

# **Kerja Praktek**

**DAFTAR NILAI**  
**SEMESTER GANJIL REGULER TAHUN 2022/2023**

Program Studi : Teknik Industri S1  
 Matakuliah : Kerja Praktek  
 Kelas / Peserta : A  
 Perkuliahan : Kampus ISTN Bumi Srengseng Indah  
 Dosen : Iriandi Ilyas, Ir.MT.

No	NIM	N A M A	ABSEN	TUGAS	UTS	UAS	MODEL	PRESENTASI	NA	HURUF
			0%	0%	0%	100%	0%	0%		
1	17230001	Nur Muhamad Rosyaedi	0	0	0	82	0	0	82	A
2	18230003	Ahmad Vauzi	0	0	0	80	0	0	80	A

A	2	B+	0	C+	0	D+	0
A-	0	B	0	C	0	D	0
		B-	0	C-	0	E	0

Jakarta, 26 January 2023

Dosen Pengajar

Iriandi Ilyas, Ir.MT.

# Mesin Arus Searah

# MESIN ARUS SEARAH

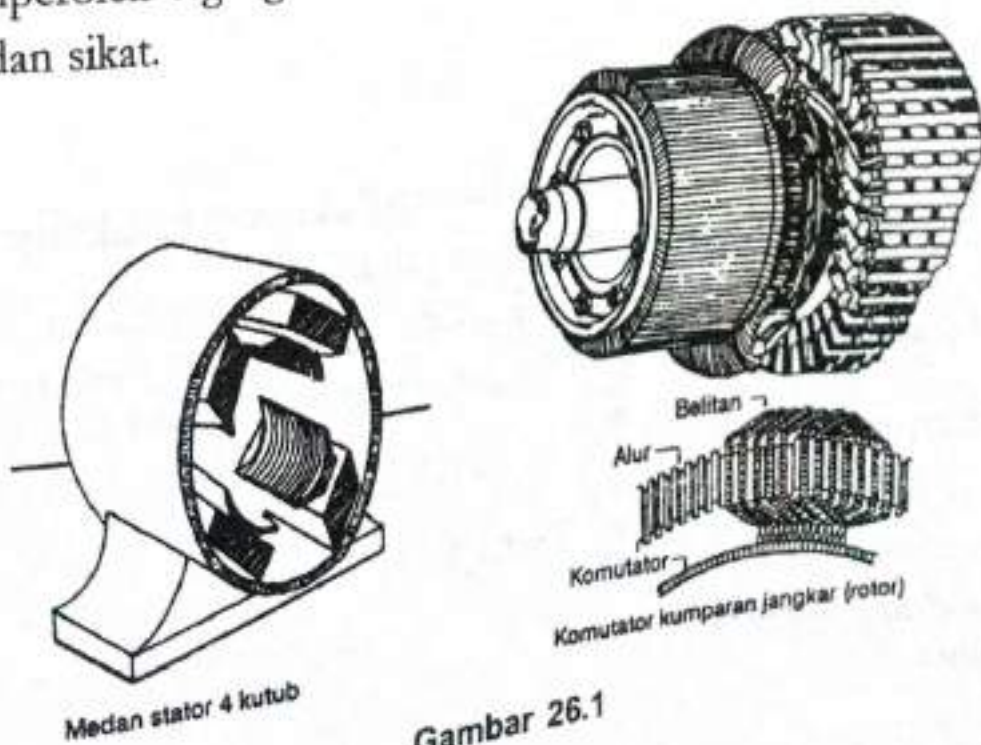
Suatu mesin listrik (generator atau motor) akan berfungsi bila memiliki:

- (1) kumparan medan, untuk menghasilkan medan magnet;
- (2) kumparan jangkar, untuk menginduksikan ggl pada penghantar-penghantar terletak pada alur-alur jangkar; dan
- (3) celah udara, yang memungkinkan berputarnya jangkar dalam medan magnet.

Pada mesin arus searah, kumparan medan yang berbentuk kutub sepatu merupakan stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar merupakan rotor (bagian yang berputar): lihat gambar 6.1. Bila kumparan jangkar berputar dalam medan magnet, akan dibangkitkan tegangan (ggl) yang berubah-ubah arah setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan arus bolak-balik.

$$e = E_{\text{maks}} \sin \omega t$$

Untuk memperoleh tegangan arus searah diperlukan alat penyearah yang disebut komutator dan sikat.



Gambar 26.1

## RUMUS DASAR

Berdasarkan teori elektromagnetik dapat diturunkan tiga rumus dasar untuk mesin arus searah ini yaitu untuk tegangan induksi, kecepatan, dan untuk torsi elektro-magnetik.

### Tegangan Induksi

Untuk tegangan induksi, berlaku hubungan:

$$E_a = Cn\phi \text{ Volt}$$

$\phi$  = fluks per kutub

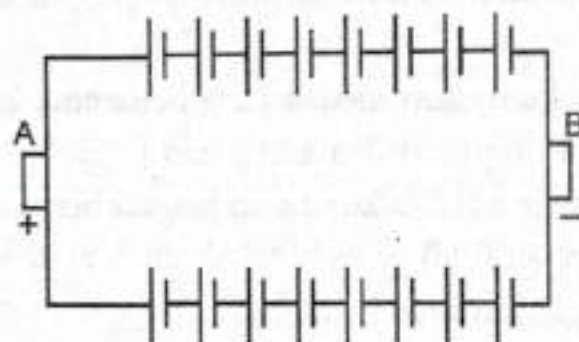
$n$  = kecepatan rotasi per menit

$C = (p/a) \times (z/60) = \text{konstanta}$

$p$  = jumlah kutub

$a$  = jumlah jalur paralel penghantar jangkar

$Z$  = jumlah penghantar jangkar



Gambar 26.2

### Kecepatan Rotasi

Rumus untuk kecepatan ini sebenarnya diturunkan dari rumus untuk tegangan induksi dan merupakan kecepatan motor tanpa beban yaitu:

$$n = E_a / C\phi$$

Pengaturan kecepatan dapat dilakukan dengan mengubah  $E_a$  atau  $\phi$ .

### Torsi Elektromagnetik

$$T = CI_a\phi$$

$\phi$  = fluks per kutub

$I_a$  = arus jangkar

$C$  = konstanta

Torsi elektromagnetik ini tidak sama dengan torsi yang terdapat pada sumbu. Dengan mengurangi torsi gesek berulah didapat besar kopel pada sumbu. Hubungan antara torsi elektromagnetik dengan daya mekanik yaitu:

$$E_s \cdot I_a = T\omega_m$$

$$\omega_m = 2\pi n / 60 = \text{kecepatan rotasi sudut}$$

## GENERATOR ARUS SEARAH

Berdasarkan cara memberikan fluks pada kumparan medannya, generator arus searah dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu generator berpenguatan bebas dan generator berpenguatan sendiri.

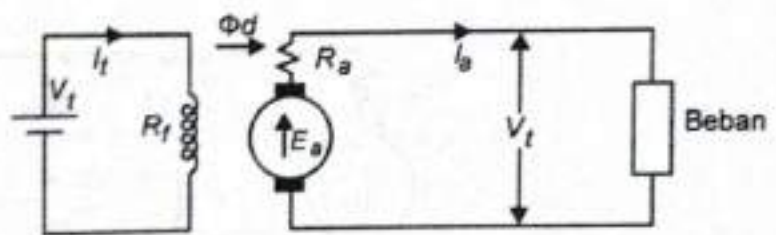
### Generator Berpenguatan Bebas

Tegangan searah yang diterapkan pada kumparan medan magnet yang mempunyai tahanan  $R_f$  akan menghasilkan arus  $I_f$  dan menimbulkan fluks pada kedua kutub. Tegangan induksi akan dibangkitkan pada generator.

Jika generator dihubungkan dengan beban dan  $R_a$  adalah tahanan dalam generator, maka hubungan yang dapat dinyatakan adalah:

$$V_f = I_f R_f$$

$$E_s = V_t + I_a R_a$$



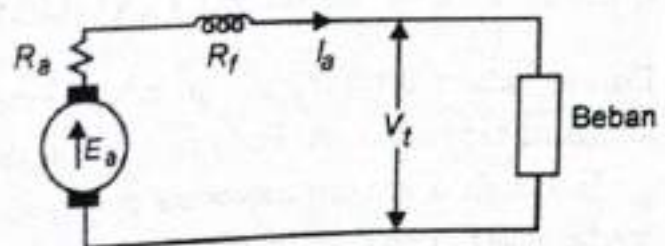
Gambar 26.4

### Generator Berpenguatan Sendiri

Generator ini terdiri atas generator searah seri dan generator shunt. Untuk generator searah seri berlaku hubungan:

$$V_f = I_f \cdot R_f$$

$$E_s = I_a (R_a + R_f) + V_t$$

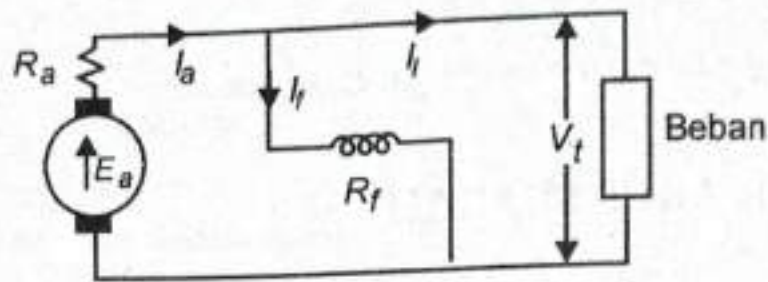


Gambar 26.4

Untuk generator shunt berlaku hubungan:

$$V_f = I_f R_f$$

$$E_a = I_a R_a + V_t$$



Gambar 26.5

## Generator Kompon

Generator ini terdiri atas generator kompin panjang dan generator kompon pendek.

Untuk generator kompon panjang berlaku hubungan:

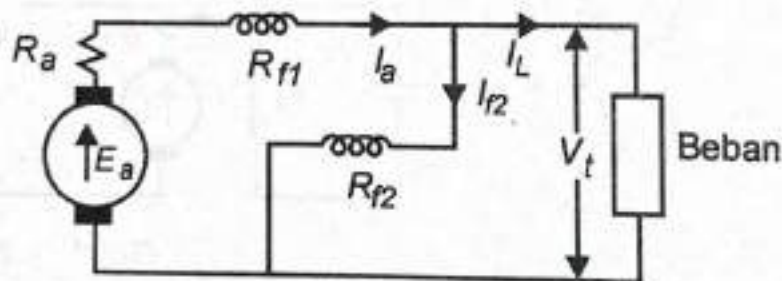
$$I_a = I_{f1} = I_L + I_{f2}$$

$$E_a = V_t + I_a (R_a + R_{f1})$$

Untuk generator kompon pendek berlaku hubungan:

$$I_a = I_{f1} + I_{f2} = I_L + I_{f2}$$

$$E_a = V_t + I_L R_{f1} + I_a R_a$$

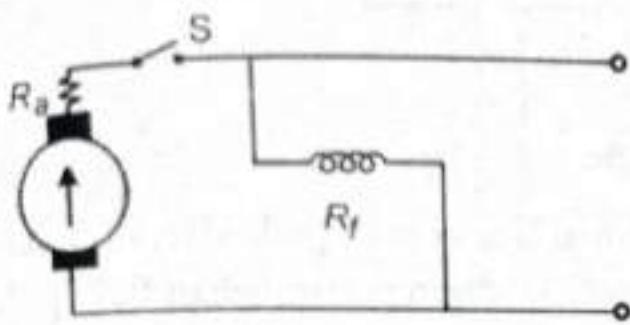


Gambar 26.6

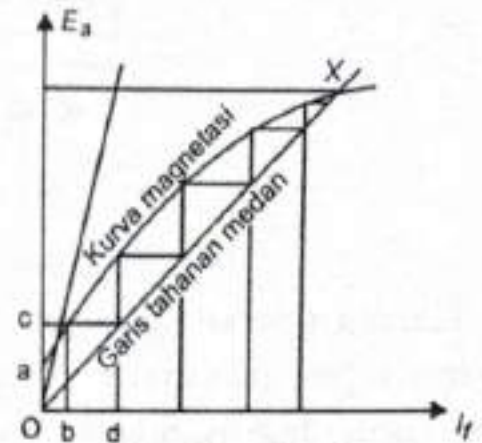
## PEMBANGKITAN TEGANGAN INDUKSI PADA GENERATOR BERPENGUATAN SENDIRI

Di sini akan diterangkan pembangkitan tegangan induksi generator shunt dalam keadaan tanpa beban. Pada saat mesin dihidupkan (S ditutup), masih ada fluks residu pada kutub. Dengan memutar rotor, akan dibangkitkan tegangan induksi yang kecil pada sikat, yang akan mengalirkan arus pada kumparan medan. Arus ini akan menimbulkan fluks yang akan memperkuat fluks yang telah ada sebelumnya. Proses terus berlangsung hingga dicapai tegangan yang stabil. Perhatikan gambar 26.8. Garis

lengkung pada gambar 26.8 memperlihatkan kurva pemagnetan untuk suatu generator berpenguatan sendiri pada suatu kecepatan tertentu, sedangkan garis lurus menyatakan persamaan tegangan kumparan medan dengan tahanan  $R_f$ .  $Oa$  adalah tegangan yang timbul akibat adanya fluks residu dan menimbulkan arus pada kumparan medan sebesar  $Ob$ . Dengan adanya arus kumparan ini, tegangan induksi membesar menjadi  $Qc$  (akibat bertambahnya fluks). Selanjutnya tegangan  $OC$  memperkuat arus medan, menjadi sebesar  $Od$ . Dengan demikian proses penguatan arus medan berlangsung hingga dicapai tegangan yang stabil yaitu pada titik  $X$  (perpotongan antara kurva pemagnetan dengan garis tahanan medan). Jika tahanan medan diperbesar, tegangan induksi yang dibangkitkan menjadi lebih kecil. Berarti makin besar tahanan kumparan medan, makin buruk kinerja generator tersebut.



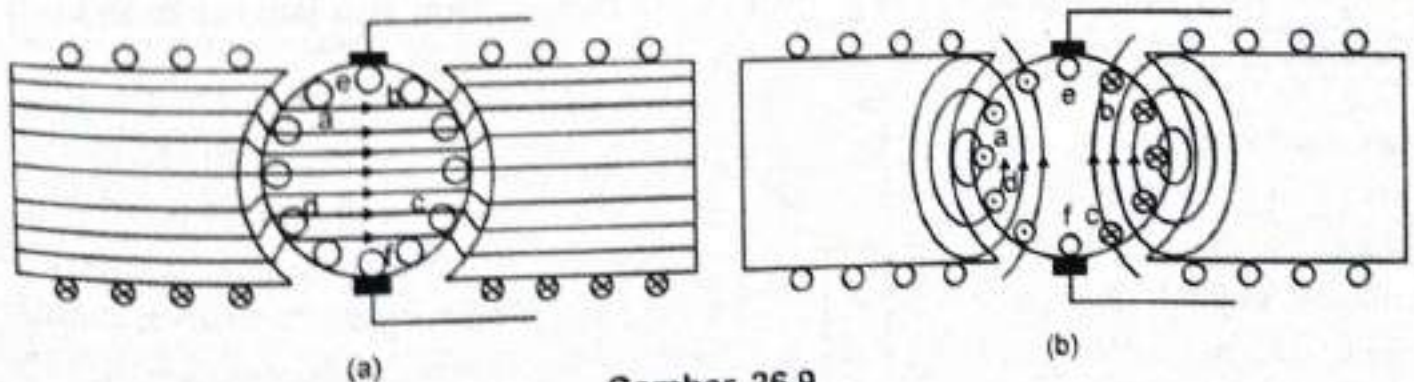
Gambar 26.7



Gambar 26.8

## REAKSI JANGKAR

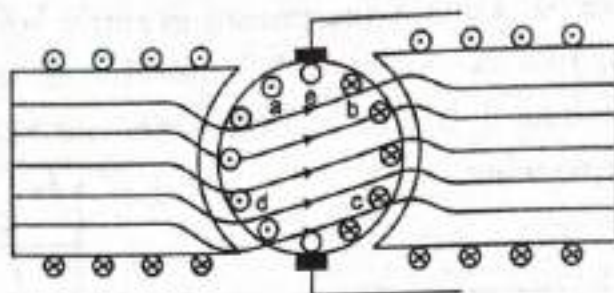
Fluks yang menembus penghantar jangkar pada keadaan generator tak berbeban diperlihatkan pada gambar 26.9a. Fluks ini merupakan fluks utama. Jika generator dibebani timbul arus jangkar, yang menyebabkan timbulnya fluks pada penghantar tersebut. Dengan menganggap tidak ada arus medan yang mengalir pada kumparan medan, fluks ini dilukiskan seperti pada gambar 26.9b.



