

The background is a vibrant blue gradient. It features several large, stylized gears in various shades of blue, some overlapping. Thin, white and light blue lines sweep across the frame, creating a sense of motion and technology. A subtle grid of small white squares is visible across the entire background.

ASAS MESIN ELEKTRIK

ARUS ULANGALIK

RAHAYU JONIT

ASAS MESIN ELEKTRIK ARUS ULANGALIK

Diterbitkan Oleh :
POLITEKNIK PORT DICKSON
KM 14, Jalan Pantai,
71050 Si Rusa, Port Dickson
Negeri Sembilan.
Tel: 06-6622000 / 2111
Fax: 06-662026 / 2027

HAK CIPTA

© Politeknik Port Dickson

Hak cipta terpelahara. Tiada bahagian terbitan ini boleh diterbitkan semula atau ditukar dalam apa jua bentuk dengan apa cara jua sama ada elektronik, mekanikal, fotokopi, rakaman dan sebagainya sebelum mendapat kebenaran bertulis daripada Pengarah Politeknik Port Dickson.

ASAS MESIN ELEKTRIK ARUS ULANGALIK

ISBN:

e ISBN 978-967-2248-85-5



Diterbitkan Oleh:

POLITEKNIK PORT DICKSON
KM 14, Jalan Pantai,
71050 Si Rusa, Port Dickson
Negeri Sembilan.

Tel: 06-6622000 / 2111
Fax: 06-662026 / 2027

KADUNGAN

Prakata	i
1 KUANTITI, UNIT & KOMPONEN ELEKTRIK	1
1.1 Objektif Am:	1
1.2 Kuantiti dan Unit	1
1.2.1 Daya Gerak Elektrik (dge/ emf)	1
1.2.2 Kerintangan	2
1.2.3 Kemuatan	3
1.2.4 Kearuhan	3
1.3 Kerja dan Tenaga	4
1.3.1 Kerja	4
1.3.2 Tenaga	5
1.4 Kuasa	5
1.5 Frekuensi (f)	6
2 LITAR ARUS ULANGALIK	7
2.1 Objektif am	7
2.2 Istilah-istilah Voltan AU	9
2.3 Jenis Gelombang Sefasa, Tidak Sefasa	10
2.3.1 Gelombang sefasa	10
2.3.2 Gelombang tidak sefasa	10
2.4 Gambarajah vektor	11
2.4.1 Rintangan Tulen (R)	11
2.4.2 Aruhan tulen dalam litar AU	12
2.4.3 Kemuatan tulen dalam litar AU	13
3 PENGUBAH	14
3.1 Pengenalan	14
3.2 Binaan pengubah	15
3.2.1 Teras pengubah	15
3.2.2 Belitan pengubah	16
3.3 Pengubah Unggul	16
4 PENJANA AU	18
4.1 PENGENALAN	18
4.2 Prinsip Operasi Mesin AU	20
4.3 Penjanaan arus ulangalik	21
4.4 Prinsip Penjana Arus Ulangalik	22

4.5	Jenis-Jenis Penjana	23
4.6	Binaan Penjana Dan Motor Segerak	23
4.6.1	Angker berputar dan medan magnet pegun	23
4.6.2	Angker pegun dan medan magnet berputar	24
4.7	PENJANA SEGERAK AU	25
4.7.1	Pemegun (stator)	26
4.7.2	Pemutar (rotor)	27
4.8	Persamaan Dge Penjana (Generator/Alternator) Tiga Fasa	29
4.9	Konsep kesegerakan (concept of synchronous)	30
4.10	Perhubungan antara kelajuan dan frekuensi	31
4.10.1	Faktor Bentuk (<i>Pitch Factor</i>)	31
4.10.2	Faktor Agihan (Distribution Factor)	33
4.11	Formula voltan penjana AU	34
4.12	Penjana berbeban	35
4.12.1	Kejatuhan voltan rintangan angker (armature resistance) R_a	35
4.12.2	Kejatuhan voltan reaksi kebocoran angker (armature leakage reactance) X_L	36
4.12.3	Kejatuhan voltan reaksi angker (armature reaction)	36
4.13	Gambarajah vector penjana berbeban	37
4.14	Pengaturan voltan	39
4.15	Operasi penjana selari	39
4.16	Kehilangan dan kuasa penjana AU	39

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Setinggi-tinggi kesyukur kepada Allah s.w.t yang dengan limpah kurnia Nya telah mengizinkan hamba Nya menyiapkan buku ini untuk diperpanjangkan ilmu Nya kepada para pembaca sekalian. Keperluan ilmu pengetahuan bagi masyarakat masa kini sememangnya amat mendesak khususnya bagi menuntut ilmu-ilmu yang berguna untuk meneruskan kehidupan dalam keadaan maju dan membangun serta tidak tergelincir daripada landasan ajarannya.

Buku *Asas Mesin Elektrik Arus Ulangalik* ini ditulis umum nya pada semua masyarakat yang ingin mengetahui mengenai mesin AU. Khususnya sebagai bahan rujukan bagi pelajar-pelajar di institusi pengajian tinggi dalam bidang Kejuruteraan Elektrik dan Kejuruteraan Makenikal. Bagi mereka yang memperelajari bidang ini mustahaknya adalah untuk mengetahui berkaitan mesin elektrik AU secara asas. Saya berpendapat pengetahuan asas ini amat penting bagi bidang kerja seorang juruteknik, jurutera dan yang berkaitan dengan bidang elektrik.

Buku berkaitan dengan mesin elektrik sudah terdapat dalam pasaran. Walaubagaimanapun objektif buku ini adalah sebagai pengenalan asas dan memberikan pendedahan bagi memahami secara konsep pengiraan mudah mesin AU. Oleh itu buku ini dimuatkan dengan rajah-rajah dan contoh-contoh penyelesaian pengiraan. Tujuannya adalah untuk mendapatkan kefahaman yang lebih mudah.

Buku ini dibahagikan kepada empat tajuk utama. Bab 1 memperkenalkan kuantiti, unit & komponen elektrik. Teori asas inilah yang digunakan untuk membentuk prinsip elektromagnet. Bab 2 menerangkan mengenai litar arus ulangalik, berserta contoh pengiraan. Bab 3 pula mengenai pengubah, berserta contoh pengiraan. Bab 4 mengenai penjana AU berserta pengiraan. Berdasarkan teori-teori asas fizik terma yang telah pun dipelajari di peringkat sekolah lagi. Pembaca akan melihat bagaimana teori-teori ini digunakan untuk mewujudkan proses aruhan elektromagnet.

Akhir kata, saya ingin mengucapkan kesyukuran kerana dengan izin-Nya buku ini dapat disempurnakan dengan jayanya dan diharap dapat memberikan manfaat kepada pembaca sekalian.

1 KUANTITI, UNIT & KOMPONEN ELEKTRIK

1.1 Objektif Am:

- ✓ Mentakrif kuantiti elektrik
- ✓ Mengenal pasti unit dan symbol komponen elektrik
- ✓ Mengaitkan hubungan kuantiti elektrik
- ✓ Mengenal pasti komponen elektrik
- ✓ Mengetahui kegunaan setiap komponen elektrik
- ✓ Membaca kod warna perintang empat jalur

Kuantiti, unit dan komponen elektrik adalah aspek asas di dalam bidang kejuruteraan elektrik dan elektronik. Takrifan dan hubungan antara kuantiti dan unit perlu difahami bagi menerbitkan formula yang berkaitan. Pemilihan dan penggunaan komponen yang sesuai penting bagi menghasilkan litar elektrik dan elektronik yang dapat berfungsi dengan baik.

Elektrik adalah merupakan satu tenaga yang tidak dapat dilihat tetapi boleh dirasai dan digunakan oleh manusia pada hari ini dan akan datang. Tenaga elektrik dapat dihasilkan kesan daripada tindakan:

-

- i. Geseran
- ii. Haba
- iii. Aruhan elektromagnet

Tindakan daripada tenaga elektrik boleh ditukarkan kepada beberapa punca tenaga lain yang boleh digunakan seperti:

- i. Tenaga cahaya – seperti lampu
- ii. Tenaga haba – seperti seterika
- iii. Tenaga bunyi – seperti radio
- iv. Tenaga gerakan – seperti motor

Elektrik terdiri daripada dua (2) jenis iaitu elektrik statik dan elektrik dinamik.

- i. Elektrik Statik – Keadaan di mana tiada pergerakan elektron dalam arah tertentu.
- ii. Elektrik Dinamik – Keadaan di mana terdapat pergerakan elektron dalam arah tertentu.

1.2 Kuantiti dan Unit

Kuantiti dan unit boleh dibahagikan kepada beberapa bahagian utama.

1.2.1 Daya Gerak Elektrik (dge/ emf)

Daya Gerak Elektrik sesuatu sumber tenaga menyebabkan cas mengalir di dalam suatu litar yang lengkap. Pengaliran cas di dalam litar boleh digambarkan seperti pengaliran air dalam paip. Tekanan yang berbeza diperlukan untuk membolehkan air mengalir. Bagi menggerakkan cas elektrik pula, beza upaya diperlukan. Oleh itu sekiranya ada pengaliran arus antara dua titik di dalam litar maka ada bezaupaya merentasi titik berkenaan. atau tekanan elektrik yang menyebabkan

Persamaan antara daya gerak elektrik (dge) dan beza upaya (V) ialah keduanya diukur dengan unit Joule per coulomb (JC^{-1}) atau volt. Manakala perbezaan antara keduanya seperti jadual 1.1.

daya gerak elektrik (dge)	beza upaya (V)
Simbol : E	Simbol : V
Tenaga yang dibekalkan oleh sumber bagi menggerakkan satu unit cas dalam satu litar	Tenaga elektrik yang dipindahkan kepada beban bagi menggerakkan satu unit cas dalam satu litar lengkap.
Lengkap, sumber seperti bateri dan sel kering	Digunakan oleh komponen elektrik seperti mentol dan perintang.
$E = I(R_t + r) = IR_t + Ir$ $(R_t + r)$ = jumlah rintangan luar dan dalam	$V = IR_t$ R_t = jumlah rintangan liar

Jadual 1.1: perbezaan antara dge dan V

1.2.2 Kerintangan

Kerintangan bersifat menghadkan pengaliran arus di dalam pengalir, jasad atau litar. Unit untuk kerintangan ialah ohm(Ω). Merupakan penentangan terhadap pengaliran arus.

- Symbol arus elektrik R
- Symbol ampere ialah ohm(Ω)

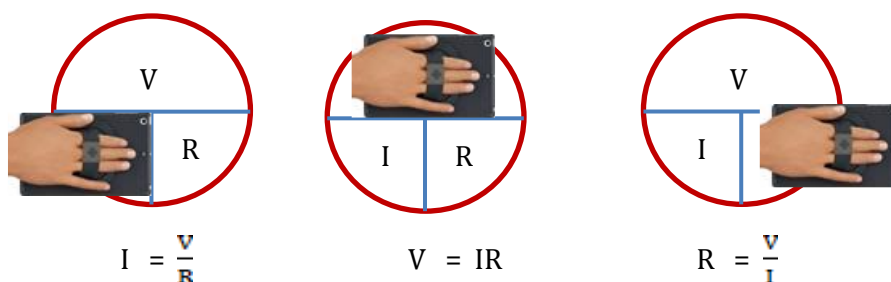
Terdapat empat (4) faktor yang mempengaruhi nilai rintangan iaitu;

- Panjang pengalir - Nilai rintangan dawai akan bertambah tinggi jika dawai tersebut bertambah panjang. Ia berkadar terus dengan panjang dawai tersebut,
- Luas Permukaan, (A) - Rintangan berkadar songsang dengan luas muka keratan rentas dawai.
- Kerintangan - Kerintangan adalah berkadar langsung dengan nilai rintangan.
- Suhu Pengalir, (T) - Suhu pengalir juga mempengaruhi nilai rintangan. Semakin tinggi suhu pengalir semakin tinggi nilai rintangan.

Perhubungan antara rintangan, voltan dan arus seperti rajah 1.1. manakala persamaan 1.2 adalah cara untuk membantu mengaitkan perhubungan tersebut.

$$R = \frac{V}{I} \dots \dots \dots 1.2$$

Dimana V dalam volt, I dalam ampere dan R dalam ohm



Rajah 1. 1: persamaan rintangan, arus dan voltan

Contoh 1.1

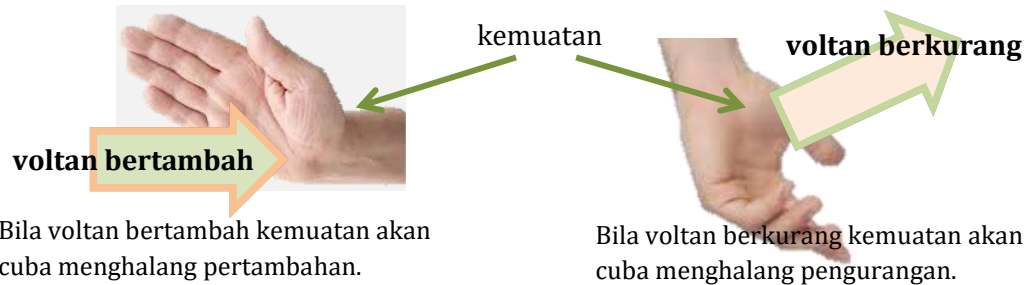
Jika 150mA arus mengalir melalui sebuah mentol, manakala voltan sebanyak 6V dibekalkan pada litar. Kirakan nilao rintangan mentol tersebut.

Penyelesaian 1.1

Diberi, $V = 6\text{V}$ dan $I = 150\text{mA}$, $R = \frac{V}{I} = \frac{6}{150\text{m}} = 40 \Omega$

1.2.3 Kemuatan

Kemuatan bersifat menentang sebarang perubahan bezaupaya(voltan) dalam litar (seperti dalam rajah 1.2). Komponen yang mempunyai sifat kemuatan ini dinamakan pemuat. Kemuatan adalah hasil cas yang di simpan dalam pemuat dan unitnya ialah Farad.



Rajah 1. 2: Gambaran Kemuatan

C dalam farad dan Q dalam coulomb, hubungan bagi tenaga, cas dan voltan seperti persamaan di bawah

$$W = \frac{1}{2} C \times V^2 \dots\dots\dots 1.3$$

Dimana: C dalam farad

Contoh 1.2

Berapakah nilai kemuatan bagi satu pemuat yang memerlukan 1.5 coulomb untuk mengecas pemuat tersebut kepada 35V.

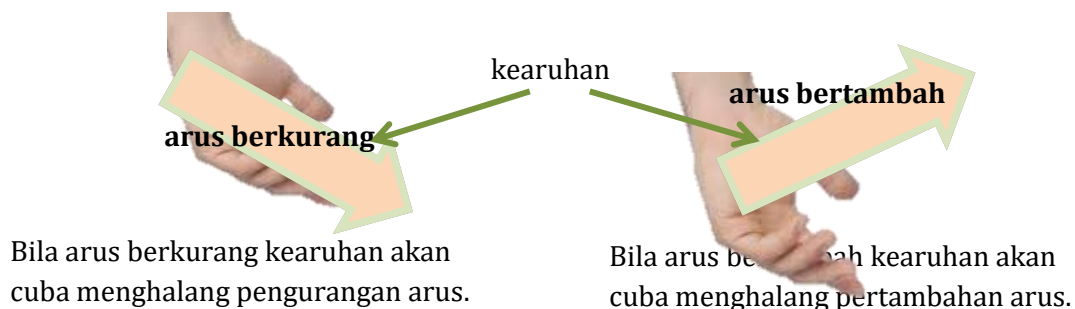
Penyelesaian 1.2

Diberi Q = 1.5 C dan V = 35V

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{1.5}{35} = 0.043F$$

1.2.4 Kearuhan

Kearuhan bersifat menentang sebarang perubahan pengaliran arus dalam litar (seperti dalam rajah 1.3). Komponen yang mempunyai sifat kearuhan ini dinamakan Pearuh dan unitnya ialah Henry.



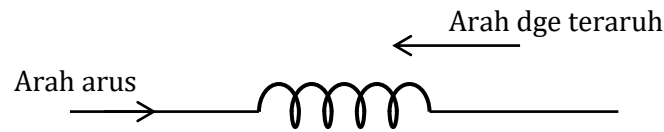
Rajah 1. 3: Gambaran Kearuhan

Sebuah peraruh mempunyai kearuhan sebanyak 1 henry (H) jika mengalami perubahan arus sebanyak 1 ampire (A) per saat dan menjanakan dge sebanyak 1 volt (V). tenaga W tersimpan dalam peraruh ialah seperti persamaan:

$$W = \frac{1}{2} L \times I^2 \dots\dots\dots 1.4$$

Persamaan dge teraruh :- $E = -L \frac{\delta i}{\delta t}$, Dimana: - L = kearuhan, i = perubahan arus, t = perubahan masa

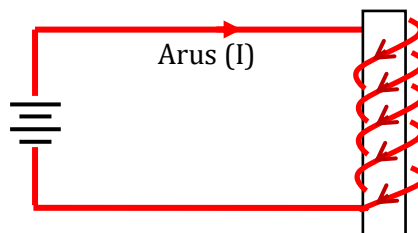
Tanda negatif pada peraruh menunjukkan bahawa arah dge teraruh itu berlawanan dengan kenaikan arus (seperti rajah 1.4).



Rajah 1. 4: arah dge teraruh dan aliran arus

Huraian bagaimana dge dijanakan dalam aruhan electromagnet. Lilitan wayer pada teras besi akan mempunyai kemagnetan seperti magnet kekal bila arus mengalir melaluinya seterusnya akan menghasilkan fluk (seperti rajah 1.5). Kekuatan keelektromagnetan bergantung kepada: -

- Arus yang mengalir melalui pengalir tersebut
- Bilangan lilitan gegelung tersebut



Rajah 1. 5: litar kearuhan

1.3 Kerja dan Tenaga

Kerja dan tenaga mempunyai hubungan yang rapat antara satu dengan lain. Kerja menggambarkan satu proses, manakala tenaga pula adalah kemampuan sistem melakukan kerja. Unit bagi kedua nya adalah sama iaitu Joule.

1 Joule bersamaan 1 watt persaat.

1kWj bersamaan dengan 3600,000 J.

Perkaitan antara kuasa (P), tenaga (W) dan masa (t) ialah:

$$W = P \times t \dots\dots\dots 1.5$$

Dimana: W dalam Joule, P dalam watt dan t dalam saat.

Hubungan antara tenaga (W) dan cas (Q) boleh didapati daripada persamaan berikut:

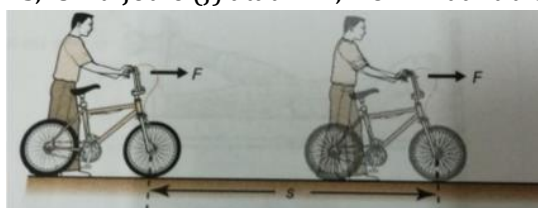
$$W = Q \times V \dots\dots\dots 1.6$$

Dimana: Q dalam coulomb dan V dalam volt.

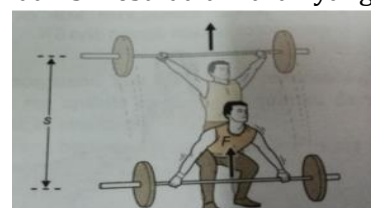
1.3.1 Kerja

Kerja dilakukan apabila terdapat satu daya yang menyebabkan suatu objek bergerak mengikut arah daya tersebut. Takrif kerja ialah hasil darab daya (F) dan sasaran (s) pada arah daya tersebut. Hasil darab daya (F) dan jarak (s) dala m arah yang sama dengan daya bersih. 1 Joule ditakrifkan sebagai kerja yang dilakukan apabila daya 1 N menggerakkan objek sejauh 1 m mengikut arah daya.

$W = F \times s$, Unit: Joule (J) atau Nm, NOTA kuantiti skalar – F dan S mesti dalam arah yang sama

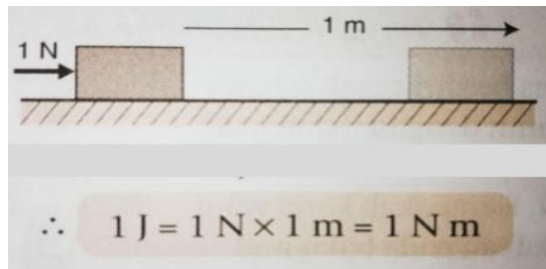


Seseorang menolak basikal mendatar



Seseorang mengangkat besi menegak ke atas

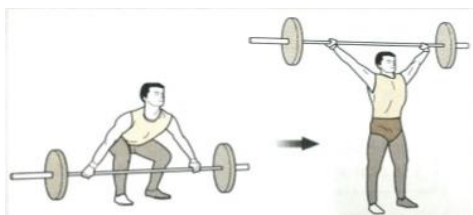
Rajah 1. 6: contoh kerja



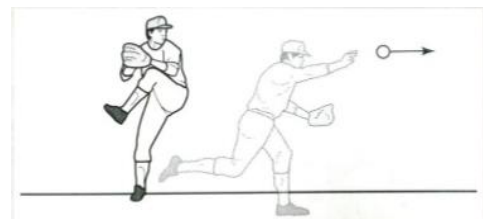
Rajah 1. 7: contoh kerja dalam Joule

1.3.2 Tenaga

Tenaga dipindahkan dari suatu objek ke objek yang lain apabila kerja dilakukan. Kerja yang dilakukan merupakan satu medium perantaraan untuk memindahkan tenaga dari suatu objek kepada objek yang lain.



