Dan N_2

1. TRANSFORMATOR SATU FASA

Transformator satu fasa adalah transformator yang bekerja pada sistem satu fasa. Jika pada bagian primer dipasang tegangan bolak-balik, maka arus listrik akan mengalir pada kumparan tersebut. Arus menimbulkan fluksi bersama (mutual flux) sehingga terinduksi pada kumparan primer dan kumparan sekunder. Pada kumparan primer ggl sifatnya melawan tegangan yang dipasang sehingga juga disebut ggl lawan.

$$E_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad E_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt}$$

Jika fluksi yang mengalir sebesar $\phi(t) = \phi_m \sin \omega t$ maka

$$E_1 = N_1 \phi \omega_m \cos \omega t$$

$$E_1(\text{rms}) = 4,44 N_1 f \phi_{maks} \quad (1)$$

$$E_2(\text{rms}) = 4,44 N_2 f \phi_{maks} \quad (2)$$

2. Perbandingan Transformasi Tegangan (K)

Dari persamaan 1 dan 2 dapat dituliskan hubungan tegangan primer dan sekunder:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = K$$

Bilangan tetap K ini disebut dengan perbandingan transformasi tegangan. Jika $N_1 > N_2$ maka $K > 1$ sehingga transformator tersebut dinamakan transformator

Step-Up,. Jika $N_1 < N_2$ maka $K < 1$ sehingga transformator tersebut dinamakan transformator Step-Down, yang berfungsi untuk menurunkan tegangan.

Untuk transformator ideal,

Masukan = keluaran

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

atau :

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{K}$$

Jadi, perbandingan arus berbanding terbalik dengan perbandingan transformator.

3. Rugi dan Efisiensi Transformator.

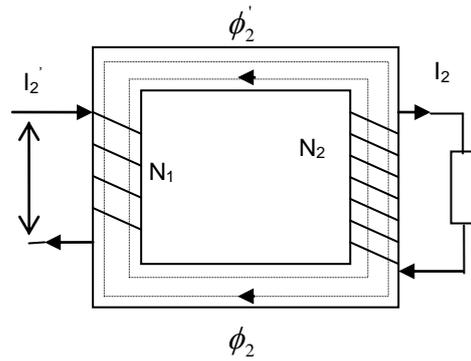
Dalam keadaan berbeban fluksi neto yang lewat melalui inti hampir saja pada keadaan tak berbeban dan perlu diingat bahwa fluks untuk berbagai beban adalah sama.

Jadi:

$$\phi_2 = \phi_2'$$

$$N_2 I_2 = N_1 I_2'$$

$$I_2' = \frac{N_2}{N_1} \times I_2 = KI_2$$



Gambar 30. Transformator dengan Beban

I_2' berlawanan arah dengan I_2 .

I_2 arus induksi yang pada sekunder berimpit dengan E_2 , I_2' arus induksi yang akan timbul kembali pada primer berimpit dengan V_1 . Dan kalau I_2 lagging atau leading terhadap E_2 , maka I_2' juga terbelakang atau leading terhadap V_1 .

Jumlah arus yang bekerja pada primer adalah $I_1 = I_2' + I_0$.

Rugi-rugi dalam transformator:

- (1) Rugi inti atau besi:
- (2) Rugi tembaga (Cu)

Rugi adalah diakibatkan oleh tahanan "ohmic" dari belitan trafo.

$$\text{Rugi Cu total} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = I_1^2 R_{01}$$

(R_{01} = total tahanan ekuivalen trafo diukur dari sisi primer)

$$= I_2^2 R_{02} \text{ (} R_{02} \text{ = total tahanan ekuivalen trafo dari sisi skunder)}$$

Rugi ini dapat diperoleh dari test hubung singkat.

Efisiensi transformator:

$$\text{Efisiensi: } \eta = \frac{\text{keluaran}}{\text{masukan}}$$

Efisiensi dapat diperoleh dengan pengukuran pada ujung keluaran transformator:

$$\eta = \frac{\text{keluaran}}{\text{keluaran} + \text{rugi} - \text{rugi}}$$

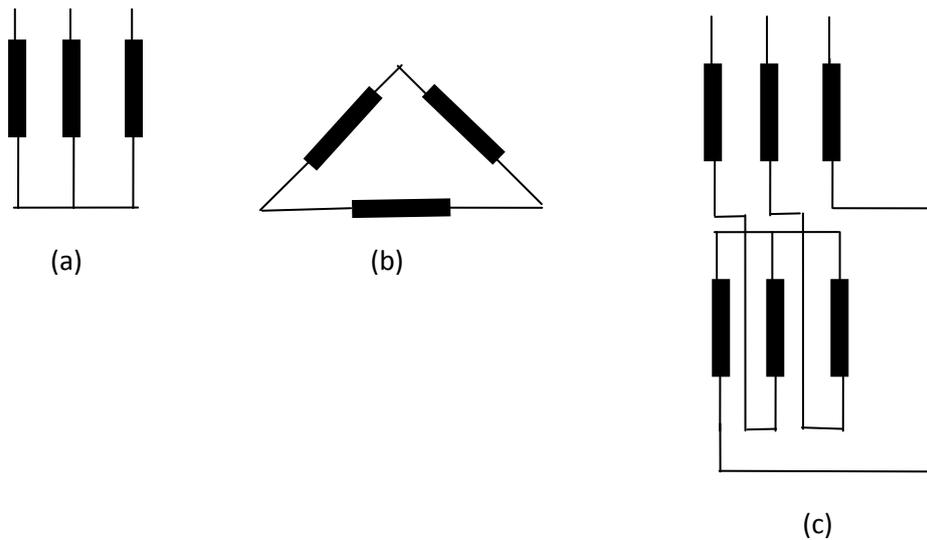
$$\eta = \frac{\text{keluaran}}{\text{keluaran} + \text{rugiCu} + \text{rugi}_{\text{besi}}}$$

Keluaran, masukan dari rugi-rugi dinyatakan dalam watt, kw dan satuan daya yang lainnya. Perlu diingat bahwa dalam penggunaan rumus-rumus diatas satuan masukan atau keluaran dan rugi rugi harus sama.

4. TRANSFORMATOR TIGA FASA

Transformator tiga fasa merupakan transformator yang berfasa tiga, dan dengan sendirinya memerlukan tiga kumparan dalam satu inti, yang masing masing dihubungkan dengan suatu cara tertentu. Transformator tiga fasa juga

dapat disusun dari tiga buah trafo satu fasa yang dirangkai menurut hubungan tertentu. Pada umumnya dikenal cara menghubungkan kumparan kumparan itu yaitu dalam hubungan bintang, segitiga atau delta, dan zig-zag.



Gambar 31. Rangkaian Transformator Tiga Fasa (a) Hubungan Bintang
(b) Hubungan Delta (c) Hubungan Zig-Zag

Lembar kerja

Alat dan Bahan

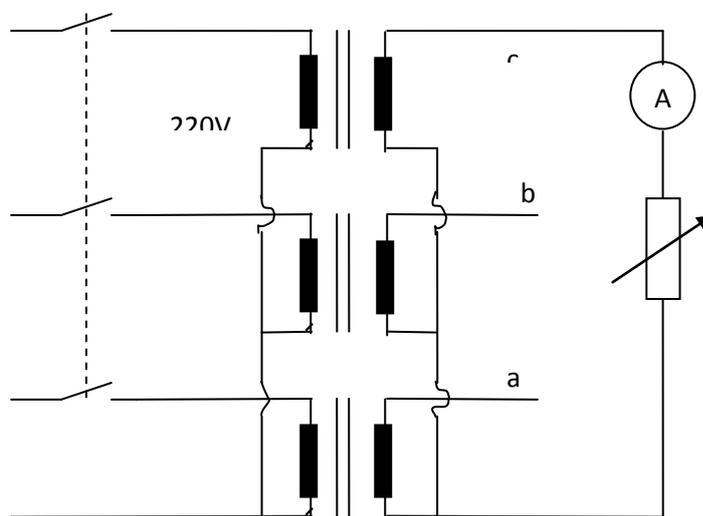
- | | |
|---|------------|
| 1. Transformator 1 phasa 1 KVA 220/110..... | 3 buah |
| 2. Transformator 3 phasa 2 KVA 220/127..... | 1 buah |
| 3. Multimeter..... | 2 buah |
| 4. Ampere meter besi putar..... | 3 buah |
| 5. Saklar 3 phasa..... | 1 buah |
| 6. Power pack..... | 1 buah |
| 7. Watt meter..... | 2 buah |
| 8. Kabel penghubung..... | secukupnya |

Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Gunakan pakaian praktik !
2. Bacalah dan pahami petunjuk praktikum pada setiap lembar kegiatan belajar !
3. Janganlah memberikan tegangan pada rangkaian melebihi batas yang ditentukan !
4. Hati-hati dalam melakukan praktik !