Gambar 26.9



Perhatikan penghantar yang terletak pada daerah ac. Ternyata fluks yang ditimbulkan oleh arus jangkar dengan fluks utamanya saling memperkecil sehingga fluks yang terjadi di sini menjadi berkurang. Perhatikanlah kemudian penghantar yang terletak pada daerah bd. Ternyata fluks yang ditimbulkan oleh arus jangkar dengan fluks utamanya saling memperkuat, sehingga fluks yang terjadi di sini bertambah. Fluks total di mana generator dalam keadaan berbeban adalah jumlah vektoris kedua fluks. Pengaruh adanya interaksi ini disebut reaksi jangkar. Interaksi kedua fluks tersebut dilukiskan pada gambar 16.9c

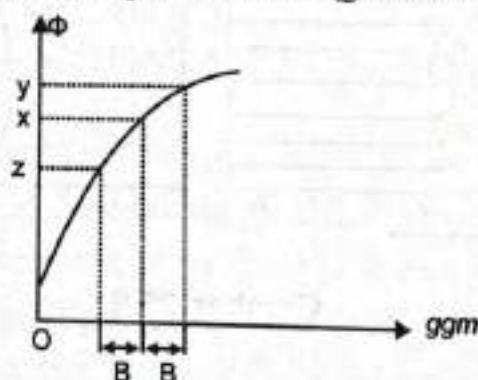


Gambar 26.9c

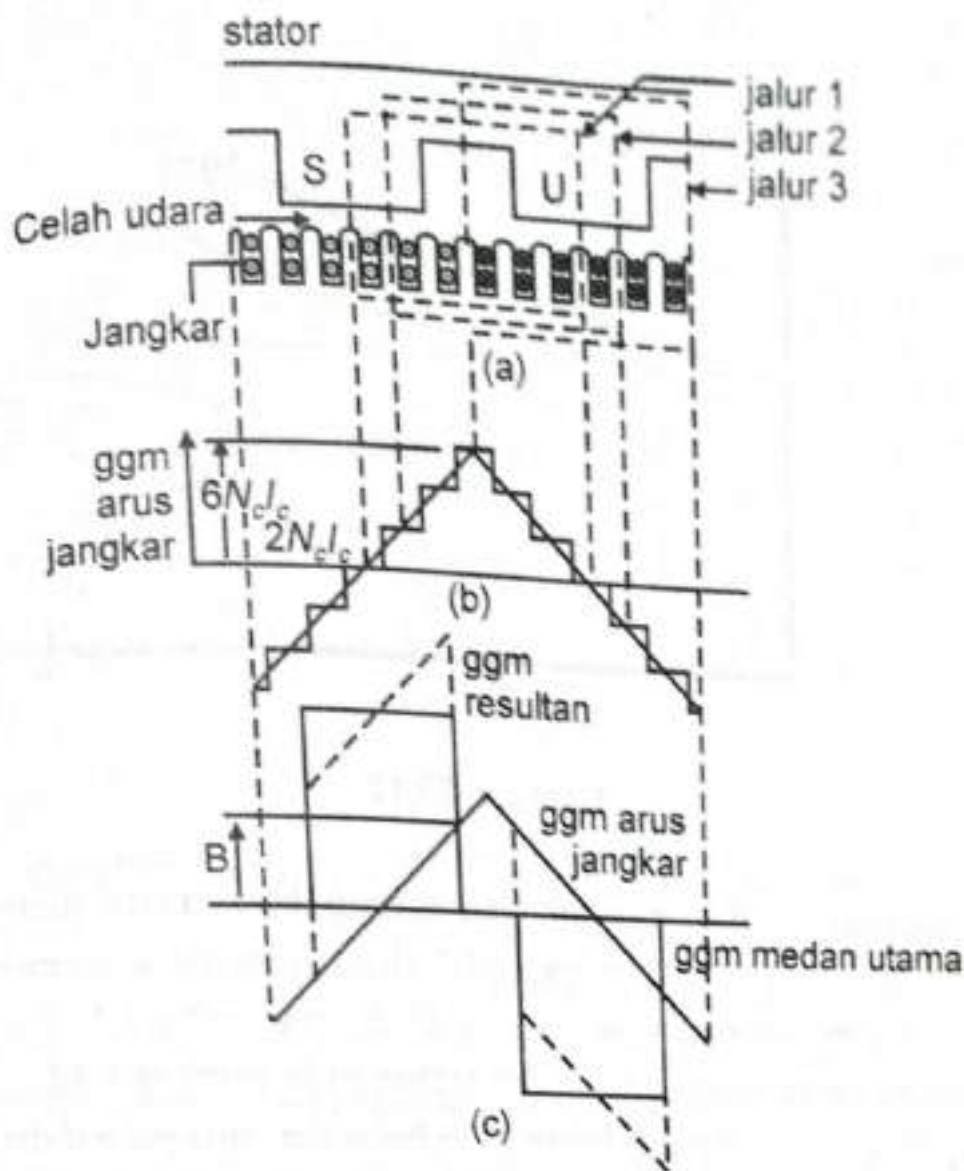
Karena operasi suatu generator arus searah selalu berada pada daerah jenuh, pengurangan fluks di suatu penghantar dibandingkan dengan penambahan fluks pada penghantar lain lebih besar. Hal tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

Misal fluks sebesar  $Ox$  adalah fluks yang dihasilkan tanpa dipengaruhi oleh reaksi jangkar. Misalkan pula dengan adanya pengaruh reaksi jangkar penambahan dan pengurangan kuat medan magnet ( $ggm$ ) yang terjadi pada penghantar terlihat pada gambar 26.10, penambahan fluks pada penghantar bd hanyalah sebesar  $xy$ , sedangkan berkurangnya fluks pada penghantar jangkar ac sebesar  $xz$ , di mana nilai  $xz$  lebih besar daripada  $xy$ . Oleh karena itu fluks keseluruhan yang dihasilkan oleh penghantar jangkar akibat adanya reaktansi jangkar akan selalu berkurang nilainya. Berkurangnya fluks ini dinamakan pendemagnetan.

Bentuk resultan gaya gerak magnet ( $ggm$ ) akibat mengalirnya arus pada kumparan jangkar ( $N_c I_c$ ) dapat dilihat pada gambar 26.11. Tampak  $ggm$  arus jangkar mengubah bentuk  $ggm$  medan utama pada kumparan stator (gambar 26.18)



Gambar 26.10

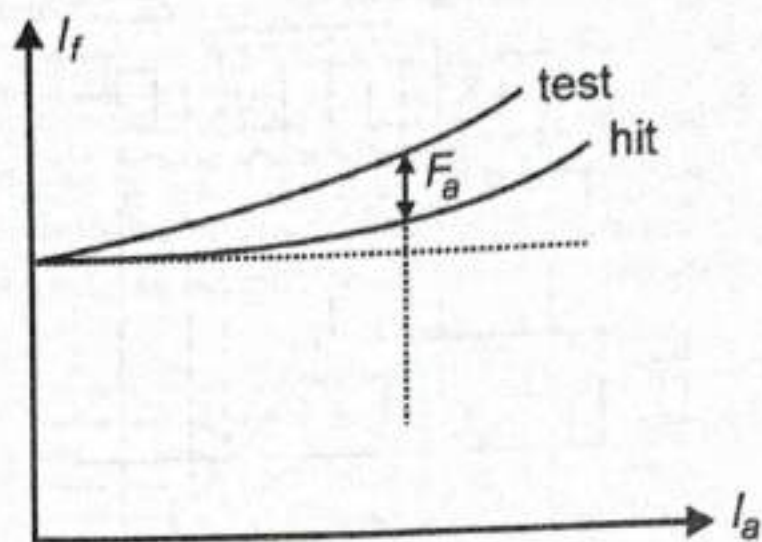


Gambar 26.11

## PENGUKURAN PENDEMAGNETAN

Dari penjelasan terdahulu bahwa pendemagnetan akibat adanya reaksi jangkar menyebabkan berkurangnya fluks. Sedangkan fluks merupakan fungsi arus medan. Dan reaksi jangkar timbul akibat adanya arus yang mengalir dalam penghantar jangkar. Jadi besarnya pendemagnetan bergantung pada besarnya arus jangkar dan pengaruhnya terlihat pada arus medannya. Penentuan pendemagnetan dapat dilakukan dengan membuat kurva  $I_f$  sebagai fungsi  $I_a$  pada tegangan hasil pengukuran atau perhitungan.

Sebagai contoh di sini diambil generator berpenguatan bebas. Kurva yang didapatkan dari perhitungan merupakan kurva dengan pengaruh pendemagnetan diabaikan. Untuk mendapatkannya nilai  $I_a$  dihitung nilai  $E_a$ . Dari nilai  $E_a$  yang didapat ini dan dengan menggunakan kurva pendemagnetan didapatkan nilai  $I_f$ . Perhitungan dilakukan untuk beberapa nilai  $I_a$ . Dari  $I_a$  dan  $I_f$  yang berpasangan ini dihasilkan suatu kurva hitungan seperti terlihat pada gambar 26.12.



Gambar 26.12

Kurva yang didapatkan dari pengukuran merupakan grafik dengan pengaruh pendemagnetan diikutsertakan. Caranya adalah dengan memasang amperemeter pada kumparan medan dan kumparan jangkarnya. Dengan membaca kedua amperemeter ini diperoleh suatu kurva pengujian seperti terlihat pada gambar 6.12

Nilai arus  $I_f$  dihasilkan dari pengukuran lebih besar daripada yang didapatkan dengan perhitungan untuk  $I_a$  yang sama. Selisih antara kedua grafik di atas menunjukkan besarnya pemagnetan =  $F_a$  (dalam ampere). Untuk menyatakan ggm-nya, tinggal mengalikannya dengan jumlah lilitan jangkar.

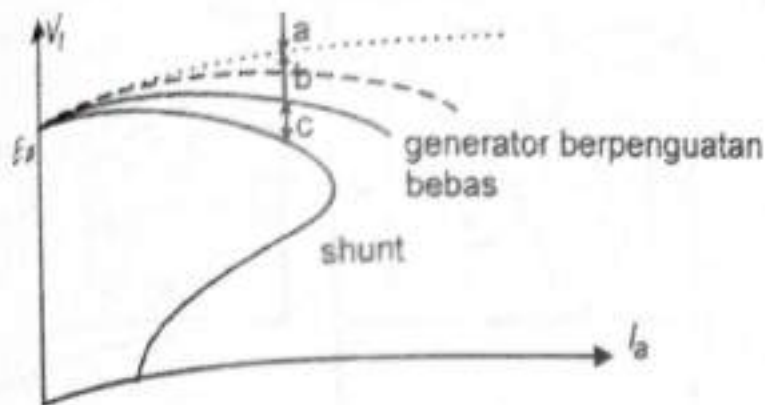
Nilai efektif arus medan didefinisikan sebagai  $I_f - F_a$ . Kemudian jika pendemagnetan dan tahanan jangkar diabaikan didapat grafik yang merupakan garis mendatar (garis putus-putus pada gambar 26.12).

## KARAKTERISTIK LUAR

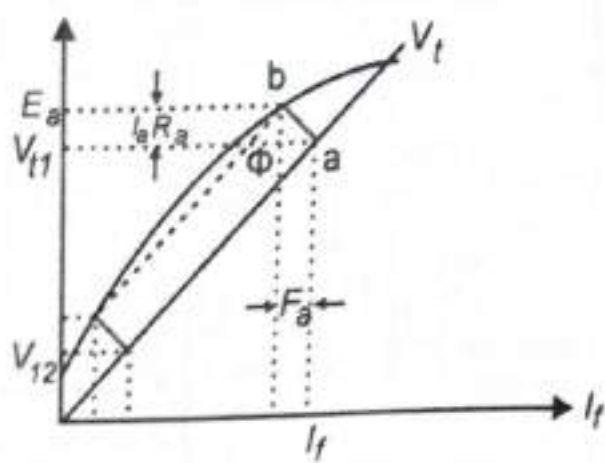
Karakteristik luar sebuah generator menunjukkan bagaimana perubahan tegangan terminal terhadap beban yang berubah-ubah. Pada gambar 6.20 diperlihatkan karakteristik luar untuk generator berpenguatan bebas dan generator shunt. Kurva pada gambar 6.20 didapatkan berdasarkan persamaan:

$$\text{Arus medan efektif} = I_f - F_a$$

$$V_t = E_a - I_a R_a$$



Gambar 26.13



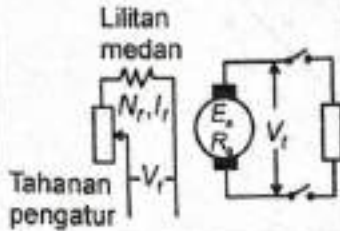
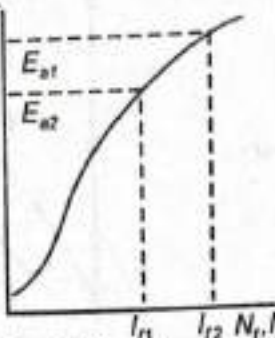
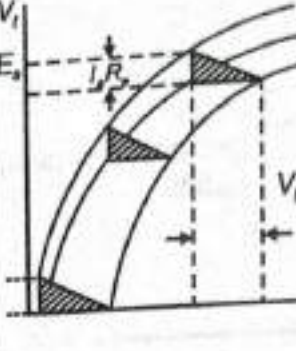
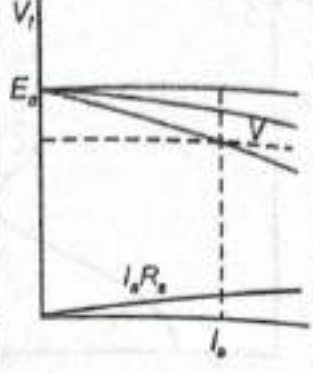
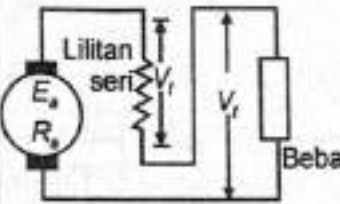
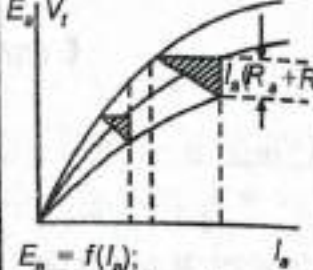
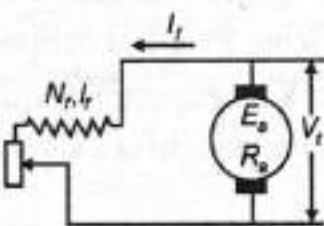
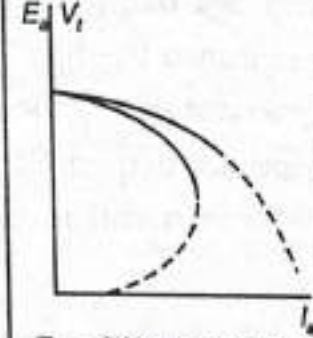
Gambar 26.14

Untuk arus beban tertentu arus medan efektif dapat ditentukan dari persamaan (1), sebab  $I_f$  konstan sedangkan  $F_a$  diketahui sebagai fungsi  $I_a$ . Nilai  $E_a$  yang berpasangan dengan arus medan efektif ini dapat dibaca pada kurva pemagnetan seperti terlihat pada gambar 26.14.  $V_t$  dapat dihitung, jika semua besaran nilainya diketahui. Dari gambar 26.14 dapat pula diketahui penurunan tegangan yang terjadi (dengan membuat segi tiga oab), yaitu penurunan tegangan akibat adanya tahanan jangkar ( $R_a$ ) dan penurunan tegangan akibat adanya pendemagnetan arus jangkar ( $F_a$ ). Sedangkan pada generator shunt, untuk beban yang sama, tegangan terminalnya lebih kecil lagi daripada generator berpenguatan bebas. Ini disebabkan karena penurunan  $V_t$  menyebabkan juga penurunan arus medannya ( $V_t = I_f R_f$ ), yang berarti berkurangnya penguatan.

### KARAKTERISTIK GENERATOR ARUS SEARAH

Pada generator shunt, untuk jangkar yang sama ( $I_a$ ) didapat dua harga  $V_t$ . Hal ini karena bagi nilai  $I_a$  yang sama akan dihasilkan penurunan tegangan  $I_a R_a$  dan penurunan tegangan pendemagnetan yang sama pula. Jadi jika dibuat garis yang sejajar terhadap persamaan garis linier tahanan medan melalui b (gambar 26.21), ternyata garis ini akan memotong kurva pemagnetan di titik x. Dan dengan membuat segi tiga yang sama dan sebangun dengan tiga oab akan diperoleh tegangan  $V_{t2}$ . Tegangan  $V_{t1}$  dan  $V_{t2}$  adalah tegangan terminal untuk arus jangkar yang sama.