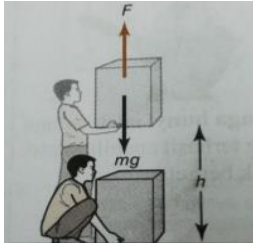
Tenaga kimia → tenaga keupayaan



Tenaga kimia → tenaga kinetik

Rajah 1. 8: perubahan tenaga

Tenaga keupayaan sesuatu objek ditakrifkan sebagai tenaga yang tersimpan dalam objek kerana kedudukan atau keadaannya. Jika halaju malar pecutan adalah sifar.



Daya (F) keatas = berat kotak (mg)

$F = mg$ (dalam magnitud)

Pergerakan pada sesaran h untuk mengangkat kotak maka:-

Kerja yang dilakukan, $W = \text{daya} \times \text{sesaran pada arah daya}$
 $= F \times s = mg \times s = mgh$

1.4 Kuasa

Kuasa ialah kadar melakukan kerja, unit untuk kuasa ialah watt. Satu watt ialah kadar kerja satu joule yang dilakukan dalam satu saat. Keadaan ini dapat digambarkan melalui persamaan:

$$P = \frac{W}{t} \dots\dots\dots 1.7$$

Persamaan ini adalah persamaan umum kuasa. Oleh itu untuk menyelesaikan persamaan yang melibatkan kuasa di dalam litar, persamaan lain perlu diterbitkan.

$$W = Q \times V, \text{ oleh itu } P = \frac{Q \times V}{t}$$

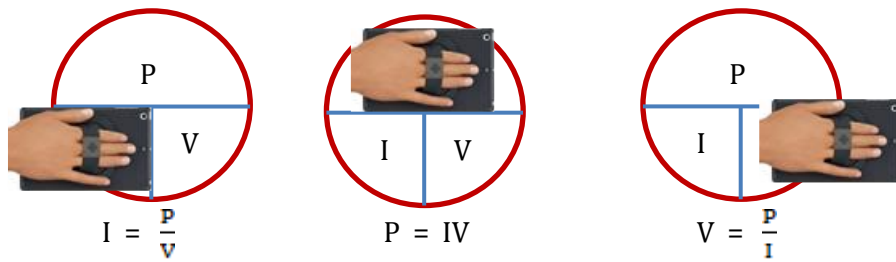
Daripada persamaan 1.1, didapati $I = \frac{Q}{t}$, oleh itu

$$P = \frac{It \times V}{t} = I \times V \dots\dots\dots 1.8$$

Dengan menggantikan $V = IR$ maka persamaan akan menjadi:

$$P = I^2 R \dots\dots\dots 1.9$$

Kesemua persamaan ini boleh digambarkan seperti rajah 1.7.



Rajah 1. 9: perkaitan antara kuasa, arus dan voltan.

Contoh 1.3

Sebuah mentol disambungkan kepada punca voltan 240V. Sekiranya arus yang mengalir pada mentol berkenaan sebanyak 2A. Kirakan kuasa pada mentol tersebut,

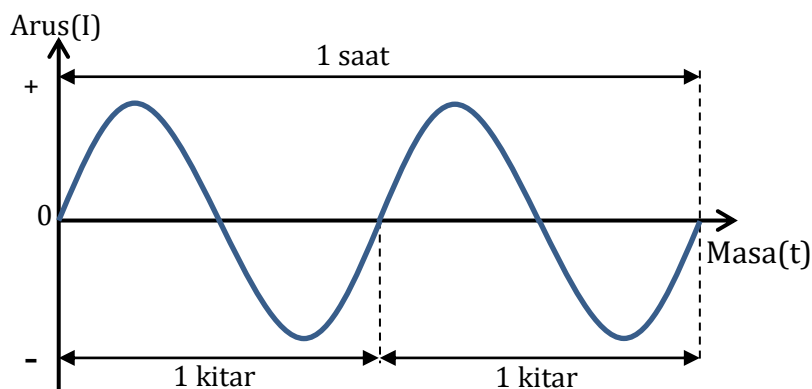
Penyelesaian 1.3

Diberi $I = 2A$ dan $V = 240V$, $P = IV = (2)(240) = 480W$

1.5 Frekuensi (f)

Frekuensi bagi sistem bekalan elektrik adalah berbeza mengikut negara; kebanyakan sistem bekalan elektrik dijana pada frekuensi sama ada 50 atau 60 Hz. Sila rujuk rencana Sistem bekalan elektrik sesalur dunia. Sesetengah negara mempunyai campuran sistem bekalan 50 Hz dan 60 Hz, terutamanya Jepun. Frekuensi rendah memudahkan rekaan motor elektrik berkelajuan rendah seperti pada sistem kereta api elektrik, tetapi ia turut menghasilkan kelipan yang ketara pada mentol lampu dan lampu pendarflour. Bekalan elektrik $16\frac{2}{3}$ Hz masih digunakan di sesetengah sistem kereta api elektrik di Eropah, seperti di Austria, Jerman, Norway, Sweden dan Switzerland.

Penggunaan frekuensi rendah juga memberi kelebihan seperti kehilangan galangan yang rendah, yang berkadaran dengan frekuensi. Stesen janakuasa hidroelektrik Air terjun Niagara asalnya dibina bagi menghasilkan frekuensi 25 Hz sebagai kompromi antara frekuensi rendah bagi motor tarikan serta motor aruhan berat, sementara masih membenarkan lampu pijar untuk berolerasi (walaupun masih ada kelipan yang ketara); kebanyakan pengguna domestik dan komersial bagi sistem 25 Hz telah beralih ke sistem 60 Hz menjelang lewat 1950an, walaupun beberapa pelanggan industri 25 Hz masih wujud pada awal abad ke-21. Frekuensi piawaian untuk sistem bekalan elektrik di Malaysia ialah $50Hz \pm 1\%$. Frekuensi untuk gelombang AU ialah bilangan kitar lengkap yang berlaku dalam masa satu saat unit frekuensi ialah Hertz(Hz). Gelombang sinus yang mempunyai dua kitar lengkap dalam masa satu saat digambarkan pada rajah 1.7.



Rajah 1. 10: gelombang sinus yang mempunyai dua kitar lengkap

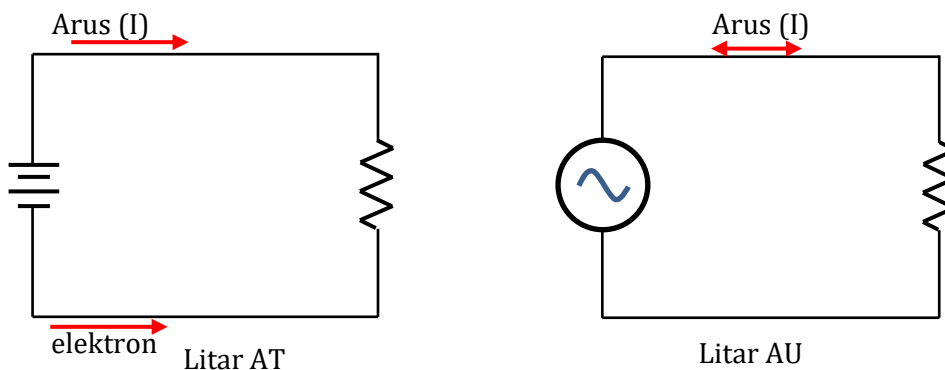
2 LITAR ARUS ULANGALIK

2.1 Objektif am:

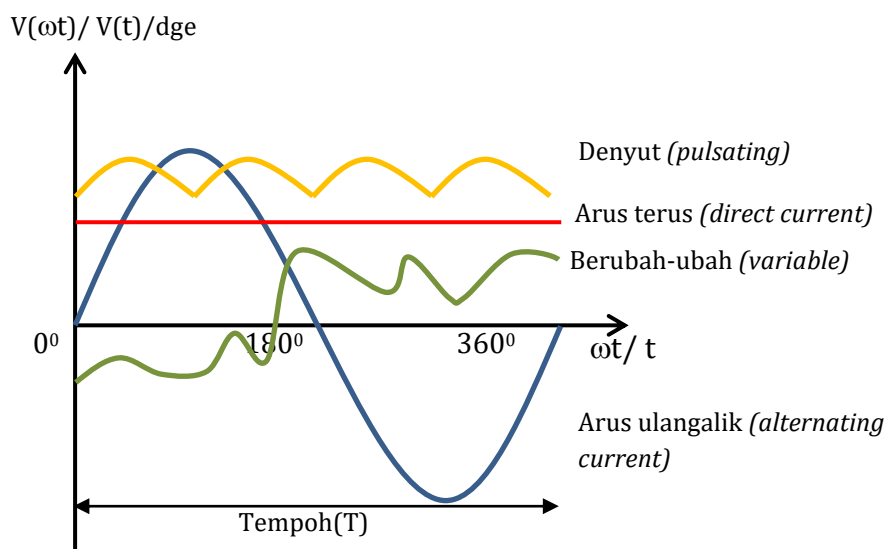
- ✓ Memahami litar asas arus Ulang Alik (AU)

Secara tabii, kebanyakan sistem adalah sinudoidal seperti perubahan cuaca, ekonomi dan lain-lain. Gelombang yang digunakan dalam sistem kuasa elektrik samada penjanaan dan pengagihan mudah dengan menggunakan gelombang AU berbanding AT.

Arus ulang-alik (AU) merupakan satu bentuk arus elektrik yang arah alirannya berulang-alik, tidak seperti arus terus (AT), yang mana arah alirannya adalah tetap. Arus AU merupakan sejenis arus Elektrik yang mengalir di dalam dua keadaan sama ada pada negatif atau positif berbanding litar AT (seperti rajah 2.1). Ia mengalirkan arus bermula dari sifar ke maksimum positif seterusnya dari sifar ke maksimum negatif (seperti rajah 2.2). Bentuk gelombang yang lazim bagi arus AC adalah dalam bentuk gelombang sinus, memandangkan ia menghasilkan satu bentuk penghantaran elektrik yang paling cekap. Walau bagaimanapun di sesetengah aplikasi pula bentuk gelombang yang berbeza digunakan, seperti bentuk gelombang segitiga ataupun gelombang segiempat sama (seperti rajah 2.4).



Rajah 2.1: aliran arus dan elektrod antara litar AT dan AU



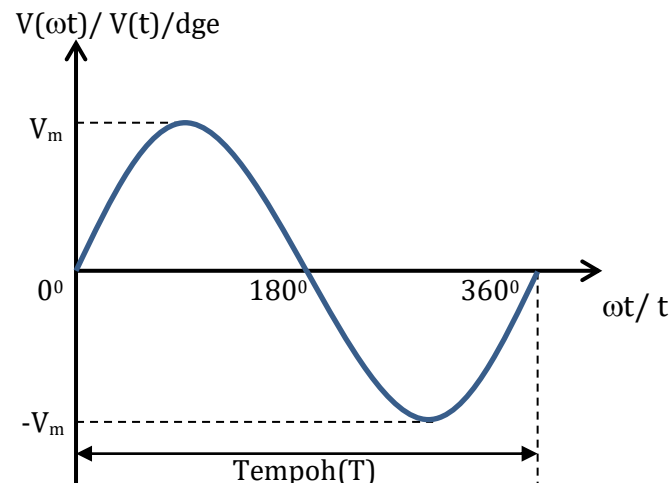
Rajah 2.2: graf perbezaan arus

Perbezaan arus terus dan arus ulangalik boleh digambarkan pada jadual 2.1.

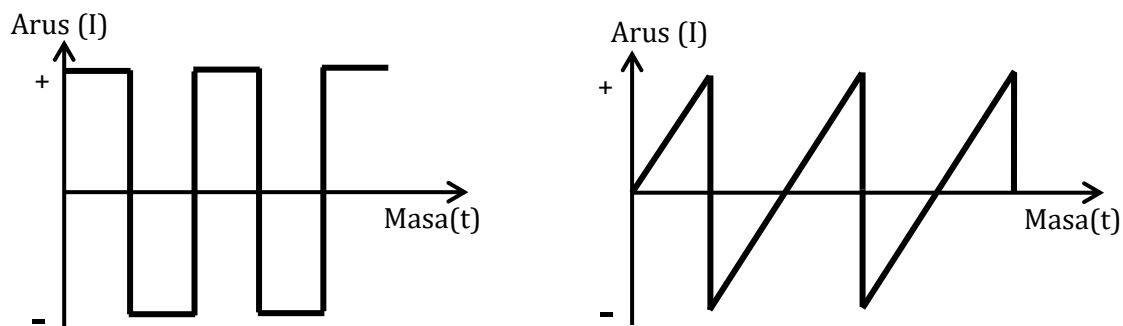
Arus terus	Arus ulangalik
Arus tetap	Arus sentiasa berubah
Diukur berdasarkan nilai mantapnya	Diukur berdasarkan nilai p.m.k.d. (punca min kuasa dua)
Voltan tidak boleh diubah oleh transformer	Voltan boleh diubah oleh transformer
Tidak boleh direktifkan dengan diod	Boleh direktifkan dengan diod
Tidak dibenarkan melalui kapasitor	dibenarkan melalui kapasitor
Kesan magnet adalah tetap	Kesan magnet adalah berubah

Jadual 2.1: perbezaan AT dan AU

Secara umumnya, AC merujuk kepada bentuk tenaga elektrik yang dihantar ke rumah dan premis perniagaan. Walau bagaimanapun, isyarat audio dan radio yang dibawa oleh wayar elektrik juga merupakan contoh arus ulang-alik. Dalam aplikasi tersebut, matlamat utama ialah memperoleh semula maklumat yang dikodkan (atau dimodulasi) ke isyarat AC. Litar AU adalah litar dimana voltan dan arusnya berubah dengan masa dan kitar. Gelombang berubah bagi setiap T saat dimana T ialah tempoh gelombang.



Rajah 2.3: gelombang AU



Rajah 2.4: bentuk gelombang segi empat dan segitiga

Voltan AU boleh dijanakan dengan dua cara iaitu: -

- Pengalir bergerak dan fluks medan magnet (*magnetic field*) pegun – pengalir akan memotong fluks
- Fluks medan magnet (*magnetic field*) bergerak dan pengalir pegun – fluks akan memotong pengalir

2.2 Istilah-istilah Voltan AU

Berdasarkan rajah 2.3, persamaan gelombang sinus dapat diterbitkan:-

$$v(\omega t) = V_m \sin \omega t$$

Dimana :-
 $v(t)$ = voltan seketika,
 V_m = voltan maksimum atau amplitud gelombang
 ω = frekuensi sudut
 t = masa
 ωt = sudut fasa berbanding masa (rad/darjah), $T = \frac{2\pi}{\omega}$

Daripada bentuk gelombang AU, terdapat beberapa istilah yang perlu diketahui dan difahami iaitu-

- i. V_p (Voltan puncak) – merupakan voltan maksimum yang diambil dari rajah gelombang. Bagi gelombang AU voltan puncaknya adalah V_m

$$V_p = V_m$$

- ii. V_{pp} (Voltan puncak ke puncak) – merupakan nilai yang diambil bermula dari maksimum +ve ke nilai maksimum-ve

$$V_{pp} = 2V_m$$

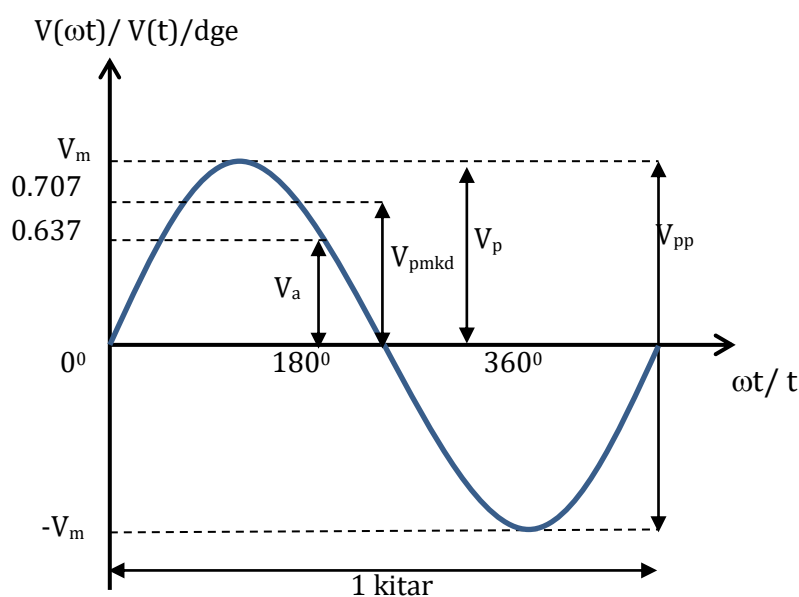
- iii. V_a (Voltan purata)- nilai purata bagi gelombang sinus di mana nilainya adalah merupakan nilai purata yang diambil bagi keluasan di bawah garis gelombang AU. Nilainya adalah merupakan 63.7% daripada nilai voltan maksimum.

$$V_a = 0.637V_m$$

- iv. V_{pmkd} (voltan punca min kuasa dua) – merupakan nilai yang terpenting di dalam litar elektrik. Kebanyakan meter menunjukkan bacaan di dalam nilai pmkd yang sama dengan 70.7% daripada nilai puncak voltan ulangalik.

$$V_{pmkd} = 0.707V_m$$

Kesemua istilah dapat digambarkan melalui gelombang rajah 2.5.



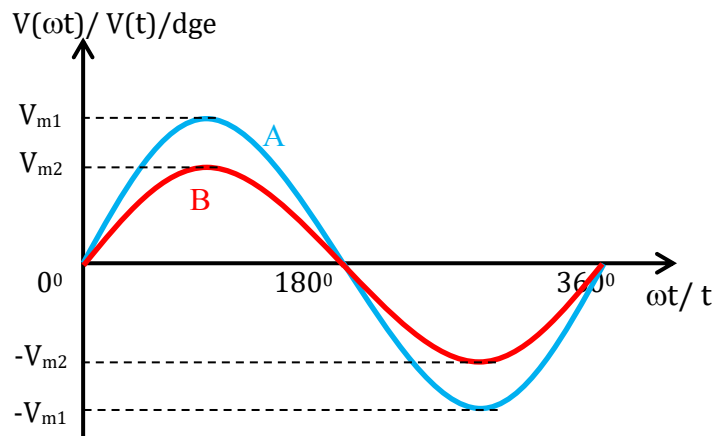
Rajah 2.5: gelombang AU berserta istilah

2.3 Jenis Gelombang Sefasa, Tidak Sefasa

2.3.1 Gelombang sefasa

Bagi gelombang pada rajah 2.6, menunjukkan gelombang A dan gelombang B adalah sefasa kerana tiada perbezaan sudut diantaranya. Keduanya mempunyai nilai maksimum yang berbeza. Dimana bagi gelombang A nilai voltan maksimumnya adalah V_{m1} . Manakala bagi gelombang B nilai voltan maksimumnya adalah V_{m2} . Oleh itu rangkap bagi kedua-dua gelombang boleh dinyatakan dalam bentuk persamaan trigonometri seperti :-

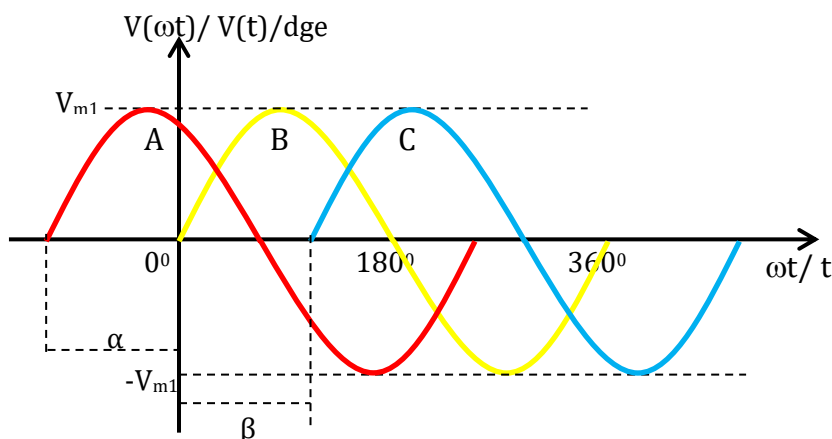
Gelombang A: $v(t) = V_{m1} \sin \omega t$, Gelombang B: $v(t) = V_{m2} \sin \omega t$



Rajah 2.6: gelombang sefasa

2.3.2 Gelombang tidak sefasa

Bagi gelombang pada rajah 2.7, menunjukkan gelombang A, B dan C tidak sama fasa kerana terdapat perbezaan sudut diantaranya. Tetapi dge teraruh ketiganya adalah sama (V_m), tetapi ketiga-tiga gelombang tidak sampai ke nilai maksimum atau sifar tidak serentak. Boleh dikatakan diantaranya ada mengalami perbezaan fasa. Jarak ketiga-tiganya adalah bergantung kepada nilai sudut fasa α dan β .