Langkah Kerja

1. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan untuk percobaan !
2. Periksalah alat dan bahan sebelum digunakan dan pastikan semua alat dan bahan dalam keadaan baik !
3. Gambarkanlah dan berilah kode (tanda) transformator 3 phasa yang saudara rangkai (3 buah transformator 1 phasa) !
4. Rangkailah skema Gambar 6 di bawah ini !
5. Setelah disetujui oleh instruktur, tutuplah saklar S dan aturlah R hingga $I = 5$ A, bacalah dan catatlah $V_{cn} = \dots\dots$; $V_{an} = \dots\dots$ dan $V_{bn} = \dots\dots$!
6. Bukalah saklar S dan lakukanlah percobaan berikutnya dengan menggunakan transformator 3 phasa 1 inti. Setelah disetujui oleh instruktur, tutuplah saklar S dan aturlah R hingga $I = 5$ A, bacalah dan catatlah $V_{cn} = \dots\dots$; $V_{an} = \dots\dots$ dan $V_{bn} = \dots\dots$!
7. Lepaskanlah dan kembalikanlah semua alat dan bahan praktikum ketempat semula !



83

Gambar 32. Percobaan Transformator.

Lembar latihan

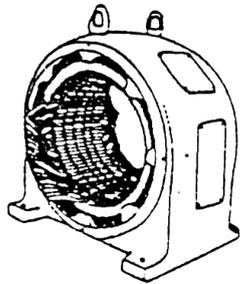
1. Jika sisi primer trafo diberi tegangan searah apakah di sisi sekundernya terinduksi ggl?
Mengapa demikian?
2. Panas yang timbul pada inti trafo termasuk rugi apa?
3. Jika kita mempunyai trafo satu fasa tiga buah apakah dapat di buat trafo tiga fasa?
Bagaimana caranya ?
4. Sekunder dari 500 KVA, 4400/500 V sebuah transformator mempunyai 100 lilitan. Tentukanlah jumlah belitan primer, EMF per lilitan, arus sekunder pada $pf = 1$.

C. Mesin Induksi

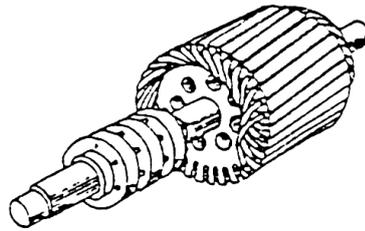
1. Motor Induksi

Pada lembar kegiatan belajar 3 ini, akan dipelajari dan dilakukan percobaan/praktikum pengoperasian motor induksi 3 fasa untuk jenis rotor sangkar. Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator.

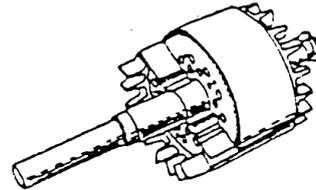
Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron ($n_s = 120f/2p$). Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan hukum Lenz. Rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor, yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi, bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Dikenal dua tipe motor induksi (lihat Gambar 7) yaitu motor induksi dengan rotor belitan dan motor induksi dengan rotor sangkar.



Kumparan Stator



Rotor Belitan



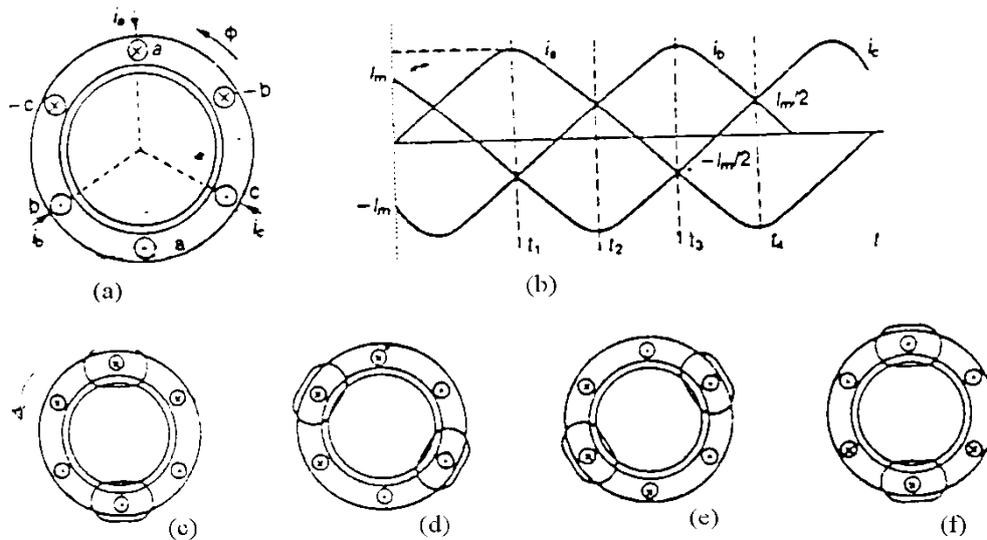
Rotor Sangkar

Gambar 33. Dua Tipe Motor Induksi Rotor Sangkar dan Rotor Belitan.

2. Medan Putar

Perputaran motor pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan pada kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam fasa banyak, umumnya fasa 3. Hubungan dapat berupa hubungan bintang atau delta.

Disini akan dijelaskan bagaimana terjadinya medan putar itu. Perhatikanlah Gambar di bawah ini.



Gambar 34. Prinsip Terjadinya Medan Putar Pada Motor Induksi.

Misalnya kumparan a-a; b-b; c-c dihubungkan 3 fasa, dengan beda fasa masing masing 120° (Gambar 8.a) dan dialiri arus sinusoid. Distribusi i_a , i_b , i_c , sebagai fungsi waktu adalah seperti Gambar 8.b. Pada keadaan t_1 , t_2 , t_3 dan t_4 , fluks resultan yang dihubungkan oleh kumparan tersebut masing masing adalah seperti Gambar 8.c, d, e, dan f. Pada t_1 fluks resultan mempunyai arah samadengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan a-a; sedangkan pada t_2 , fluks resultannya dihasilkan oleh kumparan b-b. Untuk t_4 fluks resultannya berlawanan arah dengan fluks resultan yang dihasilkan pada saat t_1 . (Keterangan ini akan lebih jelas pada tinjauan vektor). Dari Gambar 8.c, d, e dan f tersebut terlihat bahwa fluks resultan ini akan berputar satu kali. Oleh karena itu, untuk mesin berjumlah kutub lebih dari 4, kecepatan sinkron dapat diturunkan sebagai berikut:

$$N_s = 120f/p$$

f = frekuensi

p = jumlah kutub

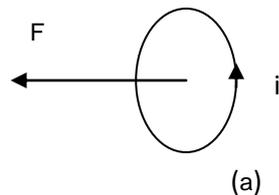
3. Tinjauan Vektor

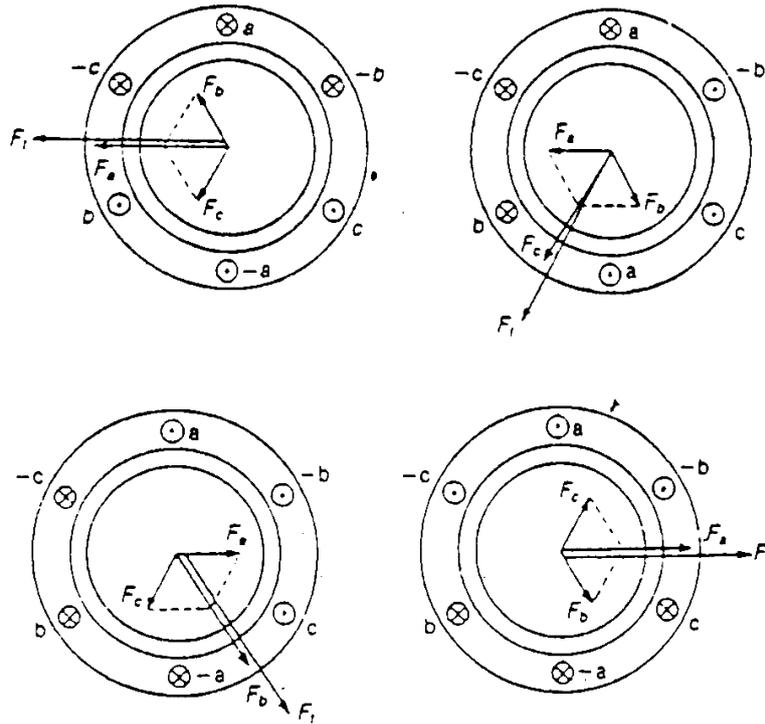
Analisis secara vektor didapatkan atas dasar:

- (1) Arah fluks yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir dalam suatu lingkaran sesuai dengan perputaran sekrup (Gambar 9.a).
- (2) Besarnya fluks yang ditimbulkan ini sebanding dengan arus yang mengalir.

Notasi yang dipakai untuk menyatakan positif dan negatifnya arus yang mengalir pada kumparan a-a, b-b, c-c yaitu: untuk harga positif, dinyatakan apabila tanda silang (x) terletak pada pangkal konduktor tersebut (titik a, b, c). Sedangkan negative apabila ada tanda titik (.) terletak pada pangkal konduktor tersebut (Gambar 9.b). Maka diagram vektor untuk fluks total pada keadaan t_1, t_2, t_3, t_4 dapat dilihat pada Gambar 9.b.

Dari semua diagram vektor diatas dapat dilihat bahwa fluks resultan berjalan (berputar).