# Karakteristik Generator Arus Searah

Gambar rangkaian	Karakteristik beban nol	Karakteristik berbeban	Karakteristik Luar
 <p><b>GENERATOR PENGUAT BEBAS</b></p>	 <p><math>E = f(I_f); I_a = \Phi;</math>  <math>n = \text{konstan}</math>  <math>E_{g1} = c n \Phi_1; E_{g2} = c n \Phi_2</math></p>	 <p><math>E_g = f(I_f); I_a = \text{konstan}</math>  <math>n = \text{konstan}</math></p>	 <p><math>E_g = f(I_a); I_f = \text{konstan}</math>  <math>n = \text{konstan}</math></p>
 <p><b>GENERATOR SERI</b></p>	<p>Sama dengan karakteristik beban nol di atas</p>	<p>Sama dengan karakteristik beban di atas</p>	 <p><math>E_g = f(I_a);</math>  <math>I_f = I_a; n = \text{konstan}</math>  <math>I_a R_a = f(I_a);</math>  <math>E_g = V_t + I_a R_a = f(I_a)</math></p>
 <p><b>GENERATOR SHUNT</b></p>	<p>Sama dengan karakteristik beban nol di atas</p>	<p>Sama dengan karakteristik beban di atas</p>	 <p><math>E_g = f(I_a); I_f = \text{konstan}</math>  <math>n = \text{konstan}</math></p>

Gambar 26.15

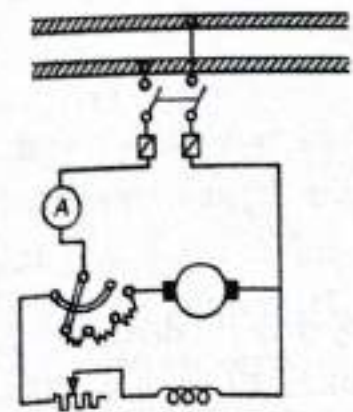
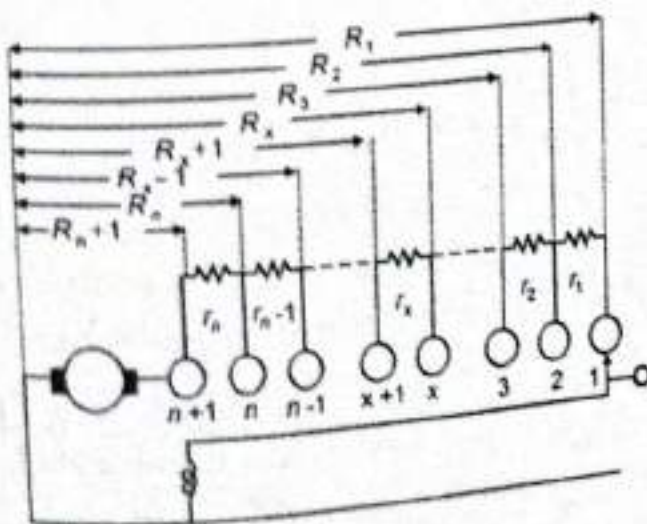
# MOTOR ARUS SEARAH

Pada prinsipnya mesin listrik dapat berlaku sebagai motor maupun sebagai generator. Perbedaanannya hanya terletak dalam konversi dayanya. Generator adalah suatu mesin listrik yang mengubah daya masuk mekanik menjadi daya keluar listrik, sedangkan sebaliknya motor mengubah daya masuk listrik menjadi daya keluar mekanik. Maka dengan membalik generator arus searah, di mana sekarang tegangan  $V_r$  menjadi sumber dan tegangan jangkar  $E_a$  merupakan ggl lawan, mesin arus searah ini akan berlaku sebagai motor. Oleh karena itu, hubungan antara tegangan  $V_r$  dan  $E_a$  dapat dituliskan sebagai:

$$E_a = V_r - I_a R_a$$

## MENJALANKAN MOTOR

Ketika motor dijalankan dan tegangan induksi  $E_a$  masih sama dengan nol. Dan dari persamaan  $I_a = (V_r - E_a)/R_a$  untuk  $E_a = 0$  dan  $R_a$  yang cukup kecil arus  $I_a$  yang mengalir besar sekali. Oleh karena itu, untuk membatasi arus jangkar ( $I_a$ ) yang sangat besar pada waktu start ini perlu diberikan tahanan mula yang dipasang seri terhadap tahanan jangkar tersebut. Secara perlahan-lahan kemudian tegangan induksi dibangkitkan dan rotor pun mulai berputar. Bersama dengan ini tahanan mula tersebut harus pula diturunkan. Penurunan tahanan mula yang dipasangkan ini dapat dikerjakan dengan tangan (olah manusia) atau otomatis (dengan menggunakan penggerak elektromagnetik). Prinsip dalam perencanaan tahanan mula dapat dijelaskan dengan gambar 6.16)



(a)

(b)

Gambar 26.16

Ada  $n$  buah tahanan yang diseriikan dan  $n + 1$  kontak yang merupakan titik sambung antara tahanan yang satu dengan yang lainnya yang berdekatan. Seandainya direncanakan bahwa pada suatu mulai menjalankan motor, arus jangkar ( $I_2$ ) yang mengalir =  $I_1$  dua kali besarnya dari keadaan beban penuh. Dimisalkan pula pada saat  $t = t_1$  arus jangkar jatuh menjadi  $I_2$  dan bersamaan dengan ini tahanan pertama  $r_1$  diputuskan (yaitu lengan sambung berpindah pada kontak ke 2). Dalam keadaan demikian arus  $I_2$  akan naik kembali menjadi  $I_1$ . Proses ini akan berlangsung hingga lengan sambung mencapai kontak ke- $n + 1$  di mana saat ini kecepatan (putaran) dan tegangan  $E_a$  mencapai keadaan stabil. Kurva arus jangkar terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 26.17. Misalnya pada suatu saat lengan sambung berpindah dari kontak  $x$  ke kontak  $x + 1$ , yaitu pada saat arus =  $I_2$ , maka

$$I_2 = \frac{V_t - E_a}{R_{x+1}}$$

Kemudian lengan sambung berpindah ke kontak  $x + 1$ , sehingga kembali menjadi  $I_1$ , maka:

$$I_1 = \frac{V_t - E_a}{R_x}$$

Jika didefinisikan  $C = I_1/I_2$ , maka:

$$C = \frac{R_x}{R_{x+1}} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_2}{R_3} = \dots = \frac{R_n}{R_{n+1}}$$

$$C = \frac{R_1}{R_2} \times \frac{R_2}{R_3} \times \frac{R_3}{R_4} \times \dots \times \frac{R_n}{R_{n+1}}$$

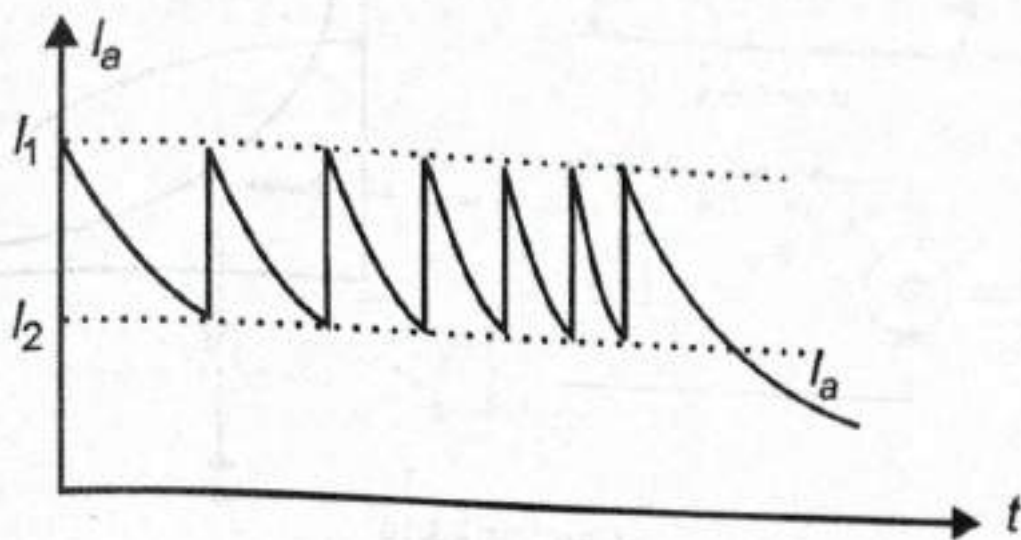
$$C^n = \frac{R_1}{R_{n+1}}$$

$$C = \sqrt[n]{\frac{R_1}{R_{n+1}}} = \sqrt[n]{\frac{R_1}{R_x}}, \text{ jika } R_{n+1} = R_x$$

$$C = \sqrt[n]{\frac{V_t}{I_1 R_x}}, \text{ bila } V_t = I_1 R_1$$

Bila  $V_t$  dan  $R_x$  diketahui dan  $I_1$  dan  $I_2$  ditetapkan jumlah elemen tahanan  $n$ , dapat ditentukan  $r_x$  dapat ditentukan dari hubungan:

$$r_x = R_x - R_{n+1} = \left( R_x - \frac{R_x}{C} \right) = R_x \frac{(C-1)}{C}$$



Gambar 26.17

## KARAKTERISTIK KECEPATAN TORSI

Untuk motor arus searah berlaku hubungan:

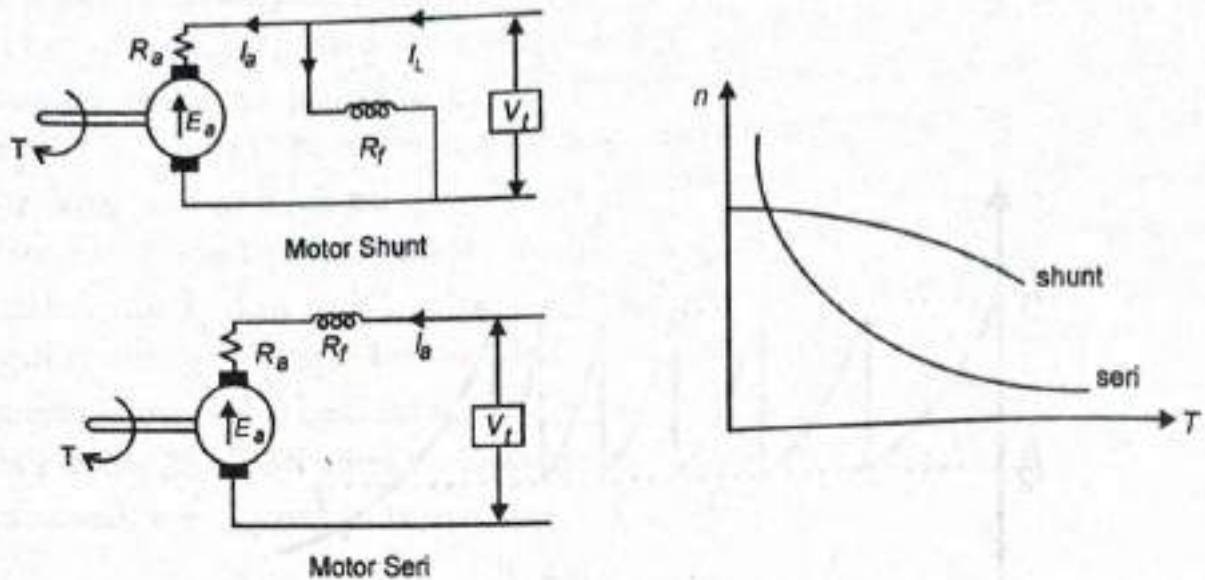
$$V_t = E_a + I_a R_a$$

$$E_a = Cn\phi$$

$$n = \frac{V_t - I_a R_a}{C\phi}$$

Dari persamaan terakhir di atas dapat dilihat bahwa pada motor shunt bertambahnya torsi (artinya arus jangkar bertambah besar) mengakibatkan kecepatan ( $n$ ) menurun. Pada motor seri, bertambahnya torsi (arus) akan menyebabkan pula bertambahnya besar fluks ( $\phi$ ), karena fluks pada motor seri merupakan fungsi arus jangkar ( $I_a$ ). Dari rangkaian motor seri terlihat bahwa untuk besar arus jangkar sama dengan nol, besar fluks juga nol, sehingga dari persamaan terakhir di atas diperoleh kecepatan rotor  $n$  menuju tak terhingga. Sedangkan untuk nilai  $I_a$  yang cukup besar, kecepatan pada persamaan di atas akan mendekati nol. Dengan demikian, karakteristik kecepatan torsi untuk motor shunt dan seri masing-masing dapat dilukiskan seperti pada gambar 26.25





Gambar 26.18

## PENGATURAN KECEPATAN

Pengaturan kecepatan memegang peranan penting pada motor arus searah, karena motor arus searah mempunyai karakteristik torsi kecepatan yang menguntungkan dibandingkan dengan motor lainnya.

Telah diketahui bahwa untuk motor arus searah dapat diturunkan rumus sebagai berikut:

$$E_a = Cn\phi, E_a = V_t - I_a R_a$$

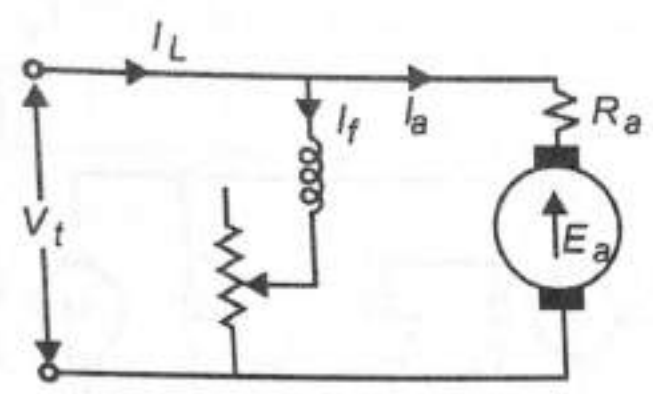
$$n = \frac{V_t - I_a R_a}{C\phi}$$

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa kecepatan ( $n$ ) dapat diatur dengan mengubah-ubah besaran  $\phi$ ,  $R_a$ , atau  $V_t$ .

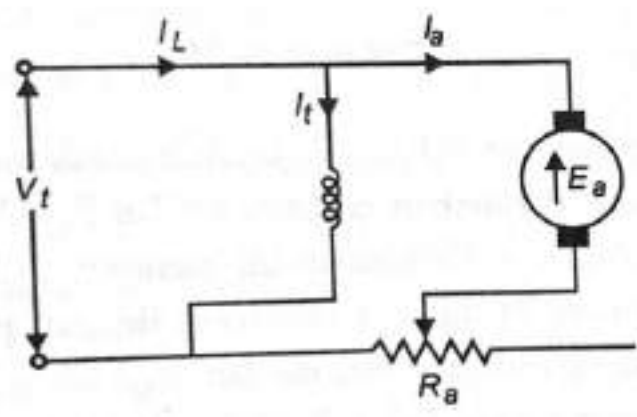
### Pengaturan Kecepatan dengan Mengatur Medan Shunt ( $\phi$ )

Dengan menyisipkan tahanan variabel yang dipasang secara seri terhadap kumparan medan (pada motor shunt), dapat diatur arus medan  $I_f$  dan fluks-nya ( $\phi$ ). Cara ini sangat sederhana dan murah, selain itu rugi panas yang ditimbulkan kecil pengaruhnya. Karena besarnya fluks yang bisa dicapai oleh kumparan medan terbatas, kecepatan yang dapat diatur pun terbatas.

Kecepatan terendah didapat dengan membuat tahanan variabel sama dengan nol, sedangkan kecepatan tertinggi dibatasi oleh perencanaan mesin di mana gaya sentrifugal maksimum tidak sampai merusak rotor. Kopel maksimum didapatkan pada kecepatan terendah. Motor yang biasa diatur dengan cara ini adalah motor shunt atau motor kompon



Gambar 26.19



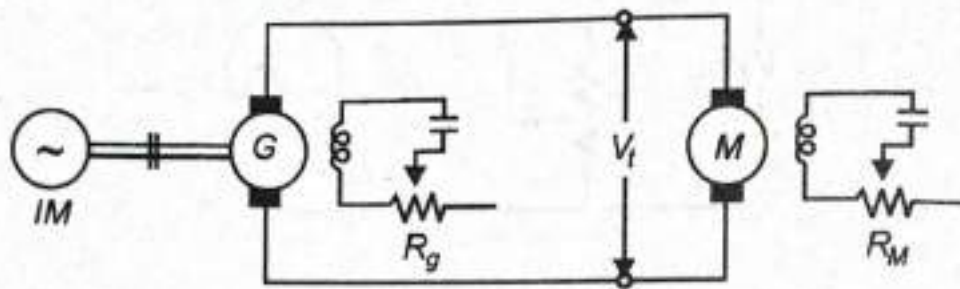
Gambar 26.20

### Pengaturan Kecepatan dengan Mengatur Tahanan $R_a$

Dengan menyisipkan tahanan variabel secara seri terhadap tahanan jangkar (gambar 26.20), sehingga dengan demikian tahanan jangkar pun dapat diatur, berarti pula kecepatan motor dapat dikontrol. Cara ini jarang dipakai, karena penambahan tahanan seri terhadap tahanan jangkar menimbulkan rugi panas yang cukup besar.

## Pengaturan Kecepatan dengan Mengatur Tegangan $V_t$

Cara ini dikenal sebagai sistem Ward Leonard Motor yang dipakai adalah motor berpenguatan bebas. Prinsipnya sebagai berikut (lihat gambar 26.21).

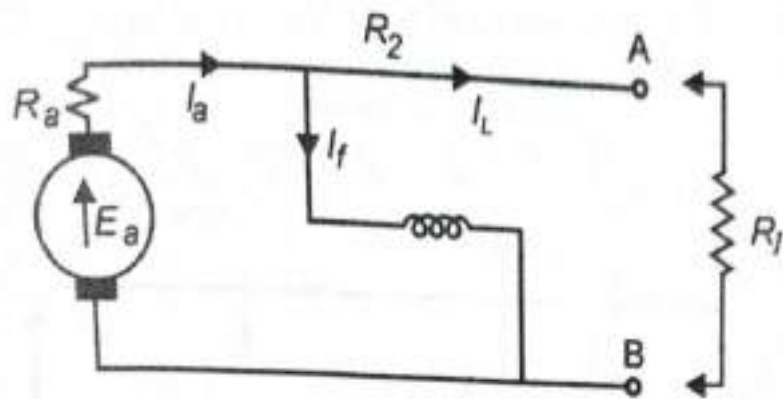


Gambar 26.21

Penggerak mula (biasanya motor induksi) digunakan untuk memutar generator G pada suatu kecepatan konstan). Perubahan tahanan medan  $R_G$  akan mengubah tegangan  $V_t$  yang diberikan pada motor. Perubahan ini mempunyai batas yang cukup lebar. Kadang-kadang pengaturan  $V_t$  ini juga dibarengi dengan pengaturan fluks medan motor, yaitu dengan mengatur tahanan medan  $R_M$ . Cara ini menghasilkan suatu pengaturan kecepatan yang sangat halus dan banyak dipakai untuk lift, mesin bubut dan lain-lain. Satu-satunya kerugian sistem ini adalah biaya yang sangat tinggi akibat penambahan generator dan penggerak mula.

## PENGEREMAN

Suatu motor listrik dapat berhenti dengan adanya gesekan yang terjadi, tetapi tentu saja hal ini membutuhkan waktu yang lama. Untuk dapat menghentikan motor dalam waktu yang relatif singkat dilakukan pengereman. Ada tiga jenis pengereman yaitu pengereman dinamik, pengereman regeneratif dan pengereman mendadak.