Rajah 2.7: gelombang tidak sama fasa

Oleh itu dapat disimpulkan dari rajah 2.7 bahawa: -

- Gelombang B sebagai rujukan
- Gelombang A mendahului gelombang B dengan sudut α
- Gelombang C mengekori gelombang B dengan sudut β

Oleh itu rangkap bagi ketiga-tiga gelombang boleh dinyatakan dalam bentuk persamaan trigonometri seperti: -

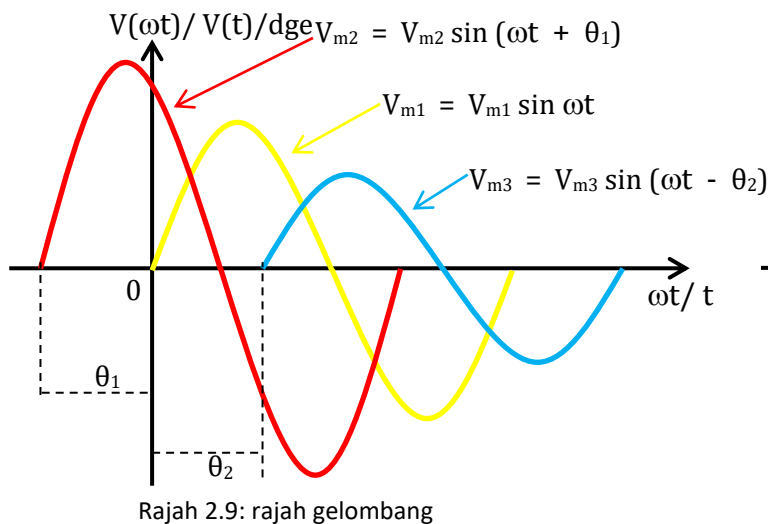
Gelombang B: $v(t) = V_m \sin \omega t$

Gelombang A: $v(t) = V_m \sin (\omega t + \alpha)$

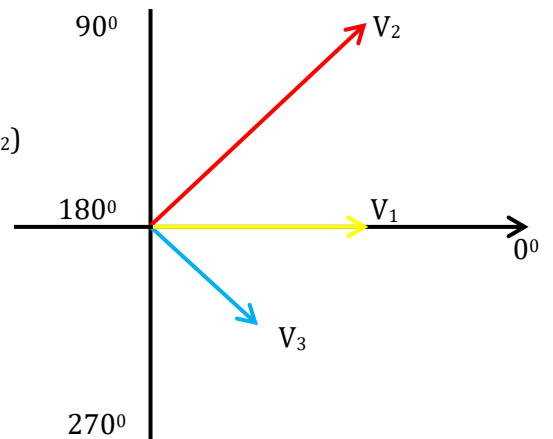
Gelombang C: $v(t) = V_m \sin (\omega t - \beta)$

2.4 Gambarajah vektor

Rajah vektor merupakan satu kaedah untuk menyampaikan sesuatu maklumat yang terkandung di dalam sesuatu gelombang sinus. Caranya dengan melukis rajah vector nilai kuasa dua (pmkd) bagi gelombang tersebut berdasarkan kepada sudut anjakan fasanya. Rajah vektor bagi gelombang pada rajah 2.7 seperti digambarkan pada rajah 2.8. panjang atau pendek anak panah(magnitude) yang dilukiskan bergantung kepada nilai puncak (V_m). nilai voltan V_1 diambil sebagai rujukan kerana gelombang V_1/V_{m1} bermula dari sifar(0°).



Rajah 2.9: rajah gelombang

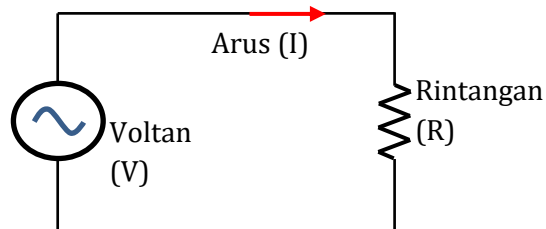


Rajah 2.8: rajah vektor

2.4.1 Rintangan Tulen (R)

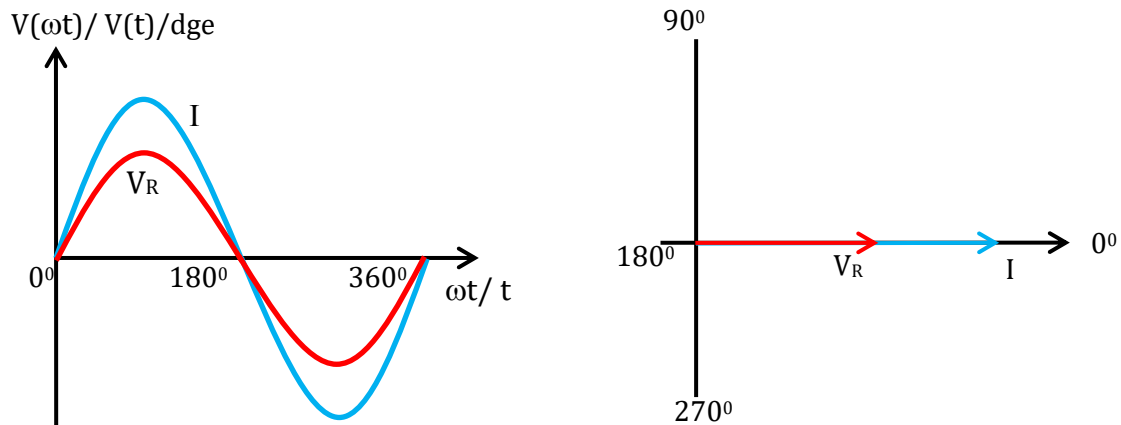
Apabila voltan ulang alik dikenakan kepada satu litar (seperti rajah 2.10) yang terdiri daripada perintang sahaja. Arus ulangalik yang mengalir di dalam litar tersebut boleh ditentukan dengan menggunakan Hukum Ohm dan persamaannya sama dengan persamaan 1.2, iaitu.

$$R = \frac{V}{I}$$



Rajah 2.10: litar rintangan tulen

Dalam litar berintang tulen AU arus dan voltan adalah sefasa kerana tiada anjakan sudut. Gambarajah gelombang dan rajah vector adalah seperti 2.11.



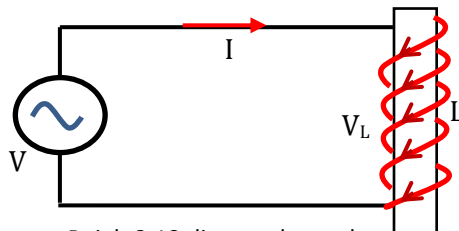
Rajah 2.11: gelombang dan rajah vector bagi rintangan tulen

Kesan rintangan dalam litar AU:-

- Jika rintangan bertambah maka arus akan berkurang begitu sebaliknya
- Nilai arus ulang alik yang mengalir pada sebarang titik di dalam litar yang mengandungi rintangan tulen adalah tidak dipengaruhi oleh nilai frekuensi litar tersebut.

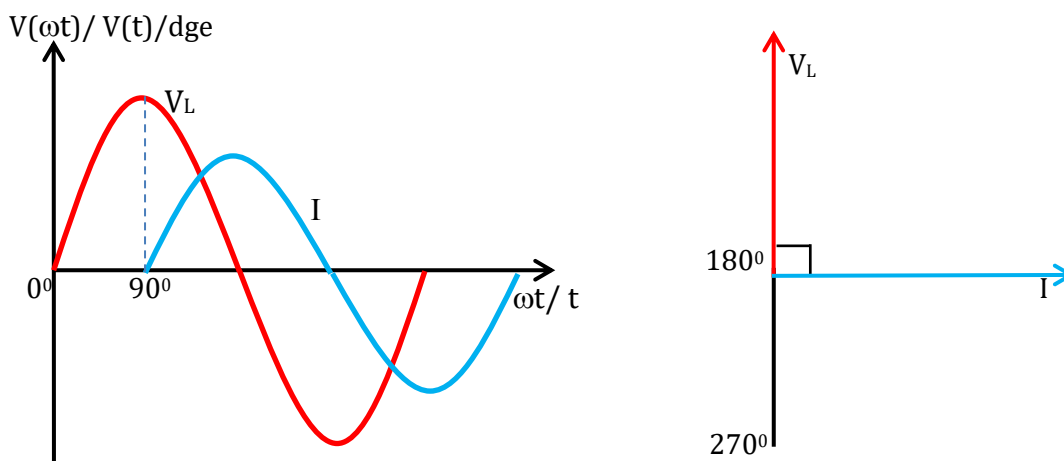
2.4.2 Aruhan tulen dalam litar AU

Aruhan adalah gegelung aruhan yang menyimpan tenaga di dalam medan electromagnet. Apabila voltan AU dikenakan merentasi peraruh (seperti rajah 2.12), arus yang mengalir melaluinya berubah-ubah dan medan magnet yang berkaitan juga berubah-ubah. Arus elektrik mengalir dalam gelung aruhan, akan menjadikan gelung ini elektromagnet. Ini menyebabkan dge sentiasa teraruh dalam peraruh dan menentang pengaliran arus. Sifat peraruh terhadap pengaliran arus ulang alik dinamakan regangan beraruhan regangan induktif (X_L).



Rajah 2.12: litar aruhan tulen

Litar yang mengandungi hanya aruhan sahaja, arus akan menyusuli (mengekor) voltan bekalan dengan beza fasa sebanyak 90° . Oleh itu rajah gelombang dan vector boleh digambarkan seperti rajah 2.13.



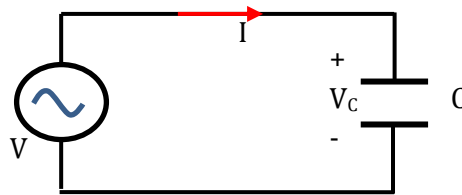
Rajah 2.13: rajah gelombang dan rajah vektor aruhan tulen AU

Kesan aruhan di dalam litar AU

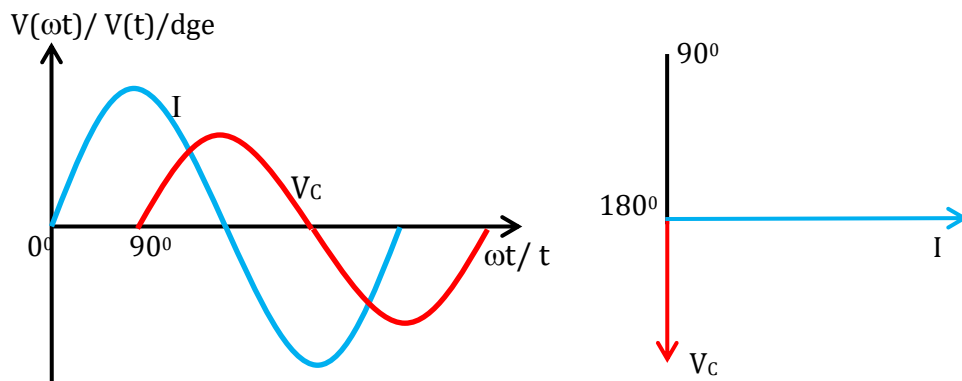
- Penentangan aliran arus aruhan dikenali sebagai regangan induktif, ianya senilai dengan rintangan bagi perintang.
- Regangan induktif bergantung pada frekuensi, dimana bila frekuensi bertambah maka voltan dan regangan turut bertambah.

2.4.3 Kemuatan tulen dalam litar AU

Arus akan mendahului voltan sebanyak 90° (seperti rajah 2.15), bagi litar berkemuatan tulen dalam litar arus ulangalik.



Rajah 2.14: litar kemuatan tulen



Rajah 2.15: rajah gelombang dan rajah vektor kemuatan tulen AU

Kesan kemuatan dalam litar AU

- Penentangan aliran arus kemuatan dikenali sebagai regangan kapasitif, ianya senilai dengan rintangan bagi perintang.
- Regangan kapasitif bergantung pada frekuensi, dimana bila frekuensi bertambah maka voltan dan regangan turut bertambah.

Untuk mengingat beza fasa voltan dan arus gunakan perkataan CIVIL dimana:

C (kemuatan) IV – arus mendulu voltan sebanyak 90°

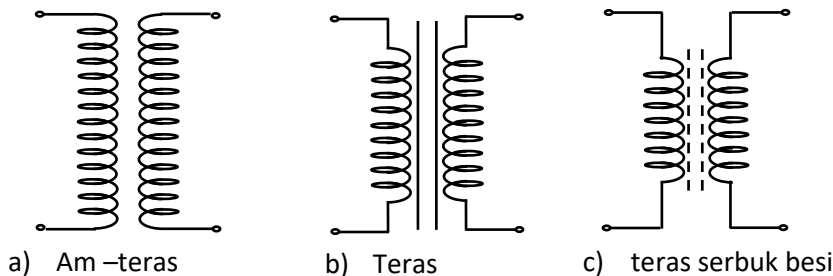
L (kemuatan) VI – voltan mendulu arus sebanyak 90°

3 PENGUBAH

3.1 Pengenalan

Pengubah (*transformer*) merupakan sebuah alat statik yang menghubungkan dua litar elektrik. Fungsinya adalah untuk menaik dan menurunkan voltan bekalan atau arus AU pada frekuensi yang sama. Sistem penghantaran dan pengagihan tenaga elektrik AU, kuantiti arus dan voltan yang diperlukan berbeza-beza mengikut kehendak pengguna. Oleh itu pengubah diperlukan kerana fungsi utama pengubah adalah untuk menaik dan menurunkan nilai voltan atau arus antara dua litar elektrik.

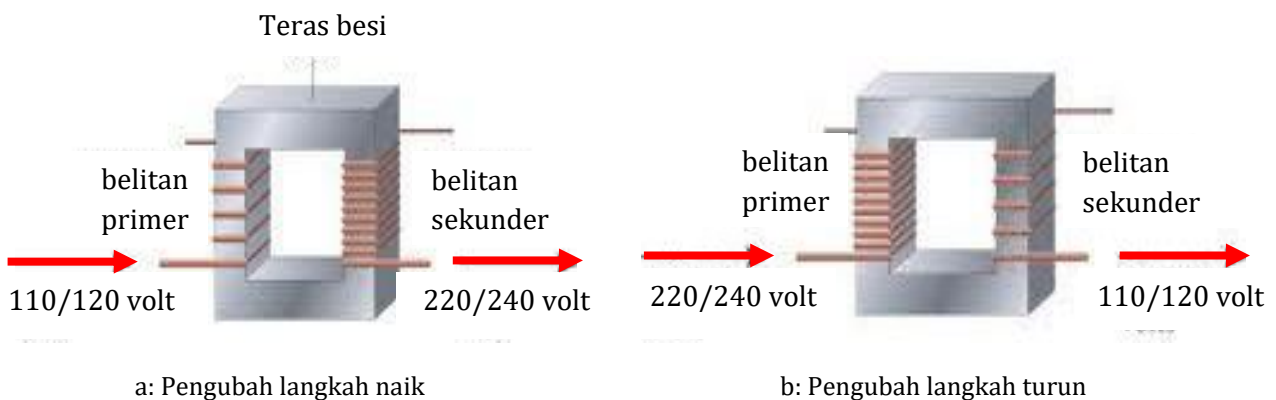
Sekiranya pengubah direkabentuk untuk berkendali dalam mod voltan –tetap, pengubah dikenali sebagai pengubah voltan. Manakala sekiranya pengubah berkendali dalam mod-arus-tetap, pengubah dikenali sebagai pengubah arus. Asas kendalian pengubah berdasarkan kepada prinsip aruhan saling. Belitan yang digunakan jenis dawai tembaga yang mempunyai nilai aruhan saling yang tinggi. Terdapat tiga symbol pengubah yang biasa digunakan iaitu seperti rajah 3.1.



Rajah 3.1: Simbol Pengubah

Jenis-jenis pengubah ialah seperti: -

- Pengubah langkah naik (*step-up transformer*) seperti rajah 3.2a
- Pengubah langkah turun (*step-down transformer*) seperti rajah 3.2b
- Pengubah Pemencilan (*isolation transformer*)
- Pengubah Auto
- Pengubah Arus.



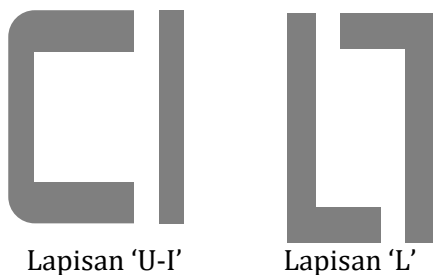
Rajah 3.2: pengubah langkah naik dan langkah turun

3.2 Binaan pengubah

Pengubah terdiri daripada dua bahagian iaitu teras dan belitan. Teras terdiri samada daripada bahan besi, udara atau besi serbuk berpenekat. Belitan pula terdiri daripada dawai kuprum berpenekat atau dawai tembaga.

3.2.1 Teras pengubah

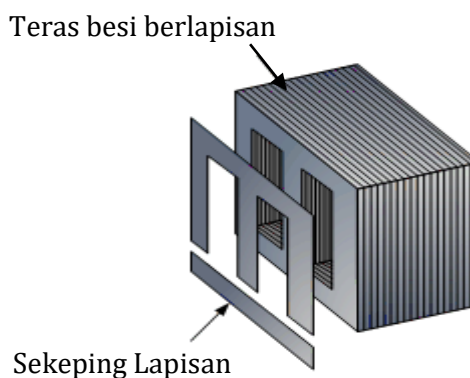
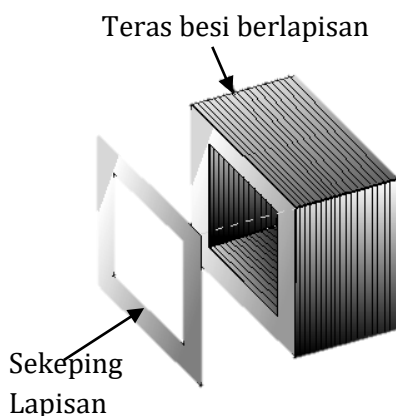
Berfungsi sebagai pelengkap laluan fluks. Teras biasanya diperbuat daripada besi berlapisan, udara dan serbuk besi berpenekat. Tujuan diperbuat berlapisan adalah untuk mengkurangkan arus pusar (*eddy current*). Teras besi berlapisan biasanya bagi pengubah frekuensi rendah. Pengubah frekuensi pertengahan dan tinggi menggunakan teras jenis udara dan serbuk besi berpenekat. Terdapat dua bentuk binaan am bagi teras iaitu bentuk teras dan bentuk kelompang. Pengubah jenis teras biasanya menggunakan belitan berbentuk tiub dimana litar utama dan sekundernya dibelit sebagai sepasang gegelung sepusat di atas lelangan pengubah, seperti rajah 3.3 dan 3.4. Bagi binaan teras ianya diperbuat berlapis-lapis seperti rajah 3.5, dimana kemudiannya lapisan ini akan ditebat menggunakan bahan penekat.



Rajah 3.3: Jenis teras (*core-type laminations*)



Rajah 3.4: Jenis kelompang (*shell-type laminations*)



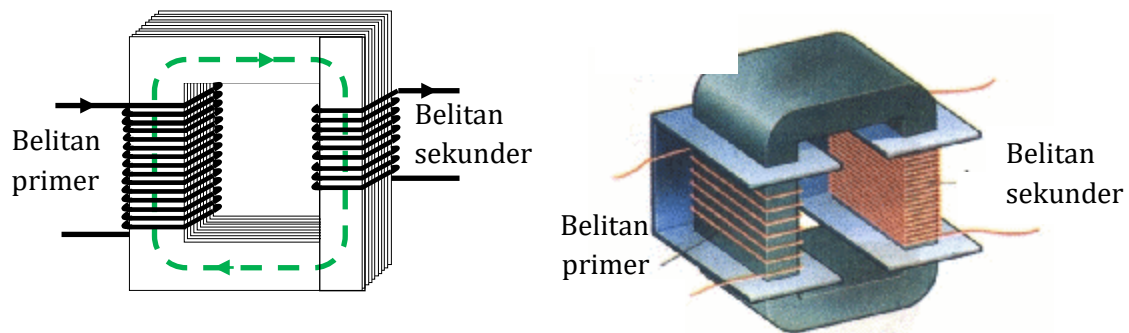
Rajah 3.5: binaan teras berlapis-lapis

3.2.2 Belitan pengubah

Berfungsi sebagai pengeluar kearuhan diri dan kearuhan saling. Belitan yang disambungkan kepada bekalan voltan dinamakan belitan primer sementara belitan yang disambung kepada beban dinamakan belitan sekunder. Antara bentuk lapisan adalah seperti bentuk silinder, belitan berasingan, belitan sepusat dan belitan berlapis.

Jenis teras U-I

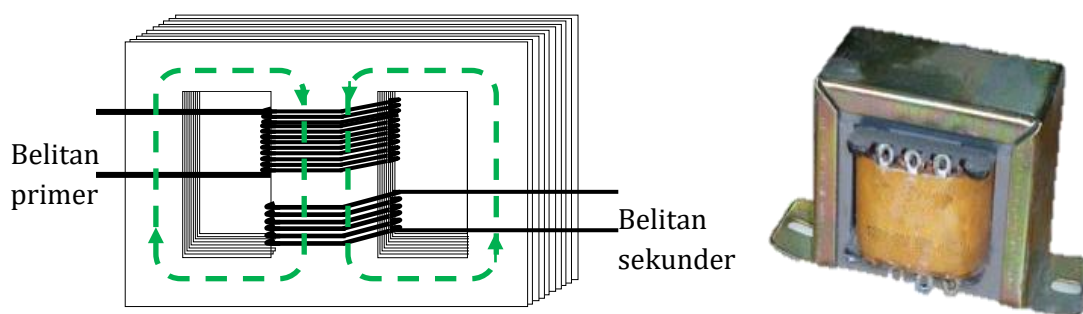
Pada jenis ini lilitan primeri dan sekunder berada pada kaki yang berbeza, seperti rajah 3.6.



Rajah 3.6: belitan Jenis teras(*core*)U-I

Jenis kelompok (*shell*) E - I

Bagi jenis kelompok belitan primer dan sekunder berada pada kaki yang sama. Dimana satu belitan berada di atas dan satu lagi belitan berada di bahagian bawah kaki, seperti rajah 3.7.