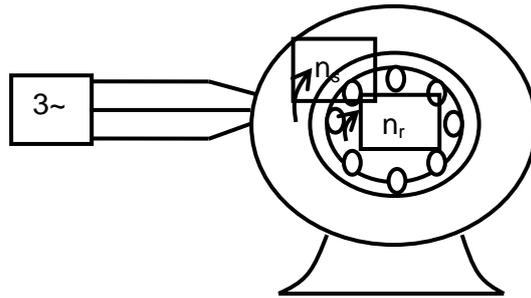
(b)

Gambar 35. Vektor Arah Fluks dalam Kumputan Stator.

4. Prinsip Kerja Motor Induksi

Adapun prinsip kerja motor induksi sebagai berikut :

1. Apabila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumputan stator akan timbul medan putar dengan kecepatan $n_s = 120 f/p$.
2. Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor.



Gambar 36. Motor Induksi Disuplai Arus 3 Fasa.

3. Akibatnya pada kumparan rotor timbul tegangan induksi (ggl) sebesar:

$$E_{2s} = 4,44 f_2 N_2 \phi_m \quad (\text{untuk satu fasa}).$$

E_{2s} adalah tegangan induksi pada saat rotor berputar.

4. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka ggl (E) akan menghasilkan arus (I).
5. Adanya arus (I) di dalam medan magnet menimbulkan gaya magnet (F) pada rotor.
6. Bila kopel mula dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor yang cukup besar untuk memikul kopel beban rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Seperti telah dijelaskan pada (3) tegangan induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar

tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan relative antara kecepatan medan putar stator n_s dengan kecepatan berputar roto n_r .

8. Perbedaan antara n_s dan n_r disebut slip (S) dinyatakan dengan:

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

9. Bila $n_s = n_r$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s .
10. Dilihat dari kerjanya motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.

5. Slip

Berubah-ubahnya kecepatan motor induksi (n_r) mengakibatkan berubahnya harga slip dari 100% pada saat start sampai 0% pada saat motor diam ($n_r = n_s$) hubungan frekuensi dengan slip dapat dilihat sebagai berikut:

Bila f_1 = frekuensi jala jala.

$$n_s = 120 f_1/p \text{ atau } f_1 = pn_s/120$$

pada rotor berlaku hubungan :

$$f_2 = \frac{p(n_s - n_r)}{120}$$

f_2 = frekuensi arus rotor

atau

$$f_2 = \frac{pn_s}{120} \times \frac{(n_s - n_r)}{n_s}$$

karena

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \text{ dan } f_1 = \frac{pn_s}{120}$$

maka

$$f_2 = f_1 \times S$$

pada saat start: $S = 100\%$; $f_2 = f_1$

Demikianlah terlihat bahwa pada saat start dan rotor belum berputar, frekuensi pada stator dan rotor sama. Dalam keadaan rotor berputar frekuensi arus motor dipengaruhi oleh slip ($f_2 = sf_1$). Karena tegangan induksi dan reaktansi kuparan rotor merupakan fungsi frekuensi maka harganya turut pula dipengaruhi oleh slip .

$$E_{2s} = 4,44 f_2 N_2 \phi_m$$

$$E_2 = 4,44 f_1 N_2 \phi_m$$

$$E_{2s} = S E_2$$

dengan

E_2 = tegangan induksi pada saat star (diam)

E_{2s} = tegangan induksi pada saat motor berputar.

6. Daya Motor Induksi

Daya yang masuk pada stator dapat dihitung dengan rumus:

$$P_1 = 3 V_1 I_1 \cos \phi$$

$\cos \phi$ = faktor daya

Daya keluar rotor (daya mekanik pada rotor termasuk rugi geser dan angin)

$$P_m = 3 (I_2')^2 R_2 \left(\frac{1-S}{S} \right)$$

dimana I_2' = arus motor pada saat mula.

Rugi tembaga rotor:

$$P_{cu} = 3 (I_2')^2 R_2$$

Jadi:

$$P_2 : P_m : P_{cu} = 1 : (1-S) : S$$

Dengan demikian diperoleh cara menghitung yang lebih cepat. Daya keluar rotor dapat juga diperoleh dari daya masuk rotor dikurangi rugi tembaga rotor

$$(P_m = P_2 - P_{cu}).$$

7. Generator Induksi

Dengan menghubungkan sumber tegangan tiga fasa pada kumparan stator dihasilkan medan putar. Penggerak utama dipakai untuk memutar rotor serah dengan arah medan putar. Bila slip dibuat negative atau dengan kata lain kecepatan berputar rotor lebih besar dari pada kecepatan medan putar, maka mesin akan berfungsi sebagai generator dan energi listrik akan dikembalikan pada sitem jala-jala. Generator induksi jarang dipakai sebagai pembangkit tenaga listrik penggunaanya yang penting adalah sebagai pengereman regeneratif. Untuk pemakaian motor induksi, yang pada saat tertentu melebihi kecepatan sinkronya, maka secara otomatis motor akan bekerja sebagai generator dan berlangsunglah proses pengereman.

Lembar Kerja

Alat dan Bahan.

- | | |
|---|---------|
| 1. Torsimeter | 1 buah |
| 2. Motor induksi 3 fasa rotor sangkar | 1 buah. |
| 3. Tachogenerator | 1 buah. |
| 4. Tahanan awal | 1 buah. |
| 5. Tahanan beban | 1 buah. |
| 6. Multimeter..... | 1buah |
| 7. Trafo arus 50:5 | 1 buah |
| 8. Ampermeter ac 0-1,2-6 A | 1 buah |

- 9. Wattmeter AC 240 V..... 1 buah
- 10. Saklar Y/ Δ 1 buah
- 11. Saklar beban 1 buah
- 12. Kabel penghubung secukupnya

Kesehatan dan Keselamatan Kerja

5. Gunakan pakaian praktik !
6. Bacalah dan pahami petunjuk praktikum pada setiap lembar kegiatan belajar !
7. Janganlah memberikan tegangan pada rangkaian melebihi batas yang ditentukan !
8. Hati-hati dalam melakukan praktik !

Langkah Kerja

4. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan untuk percobaan !
5. Periksalah alat dan bahan sebelum digunakan dan pastikan semua alat dan bahan dalam keadaan baik !
6. Rangkailah skema seperti Gambar 11, saklar beban S dalam keadaan terbuka. Hambatan asut R_v pada posisi hubung singkat dan saklar Y/Δ pada posisi Y !
7. Periksakanlah rangkaian yang telah dirangkai kepada instruktur untuk mendapat persetujuan !
8. Setelah disetujui, tutuplah saklar tegangan variable AC 3 fasa dan ukurlah tegangannya hingga $V = 220$ V fasa tiga (usahakanlah selalu tetap selama percobaan berlangsung) !
9. Dalam keadaan demikian amatilah : $V = \dots\dots$ volt, $I = \dots\dots$ amper, dan $P = \dots\dots$ Watt !

10. Pindahkanlah saklar Y/ Δ dari Y ke Δ kemudian catatlah $V = \dots\dots$ volt, $I = \dots\dots$ amper, dan $P = \dots\dots$ Watt !

11. Kembalikanlah saklar Y/ Δ ke Y, hubungkanlah unit motor 3 fasa dengan unit torsi meter serta amatilah rpm-nya untuk posisi Y maupun Δ !

Rpm Y = ; Rpm Δ =

12. Tutuplah saklar tegangan beban dan aturlah R, hingga I_m maksimum (motor dalam hubungan segitiga) !

13. Tutuplah saklar tegangan beban S dan aturlah R beban hingga diperoleh torsi motor dari 2 s.d 12 Nm, kemudian catatlah hasilnya dalam Tabel 7 !

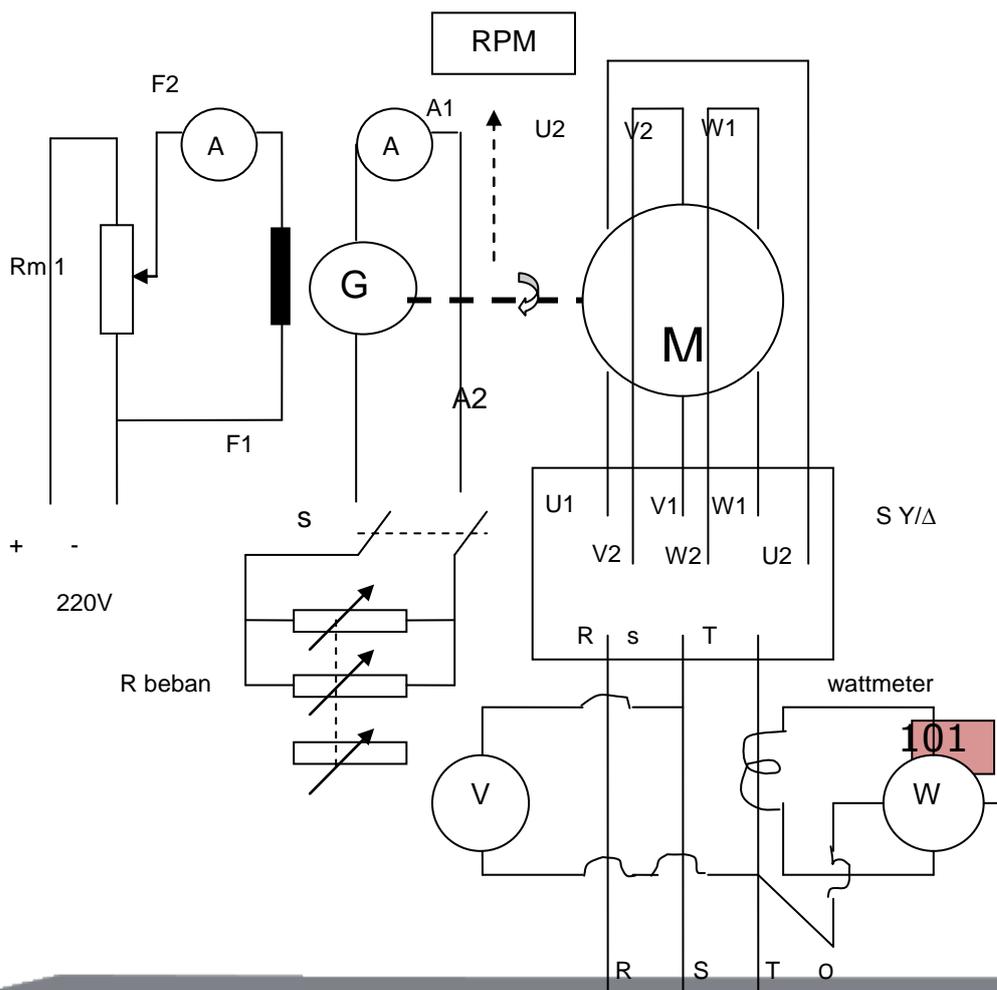
Tabel 7. Percobaan Motor Induksi 3 Fasa Rotor Sangkar.