Gambar 26.22

Pada pengereman dinamik, penghentian motor dapat terjadi jika tegangan terminal  $V_t$  dihilangkan dan diganti dengan tahanan  $R_1$ . Dalam keadaan ini energi putaran dialirkan ke tahanan  $R_1$  yang menyebabkan kecepatan rotasi turun. Demikian pula tegangan  $E_a$  akan turun. Sekarang motor berfungsi sebagai generator. Untuk menjaga penurunan torsi yang kontan  $R_1$  harus diturunkan. Nilai  $R_1$  dipilih sedemikian rupa sehingga arus jangkar tidak terlalu besar (umumnya diambil dua kali besar arus jangkar pada beban penuh). Nilai  $R_1$  dapat dihitung dari persamaan.

$$E_a = I_L R_1 + I_a R_a$$

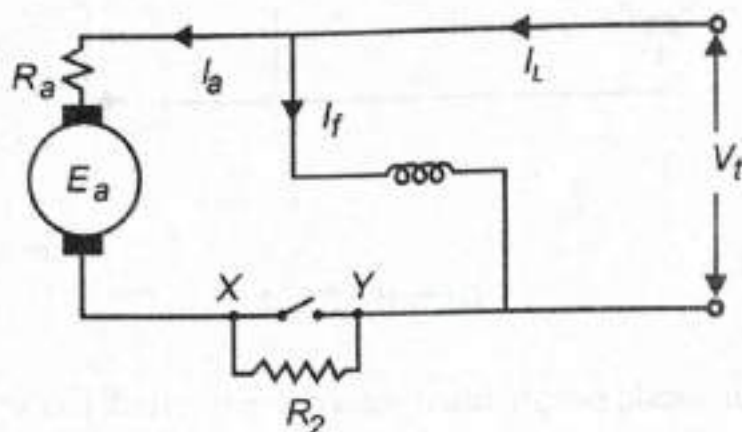
## Pengereman Regeneratif

Pada pengereman regeneratif energi rotasi dikembalikan ke jala-jala. Cara ini biasanya dipakai pada kereta rel listrik. Ketika kereta rel listrik berjalan menurun, kecepatan rotasi motor laju sekali, karenanya  $E_a > V_t$  yang mengakibatkan daya dapat dikembalikan ke jala-jala untuk keperluan lain. Pada saat daya dikembalikan ke jala-jala, kecepatan rotasi menurun dan proses pengereman berlangsung seperti pada pengereman dinamik.

## Pengereman Mendadak

Pengereman mendadak adalah pengereman suatu motor dalam waktu yang sangat singkat dan tiba-tiba, yaitu dengan cara membalik polaritas motor. Tahanan  $R_2$  Disisipkan antara titik X dan Y (Gambar 26.23 )

Karena tegangan jangkar telah terbalik polaritasnya, sehingga arahnya sama dengan tegangan terminal, besarnya  $R_2$  pun dapat dihitung dari persamaan  $E_a + V_t = I_a(R_a + R_2)$ .



Gambar 26.23

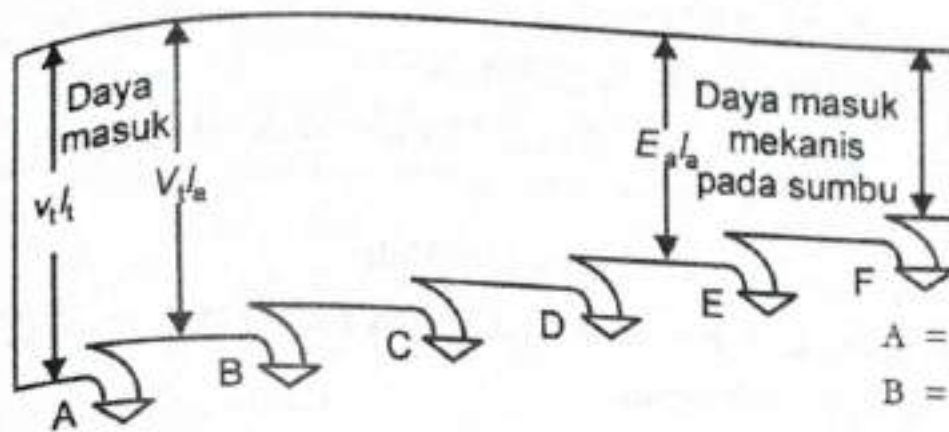
Nilai  $R_2$  dipilih sedemikian rupa, sehingga arus jangkar yang mengalir pada saat pengereman tidak terlampaui besar (umumnya dua kali nilai arus pada arus beban penuh). Selama pengereman berlangsung  $E_a$  turun, sehingga  $R_2$  harus diperkecil untuk menjaga penurunan torsi yang konstan.

## RUGI DAYA DAN EFISIENSI DALAM MESIN ARUS SEARAH

Rugi daya yang terjadi dalam mesin arus searah adalah:

- (1) Rugi besi yang terdiri atas rugi histeresis dan rugi 'arus pusar'.
- (2) Rugi listrik yang dikenal sebagai rugi tembaga ( $I^2R$ ).
- (3) Rugi mekanik yang terdiri atas rugi gesek pada sikat dan bantalan dan rugi angin.
- (4) Aliran daya dalam motor arus searah terlihat pada gambar 26.24, sedangkan untuk generator arus searah aliran daya adalah sebaliknya.

$$\text{Efisiensi } \eta = \frac{\text{daya keluar}}{\text{daya keluar} + \text{daya rugi total}}$$



Gambar 26.24

- A = Rugi tahanan medan Shunt
- B = Rugi tahanan medan seri
- C = Rugi tahanan sikat
- D = Rugi tahanan jangkar
- E = Rugi histerisis dan arus pusat
- F = Rugi gesekan bantalan, sikat dan angin

### Contoh 26.1:

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 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 mulai dihilangkan dan disisipkan tahanan yang dipasangkan seri dengan tahanan jangkar sebesar 2.5 Ohm, sedangkan arus medandan arus jangkar tetap. Tentukanlah perputaran dan daya keluarannya.

### Solusi:

Pada beban penuh : Daya masuk =  $6912 \text{ Watt} / 0.90 = 7680 \text{ Watt}$   
 Arus total =  $I_L = 7680 \text{ Volt} / 240 = 32 \text{ Ampere}$   
 Arus medan =  $I_f = 240 / 120 = 2 \text{ Ampere}$   
 Arus jangkar =  $(32 - 2) \text{ Ampere} = 30 \text{ Ampere}$

- (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:

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

Jadi

$$R_m = (8 - 0,5) = 7,5 \text{ Ohm}$$

(b) Pada keadaan beban penuh:  $N_1 = 600$  rpm

$$E_{s1} = V_t - I_a R_a = 240 \text{ Volt} - 30 \times 0,5 \text{ Ohm} = 225 \text{ Volt}$$

Bila kemudian dipasangkan tahanan seri sebesar 2,5 ohm, sedangkan arus medan dan arus jangkar tetap, maka

$$E_{s2} = 240 \text{ Volt} - 30 \text{ Ampere}(0,5 + 2,5 \text{ Ohm}) = 150 \text{ Volt}$$

dan dari  $E_s = Cn\phi$ , di mana  $C =$  konstanta, sedangkan fluks ( $\phi$ ) konstan (karena arus medan konstan), didapat hubungan:

$$E_{s1} / E_{s2} = n_1 / n_2$$

$$n_2 = E_{s2} / E_{s1} \times n_1 = 150 / 225 \times 600 \text{ rpm} = 400 \text{ rpm}$$

$$\text{daya keluar} = n_2 / n_1 \times P_1$$

$$(P_2) = 400 / 600 \times 6912 \text{ Watt} = 4612 \text{ Watt}$$

### Contoh 26.2:

Suatu motor seri 50 hp, 550 Volt, 750rpm, bekerja dengan beban nominal mengambil arus sebesar 74.0 Ampere. Kemudian torsi dinaikkan menjadi dua kalinya, sehingga arus menjadi 110 Ampere. Tentukan kecepatan rotasi dan daya keluar pada keadaan ini. Tahanan jangkar = 0.35 Ohm dan tahanan medan = 0.15 Ohm.

### Solusi:

Pada beban nominal:

$$E_{s1} = 550 \text{ Volt} - (74)(0,35 + 0,15 \text{ Ohm}) = 513 \text{ Volt}$$

Ketika torsi dinaikkan menjadi dua kali, maka:

$$E_{s2} = 550 \text{ Volt} - 110 \text{ Ampere}(0,35 + 0,15 \text{ Ohm}) = 495 \text{ Volt}$$

Torsi pada beban nominal:

$$T_1 = C I_{a1} \phi_1$$

Torsi dinaikkan menjadi dua kali  $T_1$  sehingga

$$T_2 = C \phi_2 I_{a2} = 2 \times T_1$$

Maka

$$\phi_2 / \phi_1 = T_2 I_{a1} / T_1 I_{a2} = 2(74 \text{ Ampere} / 110 \text{ Ampere}) = 1.346$$

Dan

$$E_{s1} = C n_1 \phi_1 = 513 \text{ Volt}$$

$$E_{s2} = C n_2 \phi_2 = 485 \text{ Volt}$$

Sehingga  $n_2 = n_1 \cdot (E_{s2} / E_{s1}) \cdot (\phi_1 / \phi_2) = 750 \times 495 / 513 \times 1 / 1.346 = 537 \text{ rpm}$

Jadi daya keluar  $537 \text{ rpm} / 750 \text{ rpm} \times (2)(50) \text{ hp} = 71.6 \text{ hp}$ .

**Contoh 26.3:**

Hitunglah gaya gerak listrik pada generator arus searah 8 kutub dengan kumparan, jika generator tersebut berputar pada kecepatan rotasi 300 rpm dalam kuat medan magnet 0,05 Weber dan mempunyai 960 penghantar jangkar.

**Solusi:**

Gaya gerak listrik  $E_2 = \phi Z N P/A$

$\phi$  adalah fluks/kutub

Z adalah jumlah dari batang konduktor

N adalah kecepatan dalam satuan rpm

P adalah jumlah kutub

A adalah jumlah hubungan paralel

dari soal di atas,  $\phi = 0.05$ ,  $Z = 960$ ,  $N = 300/60 = 5$  rpm

$$P = A = 8 \text{ (keadaan belitan gelung)}$$

sehingga

$$E = 0.05 \times 960 \times 5 \times 8/8 = 240 \text{ volt}$$

**Contoh 26.4:**

Generator kompon panjang 4 kutub mempunyai kapasitas (rating) 500 Volt, 25 KW pada keadaan beban penuh. Jika tahanan jangkar 0.03 Ohm, tahanan medan seri 0,04 Ohm dan tahanan medan shunt 200 Ohm. Tentukanlah gaya gerak listrik generator tersebut, bila tegangan jatuh pada sikat 1 Volt/sikat.

**Solusi:**

Arus beban mesin pada keadaan beban penuh adalah

$$I_L = 25 \times 1000 \text{ Watt}/500 \text{ Volt} = 50 \text{ Ampere}$$

Arus medan shunt

$$I_f = 500 \text{ Volt}/200 \text{ Ohm} = 2.5 \text{ Ampere}$$

$$\text{Arus jangkar} = (50 + 2.5 \text{ Ampere}) = 52.5 \text{ Ampere}$$

$$\begin{aligned} \text{ggl induksi} &= 500 \text{ Volt} + 52.5 \text{ Ampere}(0.03 + 0.04 \text{ Ohm}) + 2 \times 1 \text{ Volt} \\ &= 505.675 \text{ Volt} \end{aligned}$$

**Contoh 26.5:**

Kapasitas generator shunt adalah 24 kW pada tegangan nominal 200 Volt. Jika tahanan jangkar dan tahanan medan shunt berturut-turut 0.05 Ohm dan 40 Ohm. Tentukanlah efisiensi keseluruhannya jika rugi-rugi gesek dan rugi-rugi besi sama dengan rugi tembaga pada keadaan tersebut di atas.



**Solusi:**

Pada keadaan tegangan terminal 200 Volt dan tahanan medan shunt 40 Ohm

$$I_f = 200 \text{ Volt} / 40 \text{ Ohm} = 5 \text{ Ampere}$$

Arus beban penuh =  $24 \times 1000 \text{ Watt} / 200 \text{ Volt}$

$$I_L = 120 \text{ Ampere}$$

$$\begin{aligned} I_a &= I_L + I_f \\ &= 120 + 5 \text{ Ampere} \\ &= 125 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Rugi-rugi

Rugi tembaga pada jangkar =  $(125 \text{ A})^2 \times 0.05 \text{ Ohm} = 781.25 \text{ Watt}$

Rugi tembaga pada tahanan medan shunt =  $5 \text{ Ampere} \times 200 = 1000 \text{ Watt}$

Jumlah kerugian tembaga =  $1781.25 \text{ Watt}$  sehingga rugi besi dan gesek =  $1781.25 \text{ Watt}$

Rugi daya total =  $3562.5 \text{ Watt}$

Daya yang disuplai =  $24000 \text{ Watt}$

Daya yang dimasukkan =  $24000 + 3562.5 = 27562.5 \text{ W}$

Efisiensi  $\eta = 24000 / 27562.5 \times 100\% = 87.1\%$

**Contoh 26.6:**

Motor shunt berputar pada kecepatan 1000 rpm dengan arus dari sumber sebesar 25 Ampere. Jika tegangan sumber 250 Volt dan tahanan jangkar serta tahanan medan berturut-turut 1 Ohm dan 250 Ohm. Hitunglah fluks per kutub, jangkar mempunyai 48 alur dengan 4 penghantar dan dihubungkan gelung. Juga hitung efisiensi jika rugi-rugi besi gesek dan kumparan adalah 800 Watt.

**Solusi:**

Diketahui bahwa:

$$E_a = V - I_a R_a = V - (I_L + I_f) R_a$$

Arus sumber = 25 Ampere

Tahanan medan 250 Ohm, sehingga:

$$I_f = 250 \text{ Volt} / 250 \text{ Ohm} = 1 \text{ Ampere}$$

$$E_a = 250 \text{ Volt} - 24 \times 1 \text{ Volt}$$

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

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

$$f = 0.0706 \text{ Weber} / \text{kutub}$$

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

# DAFTAR NILAI

## SEMESTER GANJIL REGULER TAHUN 2022/2023

Program Studi : Teknik Elektro D3  
Matakuliah : Mesin-mesin Arus Searah  
Kelas / Peserta : A  
Perkuliahan : Kampus ISTN Bumi Srengseng Indah  
Dosen : Iriandi Ilyas, Ir.MT.

Hal. 1/1

No	NIM	N A M A	ABSEN	TUGAS	UTS	UAS	MODEL	PRESENTASI	NA	HURUF
			10%	20%	30%	40%	6%	6%		
1	20430001	Mochammad Ilhaq Nuhaidir Melih	100	80	75	70	0	0	76.5	A-
2	20430002	Firdan Maulana Gibrani	100	0	75	65	0	0	58.5	C

Rekapitulasi Nilai							
A	0	B+	0	C+	0	D+	0
A-	1	B	0	C	1	D	0
		B-	0	C-	0	E	0

Jakarta, 26 January 2023

Dosen Pengajar



Iriandi Ilyas, Ir.MT.

# **Pembangkit Listrik dan Energi Baru**

## PUSAT PEMBANGKIT DAN OPERASI EKONOMISNYA

Pusat pembangkit berfungsi untuk mengkonversikan sumber daya energi primer menjadi energi listrik. Pusat pembangkit listrik konvensional mencakup:

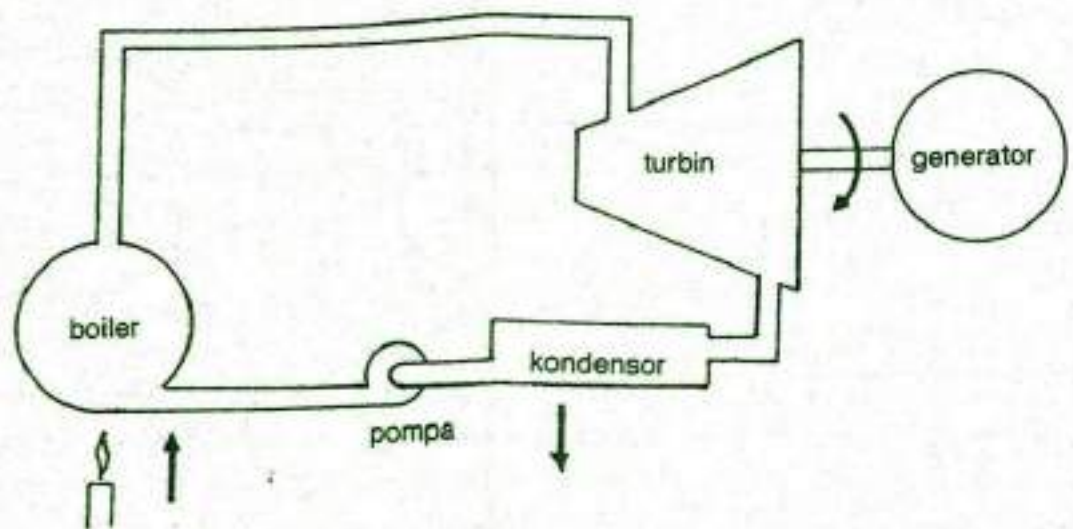
- (1) Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU); minyak, gas alam, dan batubara.
- (2) Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA).
- (3) Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG).
- (4) Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD).
- (5) Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).
- (6) Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).

Di samping pembangkit listrik konvensional tersebut, saat ini tengah dikembangkan beberapa teknologi konversi untuk sumberdaya energi baru seperti: biomassa, solar, limbah kayu, angin, gelombang laut, dan sebagainya.

Pembangkit listrik melalui cara magnetohidrodinamik (MHD) pada saat ini juga sedang memasuki tahap penelitian dan pengembangan yang intensif.

### Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pada pembangkit listrik ini, bahan bakar minyak, gas alam, atau batubara dipakai untuk membangkitkan panas dan uap pada boiler. Uap tersebut kemudian dipakai untuk memutar turbin yang dikopelkan langsung dengan sebuah generator sinkron. Setelah melewati turbin, uap yang bertekanan dan bertemperatur tinggi tadi muncul menjadi uap bertekanan dan bertemperatur rendah. Panas yang disadap oleh kondensor menyebabkan uap berubah menjadi air yang kemudian dipompa kembali menuju boiler. Siklus lengkap proses ini terlihat pada Gambar 1.2. Sisa panas yang dibuang oleh kondensor mencapai setengah jumlah panas semula yang masuk. Hal ini mengakibatkan efisiensi termodinamika suatu turbin uap bernilai lebih kecil dari 50%. Turbin uap yang modern mempunyai temperatur boiler sekitar 500 sampai 600 °C dan temperatur kondensor antara 20 sampai 30 °C.

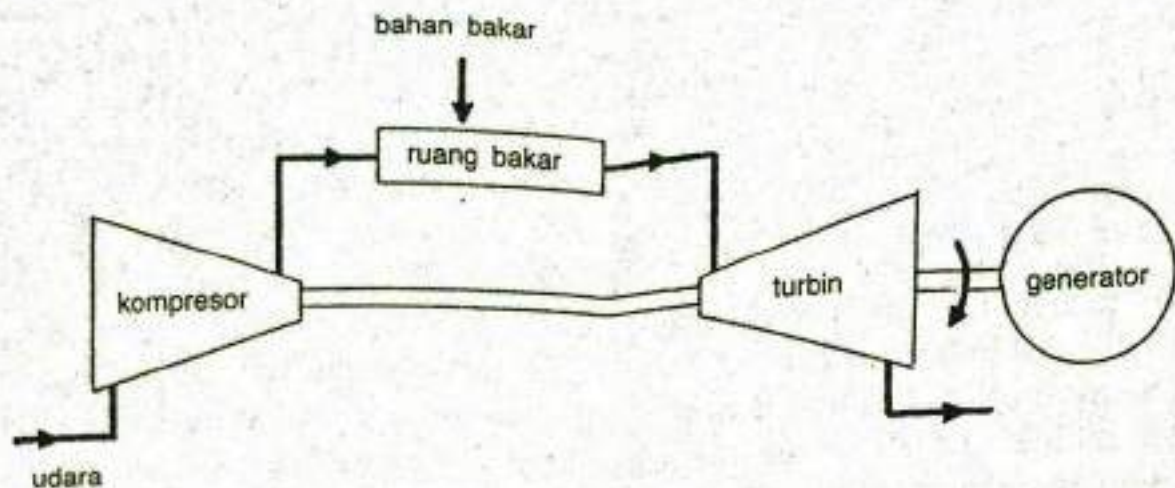


Gambar 1.2

## Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG)

Seperti juga pada PLTD, PLTG atau turbin gas merupakan mesin dengan proses pembakaran dalam (*internal combustion*). Bahan bakar berupa minyak atau gas alam dibakar di dalam ruang pembakar (*combustor*). Udara yang memasuki kompresor setelah mengalami tekanan bersama-sama dengan bahan bakar disemprotkan ke ruang pembakar untuk melakukan proses pembakaran. Gas panas hasil pembakaran ini berfungsi sebagai fluida kerja yang memutar roda turbin bersudu yang terkopel dengan generator sinkron. Generator sinkron kemudian mengubah energi mekanis menjadi energi listrik (lihat Gambar 1.3).

Berbeda dengan pada PLTD, pada PLTG tidak terdapat bagian mesin yang bergerak translasi (bolak-balik) karena itu ia merupakan mesin yang bebas dari getaran. Meskipun temperatur turbin gas ( $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) jauh lebih tinggi daripada temperatur turbin uap ( $538\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), namun efisiensi konversi termalnya hanya mencapai 20%–30%. Karena biaya modal yang rendah, serta biaya bahan bakar yang tinggi, maka PLTG berfungsi memikul beban puncak.



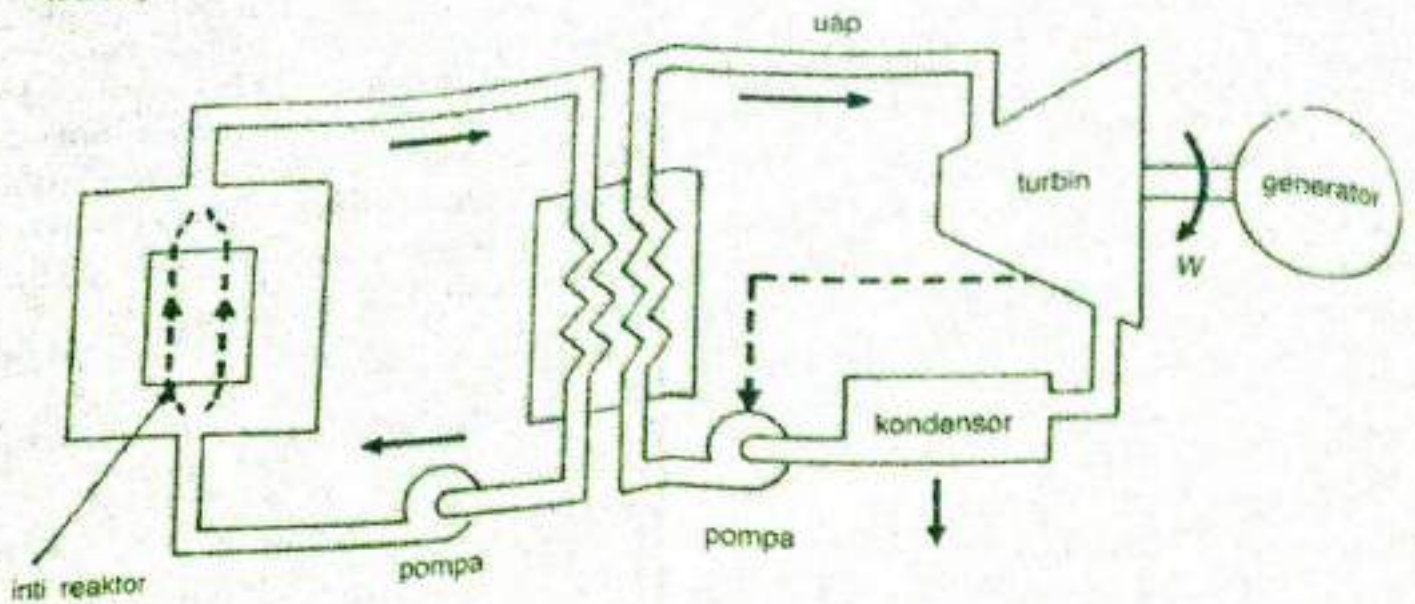
Gambar 1.3

## Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)

Pada reaktor air tekan (*pressurized water reactor*) terdapat dua rangkaian yang seolah-olah terpisah. Pada rangkaian pertama bahan bakar uranium-235 yang diperkaya dan tersusun dalam pipa-pipa berkelompok, disundut untuk menghasilkan panas dalam reaktor. Karena air dalam bejana penuh, maka tidak terjadi pembentukan uap, melainkan air menjadi panas dan bertekanan. Air panas yang bertekanan tersebut kemudian mengalir ke rangkaian kedua melalui suatu generator uap yang terbuat dari baja. Generator uap menghasilkan uap yang memutar turbin dan proses selanjutnya mengikuti siklus tertutup sebagaimana berlangsung pada turbin uap PLTU.

Keuntungan reaktor air tekan yang mempunyai dua rangkaian ini terletak pada pemisahan rangkaian pertama yang merupakan reaktor radioaktif dari proses konversi turbin uap yang berlangsung pada rangkaian kedua. Dengan demikian,

uap yang masuk ke dalam turbin dan kondensator merupakan uap bersih yang tidak tercemar radioaktif. PLTN yang mempunyai biaya modal tinggi dan biaya bahan bakar rendah itu seyogyanya beroperasi untuk beban dasar (7000–8000 jam per tahun).



Gambar 1.4

### Pusat Tenaga Listrik Air (PLTA)

Penggunaan tenaga air mungkin merupakan bentuk konversi energi tertua yang pernah dikenal manusia. Perbedaan vertikal antara batas atas dengan batas bawah bendungan di mana terletak turbin air, dikenal sebagai *tinggi terjun*. Tinggi terjun ini mengakibatkan air yang mengalir akan memperoleh energi kinetik yang kemudian mendesak sudu-sudu turbin. Bergantung pada tinggi terjun dan debit air, dikenal tiga macam turbin yaitu: Pelton, Francis, dan Kaplan. Karena tidak menggunakan bahan bakar, biaya operasi PLTA sangat rendah, namun hal ini dibarengi dengan biaya investasi yang sangat tinggi untuk konstruksi pekerjaan sipilnya.

Bergantung pada ketersediaan sumber energi air, PLTA dapat berfungsi untuk memikul beban puncak ataupun beban dasar. Sebagai sumberdaya energi yang dapat pulih, sumber potensi tenaga air sangat menarik untuk dikembangkan. Tetapi pemanfaatannya secara luas sangat dibatasi oleh kondisi geografis setempat dan permasalahan lokasi yang biasanya jauh dari pusat beban. Dari 77 863 MW potensi tenaga air yang terbesar di seluruh Indonesia, sampai dengan periode Pelita IV ini baru sekitar 2000 MW saja yang telah dimanfaatkan.

Dengan memperhatikan bahwa setiap jenis pusat pembangkit mempunyai perbedaan yang cukup berarti dilihat dari aspek biaya modal, biaya operasi, maupun efisiensinya, maka seorang insinyur listrik harus mampu memilih alternatif susunan gabungan pembangkitan (*generation-mix*) yang paling ekonomis untuk dioperasikan.

Mengingat beban bervariasi secara ekstrem dari saat ke saat dan bersamaan dengan itu penyediaan (*supply*) sistem pembangkit diharapkan selalu mencukupi kebutuhan beban yang berfluktuasi tadi, maka terdapat interelasi antara parameter ekonomis pusat-pusat pembangkit dengan dinamika beban. Susunan kapasitas terpasang pembangkit PLN menurut jenisnya untuk keadaan akhir Pelita IV (1988/89) terlihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Susunan Kapasitas Terpasang Pembangkit PLN Menurut Jenisnya untuk Keadaan Akhir Pelita IV (1988/89)

Jenis Pembangkit	Kapasitas Terpasang	
	(MW)	(%)
1. PLTA	1989.4	25.6
2. PLTD	1346.6	17.3
3. PLTG	945.0	12.1
4. PLTP	140.0	1.8
5. PLTU: Batubara	1330.0	17.1
6. PLTU: Minyak	2036.0	26.1
Total (MW)	7787.0	100

Sumber: PLN

## KONVERSI ENERGI ELEKTROMEKANIK

Salah satu aspek penting dalam sistem tenaga adalah yang menyangkut konversi energi elektromekanik; yaitu konversi energi dari bentuk mekanik ke listrik dan dari bentuk listrik ke mekanik. Konversi energi tersebut berlangsung pada sistem tenaga melalui peralatan elektromagnet yang disebut generator dan motor seperti diperlihatkan pada diagram blok Gambar 1.5.



Gambar 1.5

Pada Gambar 1.5, blok di sebelah kiri menggambarkan sistem pembangkit. Melalui generator sinkron tiga fasa yang menerima kopel dari poros turbin, sistem ini berperan untuk mengubah bentuk energi mekanik menjadi energi listrik.

Blok di tengah Gambar 1.5 menggambarkan bagian dari sistem tenaga yang mengirimkan energi listrik dari sistem pembangkit menuju sistem beban. Untuk mengurangi rugi-rugi panas, energi yang dikirim perlu dinaikkan tegangannya

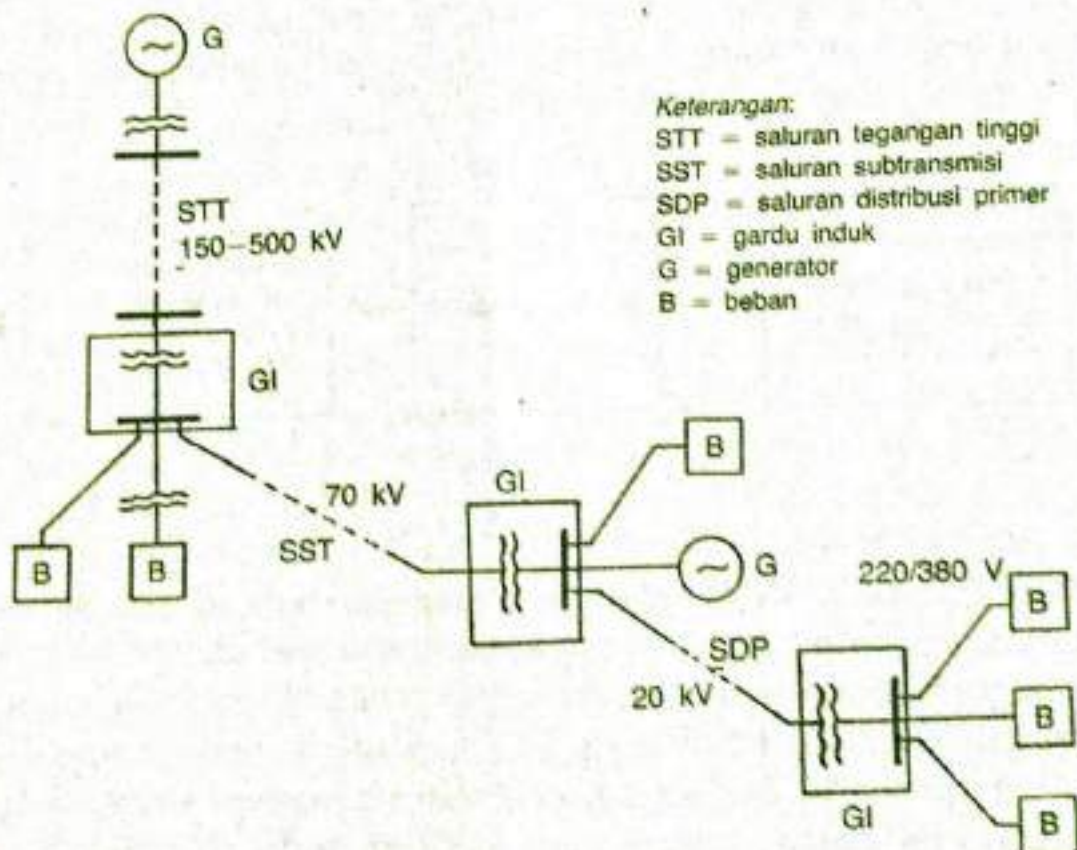
melalui transformator penaik tegangan. Dengan demikian, meskipun transformator bukan termasuk peralatan konversi energi, namun merupakan alat pembantu elektromagnet yang juga penting dalam sistem tenaga.

Blok di sebelah kanan menggambarkan sistem beban yang mengubah sebagian dari energi listrik menjadi bentuk energi mekanik. Perubahan tersebut berlangsung dalam mesin-mesin berputar yang disebut motor. Selain itu sebagian energi listrik dipergunakan untuk keperluan beban lainnya seperti penerangan, pendinginan, dan pemanasan.

## TRANSMISI DAN DISTRIBUSI

Apabila saluran transmisi menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi ke pusat-pusat beban dalam jumlah besar, maka saluran distribusi berfungsi membagikan tenaga listrik tersebut kepada pihak-pihak pemakai melalui saluran tegangan rendah.

Generator sinkron di pusat pembangkit biasanya menghasilkan tenaga listrik dengan tegangan antara 6–20 kV yang kemudian, dengan bantuan transformator, tegangan tersebut dinaikkan menjadi 150–500 kV. Saluran tegangan tinggi (STT) menyalurkan tenaga listrik menuju pusat penerima; di sini tegangan diturunkan menjadi tegangan subtransmisi 70 kV. Pada gardu induk (GI), tenaga listrik yang diterima kemudian dilepaskan menuju trafo distribusi (TD) dalam bentuk tegangan menengah 20 kV. Melalui trafo distribusi yang tersebar di berbagai pusat-pusat beban, tegangan distribusi primer ini diturunkan menjadi tegangan rendah 220/380 V yang akhirnya diterima pihak pemakai. Contoh saluran transmisi dan distribusi terlihat pada Gambar 1.6.



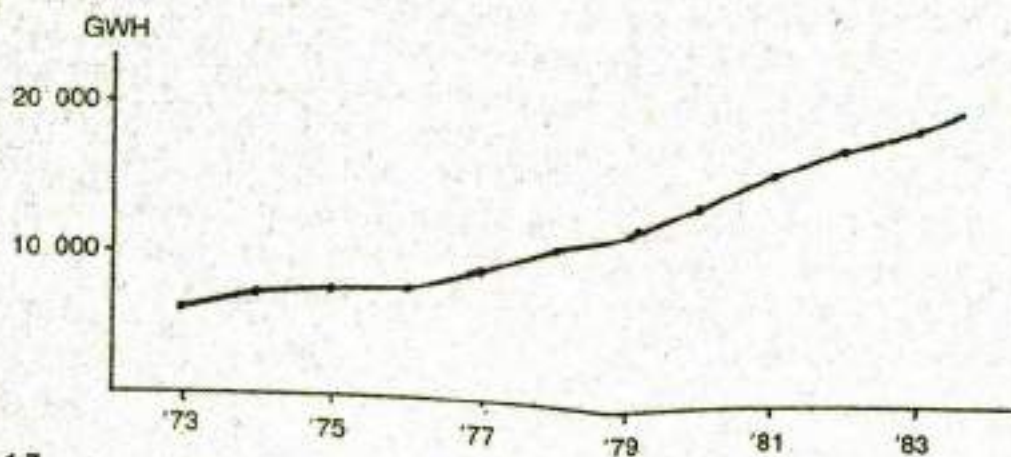
Gambar 1.6



## KARAKTERISTIK BEBAN

Sistem tenaga listrik dirancang untuk dapat mengirim energi listrik dengan cara yang efisien dan aman kepada para langganan. Karakteristik dari permintaan energi listrik kadangkala membuat usaha tersebut sulit untuk dipenuhi. Meramal-kan pertumbuhan beban dan usaha untuk memenuhi siklus beban harian dan beban tahunan secara memuaskan merupakan dua kesulitan yang harus diatasi.