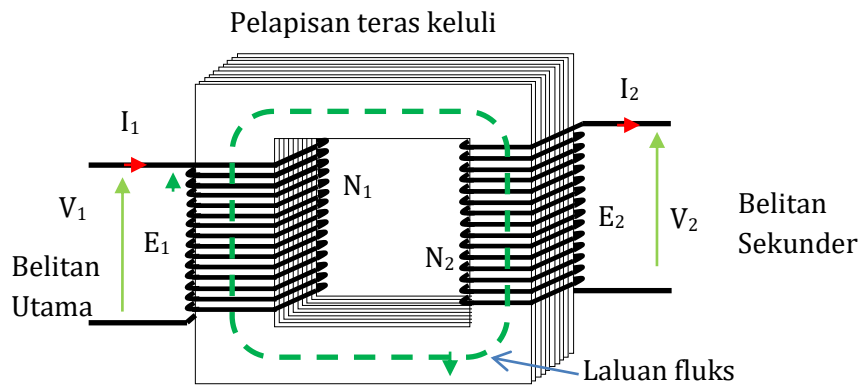
Rajah 3.7: belitan jenis kelompok (*shell*) E - I

3.3 Pengubah Unggul

Asas kendalian pengubah biasanya dirujuk kepada pengubah unggul. Pengubah unggul mempunyai dua belitan yang dililit pada teras besi. bagi tujuan memudahkan penerangan, belitan diasingkan seperti rajah 3.8.

Apabila voltan primer V_1 , disambung kepada belitan N_1 , fluks Φ terhasil di dalam teras besi. Andaikan tiada kebocoran magnet berlaku, fluks Φ merangkai ke dalam belitan sekunder N_2 . Oleh itu

belitan primer dan sekunder dirangkai oleh fluks Φ dan menghasilkan dge aruhan (E_g) yang sama pada tiap belitan.



Rajah 3.8: : litar asas pengubah

Penerangan bagi symbol dan huruf bagi rajah 3.8, adalah seperti berikut: -

- E_1 - dge belitan primer (dge kearuhan diri)
- E_2 - dge belitan sekunder (dge kearuhan saling)
- V_1 - voltan primer (masukkan atau bekalan)
- V_2 - voltan sekunder (keluaran atau beban)
- I_1 - arus primer
- I_2 - arus sekunder
- N_1 - bilangan lilitan gegelung belitan primer
- N_2 - bilangan lilitan gegelung belitan sekunder
- Φ - fluks magnetic ulangalik yang terhasil pada teras primer

Sebuah pengubah dikatakan unggul jika mempunyai ciri-ciri berikut: -

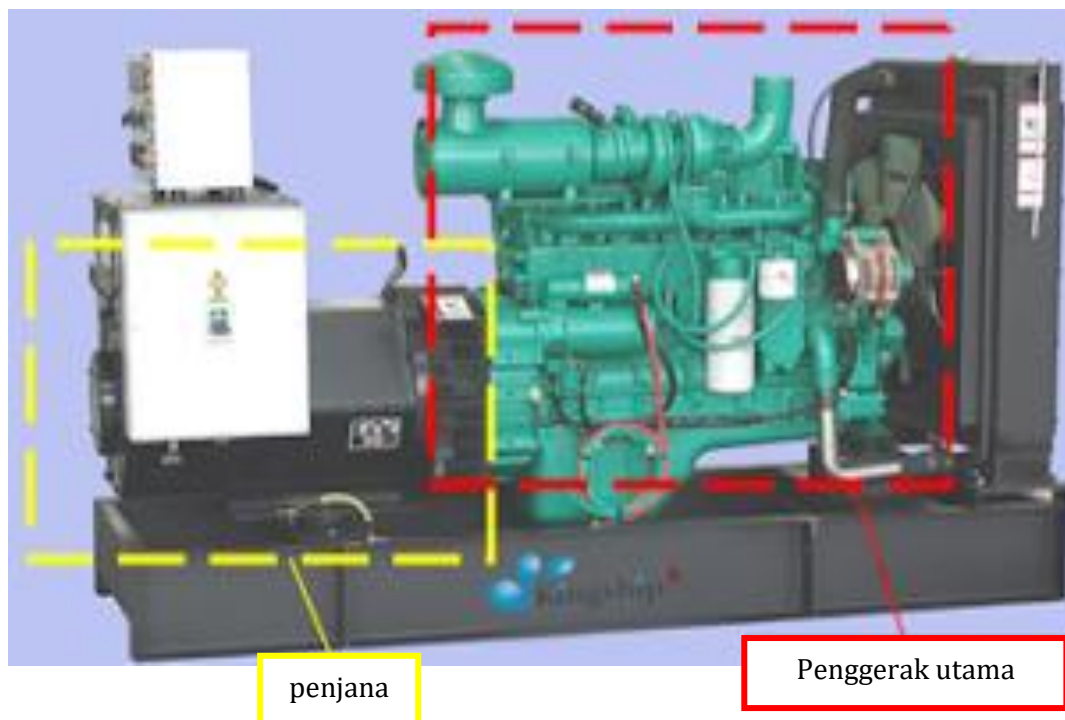
- i. Tiada rintangan dalam belitan
- ii. Tiada kebocoran fluks
- iii. Fluks yang dihasilkan adalah berkadar terus dengan ampere-lilit yang menghasilkannya.

Oleh itu :
$$\frac{\text{dge aruhan dalam belitan primer}}{\text{dge aruhan dalam belitan sekunder}} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1 V}{N_2 V} = \frac{N_1}{N_2}$$

4.1 PENGENALAN

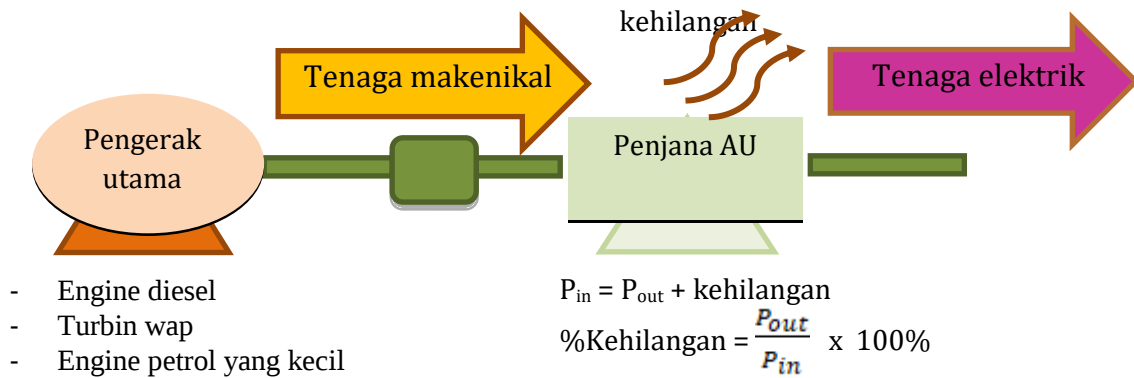
Definisi penjana ialah dipacu oleh mesin jenis mekanikal dan akan menjanakan voltan yang menghasilkan pengaliran arus di dalam litar elektrik. Kapasiti penjana A.U biasanya akan guna KVA bukan KW contoh 100KVA, 250KVA, 500KVA tapi ada juga yang menggunakan KW. Beza kedua-dua ni adalah pada faktor kuasa (power factor, pf). KW kena darab pf (biasanya 0.85). Bagi penjana 4 poles, kelajuan 1500 psm akan menghasilkan frekuensi 50Hz. Jika dinaikan kelajuan maka frekuensi turut meningkat. Kesannya pada peralatan bermotor seperti kipas, blender dan lain-lain akan menjadi lebih laju. Jika peralatan tidak dapat dapat tampung kelajuan ini maka peralatan bermotor boleh rosak.

Di Malaysia kebiasaannya hanya guna pengubah 1500psm 4 poles sahaja di kilang-kilang dan bangunan kerajaan/swasta. Pembekal utama di Malaysia hanya menggunakan bekalan 50Hz tetapi penjana di janakuasa mungkin mempunyai banyak kutub maka kelajuan akan menurun. Bagi Negara lain mungkin ada yang mengguna sehingga 1800 pms atau lebih. Malaysia menggunakan standard British. Kutub adalah magnet dan bilangannya adalah genap.

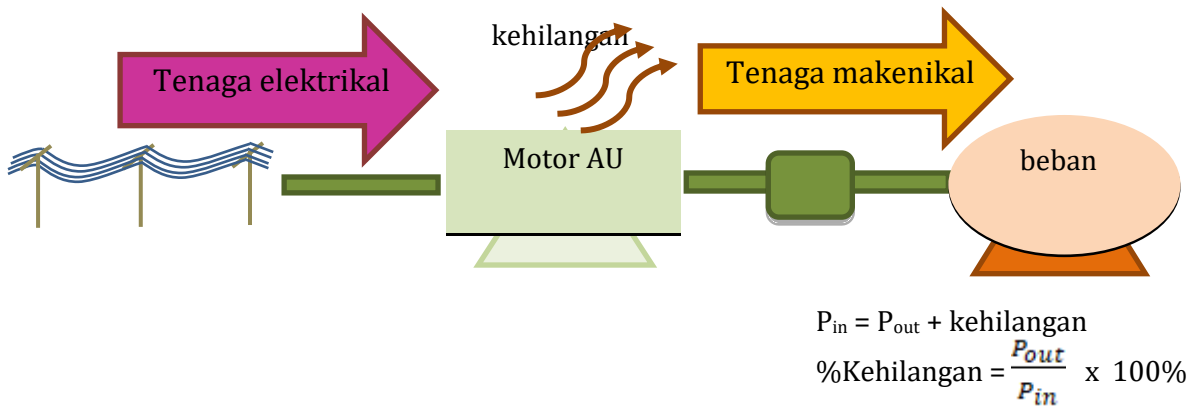


Rajah 4. 1: Genset enjin diesel

Terdapat beberapa jenis enjin yang digunakan pada janakuasa, antaranya adalah Enjin Diesel, Enjin Petrol, Turbin Wap, TurbinGas, TurbinHydro, TurbinAngin, TurbinNuklear. Enjin hanya digunakan untuk menggerakkan rotor yang disambungkan pada penjana.



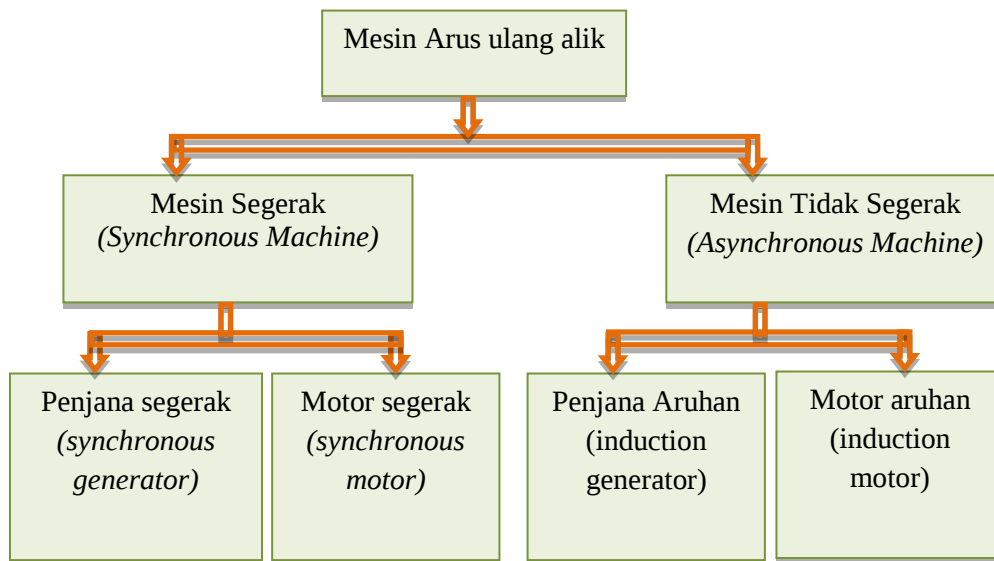
Rajah 4. 2: pemindahan tenaga pada penjana AU



Rajah 4. 3: pemindahan tenaga pada motor AU

Mesin AU berputar boleh dikelaskan kepada dua kategori iaitu mesin segerak (*synchronous machine*) dan mesin tidak segerak (*Asynchronous machine*) seperti cartalir rajah 4.4.

- i. Mesin segerak (*synchronous machine*)
 - Penjana segerak (*synchronous generator*)- bekalan utamanya adalah tenaga elektrik
 - Motor segerak (*synchronous motor*)- digunakan sebagai motor dimana faktor kuasanya boleh diubah
- ii. mesin tidak segerak (*Asynchronous machine*).
 - Penjana Aruhan (*induction generator*) – penjana ini berputar dengan berbagai kelajuan dan frekuensi (kelajuan dan frekuensi boleh ubah) tetapi penjana ini jarang digunakan
 - Motor aruhan (*induction motor*) – motor ini banyak digunakan dalam kegunaan domestic dan dalam industry.



Rajah 4.1: carta alir mesin arus ulang alik

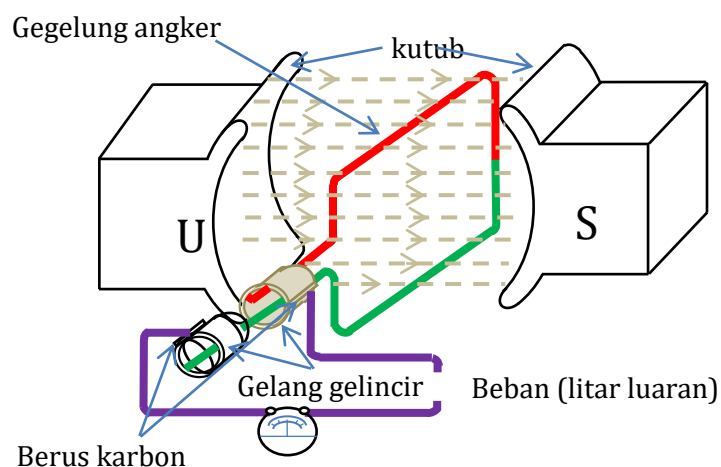
Asynchronous Hydro Generator

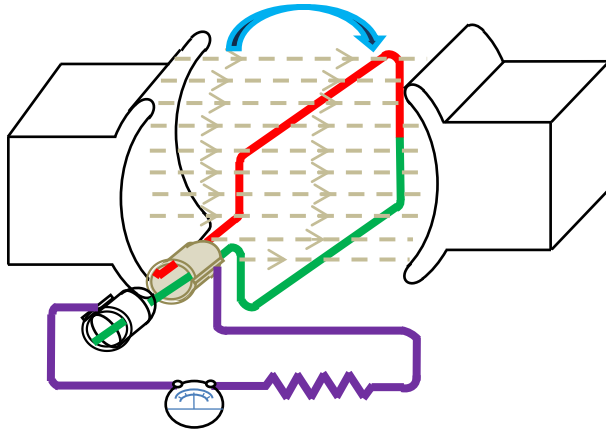
"Asynchronous Hydro Generator is a new product developed, it has advantages such as: strong anti-runaway capacity, compact structure, low cost. It can satisfy the requirements of many foreign clients. The Asynchronous Hydro Generator manufactured by our company run successfully in Yi Mount HPP in Korea in May, 2010, and it still works well."

4.2 Prinsip Operasi Mesin AU

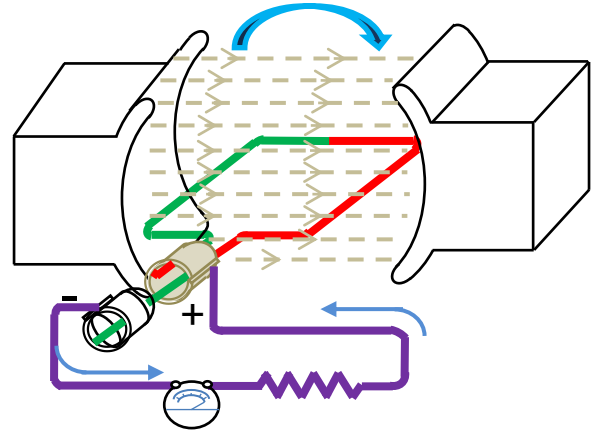
Bagaimana penjana menjanavoltan ulang alik

- i. Pengalir bergerak, fluks medan magnet pegun (diam)- pengalir memotong fluks
- ii. Fluks medan magnet bergerak, pengalir pegun (diam)- fluks memotong pengalir

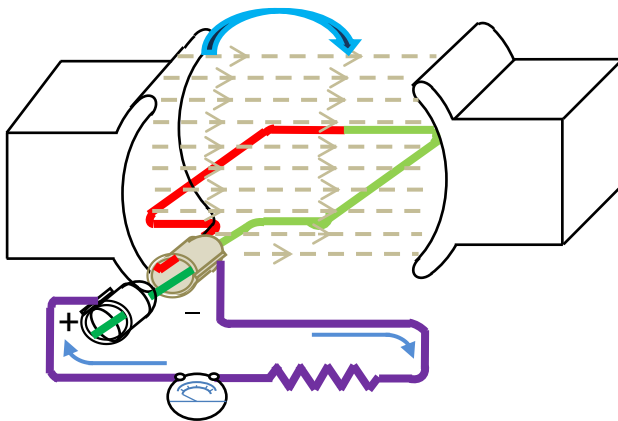




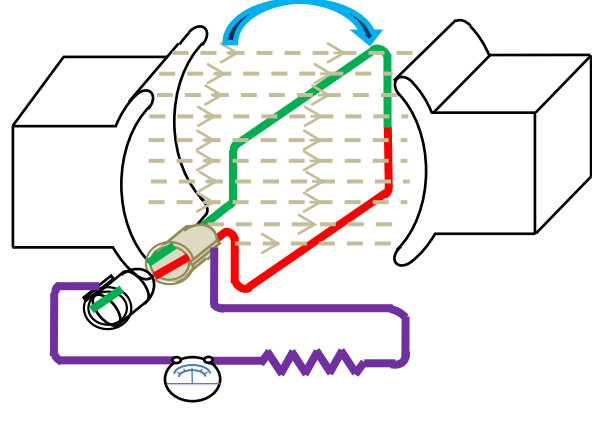
Pada kedudukan gelung angker menegak ketika ini angker bergerak selari dengan medan dan tidak memotong fluks magnet. Maka dge dan arus teraruh adalah '0'.



Pada kedudukan gelung angker mengufuk ke kanan ketika ini dge dan arus teraruh bertambah dari sifar ke nilai maksimum. Arah arus teraruh menggunakan Hukum Tangan kanan Fleming.



Pada kedudukan gelung angker mengufuk ke kiri ketika ini dge dan arus teraruh bertambah dari sifar ke nilai maksimum arah bertentangan. Oleh kerana gelang gelincir sentiasa bersentuh dengan berus karbon, maka adalah litar juga mengalir pada arah yang bertentangan.



Pada kedudukan menegak semula dge dan arus teraruh berubah dari nilai maksimum ke sifar semula.

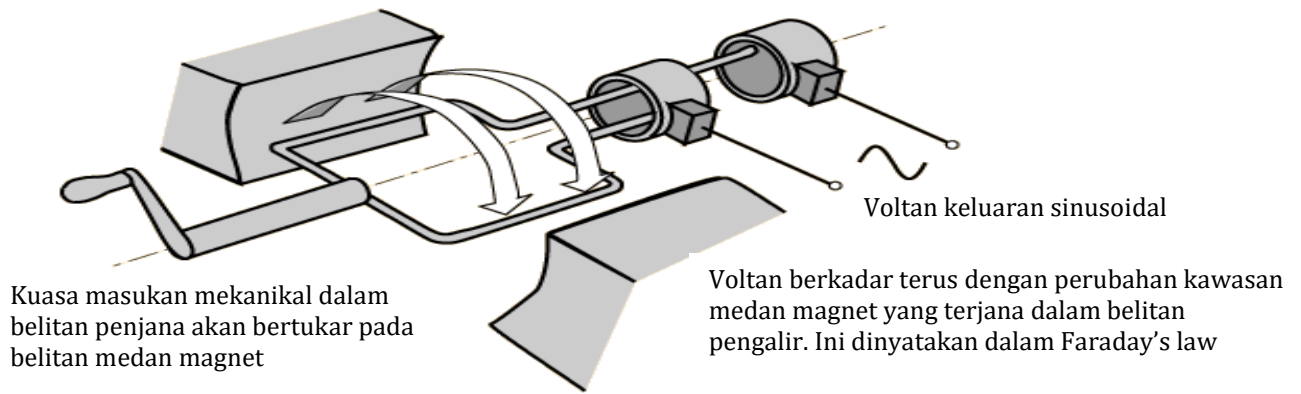
4.3 Penjanaan arus ulangalik

Voltan arus ulangalik boleh di janakan melalui:

- belitan pengalir yang berputar dalam medan magnet
- putaran medan magnet dalam belitan pengalir yang pegun

jumlah voltan yang terjana bergantung pada

- bilangan belitan dalam pengalir
- kekutan/ ketegangan pada medan
- kelajuan pada samada belitan pengalir atau medan magnet yang berputar



Rajah 4. 4: asas motor aruhan au

- i. Perubahan gegelung dalam medan magnet akan menghasilkan dge dalam kedua-dua bahagian pemegun.
- ii. Sepanjang halaju untuk pengalir berubah secara sinusoidal dengan medan magnet maka voltan yang terhasil juga berbentuk sinusoidal.
- iii. Pekara ini diterangkan dalam Faraday's Law dimana bila gegelung medan magnet yang menghasilkan fluks berputar dalam pengalir yang pegun maka voltan akan terjana

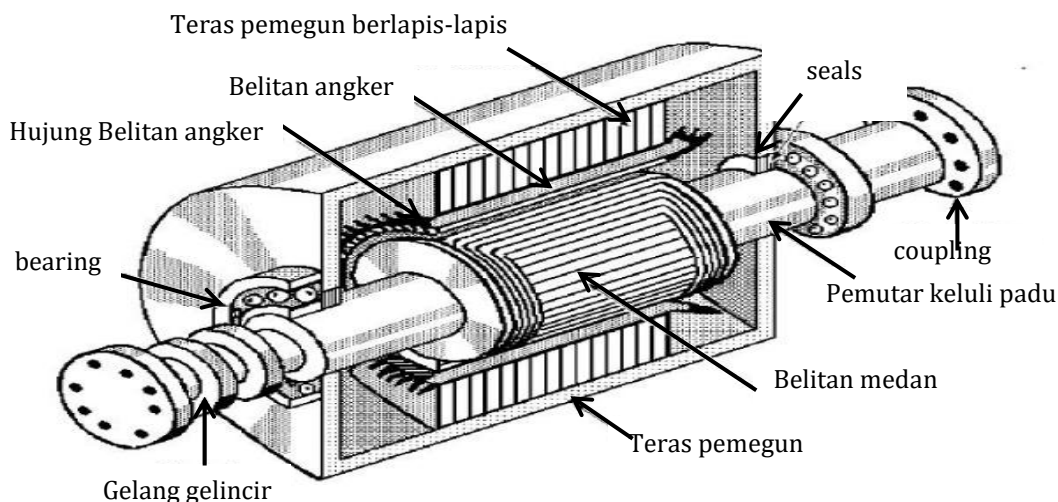
4.4 Prinsip Penjana Arus Ulangalik

Penjana segerak (*synchronous generator/alternator*) adalah Mesin yang menukar tenaga makenik (*mechanical energy*) yang diperolehi daripada *steam*, *gas*, *hydraulic turbing* dan sebagainya kepada tenaga elektrik arus ulangalik. Penjana segerak (*synchronous generator/alternator*) menggunakan arus ulangalik dimana nilai voltannya mudah untuk dinaik dan diturunkan. Arus ulangalik TIDAK mempunyai polarity positif dan negative. Digunakan pada industri dan kediaman di Malaysia.