Harga pengukuran				Harga perhitungan				
T (Nm)	I (A)	N (rpm)	P (watt)	I-L (A)	P (watt)	N (rpm)	Cos ϕ %	Slip %
2								
3								
4								
5								
6								

7								
8								
9								
10								
11								
12								

Lembar Latihan

1. Mengapa mesin induksi disebut juga mesin tak sinkron ?
2. Apakah slip itu ?
3. Berapa kecepatan putar medan stator jika kutub mesin 4, frekuensi yang digunakan 50 Hz ?
4. Bagaimana agar motor induksi dapat bekerja sebagai generator induksi ?



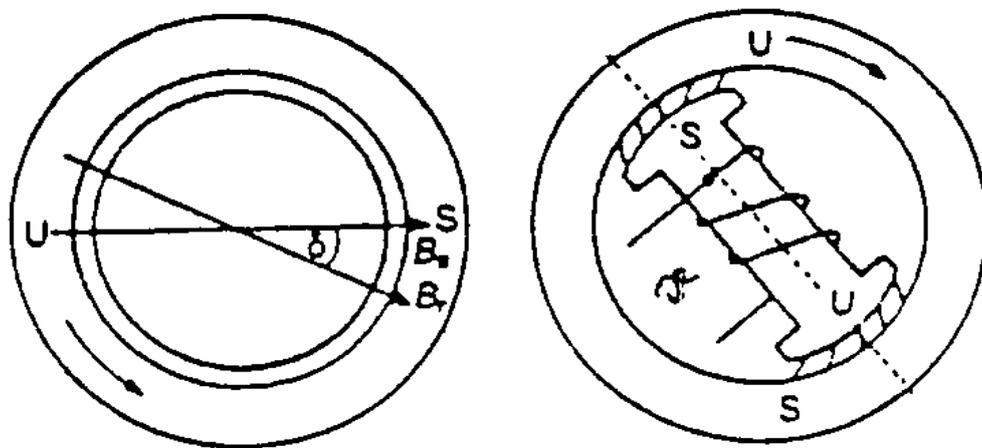
Gambar 37. Percobaan Motor Induksi 3 Fasa Rotor Sangkar

D. Mesin Sinkron

Mesin sinkron mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor, Kumparan jangkarnya berbentuk sama dengan mesin induksi sedangkan kumparan pada medan mesin sinkron dapat berbentuk kutub sepatu (*salient*) atau kutub dengan celah udara sama rata (rotor silinder). Arus searah untuk menghasilkan fluks pada kumparan medan dialirkan ke rotor melalui cincin.

Prinsip kerja dari mesin sinkron yaitu apabila kumparan jangkar dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa akan menimbulkan medan putar pada stator. Kutub medan rotor yang diberi penguat arus searah mendapat tarikan dari kutub medan putar stator hingga turut berputar dengan kecepatan yang sama (*sinkron*). Dilihat dari segi adanya interaksi dua dari medan magnet, maka kopel yang dihasilkan motor sinkron merupakan fungsi sudut kopelnya (δ).

$$T = B_r B_s \sin \delta$$



Gambar 38. Skema Mesin Sinkron.

1. Alternator Berbeban dan tidak berbeban.

Dengan memutar alternator pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan I_f , tegangan E_0 akan tertinduksi pada kumparan jangkar stator, dimana :

$$E_0 = cn\phi$$

c = konstanta mesin

n = putaran sinkron

ϕ = fluks yang dihasilkan oleh I_f

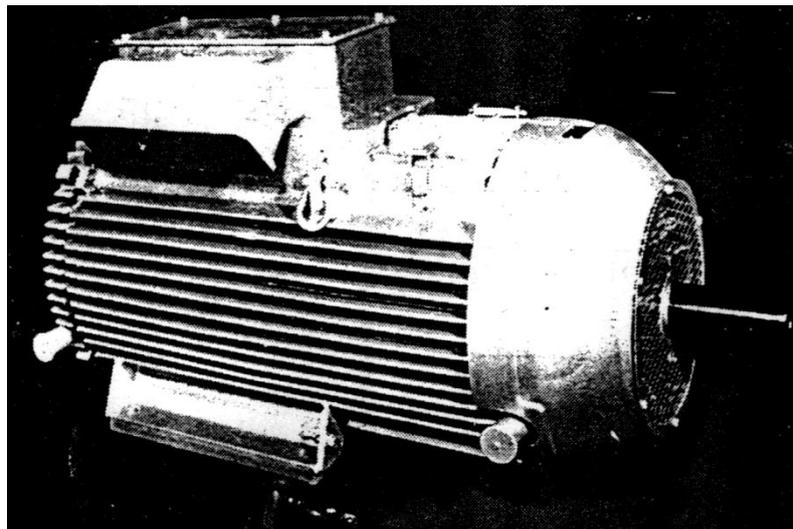
Dalam keadaan berbeban arus jangkar akan mengalir dan mengakibatkan terjadinya reaksi jangkar. Reaksi jangkar bersifat reaktif karena itu dinyatakan sebagai reaktansi dan disebut reaktansi pemagnet (X_m). Reaktansi pemagnet ini bersama-sama dengan reaktansi fluks bocor (X_s) dikenal sebagai reaktansi sinkron (X_s).

$$X_s = X_m + X_a$$

2. Motor Sinkron

Telah diketahui bahwa pada motor induksi tidak terdapat kumparan medan sehingga sumber pembangkit fluks hanya diperoleh dari daya masuk stator. Daya masuk untuk pembangkit fluks merupakan daya induktif oleh karenanya motor induksi bekerja pada factor kerja terbelakang. Sedangkan pada motor sinkron terdapat dua sumber pembangkit fluks yaitu arus bolak balik (AC) pada stator dan

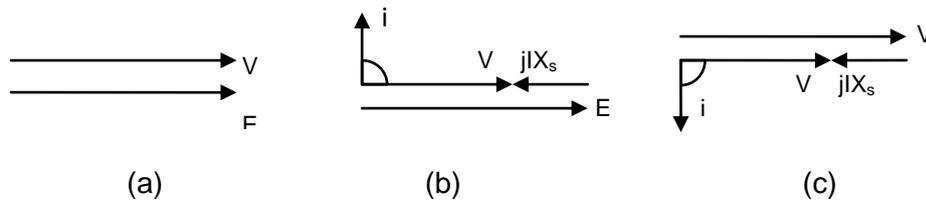
searah (DC) pada rotor. Bila arus medan pada rotor cukup untuk membangkitkan fluks yang diperlukan motor maka stator tidak perlu memberikan arus pemagnetan atau daya reaktif dan motor bekerja pada faktor kerja =1.0. Kalau arus medan pada rotor kurang (penguat berkurang) stator akan menarik arus pemagnetan dari jala-jala sehingga motor bekerja pada faktor kerja terbelakang. Sebaliknya bila arus medan pada rotor berlebih (penguat berlebih), kelebihan fluks ini harus diimbangi dan stator akan menarik arus yang bersifat kapasitif dari jala-jala dan karenanya motor bekerja pada faktor kerja terdahulu. Dengan demikian jelas bahwa faktor kerja motor sinkron dapat diatur dengan mengubah-ubah harga arus medan (I_f).



Gambar 39. Sebuah Motor AC Serempak.

3. Daya Reaktif

Motor sinkron tanpa beban dalam penguatan tertentu dapat menimbulkan daya reaktif. Perhatikan diagram motor sinkron tanpa beban seperti terlihat Gambar ini.