Pertumbuhan rata-rata konsumsi listrik di Indonesia pada Pelita II dan Pelita III masing-masing mencapai 14,1% dan 12,7% per tahun. Selama sepuluh tahun itu (1974/75–1983/84) konsumsi listrik total telah meningkat sebanyak tiga kali. Dalam Pelita IV (1983/84–1988/89) pertumbuhan rata-rata pemakaian listrik diperkirakan sekitar 13–15% per tahun. Mengingat untuk membangun suatu pusat pembangkit tenaga listrik diperlukan waktu 8 sampai 10 tahun, maka para perencana sistem harus melihat kemungkinan-kemungkinan perkembangan sistem tenaga 10 sampai 20 tahun ke muka. Hal tersebut diperlukan agar tersedia cukup waktu untuk memperkirakan dan memperbaiki perencanaan dalam perspektif jangka panjang.



Gambar 1.7

Melalui kombinasi pengkajian kecenderungan masa lalu dan pembuatan ramalan ke masa depan, perencana akan memperkirakan kebutuhan pembangkitan tenaga dan merekomendasikan pembangunan fasilitasnya. Namun demikian, tugas perencana sistem tidak terbatas pada menjamin ketersediaan pembangkitan yang cukup saja, tapi juga harus dapat menentukan:

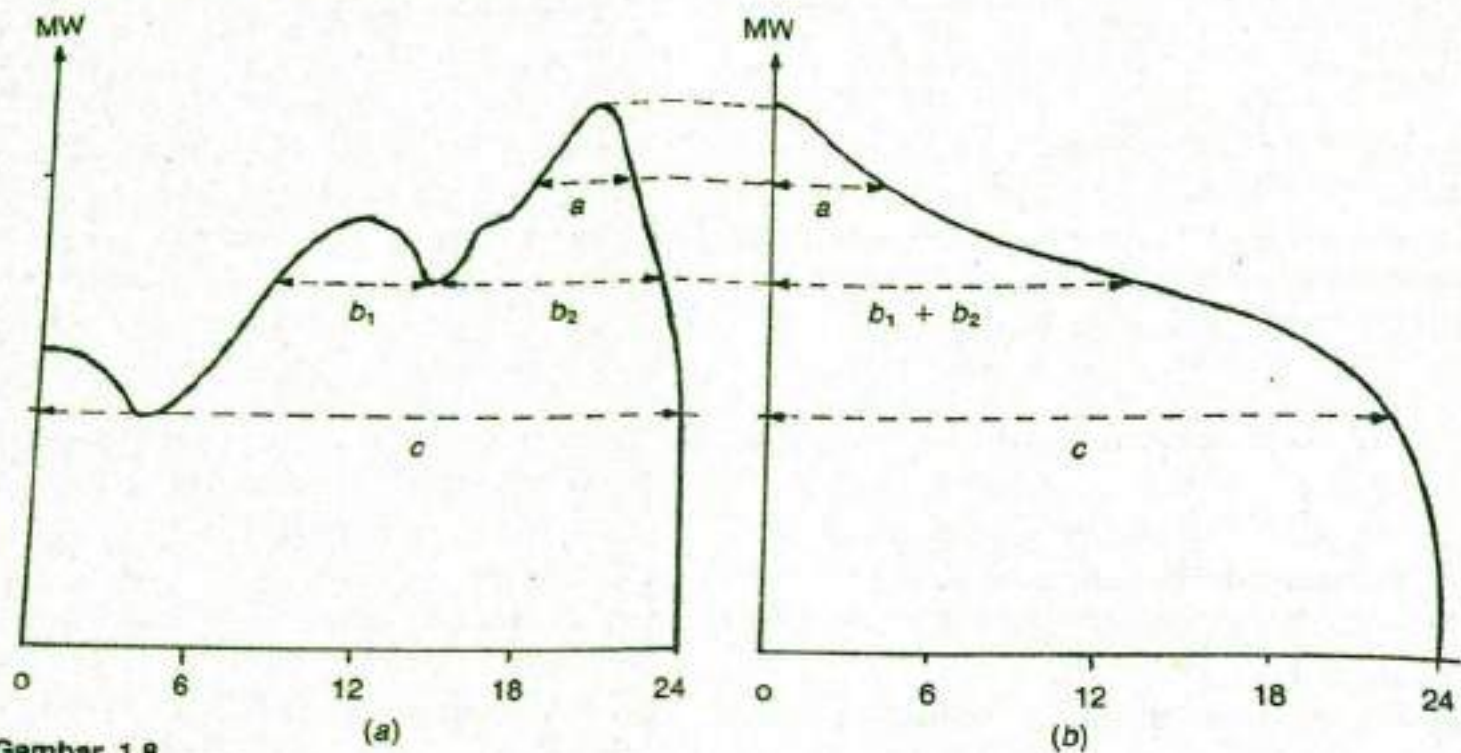
- (1) Apakah saluran transmisi yang tersedia beserta pelengkapannya masih cukup mampu untuk membawa tambahan energi listrik yang diperlukan?
- (2) Apakah peralatan sistem masih cukup andal untuk melindungi sistem dari keadaan-keadaan gangguan?
- (3) Apakah keadaan gejala peralihan (*transient*) akan mengganggu operasi normal sistem.
- (4) Cara operasi yang paling ekonomis untuk bermacam-macam keadaan pembebanan.

Selain persoalan-persoalan teknik tersebut, harus pula turut diperhatikan permasalahan yang menyangkut dampak lingkungan dan aspek penerimaan masyarakat atas hadirnya fasilitas baru ini. Dengan demikian seorang insinyur tenaga listrik, menghadapi kebutuhan listrik yang kian meningkat, diharapkan dapat melakukan perkiraan-perkiraan dan sekaligus menyelesaikan persoalan yang muncul secara tepat dan terus-menerus.

Mengingat teknologi yang tersedia saat ini belum mungkin untuk menyimpan energi listrik secara efisien serta memenuhi persyaratan biaya-manfaat, maka tenaga listrik harus dibangkitkan sebanyak yang diperlukan saja.

Pusat-pusat pembangkit yang tersedia harus selalu dapat memenuhi kebutuhan beban yang berubah-ubah tersebut. Meskipun pusat pembangkit dengan ukuran besar biasanya dianggap lebih ekonomis, namun jika tambahan daya yang diperlukan hanya sekedar untuk memenuhi beban puncak yang berlangsung beberapa jam, pembangkit ukuran kecil sudah cukup memadai untuk melayaninya. Karena itu, seorang insinyur tidak saja harus memperkirakan pertumbuhan beban dari tahun ke tahun, tapi juga harus mampu memperhitungkan secara ekonomis kebutuhan beban harian yang selalu berubah-ubah.

Karakteristik perubahan besarnya daya yang diterima oleh beban sistem tenaga setiap saat dalam suatu interval hari tertentu dikenal sebagai *kurva beban harian*. Penggambaran kurva ini dilakukan dengan mencatat besarnya beban setiap jam melalui pencatatan Mega Watt-meter yang terdapat di gardu induk. Sumbu vertikal menyatakan skala beban dalam satuan MW, sedangkan sumbu horizontal menyatakan skala pencatatan waktu dalam 24 jam. Dengan demikian luas daerah di bawah kurva merupakan besarnya energi listrik yang diserap oleh beban dalam waktu 1 hari ( $MW \times jam = MWh$ ). Contoh beban harian pada hari kerja biasanya terlihat pada Gambar 1.8a.



Gambar 1.8

Pada kurva tersebut tampak bahwa beban naik secara tajam pada sekitar pukul 18.00 dan mencapai puncaknya pada pukul 21.00. Ini disebabkan meningkatnya pemakaian untuk penerangan rumah, lampu-lampu hias dan penerangan jalan, iklan pada toko-toko, serta pemakaian TV di rumah-rumah.

Bila kurva beban harian memberi informasi tentang besarnya beban dari waktu ke waktu selama interval waktu satu hari, maka *kurva kelangsungan beban (load duration curve)* memberikan informasi tentang lama (waktu) berlangsungnya daya dengan besar tertentu. Kurva kelangsungan beban ini (Gambar 1.8b) diturunkan dari kurva beban harian (Gambar 1.8a) yang dipotong-potong dengan selang waktu yang kecil, kemudian disusun dari kiri ke kanan secara berurutan, menurut tingkatan besarnya daya; luas bidang gambar kurva menyatakan besarnya energi listrik yang diperoleh dalam selang waktu tertentu.

Sebagaimana beban berubah-ubah setiap jam dalam sehari, beban puncak harian pun tidak selalu tetap dalam setahun. Ada kalanya beban puncak tinggi pada bulan-bulan tertentu dan rendah pada bulan-bulan lainnya. Pada saat beban puncak rendah itulah saat yang tepat untuk melaksanakan pemeliharaan (*maintenance*) sistem peralatan. Menghentikan operasi peralatan untuk pemeliharaan akan mempengaruhi produksi listrik dan keandalan sistem. Karena akan berpengaruh secara ekonomis, menentukan saat yang tepat untuk melaksanakan pemeliharaan, merupakan tugas penting lainnya bagi seorang insinyur listrik.

## PROTEKSI

Suatu gangguan atau kegagalan, dalam keadaan bagaimanapun, akan mempengaruhi aliran arus normal pada sistem tenaga. Gangguan-gangguan yang terjadi dapat disebabkan oleh sambaran petir, hubungan singkat karena kejatuhan benda tertentu pada kawat penghantar, rusaknya isolasi, dan lain sebagainya. Gangguan-gangguan tersebut dapat mengakibatkan lonjakan tegangan yang berlebihan, aliran arus yang sangat besar, bunga api listrik, dan kegagalan sistem tenaga untuk beroperasi secara keseluruhan. Menjadi tugas insinyur listrik pula untuk merancang sistem proteksi dengan mengatur pemakaian sekering (*fuse*), pemutus daya (*circuit breaker*), dan sistem relai yang mampu menemukan gangguan dengan cepat serta memisahkannya segera dari bagian sistem yang lain. Dengan rancangan sistem proteksi yang baik, gangguan-gangguan yang terjadi dapat dilokalisasi pada daerah kejadian saja sehingga tidak mengganggu para langganan di daerah lain.

## NOTASI DAN SIMBOL

Penggunaan notasi dan simbol dalam buku ini diusahakan sesederhana mungkin. Untuk harga sesaat besaran arus bolak-balik, digunakan huruf kecil, misalnya  $i$  untuk arus sesaat, dan  $v$  untuk tegangan sesaat. Penggunaan huruf besar menunjukkan nilai fasor yang mengandung besaran (*magnitude*) dan sudut. Besaran fasor adalah harga rms-nya (*root-mean-square*). Namun pada pemakaian

tertentu, huruf besar juga berarti harga bilangan nyata yang hanya mempunyai besaran. Misalnya  $P = VI \cos \theta$  akan menghasilkan bilangan-bilangan nyata, sehingga nilai  $V$  dan  $I$  hanya menunjukkan besarnya saja.

Untuk perhitungan-perhitungan tiga fasa, daya nyata, daya reaktif, dan daya mayanya diasumsikan selalu mempunyai besaran tiga fasa, kecuali bila dinyatakan lain.

Notasi-notasi serta simbol-simbol akan dapat dipahami secara terperinci, sejalan dengan tahap-tahap penggunaan buku ini.

## Masalah Utama dalam Pembangkitan Tenaga Listrik

Sebagaimana diuraikan dalam pasal 1.1, proses pembangkitan tenaga listrik pada prinsipnya merupakan konversi energi primer menjadi energi mekanik penggerak generator yang menghasilkan tenaga listrik. Proses yang demikian ini menimbulkan masalah-masalah sebagai berikut :

### A. Penyediaan Energi Primer.

Energi primer untuk Pusat Listrik Termal adalah bahan bakar. Penyediaan bahan bakar meliputi : pengadaan, transportasi, dan penyimpanannya, terutama yang memerlukan perhatian terhadap resiko kebakaran.

Energi primer untuk PLTA adalah air. Pengadaannya dari sungai dan hujan, sedangkan penyimpanannya di waduk. Untuk PLTA, konservasi hutan pada Daerah Aliran Sungai sangat penting agar hutan berfungsi sebagai penyimpan air sehingga tidak timbul banjir di musim hujan dan tidak terjadi kekeringan di musim kemarau.

### B. Penyediaan Air Pendingin.

Masalah penyediaan air pendingin timbul pada Pusat Listrik Termal seperti PLTU dan PLTD. PLTG tidak memerlukan air pendingin yang banyak. PLTU dan PLTD dengan daya terpasang di atas 25 MW banyak yang dibangun di pantai dan menggunakan air laut sebagai air pendingin. Untuk Unit-unit PLTD yang kecil, di bawah 3 MW, pendinginannya dapat menggunakan udara yang didapat dari radiator.

### C. Masalah Limbah.

PLTU batu bara menghasilkan limbah berupa abu batu bara dan asap yang mengandung gas  $SO_2$ ,  $CO_2$ , dan  $NO_x$ . Semua PLTU mempunyai limbah bahan kimia dari air ketel (*blow down*). PLTD dan PLTG mempunyai limbah minyak pelumas. PLTA tidak menghasilkan limbah, tetapi limbah dari masyarakat yang masuk ke sungai penggerak PLTA sering menimbulkan gangguan pada PLTA.

### D. Masalah Kebisingan.

Pusat Listrik Termal menimbulkan suara keras yang merupakan kebisingan bagi masyarakat yang tinggal di dekatnya. Tingkat kebisingan harus dijaga agar tidak melampaui standar yang berlaku.

### E. Operasi.

Operasi Pusat Listrik sebagian besar 24 jam sehari. Selain itu biaya penyediaan tenaga listrik sebagian besar ( $\pm 60\%$ ) untuk operasi Pusat Listrik, khususnya untuk membeli bahan bakar. Oleh karena itu, perlu dilakukan operasi Pusat Listrik yang seefisien mungkin. Jika Pusat Listrik beroperasi dalam Sistem Interkoneksi, paralel dengan Pusat-pusat Listrik lain melalui saluran transmisi, maka Pusat Listrik harus mengikuti pola operasi Sistem Interkoneksi.

### F. Pemeliharaan.

Pemeliharaan peralatan diperlukan untuk :

- Mempertahankan efisiensi.
- Mempertahankan kehandalan.
- Mempertahankan umur ekonomis.

Bagian-bagian peralatan yang memerlukan pemeliharaan terutama adalah :

- Bagian-bagian yang bergeser, seperti : bantalan, *piston ring*, dan engsel-engsel.
- Bagian-bagian yang mempertemukan zat-zat dengan suhu yang berbeda, seperti : penukar panas (*heat exchanger*) dan ketel uap.
- Kontak-kontak listrik dalam saklar serta klem-klem penyambung listrik.

### G. Gangguan dan Kerusakan.

Gangguan adalah peristiwa yang menyebabkan Pemutus Tenaga (PMT) membuka (*trip*) di luar kehendak operator sehingga terjadi pemutusan pasokan tenaga listrik. Gangguan sesungguhnya adalah peristiwa hubung singkat yang penyebabnya kebanyakan petir dan tanaman. Gangguan dapat juga disebabkan karena kerusakan alat, sebaliknya gangguan (misalnya yang disebabkan petir) yang terjadi berkali-kali akhirnya dapat mengakibatkan alat (misalnya transformator) menjadi rusak.

### H. Pengembangan Pembangkitan.

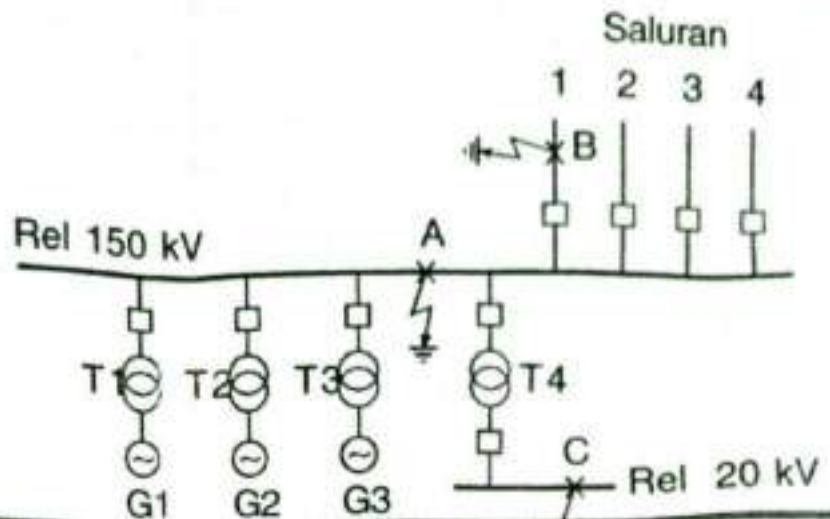
Pada umumnya, Pusat Listrik yang Berdiri Sendiri maupun yang ada dalam Sistem Interkoneksi memerlukan pengembangan. Hal ini disebabkan karena beban yang dihadapi terus bertambah, sedangkan di lain pihak Unit Pembangkit yang ada menjadi semakin tua dan perlu dikeluarkan dari operasi.

## Contoh Soal:

### 23. Arus Hubung Singkat

Gangguan umumnya disebabkan karena terjadi hubung singkat dalam satu bagian sistem. Bagian yang paling banyak mengalami gangguan adalah saluran udara. Gangguan hubung singkat menimbulkan arus hubung singkat yang besar dan harus diperhitungkan dalam merencanakan instalasi listrik dari Pusat Listrik, khususnya dalam menentukan spesifikasi teknis Pemutus Tenaga (PMT).