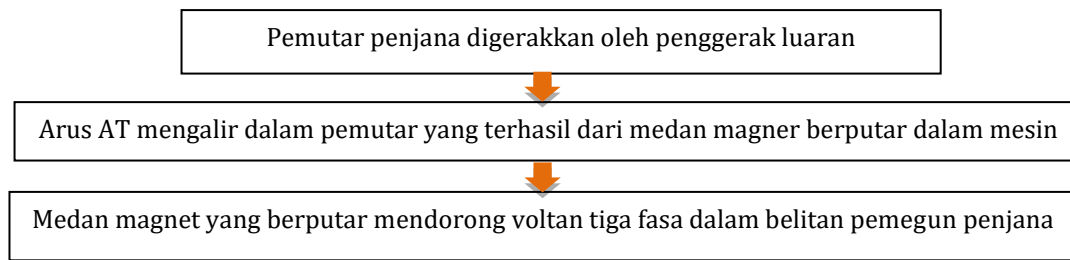
Penjana merupakan sebuah mesin yang menukarkan tenaga mekanik kepada tenaga elektrik. Penukaran tenaga tersebut berdasarkan kepada penghasilan daya gerak elektrik atau aruhan elektromagnetan.



Rajah 4. 5: Simbol bagi mesin AU



Rajah 4. 6: keretanrentas penjana segerak AU dengan kabel cylindrical padu untuk kelajuan yang tinggi 22



Jumlah voltan janaan bagi penjana bergantung pada: -

- i. bilangan lilitan pada pengalir
- ii. kekuatan medan magnet yang menghasilkan fluks
- iii. kelajuan dimana akan memotong fluks

4.5 Jenis-Jenis Penjana

Penjana terdiri dari tiga jenis bergantung pada kegunaannya.

- i. Penjana tetap (janakuasa) – menghasilkan tenaga elektrik yang tinggi
- ii. Penjana bersedia (*standby*) – digunakan sebagai kuasa sandaran (*backup power*) biasanya digunakan di tempat yang tidak boleh terputus bekalan kuasa seperti di ospital, istana, kem tentera.
- iii. Penjana boleh diubah (*portable power system*) – digunakan pada tempat yang tidak tetap seperti di pasar malam, dalam *bot* atau tempat *camping*.

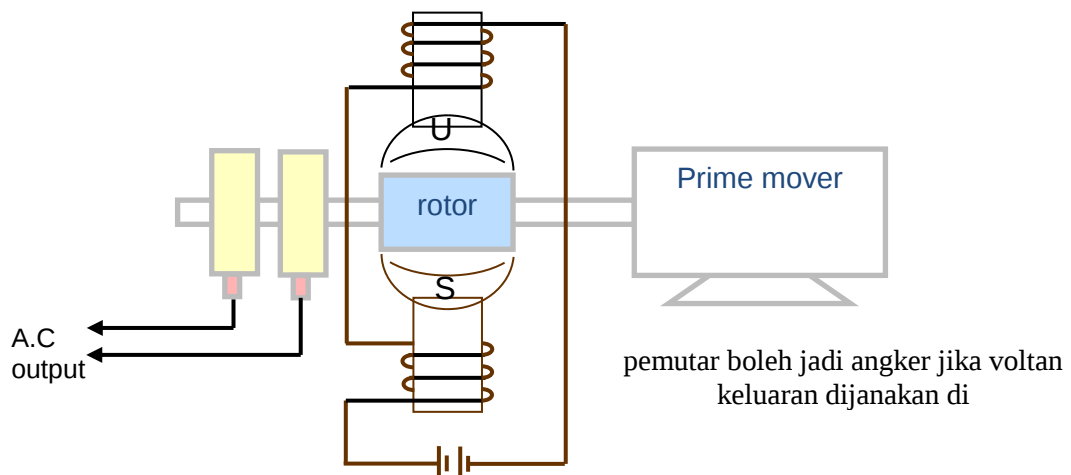
4.6 Binaan Penjana Dan Motor Segerak

Bagi motor segerak biasa biasanya boleh dijadikan sebagai penjana tanpa mengubah sebarang perubahan dalaman. Dua jenis binaan bagi penjana AU ialah

- i. bagi mesin AU kecil
 - teras dan belitan angker berputar
 - teras dan belitan medan tetap
- ii. bagi mesin AU sederhana dan besar
 - teras dan belitan angker tetap
 - teras dan belitan medan berputar

4.6.1 Angker berputar dan medan magnet pegun

Binaan bagi penjana angker berputar adalah menyerupai binaan penjana arus terus dimana angker berputar manakala medan magnet pegun. Dalam penjana A.U voltan A.U terjana dibawa ke beban melalui gelang gelincir. Penjana jenis ini hanya digunakan bagi anggaran kuasa rendah dan biasanya tidak digunakan bagi bekalan kuasa yang banyak penggunaannya. Penjana jenis ini tidak boleh menambah kekuatan fluks, sekiranya ingin menambah kekuatan fluks maka perlu menambah voltan terjana. Voltan terjana boleh ditambah dengan menambah size brus pengalir, gelang gelincir dan bingkai mesin. Penambahan ini akan menambahkan kos dan amat merumitkan.

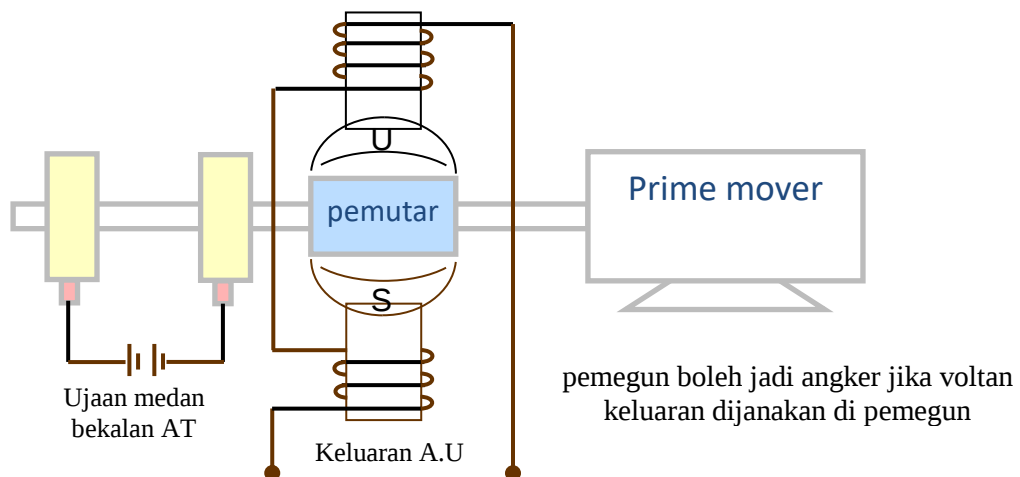


Rajah 4. 7: penjana angker berputar dan medan magnet pegun

Penjana A.C angker berputar boleh digambarkan seperti rajah 4.7, dimana pemegun menghasilkan medan elektromagnetik yang pegun. Angker sebagai pemutar akan berputar didalam medan magnet, angker ini akan memotong fluk seterusnya menghasilkan voltan keluaran. Voltan keluaran akan diambil melalui pemutar melalui gelang gelincir dan berus (*brushes*). Satu gelang gelincir disentuhkan pada setiap hujung gelung yang berputar. Berus (*brushes*) memungut elektrik melalui gelang gelincir. Voltan keluaran bagi pemegun A.U boleh di pindahkan daripada gelang gelincir terus ke berus seterusnya ke litar luaran.

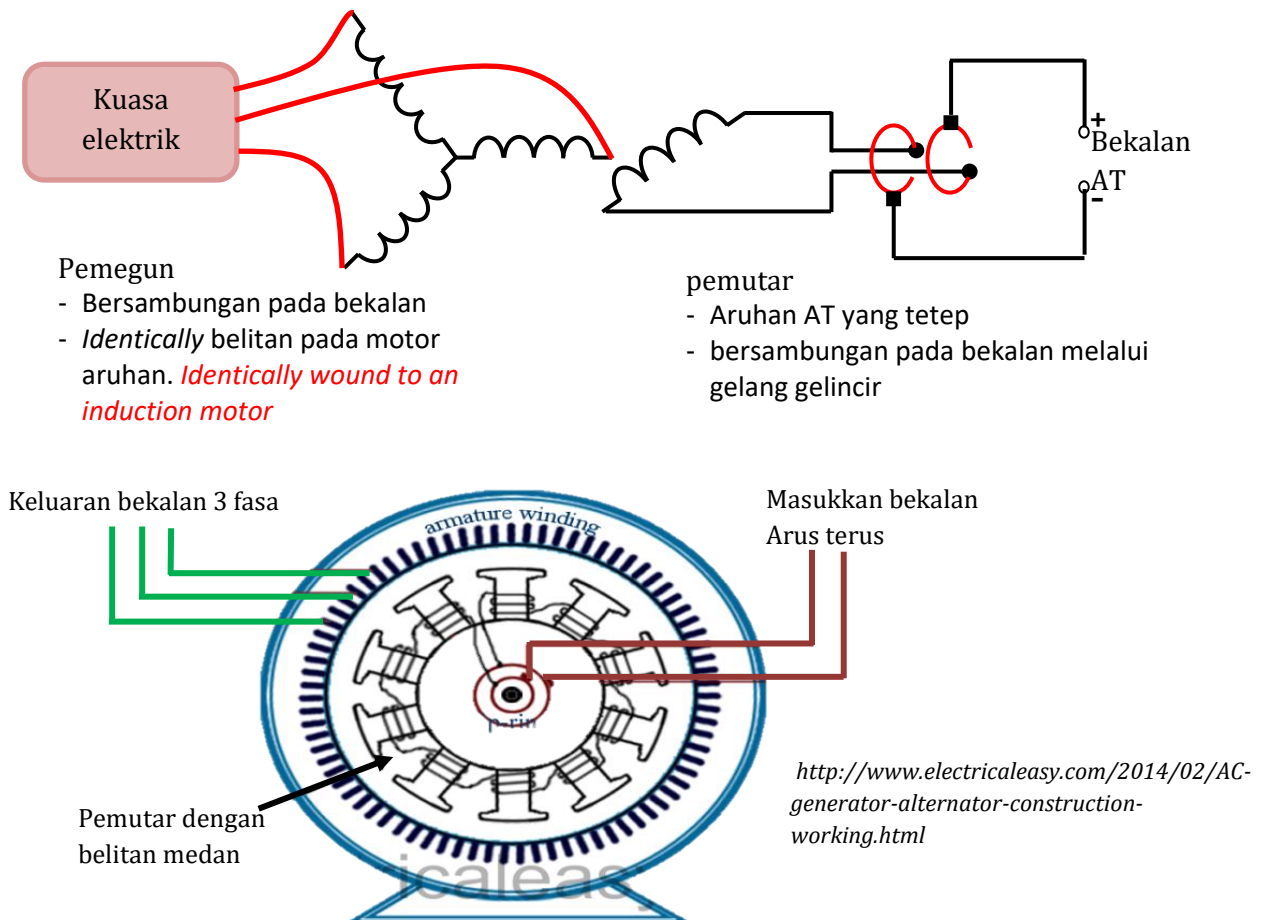
4.6.2 Angker pegun dan medan magnet berputar

Medan berputar boleh berputar pada kelajuan tinggi dan ianya lebih ringan. Voltan tinggi boleh dijanakan kerana kelajuan tinggi. Terdapat sedikit kesukaran dalam menghasilkan voltan tinggi pada bahagian bergerak berbanding bahagian pegun. Adalah mudah untuk menebatkan belitan angker (pegun) yang bervoltan tinggi ketika berkendali semasa janaan. Arus keluaran disalurkan terus ke beban tanpa memerlukan berus (*brushes*). Oleh itu arus tinggi boleh dihasilkan dan keseluruhan litar sentiasa berpenambat. Selain itu struktur belitan angker lebih kompleks oleh itu lebih elok ianya pegun. Penjana A.U angker pegun boleh digambarkan seperti rajah 4.8 penjana ini paling banyak digunakan sekarang. Penjana jenis ini memerlukan bekalan A.T daripada sumber luaran yang dimasukkan melalui gelang gelincir dan brus (*brushes*) seperti rajah 4.8. Keadaan ini akan megekalkan medan elektromagnet berputar pada polarity yang tetap sama dengan putaran magnet bar.



Rajah 4. 8: penjana angker pegun dan medan magnet berputar

4.7 PENJANA SEGERAK AU



Rajah 4. 9: penjana segerak AU dengan masukkan DC

Binaan penjana dan motor segerak terdiri daripada pemegun dan pemutar. Di bahagian pemegun terdapat belitan angker manakala di bahagian pemutar terdapat belitan medan. Binaan begini membolehkan arus dan voltan terhasil atau digunakan lebih tinggi. Satu kelebihan AU berbanding AT ialah mudah untuk menaikkan (*stepped up*) dan menurunkan (*stepped down*) sama seperti transformer. Contohnya mesin boleh mengambil voltan arus rendah dan menaikkan kepada voltan arus tinggi dan sebaliknya.

Kelebihan angker tetap medan berputar bagi penjana adalah seperti jadual 4.1: -

Angker pegun	Angker berputar
Voltan dijanakan tinggi	Voltan dijanakan rendah
dge diambil terus dari kutub medan yang pegun	dge diambil terus dari kutub medan yang berputar
Arus keluaran yang tinggi	Arus keluaran yang rendah
Keluaran A.U disambungkan ke gelang gelincir	Keluaran A.U disambungkan ke pemegun
Jika ingin menambahkan pengalir tidak perlu menambah saiz pengalir angker.	Jika ingin menambah dge janaan maka perlu menambah bilangan pengalir (Z), saiz berus karbon, saiz gelang gelincir (<i>slip ring</i>) dan saiz bingkai. Ini akan menambahkan kos

Mudah untuk menebatkan gelang gelincir (<i>slip ring</i>) dan belitan angker yang mungkin setinggi 30kV atau lebih	Binaan sama tapi gelang gelincir bersambungan dengan angker dan masukkan pada medan adalah Voltan AT
Binaan angker yang kompleks lebih sesuai ianya pegun	Angker mudah rosak kerana sentiasa berputar

Jadual 4. 1: Kelebihan angker tetap medan

Walaubagaimana pun terdapat kelemahan bila menggunakan gelang gelincir dan berus iaitu: -

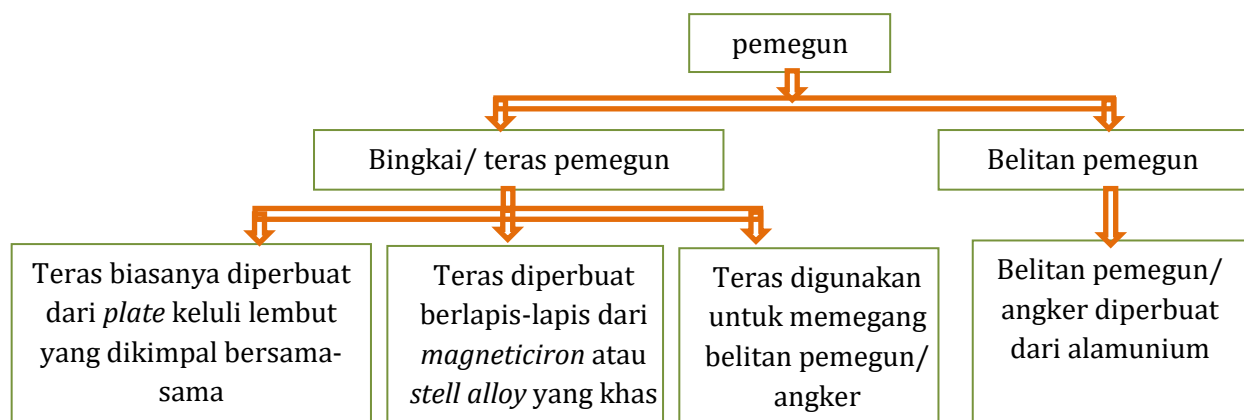
- senggaraan akan bertambah dan berus perlu di periksa berkala.
- Kejatuhan voltan berus boleh menjadi punca kehilangan kuasa yang besar pada mesin dengan menghasilkan arus medan yang besar.

NOTA

- bagi mesin segerak yang kecil (angker yang berputar) menggunakan gelang gelincir dan berus
- bagi mesin segerak yang sederhana dan besar (angker tetap) penggunaan berus yang kurang keraha hanya digunakan pada bekalan AT yang membekalkan medan untuk menghasilkan arus medan.

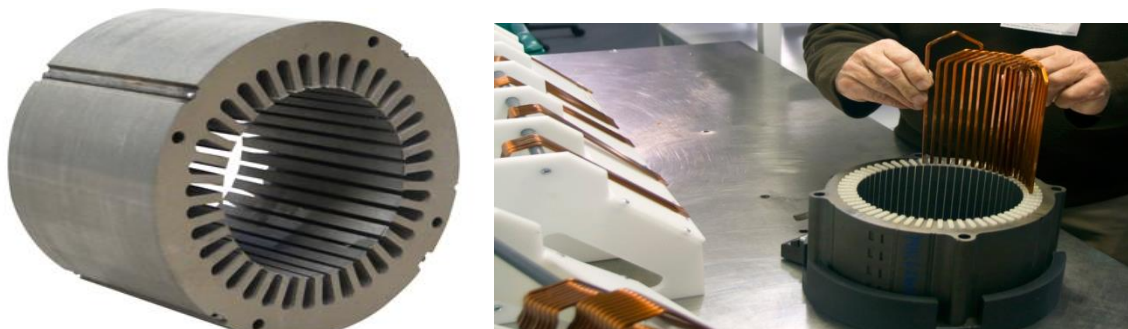
4.7.1 Pemegun (stator)

Pemegun (*Stator*) – belitan 3 fasa dimana ia akan menjanakan dge AU. Pemegun boleh dibahagikan kepada dua bahagian iaitu seperti rajah 4.10.



Rajah 4. 10: bahagian pemegun

Pemegun alternator tidak sama seperti pemegun motor dc kerana ia bukan laluan fluks. Pemegun terdiri daripada bingkai, teras untuk menempatkan belitan angker dimana teras diperbuat dari lapisan-lapisan besi/keluli nipis bertebat. Tujuannya untuk mengkurangkan arus pusar. Belitan angker dililit di dalam lubang alur (*slot*). Voltan keluaran di janakan di pemegun oleh itu ia mestilah angker.



Rajah 4. 11: gambarajah teras pemegun dan belitan pemegun

4.7.2 Pemutar (rotor)

Pemutar (*rotor*) – memerlukan bekalan AT

Pemutar terdiri daripada teras dan belitan medan serta aci (*shaft*). Pemutar menghasilkan medan magnet apabila arus dibekalkan kepada belitan medan. Arus ini diperolehi dari penjana AT yang acinya digandingkan kepada aci pemutar. Janaan medan terhasil disini oleh itu pemutar perlulah medan magnet.