Gambar 40. Diagram Motor Sinkron Tanpa Beban

Pada Gambar 40.a penguatan normal sehingga $V = E$ motor dalam keadaan mengambang karena tidak memberikan ataupun menarik arus. V berimpit dengan E karena dalam keadaan tanpa beban sudut daya $\delta = 0$ pada Gambar 40.b, penguatan berlebih sehingga $E > V$. Arus kapasitif (*leading current*) ditarik dari jala-jala. Daya aktif $P = VI \cos \phi = 0$. Jadi motor berfungsi sebagai pembangkit daya reaktif yang bersifat kapasitif (kapasitor). Pada Gambar 40.c penguatan berkurang sehingga $E < V$. Arus magnetisasi ditarik dari jala-jala. Jadi, motor berfungsi sebagai pembangkit daya reaktif yang bersifat induktif.

4. Daya dan Kopel Motor

Komponen nyata dari arus I diatas adalah $E/X_s \sin \delta$. Komponen nyata dari suatu arus dapat juga ditulis dengan $I \cos \phi$. Oleh karena itu bila daya $P = VI \cos \phi$ dan $I \cos \phi = E/X_s \sin \delta$ maka:

$$P = \frac{VE}{X_s} \sin \delta$$

dan

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{VE}{\omega X_s} \sin \delta$$

Terlihat bahwa harga kopel (T) merupakan fungsi $\sin \delta$, sehingga akan mencapai harga maksimum pada saat $\delta = 90^\circ$. Perubahan sudut daya δ untuk setiap penambahan beban dapat terlihat apabila rotor disinari dengan cahaya *stroboskopik*.

Lembar Kerja

Alat dan Bahan

1. Torsimeter	1 buah
2. Alternator 1,2 Kw, 1500 rpm	1 buah
3. Unit penggerak mula (motor arus searah)	1 buah
4. Rheostart.....	1 buah
5. Sinkronoskop.....	1 buah
6. Tachometer	1 buah
7. Beban Resistor, Induktor, dan Kapasitor	1 buah
8. Volt meter AC	1 buah
9. Ampere meter DC.....	1 buah
10. Ampere meter AC.....	1 buah
11. Watt meter 1 A/240 V	1 buah

12. Cos ϕ meter.....	1 buah
13. Saklar beban DPDT.....	1 buah
14. Unit catu daya.....	1 unit
15. Kabel penghubung	secukupnya

Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Gunakan pakaian praktik !
2. Bacalah dan pahami petunjuk praktikum pada setiap lembar kegiatan belajar !
3. Janganlah memberikan tegangan pada rangkaian melebihi batas yang ditentukan !
4. Hati-hati dalam melakukan praktik !

Langkah Kerja

1. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan untuk percobaan !
2. Periksalah alat dan bahan sebelum digunakan dan pastikan semua alat dan bahan dalam keadaan baik !
3. Rangkailah skema Gambar 15, saklar beban (S) dalam keadaan terbuka, dan batas ukur masing-masing alat ukur seperti tertera pada gambar, dan $I_m = 0$!

4. Periksakanlah rangkaian yang telah dirangkai kepada instruktur untuk mendapatkan persetujuan !
5. Jika telah disetujui, tutuplah saklar tegangan tetap pada unit catu daya, aturlah rheostat pada unit beban motor hingga arus pada lilitan penguat magnet = 0,5 A !
6. Tutuplah saklar tegangan variabel pada unit catu daya dan atur tegangannya hingga 220 V, dan aturlah kembali arus penguat magnet sehingga diperoleh putaran motor penggerak = 1500 rpm (putaran harus selalau konstan selama percobaan berlangsung) !
7. Aturlah I_{m1} dengan memutar R_{m1} dari nol hingga harga tertentu dengan interval 0,1 A dan catatlah harga V setiap perubahan I_{m1} seperti pada Tabel 2! Catatan : I_{m1} diambil = maksimum setelah V mencapai 220 volt antar fasa (VL).

Tabel 8. Data Tes Beban Kosong

I_{m1}	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	
VL								220 V

8. Kembalikanlah harga R_{m1} seperti semula hingga $I_{m1} = 0$!
9. Turunkanlah I_{m1} hingga nol, bukalah saklar beban S, lepaskanlah semua penghantar (kabel) penghubung singkat dan aturlah kembali I_{m1} hingga diperoleh $V = 220$ volt fasa-fasa !

10. Tutuplah saklar beban S dan aturlah RL hingga diperoleh IL seperti dalam Tabel 3, dan catatlah harga-harga V, P, dan T setiap perubahan beban !

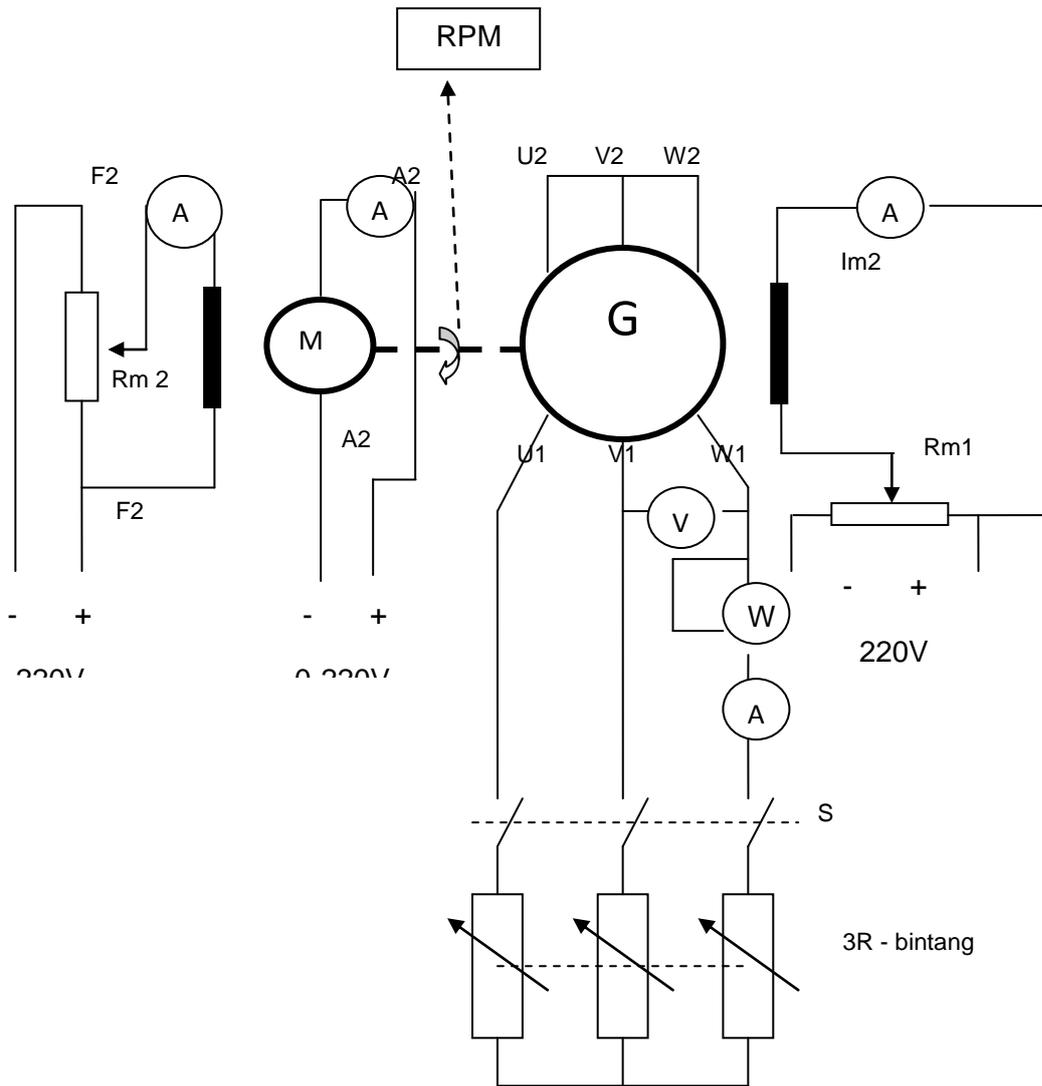
Tabel 9. Tes pembebanan mesin sinkron beban resistif

Harga Pengukuran				Harga Perhitungan			
IL	V	P	T	V	P	Cos ϕ	ϕ
0							
0,5							
1							
1,5							
2							
2,5							
3							
3,5							

11. Lepaskanlah dan kembalikanlah semua alat dan bahan praktikum ketempat semula !

Lembar Latihan

1. Berikan keterangan singkat prinsip kerja mesin sinkron !
2. Apakah fungsi sumber dc pada mesin sinkron ?
3. Dari mana saja kah sumber pembangkit fluks pada motor sinkron ?
4. Bagaimana kita mengatur faktor kerja motor sinkron ?
5. Bilamana motor berfungsi sebagai pembangkit daya reaktif yang bersifat induktif.