Gambar II.30.  
PLTU yang berdiri sendiri.



Keterangan gambar II.30 :

- T = Transformator  
G = Generator  
A, B, C = Contoh-contoh lokasi gangguan

Gambar II.30 menggambarkan contoh dari sebuah PLTU yang berdiri sendiri (sistem terisolir) dengan 3 Unit Pembangkit yang sama : 3 x 80 MVA. Masing-masing unit mempunyai Transformator Penaik Tegangan ke 150 kV dengan kapasitas 80 MVA. Dari rel 150 kV ada 4 buah saluran keluar dan ada pasokan Transformator Pemakaian Sendiri yang menurunkan tegangan ke 20 kV dan mempunyai kapasitas 25 MVA. Hubungan Transformator Penaik Tegangan adalah  $\Delta$ -Y (segitiga-bintang) dan Transformator Pemakaian Sendiri adalah Y-Y (bintang-bintang). Reaktansi subtransient (untuk menghitung arus hubung singkat) generator = 25%, sedangkan reaktansi Transformator Penaik Tegangan dan Transformator Pemakaian Sendiri masing-masing = 10%. Jika sebuah generator ini sudah paralel tapi belum berbeban, maka :

- Hitunglah arus hubung singkat yang melalui Pemutus Tenaga (PMT) Generator apabila terjadi gangguan di titik A, yaitu di rel 150 kV !
- Hitunglah arus hubung singkat yang melalui PMT Saluran No. 1 apabila terjadi gangguan di titik B, yaitu di saluran No. 1 !
- Hitunglah arus hubung singkat yang melalui PMT Transformator Pemakaian Sendiri apabila terjadi gangguan di titik C, yaitu di rel 20 kV untuk Pemakaian Sendiri !

Jawaban :

Dipilih sebagai Base : 80 MVA dan Tegangan 150 kV.

Maka : Reaktansi Generator =  $X_G = 0,25$  per unit.

Reaktansi Transformator Penaik Tegangan :  $X_{T1} = 0,1$  per unit.

Reaktansi Transformator Pemakaian Sendiri :  $X_{T4} = \frac{80}{25} \times 0,1 = 0,32$  per unit.

Reaktansi dari rel diabaikan :

- Arus hubung singkat yang melalui PMT Generator apabila terjadi gangguan di titik A, tegangan generator =  $E = 1$  pu :

$$I'' = \text{arus subtransien generator} = \frac{E}{X_G + X_{T1}} = \frac{1}{0,25 + 0,1} = \frac{1}{0,35} = 2,86 \text{ per unit.}$$

$$1 \text{ unit per arus} = \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times \text{kV}} = \frac{80.000}{\sqrt{3} \times 150} = \frac{80.000}{259,81} = 307,92 \text{ Ampere.}$$

Jadi, arus hubung singkat yang melalui PMT Generator untuk gangguan di titik A = 2,86 per unit =  $2,86 \times 307,92 = 880,65$  Ampere.

- Arus hubung singkat yang melalui PMT Saluran No. 1 apabila terjadi gangguan di titik B adalah arus hubung singkat yang dihasilkan oleh 3 buah generator =  $3 \times 880,65$  Ampere = 2.641,95 Ampere.

- Arus hubung singkat yang dihasilkan 1 generator untuk gangguan di titik C adalah :

$$\frac{E}{X_G + X_{T1} + X_{T4}} = \frac{1}{0,25 + 0,1 + 0,32} = \frac{1}{0,67} = 1,493 \text{ per unit} = 1,493 \times 307,92 = 459,725 \text{ Ampere.}$$

Karena ada 3 buah generator yang paralel, maka arus hubung singkat yang melalui PMT Transformator Pemakaian Sendiri untuk gangguan di titik C =  $3 \times 459,725 = 1.379,175$  Ampere.

Dari perhitungan tersebut di atas, tampak bahwa arus hubung singkat yang terbesar adalah untuk gangguan di titik B, yaitu gangguan di saluran.

Apabila Pusat Listrik dalam contoh soal tersebut di atas diinterkoneksi dengan sistem lain melalui saluran No. 3 dan saluran No. 4, maka untuk gangguan tersebut di atas akan ada kenaikan nilai arus hubung singkat, karena sistem yang diinterkoneksi akan memberi kontribusi arus hubung singkat melalui saluran No. 3 dan saluran No. 4.

Demikian juga apabila jumlah Unit Pembangkit dalam Pusat Listrik ditambah, maka nilai arus hubung singkat tersebut di atas juga naik, apalagi jika Unit Pembangkit tambahannya mempunyai kapasitas yang lebih besar.

# DAFTAR NILAI

## SEMESTER GANJIL REGULER TAHUN 2022/2023

Program Studi : Teknik Elektro S1

Matakuliah : Pembangkit Listrik & Energi Baru

Kelas / Peserta : K

Perkuliahan : Kampus ISTN Bumi Srengseng P2K - Kelas

Dosen : Iriandi Ilyas, Ir.MT.

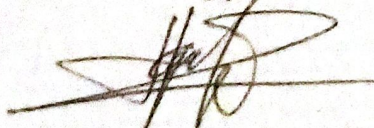
Hal. 1/1

No	NIM	NAMA	ABSEN	TUGAS	UTS	UAS	MODEL	PRESENTASI	NA	HURUF
			10%	20%	30%	40%	0%	0%		
1	20224001	Andri Suparto	100	75	70	0	0	0	0	
2	22224702	Dodik Adhi Kris Nugroho	100	0	70	79	0	0	62.6	C+
3	22224703	Jimmywal,Amd	0	80	80	78	0	0	71.2	B

Rekapitulasi Nilai							
A	0	B+	0	C+	1	D+	0
A-	0	B	1	C	0	D	0
		B-	0	C-	0	E	0

Jakarta, 29 January 2023

Dosen Pengajar



Iriandi Ilyas, Ir.MT.

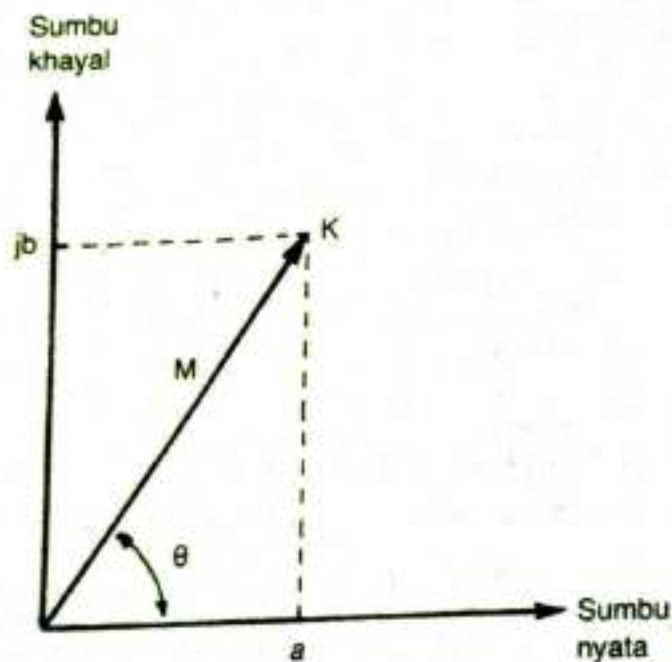


# **Teknik Tenaga Listrik**

# ANALISIS FASOR, FAKTOR DAYA, DAN PERHITUNGAN TIGA FASA

## FASOR GELOMBANG SINUSOID

DIDALAM bidang elektroteknik, persoalan yang menyangkut besaran-besaran arus dan tegangan dapat dihitung dengan cara melakukan pengukuran, karena besaran tersebut memang nyata ada dalam suatu rangkaian. Namun dalam perhitungan-perhitungan rangkaian, sering persoalan tersebut diselesaikan melalui cara abstraksi dan tidak memilih besaran arus dan tegangan yang nyata. Hal tersebut disebabkan selain untuk memudahkan perhitungan, konsep abstraksi melalui analisis fasor adalah penting dalam pendidikan elektroteknik. Fasor menyatakan transformasi dari fungsi waktu ke dalam bidang kompleks yang mengandung informasi tentang amplitudo dan sudut fasa.



Gambar 3.1

Misalnya sebuah bilangan kompleks  $K$ , mempunyai besaran  $A$  dan arah sudut  $\theta$  (lihat Gambar 3.1).

$$K = a + jb$$

atau

$$K = M (\cos \theta + j \sin \theta)$$

dengan menggunakan Dalil Euler,

$$\cos \theta + j \sin \theta = e^{j\theta}$$

maka

$$K = M e^{j\theta}$$

Perlu diperhatikan bahwa  $j$  adalah operator, yaitu operator khayal. Bekerjanya operator itu adalah memutar suatu bilangan atau harga tertentu  $\pi/2$  derajat berlawanan arah jarum jam. Meskipun  $j$  bukan merupakan bilangan, namun ia dapat dinyatakan dengan nilai  $\sqrt{-1}$ . Artinya bila operator bekerja sebanyak 2 kali, maka harga bilangan tersebut (misalnya 5), setelah berputar  $2 \times \pi/2 = 180^\circ$ , akan mempunyai nilai  $-5$ .

maka

$$\begin{aligned} j(jb) &= j^2b = -b \text{ atau } j^2 = -1 \\ j(j^2b) &= j^3b = -jb \text{ atau } j^3 = -j \\ j(j^3b) &= j^4b = +b \text{ atau } j^4 = +1 \end{aligned}$$

Bentuk  $K = Me^{j\theta}$  ini disebut bentuk polar atau eksponensial dari bilangan kompleks  $K$  dan secara simbolis dapat ditulis

$$K = M \angle \theta$$

di mana

$$M = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Analisis vektor yang berputar pada selang waktu tertentu inilah yang disebut *analisis fasor*. Analisis fasor yang dikaitkan dengan bentuk gelombang sinus akan memungkinkan penggambaran fasor sinusoid yang sangat penting dalam membahas persoalan bidang elektroteknik.

Tiga hal yang menyebabkan mengapa bentuk gelombang sinus dipandang sangat penting adalah:

- (1) Terdapat banyak sekali gejala di alam ini yang dapat digambarkan sebagai gelombang berbentuk sinus.
- (2) Karena mudah pembangkitannya, maka arus dan tegangan dalam pembangkitan tenaga listrik berbentuk sinus.
- (3) Sesuai uraian deret Fourier, semua gelombang periodik yang lain, dengan syarat tertentu dapat diuraikan ke dalam perjumlahan dari gelombang-gelombang sinus dengan frekuensi yang bermacam-macam.

Arus dan tegangan sesaat dari suatu bentuk sinusoid dalam suatu periode waktu dapat dijelaskan dengan persamaan

$$i(t) = I_m \cos (\omega t + \phi)$$

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

di mana

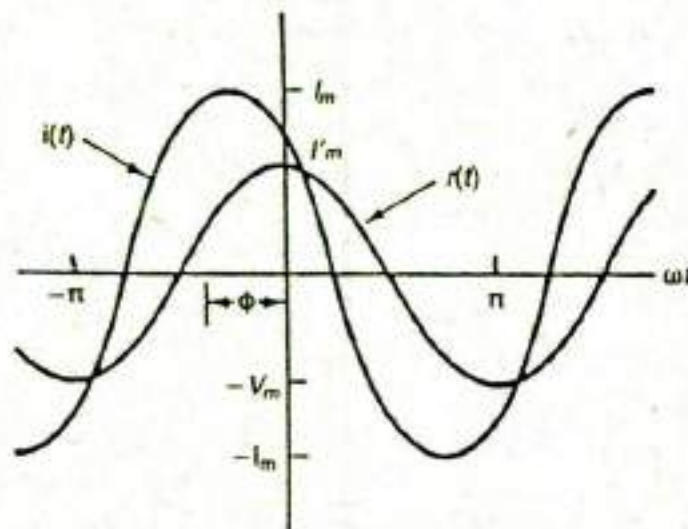
$I_m$  = arus maksimum dalam ampere

$\omega = 2\pi f$  = kecepatan sudut dalam radial/detik

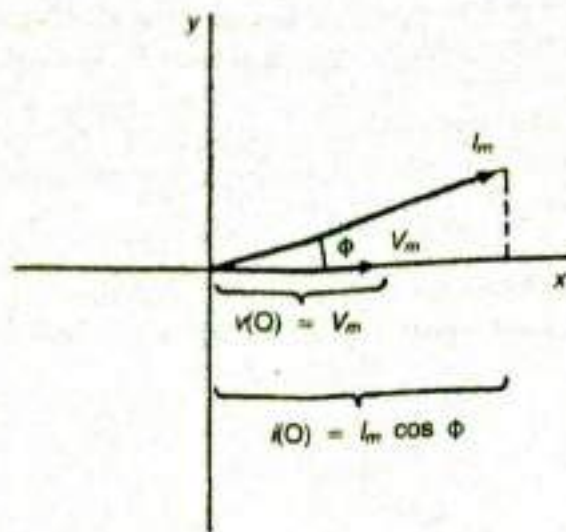
$\phi$  = sudut fasa dalam radial

$V_m$  = tegangan maksimum dalam volt

Kurva kedua persamaan di atas terlihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2



Gambar 3.3

Dari vektor  $I_m$  dan  $V_m$  pada salib sumbu  $x$  dan  $y$  dapat ditentukan besar  $v(t)$  dan  $i(t)$  untuk  $t = 0$  dengan cara memproyeksi vektor-vektor tersebut pada sumbu  $x$ . Jika vektor-vektor  $I_m$  dan  $V_m$  berputar berlawanan arah jarum jam dan memiliki kecepatan sudut yang sama, maka harga sesaat arus dan tegangan dari suatu rangkaian dapat dihitung.  $I_m$  dan  $V_m$  pada Gambar 3.3 adalah fasor-fasor. Fasor tegangan dan arus ditulis sebagai

$$\begin{aligned} \text{tegangan} &= V \angle \phi \\ \text{arus} &= I \angle \alpha \end{aligned}$$

di mana  $V$  dan  $I$  adalah harga RMS (*root-mean-square*). Jika  $V_m$  adalah harga tegangan maksimum, maka harga RMS tegangan tersebut adalah

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

## IMPEDANSI

Di dalam suatu rangkaian linear yang terdiri atas tahanan ( $R$ ), induktor ( $L$ ), dan kapasitor ( $C$ ), apabila suatu arus/tegangan listrik adalah sinusoid, maka semua arus dan tegangan yang lain juga berbentuk sinusoid dengan frekuensi yang sama. Melalui penerapan Hukum Kirchoff terdapat tiga cara untuk melakukan perjumlahan dan pengurangan bentuk-bentuk sinusoid:

- (1) Cara grafis, yaitu dengan menggambarkan gelombang demi gelombang dan dijumlahkan setiap saat. Cara ini memakan waktu dan tidak teliti.

- (2) Cara trigonometri, yaitu dengan menggunakan dalil-dalil trigonometri untuk menjumlahkan dan mengurangi dua sinusoid. Cara ini sukar dan memakan waktu.
- (3) Cara aljabar kompleks dan analisis fasor seperti diuraikan terdahulu. Cara ini paling mudah di antara ketiga cara lainnya, karena itu akan digunakan dalam pembahasan berikut.

Hubungan antara tegangan dan arus yang berubah-ubah terhadap waktu yang melalui kapasitor, induktor, dan tahanan dapat dijelaskan sebagai

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$$

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

$$v(t) = i(t)r$$

$i(t)$  pada persamaan di atas adalah sinusoid dan mempunyai harga

$$i(t) = I_m \sin (\omega t + \phi)$$

persamaan  $v(t)$  menjadi

$$v(t) = rI_m \sin (\omega t + \phi) = V_m \sin (\omega t + \phi)$$

di mana harga  $V_m$  sama dengan  $rI_m$

Persamaan  $v(t)$  dapat ditulis

$$V/\alpha = rI/\phi$$

Karena  $r$  adalah skalar, maka tidak ada pergeseran fasa dan  $\alpha = \phi$ .  
 Persamaan tegangan  $v(t)$  untuk induktor ini dapat ditulis menjadi

$$\begin{aligned} v(t) &= L \frac{dI_m \sin (\omega t + \phi)}{dt} \\ &= \omega LI_m \cos (\omega t + \phi) \\ &= \omega LI_m \sin (\omega t + \phi + \pi/2) \\ &= V_m \sin (\omega t + \phi + \pi/2) \end{aligned}$$

di mana harga  $V_m$  pada persamaan di atas sama dengan  $LI_m$ , dan dalam notasi fasor persamaan itu menjadi

$$V/\phi = \omega LI/\phi + \pi/2 = j\omega LI/\phi$$

Karena operator  $j$  menggeser fasor sebesar  $90^\circ$ , tegangan ( $V$ ) letaknya terdahulu terhadap arus ( $I$ ) sebesar  $\pi/2$  radian. Oleh karenanya sudut fasa tegangan adalah

$$\alpha = \phi + 90^\circ$$

Dengan analisis yang sama seperti menentukan  $V$ , maka persamaan arus  $i(t)$  untuk kapasitor menjadi

$$I/\phi = j\omega C V/\alpha$$

Bentuk persamaan ini menunjukkan bahwa arus terdahulu  $90^\circ$  terhadap tegangan. Secara umum dapat dituliskan persamaan berikut

$$V = IZ$$

Impedansi merupakan bilangan kompleks yang bergantung pada elemen-elemen yang terdapat pada rangkaian ( $R, L, C$ ). Harga impedansi yang berkaitan dengan elemen-elemen tersebut dapat dinyatakan. Untuk

$$(L \text{ dan } C = 0), Z = r + j0$$

$$(R \text{ dan } C = 0), Z = 0 + j\omega L$$

$$(R \text{ dan } L = 0), Z = 0 - \frac{j}{\omega C}$$

Impedansi dapat merupakan rangkaian seri maupun paralel yang sama seperti tahanan, dan mempunyai satuan ohm ( $\Omega$ ). Impedansi total dari 2 impedansi yang dihubungkan paralel adalah

$$Z_T = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Bagian nyata dari impedansi disebut tahanan dan dinyatakan dengan huruf  $r$ , sedangkan bagian semu disebut reaktansi dan dinyatakan dengan huruf  $X$ .