Rajah 4. 12: gambarajah teras pemutar, belitan dan bar pengalir pemutar

i. Kutub menonjol (*salient Pole*) (lebih dari 4 kutub)

Digunakan dalam alternator berkelajuan sederhana dan rendah, kelajuannya datara 100 hingga 1500rpm dikenali juga dengan panggilan *projected pole*. Penggerak utama aplikasi ini biasanya menggunakan turbin hydro atau enjin pembakaran yang mempunyai kelajuan rendah atau sederhana. Kutub menonjol biasanya mengandungi belitan tambahan (*dumper winding*) untuk mengelakkan pemutar berayun semasa beroperasi. Bilangan kutub untuk sambungan ini adalah banyak iaitu lebih dari 4 kutub. Kutub nya diperbuat dari lapisan-lapisan juga untuk mengurangkan *eddy current*.

ciri-ciri pemutar

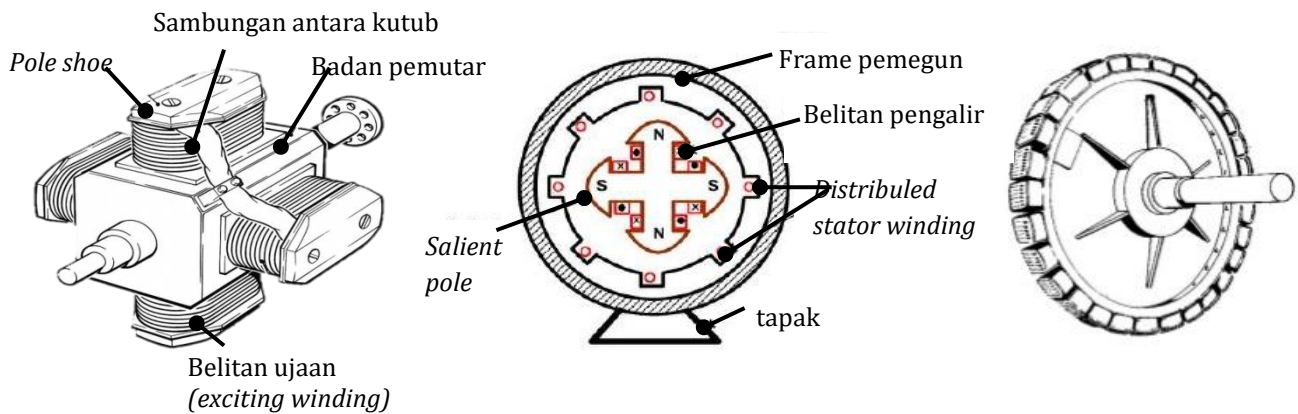
- Menggunakan penggerak utama dari disel
- Sistem hydro
- kos dan senggaraan kurang
- mempunyai ukurlilit (*diameter*) yang besar dan panjang paksinya kecil
- kekuatan mekanik yang rendah
- kelajuannya rendah iaitu diantara 100rpm hingga 1500rpm
- biasanya menggunakan belitan tambahan (*dumper windings*) untuk mengurangkan ayunan pemutar (*rotor oscillation*) kerana pertukaran fluks yang besar antara kutub.
- jika kelajuan pemutar rendah maka bilangan kutub perlulah banyak seperti formula

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad \Rightarrow \quad \text{jika } f = 60\text{Hz dan } N_s = 720\text{rpm maka } P = \frac{120(60)}{720} = 10$$

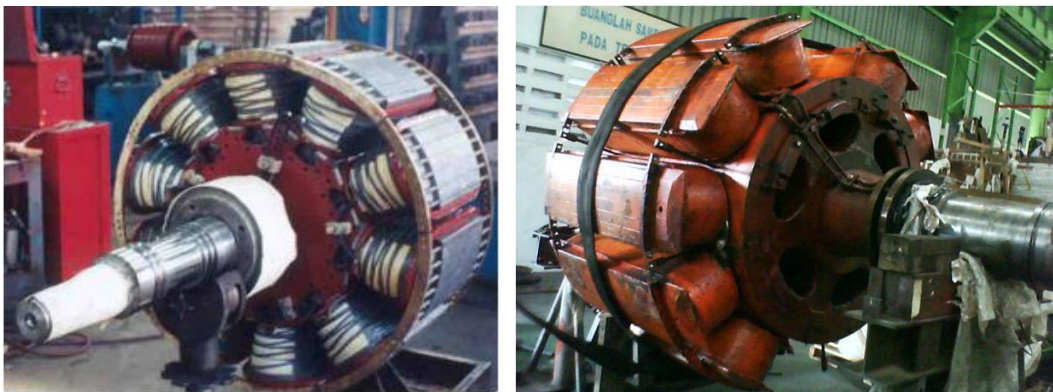
berbanding

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad \Rightarrow \quad \text{jika } f = 60\text{Hz dan } N_s = 1200\text{rpm maka } P = \frac{120(60)}{1200} = 6$$

- fluks yang teragih adalah lemah



Rajah 4. 13: pemutar jenis kutub menonjol *salient pole*



Rajah 4. 14: penjana salient pole 12MW 16 pole

- ii. non salient pole/ Cylindrical pole (2-4 kutub) dikenali juga sebagai smooth chlindrical/ *drum rotor*

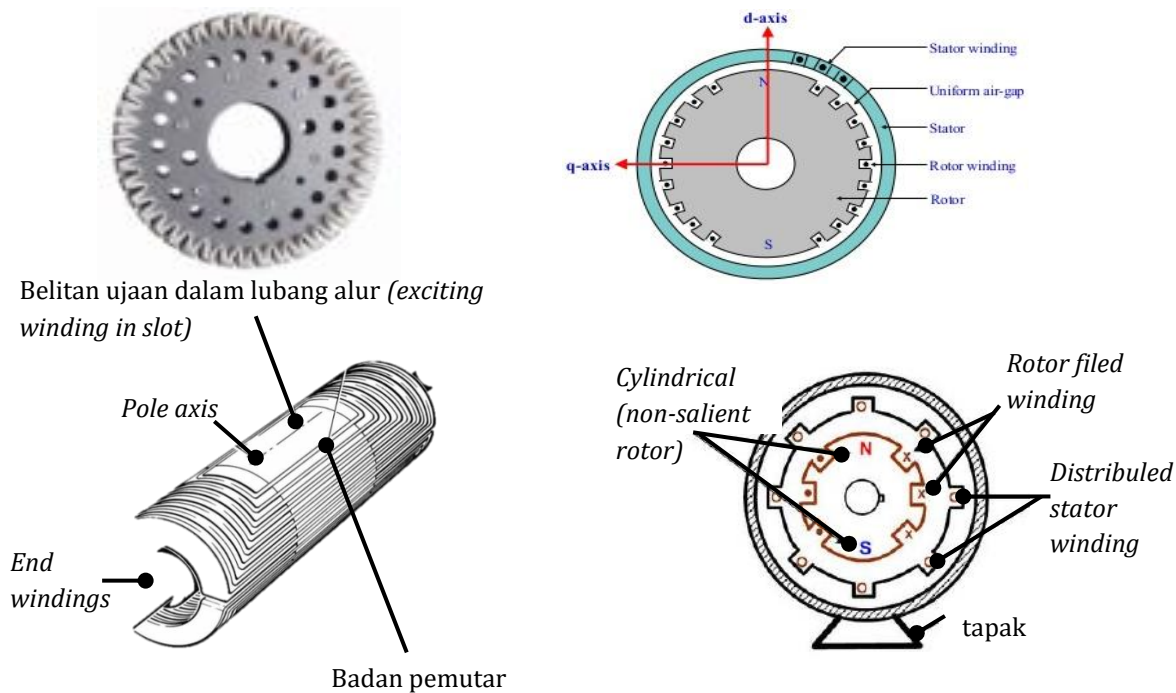
digunakan dalam alternator berkelajuan tinggi, 1500rpm ke atas. Penggerak utama aplikasi ini biasanya menggunakan gas turbin atau wap. Bilangan kutub untuk sambungan ini adalah sebanyak 2-4 kutub. Kutub nya diperbuat dari lapisan-lapisan juga untuk mengurangkan *eddy current*.

ciri-ciri pemutar

- turbine wap panas
- kos dan senggaraan kurang
- mempunyai ukurlilit (*diameter*) yang kecil dan panjang paksinya besar
- kekuatan makenik yang tinggi
- kelajuannya tinggi iaitu bilangan kutub sedikit seperti formula

$$N_s = \frac{120f}{P} \quad \text{➡ jika } f = 60\text{Hz dan } N_s = 3,600 \text{ maka } P = \frac{120(60)}{3600} = 2$$

- saiz panjang dan diameter kecil
- penjana ini lebih senyap dan kehilangan anginnya adalah minimum
- biasanya tidak menggunakan belitan tambahan (*damper windings*)



Rajah 4. 15: non salient pole/ Cylindrical pole 2 kutub



Rajah 4. 16: contoh gambar pemegun jenis (*non salient pole/ Cylindrical pole*)

4.8 Persamaan Dge Penjana (Generator/Alternator) Tiga Fasa

Anggap penjana ini mempunyai kesemua belitan angker sama degan jumlah bilangan *full pitch concentrated coils* C , setiap gelungan diberi bilangan number N_c . oleh itu bilangan lilitan dalam sebarang fasa angker penjana 3 fasa adalah: -

$$N_{ph} = \frac{CN_c}{3}$$

Persamaan voltan setiap fasa akan sama masuk ke penjana fasa tunggal seperti:

$$E_{ph} = 4.44 \Phi N_{ph} f$$

Nilai voltan talian akan berbeza daripada voltan fasa bila generator bersambungan bintang (*star*). Nilai dge (voltan) talian sekiranya penjana bersambungan bintang (*star*) seperti: -

$$E_L = \sqrt{3} E_{ph}$$

Nilai arus talian akan sama dengan arus fasa bila generator bersambungan bintang (*star*). Nilai arus talian sekiranya penjana bersambungan bintang (*star*) seperti: -

$$I_L = I_{ph}$$

Nilai voltan talian sama dengan voltan fasa bila generator bersambungan *delta*. Nilai dge (voltan talian) sekiranya penjana bersambungan *delta* seperti: -

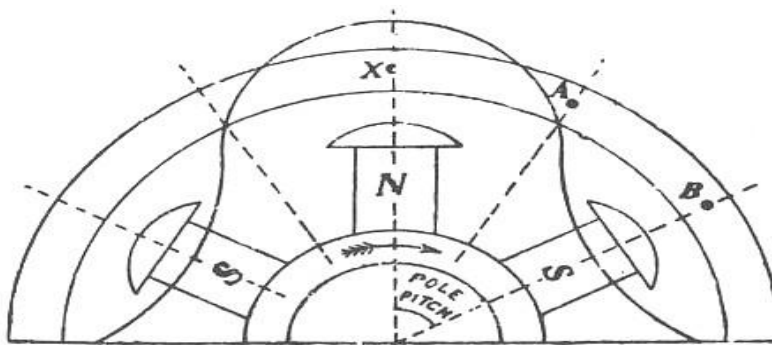
$$E_L = E_{ph}$$

Nilai arus talian akan berbeza daripada arus fasa bila generator bersambungan *delta*. Nilai arus talian sekiranya penjana bersambungan *delta* seperti: -

$$I_L = \sqrt{3} I_{ph}$$

4.9 Konsep kesegerakan (concept of synchronous)

Satu putaran lengkap akan menghasilkan satu denyut (*pulse*) positive dan negative setiap putaran sekiranya bilangan kutub adalah dua. Frekuensi dalam kitaran per saat (Hz) akan bergantung terus daripada kelajuan atau bilangan kitaran per saat (psm/60) medan berputar. Sekiranya penjana segerak AU (*AC synchronous generator*) mempunyai bilangan kutub pelbagai seperti 2,4,6, dll, oleh itu untuk kelajuan satu kitaran per saat (1 psm/60), frekuensi satu kitaran lengkap boleh jadi satu, dua, tiga, empat dll. Satu kitaran lengkap frekuensi adalah sama dengan bilangan pasangan kutub (seperti rajah 4.17):



(Source: A Text Book of Electrical Technology; B.L Theraja & A.K Theraja)

Rajah 4. 17: perhubungan antara kelajuan, frekuensi dan kutub

Dalam penjana au perkaitan yang wujud antara perhubungan kelajuan putaran pemutar (N_r), frekuensi semasa janaan (f_r), dan bilangan kutub (P). rujuk rajah 4.18 untuk memahami perhubungan ini. Pengalir angker ditandakan X_c pada kedudukan tengah dimana kutub N berputar mengikut arah jam (*clockwise*). Pengalir pada ketika ini menghasilkan ketumpatan fluks yang maksimum maka dge yang terhasil juga maksimum.

Bila pengalir berada pada antara kutub seperti di A_0 , ketika ini dge terhasil adalah minimum kerana kekuatan fluks adalah minimum. Bila pengalir berada pada kedudukan tengah S, maka dge terhasil adalah maksimum. Biasanya satu kitar dge terhasil dalam pengalir bila satu pasangan kutub melaluinya. Nombor kitar dge terhasil dalam satu revolusi pemutar asalah bersamaan dengan bilangan pasang kutub. N dikenali sebagai kelajuan segerak kerana ia adalah kelajuan penjana untuk menghasilkan dge berdasarkan frekuensi yang diperlukan. Frekuensi berkadar terus dengan kelajuan dan pasang kutub, dapat digambarkan melalui persamaan: -

$$\text{Bilangan kitaran/putaran} = \frac{P}{2}, \quad \text{bilangan kitaran/saat} = \frac{N}{60}$$

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{\text{psm}}{60} = \frac{PN}{120}$$

dimana: - P – bilangan kutub
 N – kelajuan seminit (psm)
 f – frekuensi bekalan

NOTA

- Janaan kuasa elektrik adalah pada 50 Hz jadi pemutar mestilah berputar pada kelajuan tetap bergantung pada bilangan kutub pada mesin.
- Untuk menjanakan 50Hz dalam 2 kutub mesin, pemutar mesti berputar pada kelajuan 3000psm.

$$f = \frac{PN}{120} \Rightarrow N = \frac{120f}{P} = \frac{120(50)}{2} = 3000 \text{ psm}$$

4.10 Perhubungan antara kelajuan dan frekuensi

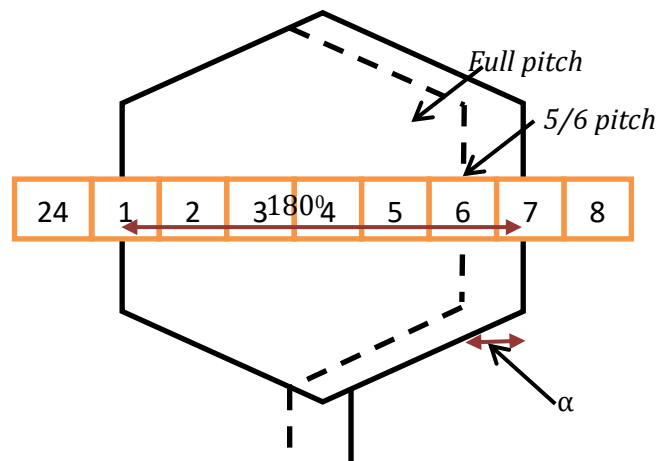
Persamaan dge pada tajuk 3.5 di atas digunapakai semasa belitan penjana berkeadaan gegelung penuh (*full pitch coil*). Tetapi bila belitan angker penjana jenis gegelung pendek (*short pitched*), persamaan dge per fasa menjadi: -

$$E_{ph} = 4.44 \Phi N_{ph} f K_p K_d$$

Dimana K_p adalah dikenali sebagai faktor bentuk (*pitch factor*) dan K_d dikenali sebagai faktor agihan (*distribution factor*)

4.10.1 Faktor Bentuk (*Pitch Factor*)

Jika sisi gelung diletakkan pada slot 1 dan 7 seperti rajah 4.18, ia dikatakan *full pitched*. Jika sisi gelung diletakkan pada slot 1 dan 6, ia dikatakan *short pitched* atau bersamaan dengan 5/6 daripada *pole pitch*.



Rajah 4. 18: faktor bentuk

$$\alpha = \beta \times \text{bilangan slot bagi setiap gelung}$$

$$\beta = \frac{180^\circ}{n}, \quad n = \text{slot setiap kutub}$$

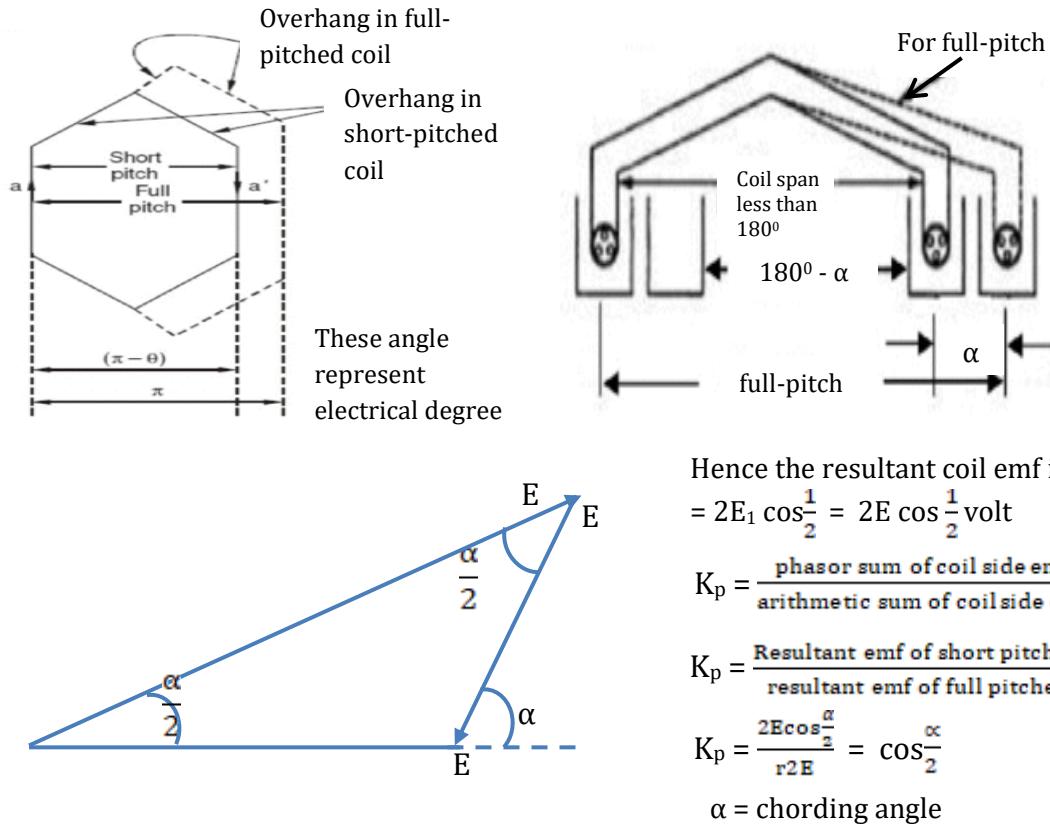
jarak gegelung = antara 2 kutub (180°) – jarak penuh ($K_p = 1$)

gelung *short pitched* (jarak gegelung $< 180^\circ$) sering digunakan kerana beberapa kelebihanannya seperti: -

- penggunaan tembaga dalam pengalir yang kurang
- meningkatkan bentuk gelombang semasa penghasilan dge, contoh dge terjana lebih berbentuk sinus oleh itu harmonic dapat dikurangkan
- harmonic kurang, maka kehilangan histerisis dan *eddy current* turut berkurang menjadikan kecekapan tinggi.

Tetapi *short pitched* mempunyai kelemahan iaitu jumlah voltan disekitar gegelung kadang berkurang. Ini kerana voltan terjana dalam kedua-dua sisi pada gegelung *short pitched* pada kedua-dua fasa adalah sedikit. Nisbah *phasor (vector)* dari dge yang terjana disebabkan satu gelung dengan jumlah *arithmetic* dge teraruh dalam satu gelung dikenali sebagai faktor bentuk (*Pitch Factor, K_p/ span factor, K_c*) dimana nilainya sentiasa kurang daripada uniti.

Sekiranya gelung mempunyai *pitch short* dengan sudut θ° elektrik daripada *full pitch* dan dge terjana dalam setiap sisi gegelung menjadi E.



Rajah 4. 19: voltan *phasor* untuk gelung *short pitch*

jika gelung mempunyai *full pitched* jadi jumlah dge terjana dalam gelung akan menjadi 2E. Bila gelung *short pitch* dengan sudut θ° elektrik dge terjana akan menjadi E_R seperti formula di bawah

$$E_R = 2E \cos \frac{\alpha}{2}$$

Oleh itu faktor bentuk faktor jarak/jangkaan (*pitch factor*)

$$K_p = \frac{\text{phasor sum of coil side emfs}}{\text{arithmetic sum of coil side emfs}} = \frac{2E \cos \frac{\alpha}{2}}{2E} = \cos \frac{\alpha}{2}$$

Faktor agihan pada belitan pada bilangan n^{th} frekuensi harmonik boleh diringkaskan seperti

$$K_{pm} = \cos \frac{n\theta}{2} \text{ dimana } n \text{ adalah bilangan harmonik}$$

NOTA Nilai K_p adalah kurang daripada 1

dge terjana dalam belitan yang berbeza untuk setiap fasa dibawah satu kutub ditunjukkan pada bahagian AC, CD, DE, EM Dimana magnitudenya adalah sama (dikenali sama E_c) dan berbeza fasa (dikenali sebagai γ^0) daripada setiap satu. Faktor agihan kurang daripada satu.