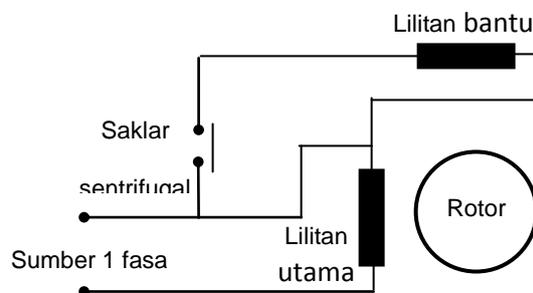
Gambar 41. Percobaan Mesin Sinkron

E. Motor Induksi Satu Fasa

Terdapat bermacam-macam motor satu fasa, yaitu yang dikategorikan motor induksi meliputi : motor fasa belah, motor kapasitor, motor kutub bayangan, motor induksi repulsi, dan sebagainya. Sedangkan motor satu fasa yang tidak dikategorikan motor induksi satu fasa adalah motor universal dan motor repulsi. Dalam praktikum kali ini akan diperkenalkan salah satu jenis motor satu fasa yaitu motor kapasitor. Tinjauan singkat masing-masing jenis motor adalah sebagai berikut :

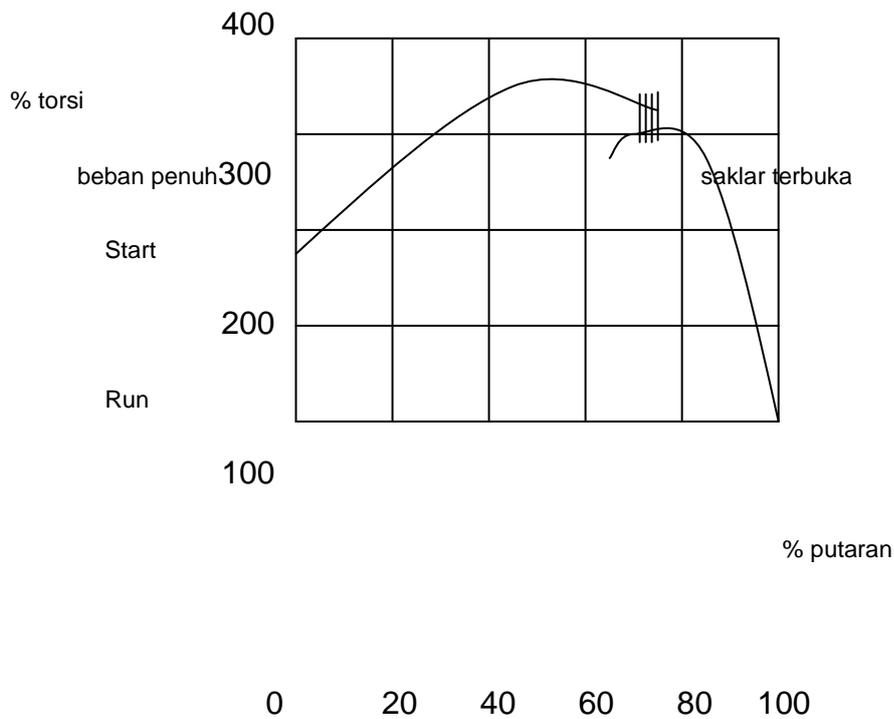
1. Motor Fasa belah

Untuk memperoleh putaran medan magnet stator, lilitan utama dan lilitan bantu dibuat sedemikian rupa sehingga arus yang mengalir pada masing-masing lilitan berbeda fasa. Medan magnet putar ini sangat diperlukan untuk memperoleh torsi awal yang besar.



Gambar 42. Skema motor induksi fasa belah

Untuk mencegah agar lilitan bantu tidak terus-menerus dialiri arus, maka pada lilitan bantu dipasang seri dengan sebuah saklar yang disebut saklar sentrifugal. Apa bila putaran motor mendekati putaran nominal yaitu antara 70% - 80% putaran nominal, maka saklar sentrifugal akan memutus rangkaian lilitan bantu secara otomatis. Torsi awal yang dihasilkan sampai dengan motor berputar dengan kecepatan nominal adalah seperti Gambar 16.



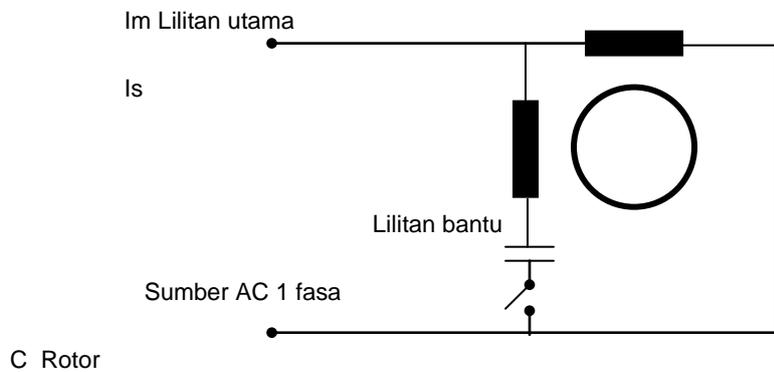
Gambar 43. Torsi Motor Fasa Belah Saat Start.

2. Motor Kapasitor

Motor kapasitor mempunyai prinsip kerja seperti motor fasa belah. Pada motor kapasitor, sebuah kapasitor dipasang seri dengan lilitan bantu dengan tujuan agar diperoleh beda fasa yang besar antara arus pada lilitan utama dan arus pada lilitan bantu. Terdapat 3 macammotor kapasitor yaitu : motor kapasitor start, motor kapasitor start dan run, dan motor kapasitor permanen.

a. Motor Kapasitor Start

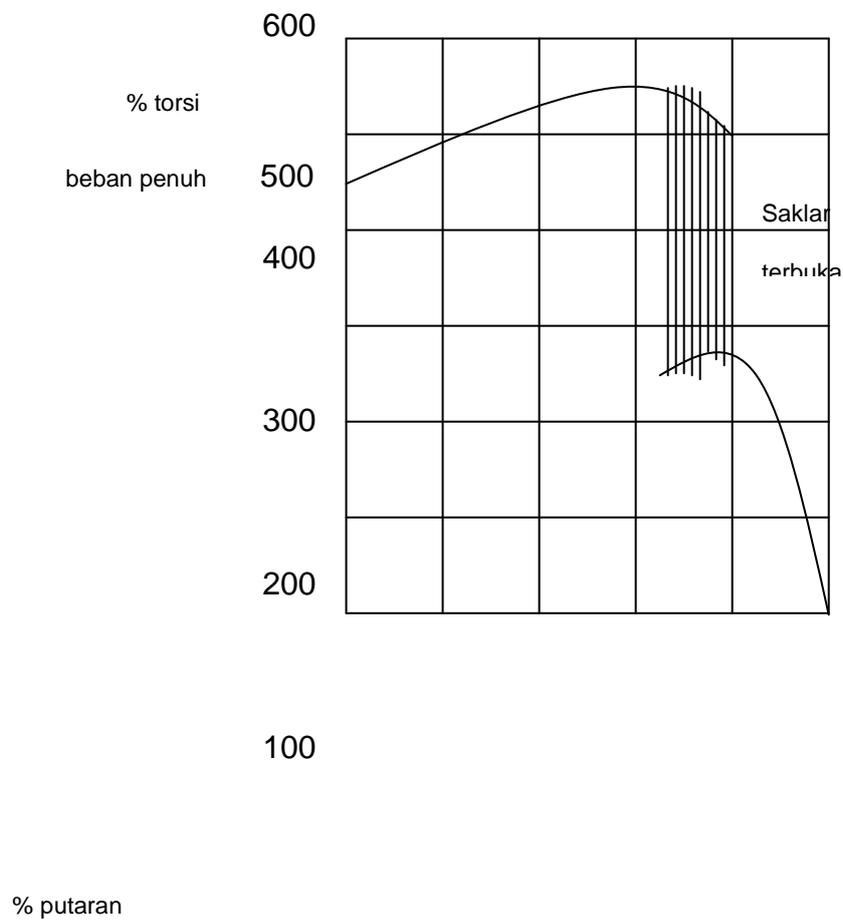
Skema rangkaian motor kapasitor start adalah seperti Gambar 44 berikut :



Gambar 44.

Skema Rangkaian Motor Kapasitor Start dan Vektor Arusnya.

Sedangkan karakteristik $T = f(n)$ saat start adalah seperti Gambar 45 berikut :

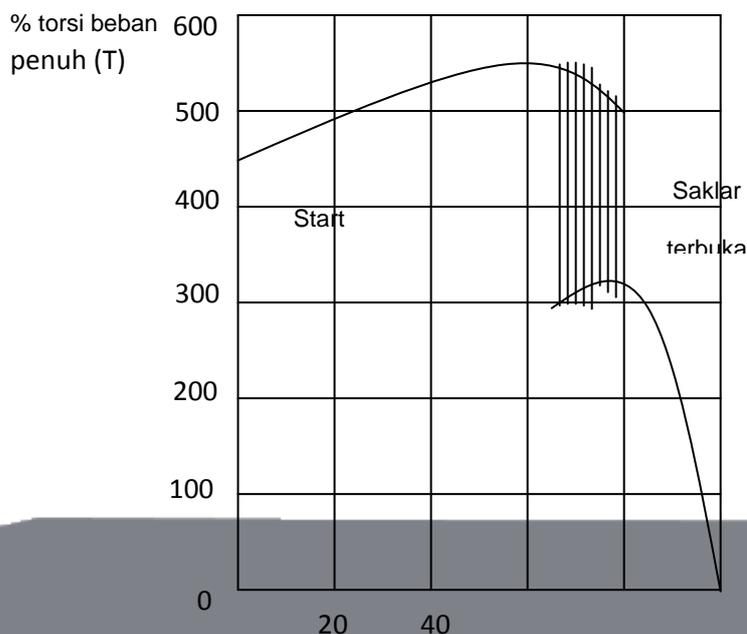
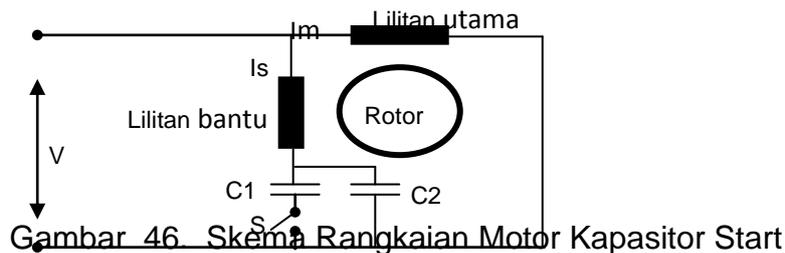


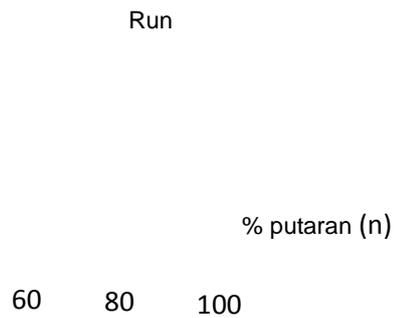
0 20 40 60 80 100

Gambar 45. Karakteristik $T = f(n)$ saat start

b. Motor Kapasitor Start dan Run

Pada motor kapasitor start dan run terdapat dua buah kapasitor yang dirangkai seperti Gambar 20, sedangkan karakteristik $T = f(n)$ saat start adalah seperti Gambar 21. Pada saat start, C1 dan C2 terhubung semua sehingga diperoleh beda fasa yang cukup besar antara arus pada lilitan utama dan arus pada lilitan bantu dan diperoleh torsi awal yang sangat besar. Setelah putaran motor mencapai 70% - 80% putaran nominal, kapasitor C1 terlepas namun kapasitor 2 tetap terhubung.

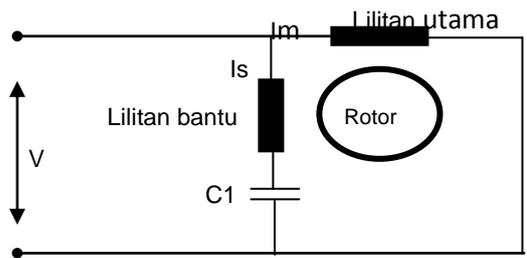




Gambar 47. Karkteristik $T = f(n)$ Saat Start.

c. Motor Kapasitor Permanen

Pada motor ini terdapat kapasitor yang terpasang tetap (permanen) secara seri dengan lilitan bantu. Skema rangkaian motor kapasitor permanen seperti Gambar 22. Karena kapasitor terpasang secara terus menerus, maka torsi yang dihasilkan baik pada saat start maupun setelah berputar nominal relatif tetap. Hal ini berarti bahwa motor ini banyak digunakan pada peralatan yang membutuhkan torsi baik awal maupun torsi saat beroperasi yang relatif tetap.



Gambar 48. Skema Rangkaian Motor Kapasitor Permanen

Lembar Kerja

Alat dan Bahan

- 1. Torsimeter 1 buah
- 2. Motor induksi 1 fasa kapasitor 1 buah
- 3. Tachometer 1 buah
- 4. Beban Resistor 1 buah
- 5. Multimeter 1 buah
- 6. Trafo arus 50 : 5 1 buah
- 7. Ampere meter AC 2 buah
- 8. Watt meter 1 A/240 V 1 buah
- 9. Saklar DPDT 1 buah

10. Unit catu daya..... 1 unit

11. Kabel penghubung..... secukupnya

Kesehatan dan Keselamatan Kerja

1. Gunakan pakaian praktik !
2. Bacalah dan pahami petunjuk praktikum pada setiap lembar kegiatan belajar !
3. Janganlah memberikan tegangan pada rangkaian melebihi batas yang ditentukan !
4. Hati-hati dalam melakukan praktik !

Langkah Kerja

Pengujian Motor Fasa Belah dan Motor Kapasitor

1. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan untuk percobaan !
2. Periksa alat dan bahan sebelum digunakan dan pastikan semua alat dan bahan dalam keadaan baik !
3. Rangkailah skema seperti Gambar 23, saklar beban (S) dalam keadaan terbuka !
4. Periksakanlah rangkaian yang telah dirangkai kepada instruktur untuk mendapatkan persetujuan !

5. Jika telah disetujui, tutuplah saklar tegangan tetap pada unit catu daya, aturlah rheostat pada unit beban generator hingga arus pada lilitan penguat magnet = 0,5 A !
6. Tutuplah saklar tegangan variabel AC 3 fasa pada unit catu daya dan aturlah tegangannya hingga 220 volt !
7. Tutuplah saklar beban S dan atur beban (RB) sedemikian sehingga diperoleh data torsi motor sesuai dengan Tabel 4, dan catatlah harga arus, daya masukan motor, dan putaran motornya serta masukkanlah data tersebut ke dalam tabel yang sama !

Tabel 10. Data Pengujian Kapasitor.

Putaran pada beban kosong = rpm

Data Pengukuran				Data penghitungan			
T (Nm)	I (A)	P (W)	n (rpm)	Pin (W)	Pout (W)	η (%)	s
1							
2							
3							
4							
5							
6							

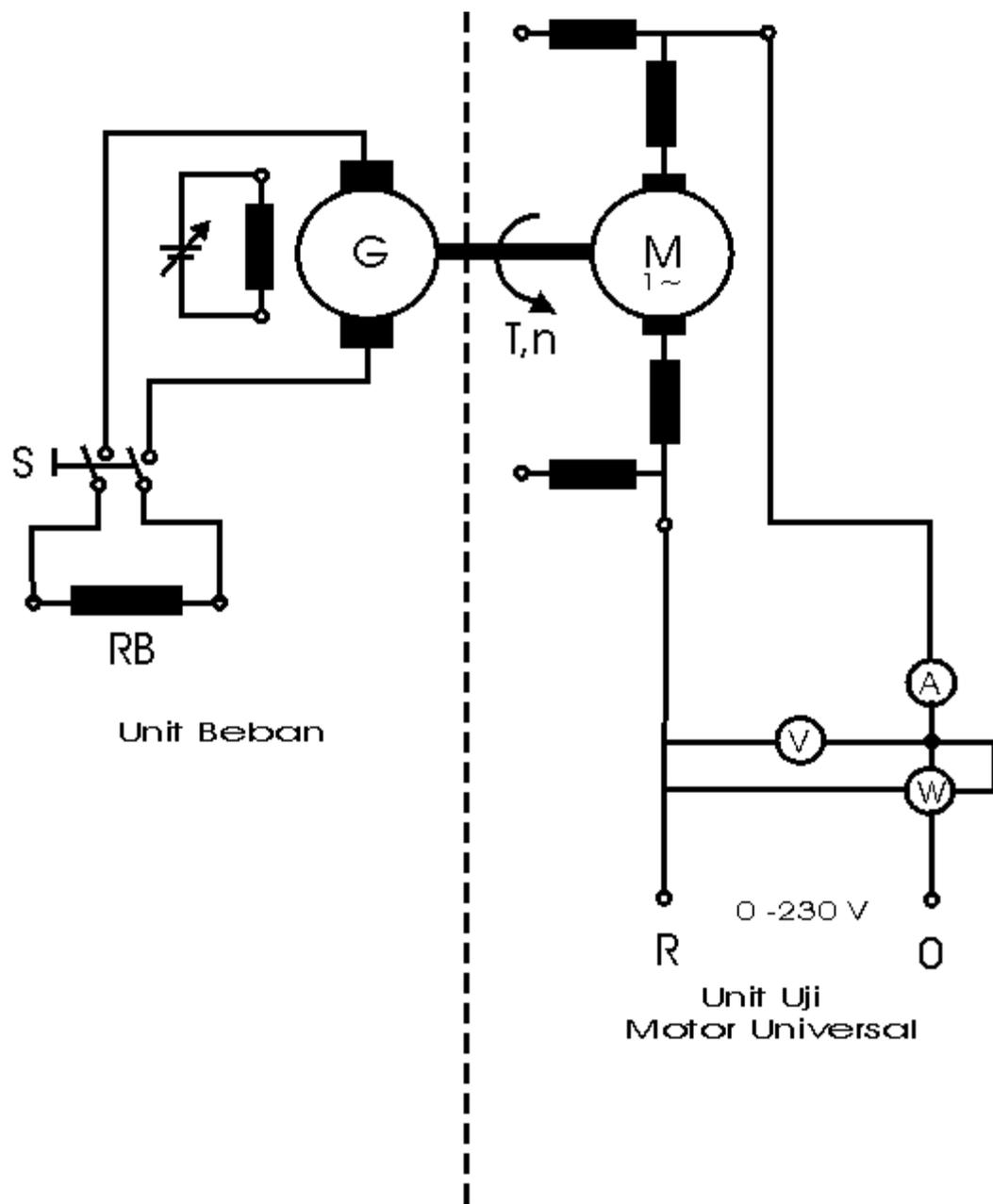
7							
8							

8. Lepaskanlah dan kembalikanlah semua alat dan bahan praktikum ketempat semula, kemudian buat kesimpulan dri kegiatan belajar ini!