Dimana

NOTA Nilai Kd adalah kurang daripada 1

Penjana Arus Ulangalik 3 fasa 4 kutub, mempunyai 36 lubang alur pada angker. penjana ini menggunakan gegelung pendek (*short pitched*) bagi setiap lubang alur. Kirakan faktor bentuk *coil span/pitch factor* (k_c/k_p) and faktor agihan *distribution factor* (k_d).

$$k_d = \frac{\sin(\frac{3\beta}{2})}{m \sin \frac{\beta}{2}} = \frac{\sin(\frac{3 \times 20^\circ}{2})}{3 \sin \frac{20^\circ}{2}} = 0.9597$$

Contoh 4.2

Sebuah penjana AU berputar pada kelajuan 250ppm dan menjanakan dge pada frekuensi 50hz. Penjana mempunyai 216 lubang alur yang mengandungi 5 pengalir, Belitan diagihkan dan *full pitch*. Kesemua pengalir setiap fasa berada dalam siri dan fluk perkutub adalah 30mWb diagihkan secara sinusidial. Jika belitan bersambungan bintang, tentukan nilai dge terjana.

Penyelesaian 4.2

Selama belitan adalah full-pitched, $k_c / k_p = 1$, $N_s = 250$ ppm, $f = 50$ Hz

$$N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{P}, \quad P = 24$$

$$n = \frac{\text{lubang alur}}{\text{kutub}} = \frac{216}{24} = 9, \quad m = \frac{n}{\text{phase per kutub}} = \frac{n}{3} = 3, \quad \beta = \frac{180^\circ}{9} = 20^\circ$$

$$k_d = \frac{\sin(\frac{m\beta}{2})}{m \sin \frac{\beta}{2}} = \frac{\sin(\frac{3 \times 20^\circ}{2})}{3 \sin \frac{20^\circ}{2}} = 0.9597$$

$$\text{jumlah bilangan pengalir, } Z = 216 \times 5 = 1080, \quad Z_{ph} = \frac{Z}{\text{phase per pole}} = \frac{1080}{3} = 360/\text{phase}$$

$$\beta = \frac{180^\circ}{9} = 20^\circ$$

Jumlah pengalir – lubang alur x pengalir / lubang alur

$$E_{ph} = 2.22 k_d k_p f \phi Z \text{ volt} \\ = 2.22(0.9597) (1) (50) (30\text{m}) (360) = 1150.5 \text{ volt}$$

$$E_{line} = \sqrt{3} E_{ph} = \sqrt{3} (1150.5) = 1990.365 \text{ volt}$$

4.11 Formula voltan penjana AU

Singkatan nama biasa digunakan dalam pengiraan voltan janaan AU adalah seperti jadual 4.2.

singkatan	penerangan
Z	Bilangan nombor pengalir atau gegelung bersiri $Z = 2T$; dimana T adalah bilangan nombor gegelung atau belitan perfasa
P	Bolangan kutub
f_r	Frefungsi pemutar dalam unit Hz.
Φ	Fluk dalam unit Weber
K_d	Faktor agihan (<i>Distribution factor</i>) K_d
K_c / K_p	Faktor jarak/jangkaan (<i>Pitch factor</i>) atau faktor <i>coil spa</i> , $k_p = \cos \frac{\alpha}{2}$
K_f	Faktor bentuk (<i>Form</i>), $k_f = 1.11$, jika dge diandaikan berbentuk sinusoidal
N_r	Kelajuan putaran pemutar dalam unit psm(pusingan perminit).
n	Bilangan lubang alur /kutub
m	Bilangan lubang alur / fasa/kutub
$m\beta$	Sudut <i>spread</i> fasa

Jadual 4.2: Singkatan nama

Voltan fasa (rms) boleh didapati:

$$E_{\text{phase}} = 2 K_f K_d K_p f \phi Z \text{ volt/fasa}$$

$$E_{\text{phase}} = 2.22 K_d K_p f \phi Z \text{ volt/fasa, jika dge diandaikan berbentuk sinusoidal}$$

jika bilangan gegelung atau belitan perfasa(T) diberi

$$E_{\text{phase}} = 2.22 K_d K_p f \phi (2T) \text{ volt/fasa}$$

$$E_{\text{phase}} = 4.44 K_d K_p f \phi T \text{ volt/fasa}$$

Contoh 4.3

Sebuah penjana AU berputar pada kelajuan 250psm dan dge terjana pada 50Hz. Terdapat 216 lubang alur dan setiap satunya mengandungi 5 pengalir. Belitan diagihkan berjarak penuh (*full pitch*). Semua pengalir setiap fasa berada secara siri dan fluk perkutub adalah 30mWb diagihkan secara sinusoidal. Jika belitan bersambungan bintang, tentukan nilai dge terjana.

Penyelesaian 4.3

Selama belitan berada secara jarak penuh (*full-pitched*), $k_c / k_p = 1$, $N_s = 250\text{psm}$, $f=50 \text{ Hz}$

$$N_s = \frac{120f}{P} = \frac{120 \times 50}{P}, \quad P=24, \quad n = \frac{\text{lubang alur}}{\text{kutub}} = \frac{216}{24} = 9, \quad m = \frac{n}{\text{kutub sefasa}} = \frac{n}{3} = 3,$$

$$\beta = \frac{180^\circ}{9} = 20^\circ, \quad k_d = \frac{\sin(\frac{m\beta}{2})}{m \sin \frac{\beta}{2}} = \frac{\sin(\frac{3 \times 20^\circ}{2})}{3 \sin \frac{20^\circ}{2}} = 0.9597$$

$$\text{jumlah bilangan pengalir, } Z = 216 \times 5 = 1080, \quad Z_{\text{ph}} = \frac{Z}{\text{kutub sefasa}} = \frac{1080}{3} = 360/\text{fasa}$$

$$\beta = \frac{180^\circ}{9} = 20^\circ, \quad \text{Bilangan pengalir} = \frac{\text{lubang alur} \times \text{pengalir}}{\text{lubang alur}}$$

$$E_{\text{fasa}} = 2.22 k_d k_p f \phi Z \text{ volt}$$

$$= 2.22(0.9597) (1) (50) (30\text{m}) (360) = 1150.5 \text{ volt}$$

$$E_{\text{talian}} = \sqrt{3} E_{\text{fasa}} = \sqrt{3} (1150.5) = 1990.365 \text{ volt}$$

4.12 Penjana berbeban

Pada penjana AU jika beban berubah maka voltan terminal akan turut berubah seperti penjana AT. perubahan pada terminal voltan bergantung pada sebab-sebab: -

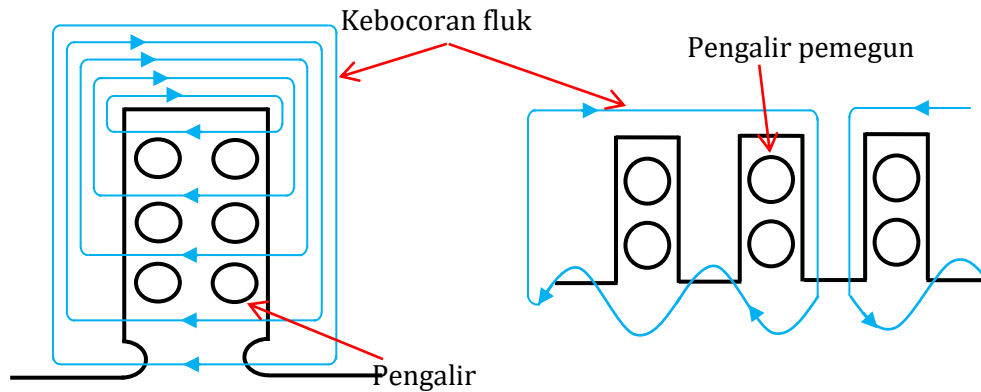
- Kejatuhan voltan disebabkan rintangan angker (*armature resistance*) R_a
- Kejatuhan voltan disebabkan reaksi kebocoran angker (*armature leakage reactance*) X_L
- Kejatuhan voltan disebabkan reaksi angker (*armature reaction*)

4.12.1 Kejatuhan voltan disebabkan rintangan angker (*armature resistance*) R_a

Rintangan angker per fasa R_a menyebabkan kejatuhan voltan per fasa daripada $I R_a$, dimana ianya berada sama fasa dengan arus angker I . Walaubagaimana pun kejatuhan voltan ini praktikalnya diabaikan.

4.12.2 Kejatuhan voltan disebabkan reaksi kebocoran angker (armature leakage reactance) X_L

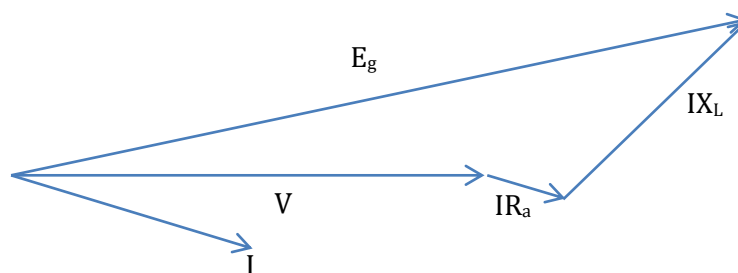
Bila arus melalui pengalir angker, fluk disusun supaya tidak menyeberangi sela udara (*air gap*), tetapi akan cuba melalui laluan lain. fluk ini dikenali sebagai kebocoran fluk. Terdapat berbagai-bagai jenis kebocoran fluks seperti rajah 5.17.



Rajah 4. 21: kebocoran fluk

Kebocoran fluk pratikalnya bebas dari keadaan tepu (*saturation*), tetapi bergantung pada sudut fasa arus dengan voltan terminal. Kebocoran fluk ini membentuk dge pada induksi diri (*self-inductance*) yang dikenali sebagai dge *reactance* yang mana mendahului I sebanyak 90° . Maka belitan angker dianggarkan untuk mendapatkan kebocoran reaktansi (*leakage reactance*) X_L , juga dikenali sebagai *Potier reactance* X_p . kejatuhan voltan adalah bersamaan dengan IX_L . sebahagian daripada dge yang dihasilkan digunakan untuk mengatasi dge reaktansi (*reactance*).

$E = V + I(R + jX_L)$ fakta ini digambarkan dalam rajah vector 4.23



Rajah 4. 22: rajah vektor

4.12.3 Kejatuhan voltan disebabkan reaksi angker (armature reaction)

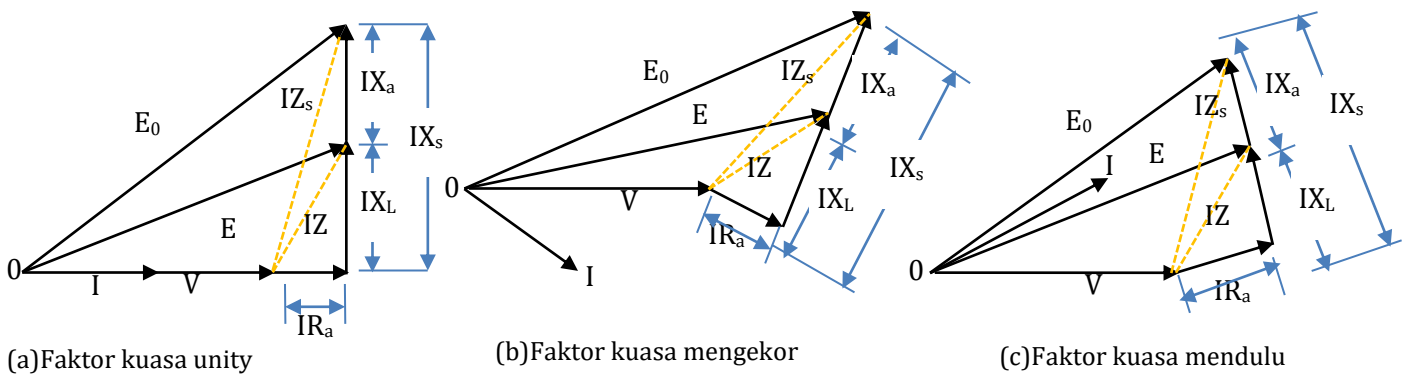
Penjana AT reaction angker adalah kesan fluk angker pada fluk medan utama. Penjana au pula faktor kuasa pada beban memberi kesan yang besar terhadap tindakbalas angker. faktor kuasa boleh dibahagikan kepada tiga iaitu: -

- faktor kuasa uniti
- faktor kuasa mengekor
- faktor kuasa mendulu

4.13 Gambarajah vector penjana berbeban

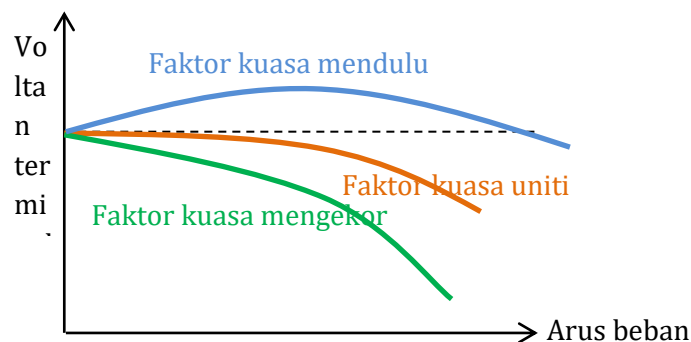
Symbol-simbol dibawah perlu tahu dan diingati, sebelum membincangkan gambarajah vektor: -

simbol	penerangan
E_0	Dge tanpa beban
E	Dge berbeban, magnitud E adalah kurang dari E_0 oleh IX_a
V	Voltan terminal magnitud kurang dari E_0 pada IZ_s atau magnetud nya kurang dari E pada IZ
Z	$\sqrt{(R_a^2 + X_L^2)}$
I	Arus angker per fasa
Φ	Sudut faktor kuasa berbeban



Rajah 4. 23: gambarajah vector penjana AU berbeban

Ciri-ciri voltan dalam penjana AU boleh digambarkan seperti rajah 4.24.



Rajah 4. 24: Ciri-ciri voltan

Contoh 4.4

Sebuah pengubun AU 3 fasa sambungan bintang bekalan beban pada 10MW, faktor kuasa 0.85 mengekor dan voltan terminal sebanyak 11kV. Rintangan angker sebanyak 0.15Ω per fasa manakala regangan segerak (*synchronous reactance*) sebanyak 0.65Ω per fasa. Kirakan nilai dge janaan pada talian.

Penyelesaian 4.4

$$P_o = \sqrt{3} V_L I_L \cos\Phi \text{ watt}$$

$$I_L = \frac{P_o}{\sqrt{3} V_L \cos\Phi} = \frac{10M}{\sqrt{3} (11k)(0.86)} = 610.3$$

$$\text{Kejatuhan } IR_a = 610.3(0.15) = 91.55\Omega$$

$$\text{Kejatuhan } IX_s = 610.3(0.65) = 396.7\Omega$$

$$\text{Voltan terminal/fasa} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{11000}{\sqrt{3}} = 6,350V$$

$$\cos\Phi = 0.85, \Phi = 31.79, \sin\Phi = 0.527$$

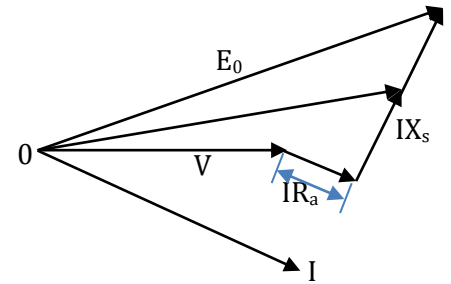
dari gambarajah vector, dimana V sebagai rujukan maka formula E_o :

$$E_o^2 = (V \cos\Phi + IR_a)^2 + (V \sin\Phi + IX_s)^2$$

$$= [6350(0.85) + 91.55]^2 + [6350(0.527) + 396.7]^2$$

$$E_o = \sqrt{5489.05^2 + 3743.15^2} = 6643.86$$

$$\text{Dge talian} = \sqrt{3} \text{ dge fasa} = \sqrt{3} (6643.86) = 11,507.5 \text{ volt}$$



Contoh 4.5

Sebuah penjana AU satu fasa 60kVA, 240V, 50Hz, rintangan angker berguna sebanyak 0.016Ω dan kebocoran *reactance* angker sebanyak 0.07Ω . kirakan voltan terjana ke dalam angker apabila penjana AU ini memberikan nilai arus pada faktor kuasa uniti, 0.7 mengekor dan 0.7 mendulu.

Penyelesaian 4.5

$$\text{Nilai arus pada beban penuh, } I = \frac{P}{V} = \frac{60k}{240} = 250A$$

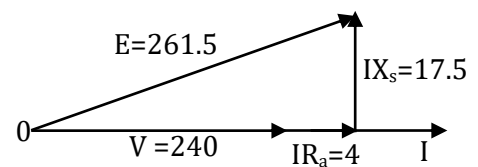
$$IR_a = 250(0.016) = 4, IX_s = 250(0.07) = 17.5$$

faktor kuasa uniti

$$E_o^2 = (V \cos\Phi + IR_a)^2 + (V \sin\Phi + IX_s)^2$$

$$= [240(1) + 4]^2 + [240(0) + 17.5]^2$$

$$= 244 + 17.5 = 261.5V$$

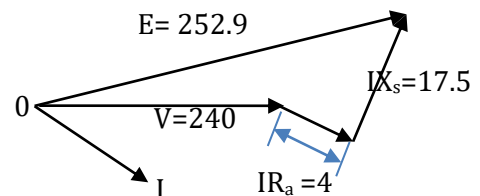


kuasa 0.7 mengekor, $\cos\Phi = 0.7, \Phi = 45, \sin\Phi = 0.7$

$$E^2 = (V \cos\Phi + IR_a)^2 + (V \sin\Phi + IX_s)^2$$

$$= [240(0.7) + 4]^2 + [240(0.7) + 17.5]^2$$

$$E = \sqrt{172^2 + 185.5^2} = 252.97V$$

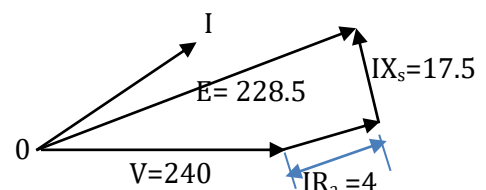


kuasa 0.7 mendulu, $\cos\Phi = 0.7, \Phi = 45, \sin\Phi = 0.7$

$$E^2 = (V \cos\Phi + IR_a)^2 + (V \sin\Phi - IX_s)^2$$

$$= [240(0.7) + 4]^2 + [240(0.7) - 17.5]^2$$

$$E = \sqrt{172^2 + 150.5^2} = 228.5V$$



4.14 Pengaturan voltan

Bila ada perubahan pada beban aka nada perubahan pada voltan terminal pada penjana AU. Magnitude perubahan ini bukan sahaja bergantung pada perubahan nilai beban tetapi juga perubahan pada faktor kuasa benan. Pengaturan voltan pada penjana AU didefinisikan sebagai kenaikan voltan beban penuh dikeluarkan (ujaan medan dan kelajuan adalah kekal sama) dibahagikan dengan kenaikan voltan terminal, seperti formula: -

$$\text{\%pengaturan voltan} = \frac{E_o - V}{V} \times 100\%$$

NOTA

- $E_o - V$ adalah perbezaan *arithmetical* dan bukan *vectorial*.
- Dalam kes faktor kuasa beban mendulu, voltan terminal akan jatuh pada beban penuh. Dimana pengaturan voltan akan menjagi negatif ketika ini.
- Resiko dalam voltan bila beban penuh dibuang tidak sama dengan kejatuhan voltan bila beban penuh digunakan.

4.15 Operasi penjana selari

Penyambungan penjana AU dari satu penjana dengan penjana lain atau dengan *bus-bar* dikenali sebagai penyegerakan (*synchronizing*). Penyambungn penjana ini mestilah dilakukan secari sambungan selari. Penyegerakan (*synchronizing*) *penjana* AU mestilah mematuhi syarat-syarat berikut: -

- Voltan terminal yang masuk pada penjana mestilah sama dengan voltan bus-bar
- Kelajuan mesin yang masuk mestilah menjadikan frekuensinya ($f = \frac{PN}{120}$) sama dengan frekuensi bus-bar.
- Fasa pada voltan penajan mestilah sama dengan fasa pada bus-bar.