Lembar Evaluasi

1. Hitunglah daya masukan, daya keluaran, dan efisiensi pada setiap perubahan beban pada motor kapasitor !
2. Slip motor pada setiap perubahan beban pada motor kapasitor !

**SKEMA GAMBAR RANGKAIAN PENGOPERASIAN/PENGUJIAN
MOTOR KAPASITOR**



Gambar 49.

Skema Rangkaian Pengoperasian/Pengujian Motor Kapasitor

LEMBAR EVALUASI

Pertanyaan

8. Sebutkan dan jelaskan macam-macam mesin listrik AC !
9. Jelaskan prinsip kerja motor induksi itu dan sebutkan macamnya !
10. Bagaimana kecepatan sinkron motor ac ditentukan ?
11. Apakah yang dimaksud dengan slip suatu motor induksi ?
12. Apakah yang dimaksud dengan alternator ?
13. Sebutkan bagian-bagian dari alternator !
14. Bagaimana menentukan gaya gerak listrik dalam suatu alternator ?
15. Apakah perbedaan motor induksi dan motor sinkron ?
16. Apakah yang dimaksud dengan transformator ?
17. Sebuah transformator 25 KVA mempunyai 500 lilitan primer dan 40 lilitan sekunder. Primer dihubungkan dengan jala-jala 3000 volt dan 50m cps. Hitunglah !
 - a. EMF sekunder !
 - b. Arus beban penuh primer dan sekunder !
 - c. Fluksi maksimum dalam inti, abaikan tahanan magnet bocor dari belitan-belitan dan arus beban nol primer dalam hubungan ke beban penuh !
18. Sebuah motor induksi, 4 kutub, 50 cycle, dijalankan pada kecepatan 1455 rpm. Tentukan slip dan kecepatan slip !

KRITERIA KELULUSAN

No	Kriteria	Skor (1-10)	Bobot	Nilai	Keterangan
1	Aspek Kognitif		2		Syarat lulus : Nilai minimal 70
2	Kebenaran rangkaian		2		
3	Langkah kerja dan kecepatan kerja		2		
4	Perolehan data analisis data dan interpretasi		3		
5	Keselamatan Kerja		1		
Nilai Akhir					

LEMBAR KUNCI JAWABAN

Kunci Jawaban Prinsip Kerja Mesin Listrik

1. Perbedaannya terletak pada komponen komutator yang berfungsi untuk penyearahan arus ac-nya pada generator dc.
2. Torsi mekanik sebagai masukan dan generator menghasilkan tegangan bolak-balik, sedangkan motor bolak-balik sumbernya arus bolak-balik menghasilkan torsi mekanik.
3. Saat kumparan tidak melingkupi garis gaya dan saat garis gaya yang dilingkupi maksimum.

Kunci Jawaban Transformator

1. Tidak terinduksi ggl, sebab tidak ada perubahan fluks di sisi sekunder.
2. Rugi besi.
3. Dapat, dengan merangkai ketiga kumparan primer maupun ketiga kumparan sekunder menurut hubungan bintang, segitiga atau ziqzag.
4. Penyelesaian :

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

$$\frac{100}{N_1} = \frac{500}{4400}$$

$$N_1 = \frac{4400}{500} \times 100 = 880$$

belitan primer 880

$$\text{EMF per lilitan} = \frac{4400}{880} = 5 \text{ volt}$$

Keluaran = 500000 VA

$$I_2 = \frac{500000}{E_2} = \frac{500000}{500} = 1000 \text{ ampere}$$

Kunci Jawaban Mesin Induksi

1. Karena gerakan rotor tidak serempak (mengikuti) dengan putaran medan stator.
2. Perbedaan antara kecepatan rotor dengan kecepatan medan putar stator.
3. Kecepatannya 150 rpm
4. Dengan menghubungkan sumber tegangan tiga fasa pada kumparan stator dihasilkan medan putar. Penggerak utama dipakai untuk memutar rotor serah dengan arah medan putar. Bila kecepatan berputar rotor lebih besar dari pada kecepatan medan putar, maka mesin akan berfungsi sebagai generator

Kunci Jawaban Mesin sinkron

1. Apabila kumparan jangkar dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa akan menimbulkan medan putar pada stator. Kutub medan rotor yang diberi penguat arus searah mendapat tarikan dari kutub medan putar stator hingga turut berputar dengan kecepatan yang sama (sinkron)
2. Untuk menghasilkan fluks pada kumparan medan.
3. Terdapat dua sumber pembangkit fluks yaitu arus bolak balik (AC) pada stator dan searah (DC) pada rotor.
4. Factor kerja motor sinkron dapat diatur dengan mengubah-ubah harga arus medan (I_f).
5. Jika penguatan berkurang sehingga $E < V$, arus magnatesi ditarik dari jala-jala sehingga motor berfungsi sebagai pembangkit daya reaktif yang bersifat induktif

Kunci Jawaban Lembar Evaluasi

4. Macam-macam mesin AC adalah generator, motor dan transformator. Generator ac atau alternator adalah mesin pembangkit tenaga listrik bolak-balik atau masukan tenaga mekanik dan keluarannya tenaga listrik bolak-balik. Motor ac merupakan mesin listrik yang menghasilkan tenaga mekanik dengan masukan tenaga listrik bolak-balik. Transformator adalah mesin listrik yang mengubah energi listrik dari satu tegangan ke tegangan lain yang berbeda (lebih tinggi atau lebih rendah) dalam sistem tenaga listrik bolak-balik.
5. Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (ac). Arus rotor merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus stator. Belitan stator yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa akan menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron ($n_s = 120f/2p$). Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus, dan sesuai dengan hukum lenz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Adal dua tipe motor induksi yaitu motor induksi dengan rotor belitan dan motor induksi dengan rotor sangkar.
6. Kecepatan sinkron (N_s) motor ac ditentukan dengan persamaan

$$N_s = \frac{120f}{P} rpm$$

dengan : f = frekuensi arus listrik ac (hertz)

P = jumlah kutup

7. Slip adalah perbedaan antara kecepatan sinkron dan kecepatan rotor aktual dalam motor induksi. Nilai slip normal terletak antara 2 % sampai 6 %.

8. Alternator yaitu suatu mesin pembangkit listrik arus bolak-balik.

9. Bagian-bagian dari alternator adalah :

Stator : kumparan jangkar bagian yang diam,

Rotor : kumparan medan bagian yang berputar

dan Exciter : suatu peralatan digunakan untuk membangkitkan medan pada alternator.

10. Dengan memutar alternator pada kecepatan sinkron dan rotor diberi arus medan I_f , tagangan E_0 akan terinduksi pada kumparan jangkar stator.

$$E_0 = cn\phi$$

c = konstanta mesin

n = putaran sinkron

ϕ = fluks yang dihasilkan oleh I_f

11. Pada motor induksi tidak terdapat kumparan medan sehingga sumber pembangkit fluks hanya diperoleh dari daya masuk stator. Daya masuk untuk pembangkit fluks.

Sedangkan pada motor sinkron terdapat dua sumber pembangkit fluks yaitu Arus bolak-balik (AC) pada stator dan searah (DC) pada rotor.

12. Transformator merupakan suatu alat dalam hal ini adalah alat elektromagnetik yang merubah energi listrik dari satu tingkat tegangan ke tingkat tegangan lain.

13. Diketahui : Transformator 25 KVA

$$V_1 = 3000 \text{ volt} , f = 50 \text{ cps}, N_1 = 500, N_2 = 40$$

Ditanyakan: E_2 (volt) ?

I_1, I_2 , (ampere) ?

ϕ (weber) ?

Penyelesaian:

(a) $V_1 = E_1$ dan E_2 adalah



(b)

Arus sekunder beban penuh (I_2)

$$I_2 = \frac{25 \times 1000}{240} = 104.1 \text{ ampere}$$

Arus sekunder beban penuh (I_1)

$$I_1 = K I_2 = \frac{4}{50} \times 104.1 = 8.33 \text{ ampere}$$

(c) $E_1 = 4.44 f N_1 \phi_m$ volt

$$3000 = 4.44 \times 50 \times 500 \times \phi_m$$

$$\phi_m = 0.027 \text{ weber}$$

11. Diketahui: $N = 1455 \text{ rpm}$, $P = 4$, $F = 50 \text{ cps}$

Ditanyakan: s % dan kecepatan s rpm?

Penyelesaian:

$$N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ rpm}$$

$$\text{Kecepatan slip} = N_s - N = 1500 - 1455 = 45 \text{ rpm}$$

$$\text{Slip } s = \frac{45}{1500} \times 100\% = 3\%$$

DAFTAR PUSTAKA

Fitzgerald, A.E. ; Kingsley, C., Jr.; Umans, S. D., Achyanto, D., Ir., M. Sc. EE., *Mesin-Mesin Listrik*, Erlangga, Jakarta, 1992.

Kadir, A., Prof. Ir., *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, LP3Es, Jakarta, 1993.

Marappung, M., Ir., *Teori Soal Penyelesaian Teknik Tenaga Listrik*, Armico, Bandung, 1988.

Soepatah, B., dkk, *Mesin Listrik I*, Depdikbud Jakarta 1978.

Zuhal, *Dasar Tenaga Listrik*, ITB Press , 1991.

Tim Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta 2001, *Modul Electro Dasar*.