4.16 Kehilangan dan kuasa penjana AU

Kehilangan dalam mesin au boleh dikelaskan seperti:

- Kehilangan perintang (I^2R) dalam litar pemegun
- Kehilangan perintang (I^2R) dalam litar pemutar
-

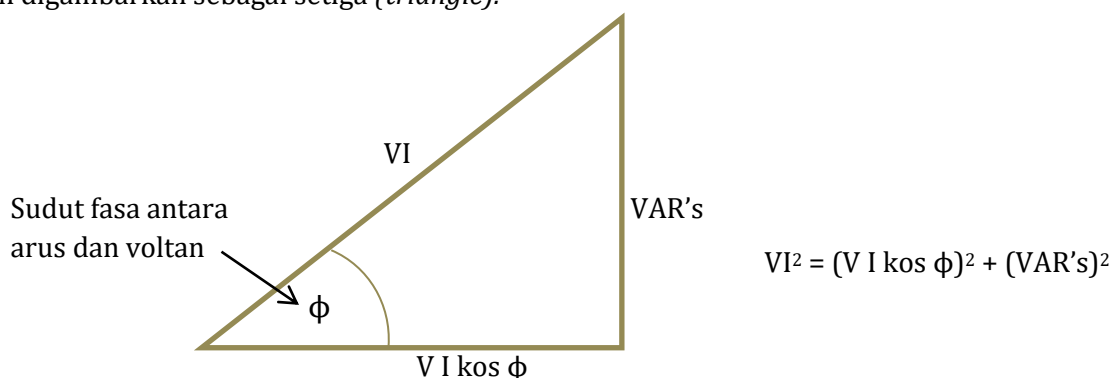
Kuasa sebenar = Watts = $V I \cos \phi$

Kuasa nyata = $VA = V I$

Kuasa Reaktif – VAR's = $V I \sin \phi$

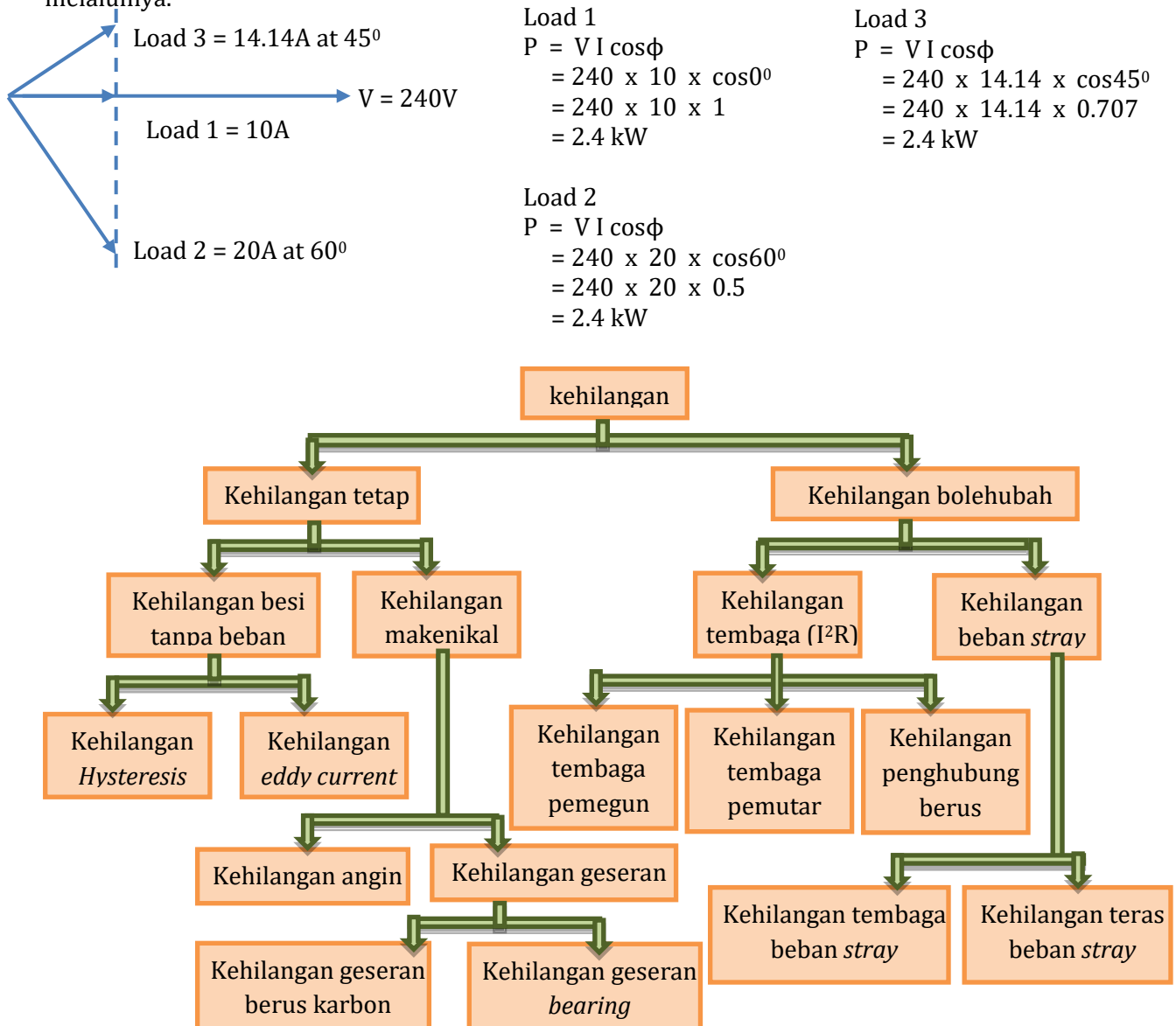
Faktor kuasa = $\cos \phi$ dimana ia adalah kosine pada sudut antara voltan dan arus

Boleh digambarkan sebagai setiga (*triangle*).



Penjana AU berkait menurut beberapa faktor seperti Frekuensi, Voltan, Arus, kVA. Nilai frekuensi menentukan kelajuan dalam pms (3000, 5000 dan sebagainya). Voltan dan arus akan memberikan nilai dalam kVA.

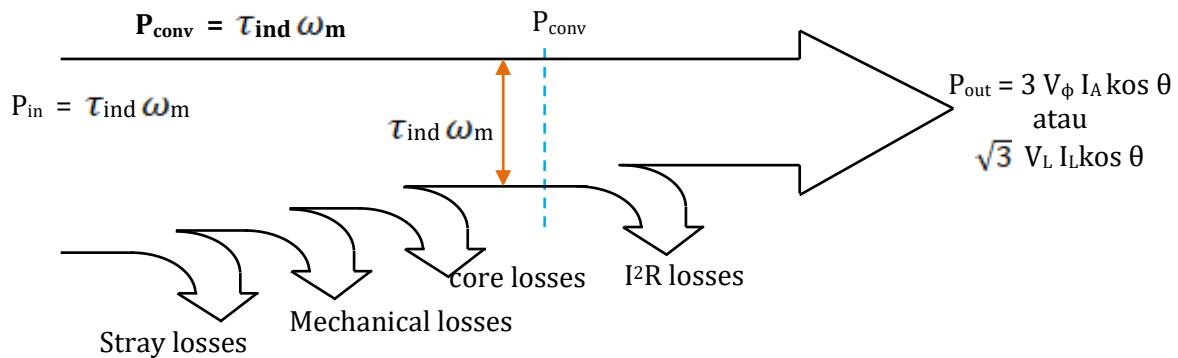
Kehilangan yang paling utama dalam penjana AU adalah kehilangan kepanasan. Jika penjana AU boleh berada dalam keadaan sejuk maka kuasa lebih boleh dihasilkan. Contohnya mesin 30MW ia boleh jadi mesin 500MW iaitu sebanyak 200MW kehilangan. Lebih kuasa mesti diberikan untuk menambah kuasa keluaran. Penjana yang mempunyai penyejukan yang besar adalah paling sesuai biasanya penyejukan menggunakan *hydrogen*. Penjana AU, dimana belitan dihadkan oleh arus yang melaluinya.



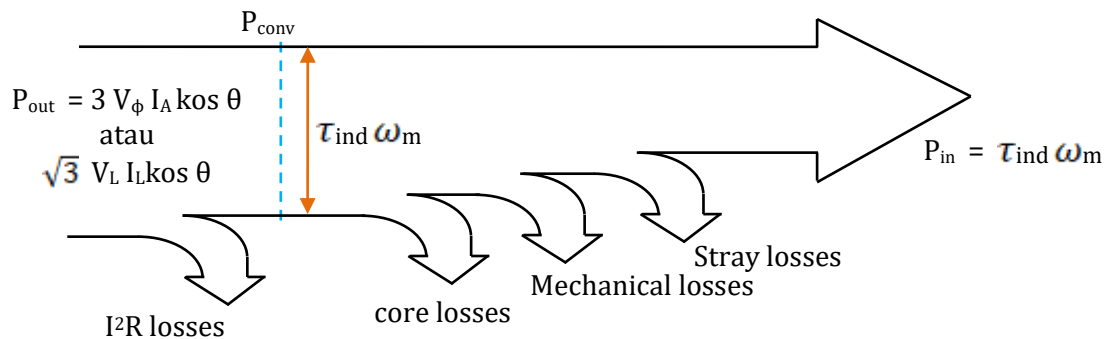
Rajah 4. 25: cartalir kehilangan dalam mesin AU

teknik yang paling mudah untuk mengira kehilangan kuasa dalam mesin adalah melalui gambarajah aliran kuasa, seperti rajah 5.21. penjana AU, tidak semua kuasa masukkan mekanikal akan keluar

menjadi kuasa elektrik, sebahagiannya akan bertukar menjadi kuasa kehilangan. Kuasa elektrik yang keluar dikenali sebagai kuasa ideal (P_{conv}).



Rajah 4. 26: Gambarajah aliran (Flow diagram) penjana AU



Rajah 4. 27: Gambarajah aliran (Flow diagram) AU motor

Contoh 4.6

Sebuah penjana AU 50kVA, bersambungan bintang, 440V, 3 fasa, 50 Hz, rintangan angker bergna sebanyak 0.25Ω per fasa. Reactance segerak adalah 3.2Ω per fasa dan kebocoran reactance adalah 0.5Ω per fasa. Tentukan nilai beban dan faktor kuasa uniti bagi: -

- dge dalaman
- dge tanpa beban
- peraturan pengaturan dalam beban penuh

Penyelesaian 4.6

$$\text{voltan fasa, } V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{440}{\sqrt{3}} = 254 \text{ volt}$$

- dge dalaman

$$\text{kuasa, } P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$$

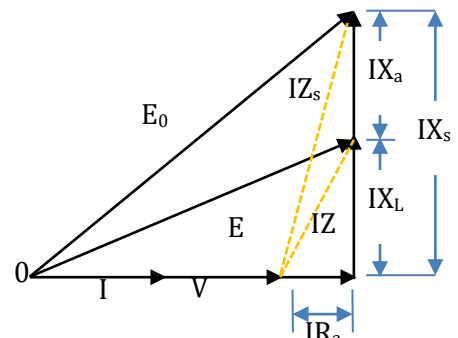
$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} V_L \cos \phi} = \frac{50k}{\sqrt{3} (440) (1)} = 65.7 \text{ A}$$

$$I_L R_a = 65.7 (0.25) = 16.43 \text{ V, } I_L X_L = 65.7 (0.5) = 32.8 \text{ V}$$

$$E_o^2 = (V \cos \Phi + I R_a)^2 + (V \sin \Phi + I X_L)^2$$

$$E_o^2 = (254 + 16.43)^2 + (32.8)^2 = 272.41 \text{ V/fasa}$$

$$\text{Voltan talian} = \sqrt{3} V_{\text{fasa}} = \sqrt{3} (242.42) = 471.29 \text{ volt}$$



- ii. dge tanpa beban adalah jumlag vector antara V , $I_L R_a$, dan $I_L X_s$ jumlah vector antara V dan $I Z_s$
 $I_L R_a = 65.7(0.25) = 16.43V$, $I_L X_s = 65.7(3.2) = 210.24V$
 $E_o^2 = (V \cos\Phi + I R_a)^2 + (V \sin\Phi + I X_s)^2$
 $E_o^2 = (254 + 16.43)^2 + (210.24)^2 = 342.5 \text{ V/fasa}$
 Voltan talian = $\sqrt{3} V_{\text{fasa}} = \sqrt{3} (342.5) = 592.5 \text{ volt}$

iii. peratusan pengaturan dalam beban penuh

$$\% \text{pengaturan voltan} = \frac{E_o - V}{V} \times 100\% = \frac{342.5 - 254}{254} \times 100\% = 34.8\%$$

Contoh 4.7

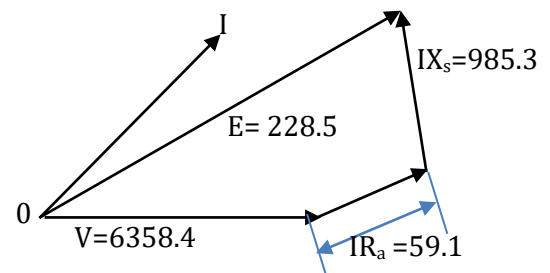
Sebuah penjana AU 3 fasa 800kVA, 11 kV bersambungan bintang mempunyai rintangan sebanyak $1.5\Omega/\text{fasa}$ dan reactance segerak sebanyak $25\Omega/\text{fasa}$. Cari nilai peratus pengaturan untuk beban 600kW pada faktor kuasa 0.8 mendulu.

Penyelesaian 4.7

$$\text{voltan fasa, } V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{11k}{\sqrt{3}} = 6358.4 \text{ volt}$$

$$\text{kuasa, } P = \sqrt{3} V_L I_L \cos\Phi$$

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} V_L \cos\Phi} = \frac{600k}{\sqrt{3} (11k) (0.8)} = 39.4A$$



$$I R_a = 39.4 (1.5) = 59.1V, \quad I X_s = 39.4 (25) = 985.3V$$

kuasa 0.8 mendulu, $\cos\Phi = 0.8$, $\Phi = 36.8^\circ$, $\sin\Phi = 0.6$

$$E_o^2 = (V \cos\Phi + I R_a)^2 + (V \sin\Phi - I X_s)^2$$

$$E_o^2 = [6358.4(0.8) + 59.1]^2 + [6358.4(0.6) - 985.3]^2 = 5872.5V/\text{fasa}$$

$$\text{Voltan talian} = \sqrt{3} V_{\text{fasa}} = \sqrt{3} (5872.5) = 10159.5 \text{ volt}$$

$$\% \text{pengaturan voltan} = \frac{E_o - V}{V} \times 100\% = \frac{5872.5 - 6358.4}{6358.4} \times 100\% = -7.64\%$$

Soalan 4.8

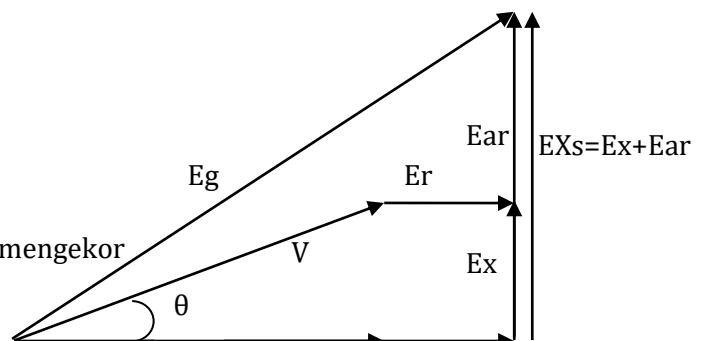
Sebuah penjana arus ulangalik 3 fasa, 600kVA, 11 kV bersambungan bintang mempunyai rintangan angker sebanyak $18\Omega/\text{fasa}$ dan regangan segerak $30\Omega/\text{fasa}$. Kirakan peratus pengaturan voltan untuk beban 600kW pada factor kuasa:-

- 0.6 mengekor
- 0.8 mendulu

Penyelesaian 4.8

$$\text{voltan pengkalan} = V = \frac{11 \times 10^3}{\sqrt{3}} = 6350 \text{ v/fasa}$$

arus ketika beban = 600 kW dan factor kuasa = 0.6 mengekor



$$I = \frac{600 \times 10^3}{(\sqrt{3})(11 \times 10^3)(0.6)} = 52.49 \text{ Amp}$$

$$E_r = IR_a = (52.49)(1.8) = 94.48 \text{ v/fasa}$$

$$E_{xs} = IX_a = (52.49)(30) = 1574.7 \text{ v/fasa}$$

$$E_g^2 = [(6350)(0.6) + [(6350)(0.8) + 1574.7]^2$$

$$E_g = 7715.57 \text{ V/fasa}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ pengaturan Voltan} &= \frac{E_g - V}{V} \times 100\% \\ &= \frac{7715.57 - 6350}{6350} \times 100\% \\ &= 21.51\% \end{aligned}$$

Arus pada keadaan beban 600kW dan factor kuasa 0.8 mendulu

$$I = \frac{600 \times 10^3}{(\sqrt{3})(11 \times 10^3)(0.8)} = 38.36 \text{ Amp}$$

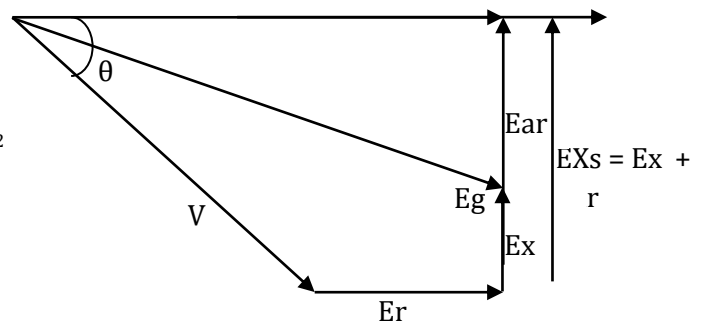
$$E_r = IR_a = (38.36)(1.8) = 70.85 \text{ v/fasa}$$

$$E_{xs} = IX_a = (38.36)(30) = 1180.8 \text{ v/fasa}$$

$$E_g^2 = [(6350)(0.8) + 70.85]^2 + [(6350)(0.6) + 1180.8]^2$$

$$E_g = 7583.07 \text{ V/fasa}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ pengaturan Voltan} &= \frac{E_g - V}{V} \times 100\% \\ &= \frac{7583.07 - 6350}{6350} \times 100\% \\ &= -8.93\% \end{aligned}$$



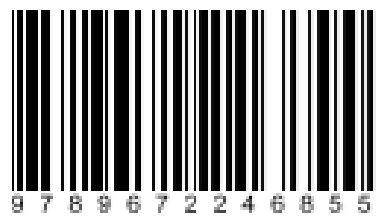
Arus pada keadaan beban 600kW dan factor kuasa 0.8 mengekor.

DAFTAR ISTILAH BM KE BI

abai	neglect	duplek	duplex
aci	shaft	explosion	meletop
agih	distribute	faktor agihan	distribution factor
ampire lilit	ampere turns	faktor jarak	pitch factor
andai	assume	faktor kuasa	power factor
angker	armature	faktor persekitaran	environmental factor
anjakan	shift/displacement	fasa	phase
arah	direction	fluks	flux
arah lawan jam	anticlockwise	fluks berguna	useful flux
arah ikut jam	clockwise	fluks bocor	leakage flux
aruhan saling	mutual induction	galangan	impedance
arus	current	garispusat	diameter
arus pusar	eddy current	ganding	couple
arus terus	direct current	gansa	bronze
arus ulangalik	alternating current	gegelung	coils
aruhan magnet	electromagnetic	gelang gelincir	slip ring
beban lampau	over load	gelinciran	slip
belitan	winding	gentian	fibers
belitan gelombang	wave winding	geseran	friction
belitan pemampas	compensating winding	hasil darap	multiplication
belitan tindih	lap winding	hiperbola	hyperbolic
belitan tambahan	damping winding	histeresis	hysteresis
berkadaran	proportional	hujung kutub	pole tip
berkecenderungan	tendency	insani	manual
bergantung	depend	jarak	distance
nesi tuang	case iron	jarak gegelung	coil pitch
beza upaya	potential different	jarak kutub	pole pitch
bingkai	frame	jarak penuh	full pitch
bunga api	spark	kawalan	control
sela udara	air gap	kala	period
ciri-ciri	characteristics	karbon	carbon
daya empar	centrifugal force	kealiran	conductivity
dayakilas	torque	keadaan	conduction
dayakilas aci	shaft torque	kecekapan	efficiency
dayakilas angker	armature torque	kecenderungan mengunci	locking tendency
dayakilas kasar	gross torque	kekutuban	polarity
daya gerak elektrik (d.g.e)	magnetic motive force (e.m.f)	kelajuan	speed
decrease	menyusut	kerangka	frame
density	ketumpatan	keratan rentas	cross section
dge balikan	back emf	kepadatan/ketumpatan	density
dge terjana	generated emf	ketekalan	consistency
dinamo	dynamo	ketara	significant
dikelaskan	classified	ketersimpangan	retentivity
		kimpal	welding
		kitaran	cycle

kitaran	cycle	sel kering	dry cell
konduktor	conductor	sela udara	air gap
konduktiviti elektrik	electrical conductivity	serap	absorb
komersial	commercial	sesentuh	contact
konfigurasi	configuration	silinder	cylinder
kualitatif	qualitative	silinder magnet	magnetic cylinder
kuantiti	quantity	songsang	reverse
kutub	pole	sokongan	support
kuprum	cuprum	sumber	resource
kuasa elektrik	electrical power	suiz	switch
laluan selari	parallel path	taburan	distribution
laras	adjust	tindak balas	reaction
larian	running	tenaga	energy
litar	circuit	tekanan	pressure
litar lengkap	complete circuit	tembaga	copper
malar/pemalar	constant	wayar penyambung	connective wire
mampat	compress	unsur	element
mengalir	flow		
mengakis	corrosive		
mengelaskan	classify		
memutuskan litar	break a circuit		
menurun	descending		
menurunkan	reduce		
magnet batang	bar magnet		
meter arus	current meter		
meter voltan	voltage meter		
meter pelbagai	multimeter		
mudah terbakar	flammable		
penduaan	duplication		
pengubah	transformer		
pegerakan	movement		
pegun	stationary		
pemegun	stator		
pemutar	rotor		
pemutus litar	circuit breaker		
pengkelasan	classification		
penjanaan semula	regeneration		
penjana	generator		
pengumpulan	collector		
penukaran tenaga	energy converter		
perubahan tenaga	energy conversion		
peraturan tangan kiri Fleming	Fleming's left hand rule		
peraturan tangan kanan Fleming	Fleming's right hand rule		
rintangan	resistance		
rintangan berkesan	effective resistance		

e ISBN 978-987-2248-85-5



**JABATAN KEJURUTERAAN ELEKTRIK
POLITEKNIK PORT DICKSON
KM 14, Jalan Pantai,
71050 Si Rusa, Port Dickson
Negeri Sembilan.**

Tel: 06-6622000 / 2111

Fax: 06-662026 / 2027

www.polipd.edu.my