## DAYA RATA-RATA

Daya rata-rata sesaat didefinisikan sebagai hasil perkalian tegangan dan arus sesaat, dan ditulis sebagai

$$p = vi$$

Jika arus dan tegangan merupakan fungsi siklus, maka daya rata-rata ( $P$ ) untuk suatu periode siklus tersebut dapat ditentukan besarnya dengan rumus

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

di mana

$P$  = daya rata-rata dalam watt

$T$  = periode dari siklus dalam detik

Tegangan dan arus fungsi sinus dinyatakan sebagai

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

$$i(t) = I_m \cos (\omega t - \phi)$$

maka persamaan daya menjadi

$$p(t) = V_m I_m \cos \omega t \cos (\omega t - \phi)$$

$$\begin{aligned} p(t) &= V_m I_m \frac{1}{2} [\cos (\omega t - \omega t + \phi) + \cos (\omega t + \omega t - \phi)] \\ &= \frac{1}{2} V_m I_m \cos \phi + \frac{1}{2} V_m I_m \cos (2\omega t - \phi) \end{aligned}$$

Harga rata-rata dari fungsi sinusoid yang berubah terdapat waktu untuk satu periode adalah sama dengan nol, sehingga dari persamaan  $p(t)$  hanya terdapat bentuk  $\frac{1}{2} I_m V_m \cos \phi$  yang tidak bergantung terhadap waktu; maka bentuk yang ada:

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} V_m I_m \cos \phi \\ &= VI \cos \phi \end{aligned}$$

di mana  $V$  dan  $I$  adalah harga rms atau harga efektif dari tegangan dan arus.



Harga efektif arus sesaat  $i(t)$  dapat didefinisikan dalam persamaan

$$I = \left( \frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt \right)^{1/2} \quad (A)$$

Dengan memperhatikan bahwa harga  $I$  rms adalah akar dari arus sesaat kuadrat, maka

$$\begin{aligned} I &= \left[ \frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \cos^2 (\omega t - \phi) dt \right]^{1/2} \\ &= \left\{ \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} I_m^2 \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos (2\omega t - 2\phi) \right] dt \right\}^{1/2} \quad (A) \end{aligned}$$

(A)

di mana  $T = 1/f = 2\pi/\omega$

Oleh karena harga rata-rata dari fungsi sinusoid yang berubah terhadap waktu sama dengan nol dalam 1 periode, maka

$$\begin{aligned} I &= I_m \left( \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} \frac{1}{2} dt \right)^{1/2} \\ &= I_m \left[ \frac{\omega}{2\pi} \left( \frac{1}{2} \right) \frac{2\pi}{\omega} \right]^{1/2} \\ &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} [A] \end{aligned}$$

Sehingga harga rms dari setiap fungsi sinusoid adalah harga maksimum dibagi dengan  $\sqrt{2}$

## FAKTOR DAYA DAN DAYA KOMPLEKS

Dari pembahasan terdahulu dapat diketahui bahwa daya rata-rata bukan fungsi rms dari arus dan tegangan saja, tetapi ada unsur perbedaan sudut fasa arus dan tegangan. Jika arus dan tegangan dari persamaan sefasa dan  $\phi = 0^\circ$ ; maka persamaan daya menjadi

$$P = VI \cos \phi = VI [W]$$

untuk:

$$\phi = 60^\circ \rightarrow P = VI \cos (60^\circ) = 0.3 VI [\text{watt}]$$

$$\phi = 90^\circ \rightarrow P = VI \cos (90^\circ) = 0$$

Arus yang mengalir pada sebuah tahanan, akan menimbulkan tegangan pada tahanan tersebut sebesar

$$V_r = I_r r$$

sehingga

$$P = V_r I_m \cos \phi$$

karena tidak adanya beda fasa antara arus dan tegangan pada tahanan, maka sudut  $\phi = 0^\circ$  sehingga

$$P = VI$$

Untuk induktor dan kapasitor, arus yang mengalir pada elemen-elemen ini masing-masing akan tertinggal dan terdahulu sebesar  $90^\circ$  terhadap tegangan

$$V_L = I_L j \omega_L$$

$$V_C = I_C \left( \frac{-j}{\omega_C} \right)$$

di mana  $V_L$ ;  $V_C$ ;  $I_L$ ;  $I_C$ ; adalah besaran-besaran fasor.

Daya rata-rata elemen-elemen ini adalah nol.

Tegangan dikalikan dengan arus disebut *daya semu*. Daya rata-rata dibagi daya nyata disebut *faktor daya*. Untuk arus dan tegangan sinusoid, faktor daya dapat dihitung dengan rumus

$$\text{Faktor daya} = \frac{P}{VI} = \frac{VI \cos \phi}{VI} = \cos \phi$$

$\phi$  dinamakan sudut faktor daya; sudut ini menentukan kondisi terdahulu atau tertinggal tegangan terhadap arus.

Bila sebuah beban diberi tegangan, impedansi dari beban tersebut akan menentukan besar arus dan sudut fasa yang mengalir pada beban tersebut. Faktor daya merupakan petunjuk yang menyatakan sifat suatu beban.

Misalnya: faktor daya beban pertama = 1 dan faktor daya beban kedua = 0.5, maka beban kedua akan membutuhkan 2 kali besar arus beban pertama.

Untuk efisiensi dan operasi, diusahakan faktor daya mendekati satu. Persamaan bilangan kompleks daya adalah

$$S = V_a I_a^* \text{ [VA]}$$

di mana  $S$  = bilangan kompleks daya

$V_a$  dan  $I_a$  = besaran fasor

$I_a^*$  = konjugasi kompleks dari  $I_a$

Jika  $V_a$  dan  $I_a$  dinyatakan sebagai

$$V_a = V / \phi_1$$

$$I_a = I / \phi_2$$

persamaan  $S$  menjadi:

$$S = VI \cos (\phi_1 - \phi_2) + jVI \sin (\phi_1 - \phi_2)$$

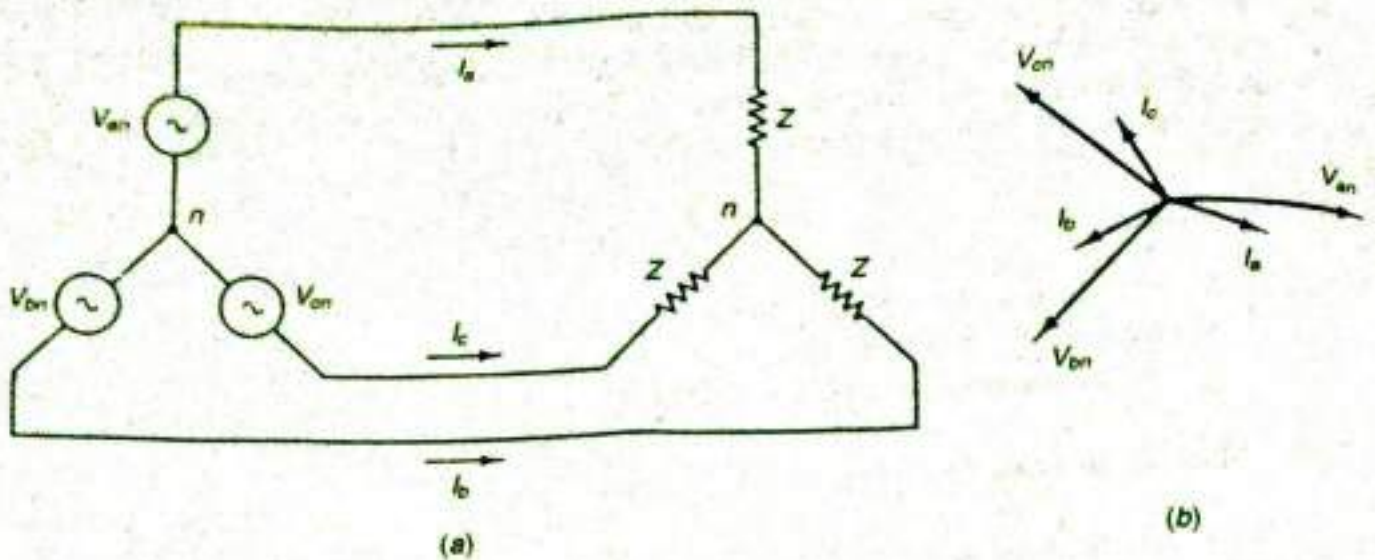
$\phi_1 - \phi_2$  adalah sudut yang menyatakan besarnya sudut tegangan yang mendahului arus. Bilangan nyata dari bilangan kompleks  $S$  didefinisikan sebagai daya rata-rata. Oleh karena itu, daya rata-rata ini sering disebut *daya nyata* atau cukup disebut daya.

Bagian imajiner dari bilangan kompleks  $S$  disebut daya reaktif dan diberi simbol  $Q$  dengan satuan VAR. Sebagaimana daya nyata terdapat pada tahanan, daya reaktif terdapat pada sebuah reaktansi. Daya reaktif positif akan terdapat pada induktor dengan arus tertinggal terhadap tegangan. Dengan dasar itu pula, daya reaktif negatif terdapat pada sebuah kapasitor.

## PERHITUNGAN TIGA FASA

Hampir semua listrik yang digunakan oleh industri, dibangkitkan, ditransmisikan, dan didistribusikan dalam sistem tiga fasa. Sistem tiga fasa ini memiliki besar yang sama (untuk tegangan atau arus) tetapi mempunyai perbedaan sudut sebesar  $120^\circ$  antarfasanya. Sumbu ini disebut juga sumbu yang seimbang.

Apabila sumber mensuplai sebuah beban seimbang, maka arus-arus yang mengalir pada masing-masing penghantar akan memiliki besar yang sama dan berbeda sudut fasa sebesar  $120^\circ$  satu sama lain. Arus-arus ini disebut arus seimbang. Gambar 3.4 memperlihatkan sebuah rangkaian sederhana dan diagram fasor sebuah sistem seimbang.



Gambar 3.4

Sistem pada Gambar 3.4 disebut sistem urutan *abc*, di mana fasa *b* tertinggal  $120^\circ$  terhadap fasa *a*, dan fasa *c* tertinggal  $120^\circ$  terhadap fasa *b*. Hanya satu kemungkinan urutan lagi selain urutan *abc*, yaitu urutan *acb*. Beban pada Gambar 3.4a dihubungkan dengan cara hubungan Y. Dalam hubungan tipe Y ini tegangannya adalah tegangan kawat netral dan arus yang mengalir pada tiap fasa beban adalah arus kawat. Tegangan antara masing-masing kawat (saluran) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{ab} &= V_{an} + V_{nb} = V_{an} - V_{bn} \\ V_{bc} &= V_{bn} - V_{cn} \\ V_{ca} &= V_{cn} - V_{an} \end{aligned}$$

Penulisan secara matematis dari Gambar 3.4b untuk urutan fasa *abc* dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{ab} &= V_{an} \sqrt{3} \angle 30^\circ \\ V_{bc} &= V_{bn} \sqrt{3} \angle 30^\circ \\ V_{ca} &= V_{cn} \sqrt{3} \angle 30^\circ \end{aligned}$$

Masing-masing tegangan kawat-kawat terdahulu  $30^\circ$  dan  $\sqrt{3}$  kali besar terhadap tegangan kawat netral. Untuk urutan fasa *acb* persamaan di atas akan menjadi:

$$\begin{aligned} V_{ab} &= V_{an} \sqrt{3} \angle -30^\circ \\ V_{bc} &= V_{bn} \sqrt{3} \angle -30^\circ \\ V_{ca} &= V_{cn} \sqrt{3} \angle -30^\circ \end{aligned}$$

Untuk urutan ini tegangan kawat-kawat tertinggal  $30^\circ$  terhadap tegangan kawat-kawat netral. Fasor diagram untuk kedua jenis urutan fasa ini dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Daya yang digunakan pada masing-masing fasa pada beban adalah:

$$P_{1\phi} = |V_{an}| I_1 \cos \phi$$

di mana  $I_1 =$  arus  $I_a$

$\cos \phi =$  faktor daya

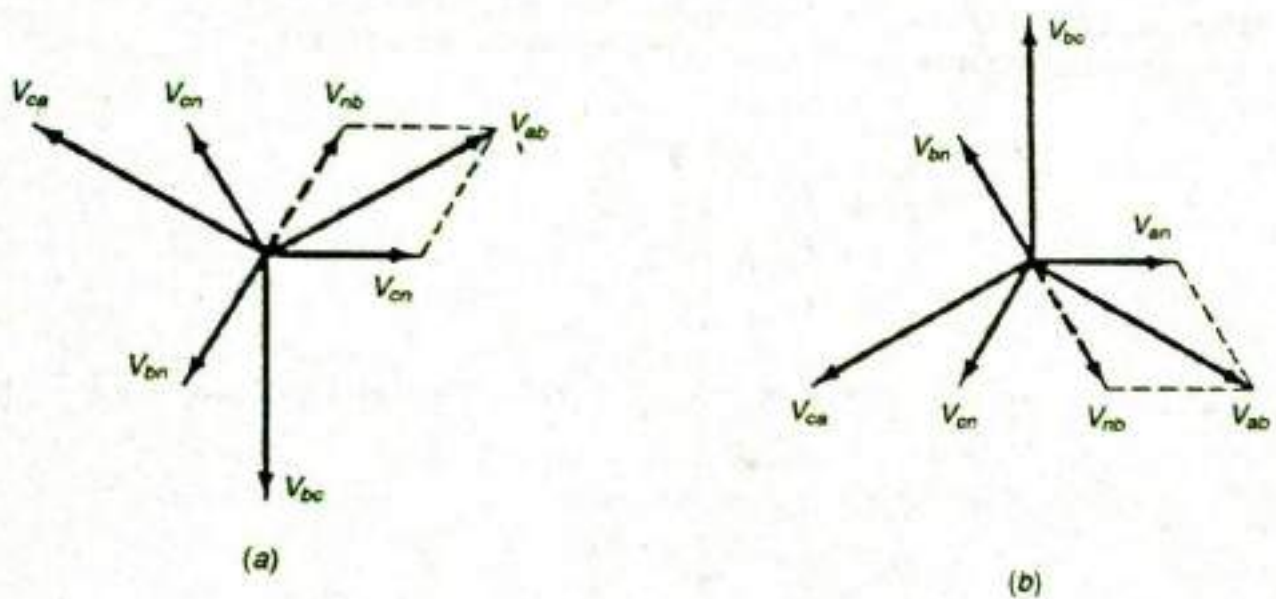
Untuk sistem yang seimbang, daya total yang dipergunakan adalah

$$\begin{aligned} P_T &= P_{3\phi} = 3 |V_{an}| I_1 \cos \phi \\ &= 3 \frac{V_H}{\sqrt{3}} I_1 \cos \phi \\ &= \sqrt{3} V_H I_1 \cos \phi \end{aligned}$$

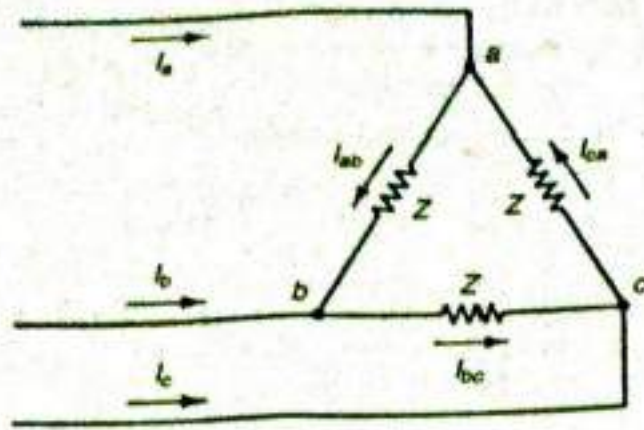
di mana

$V_H =$  tegangan kawat ke kawat

$I_1 =$  arus kawat ke kawat



Gambar 3.5



Gambar 3.6

Beban pada Gambar 3.4 adalah terhubung secara bintang (Y), selain hubungan bintang ini masih terdapat satu buah hubungan lain untuk beban yang seimbang, yaitu hubungan delta ( $\Delta$ ) seperti digambarkan pada Gambar 3.6. Tegangan pada hubungan delta ini adalah tegangan kawat ke kawat. Hubungan antara arus kawat dengan arus yang mengalir pada beban dapat dijelaskan dengan rumus (lihat Gambar 3.7)

$$\begin{aligned} I_a &= I_{ab} + I_{ac} = I_{ab} - I_{ca} \\ I_b &= I_{bc} - I_{ab} \\ I_c &= I_{ca} - I_{bc} \end{aligned}$$

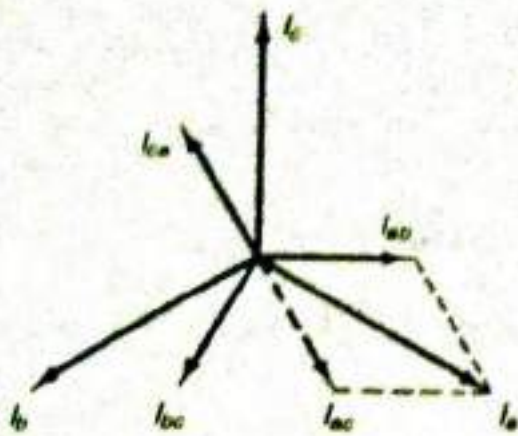
Hubungan antara arus kawat pada hubungan delta untuk urutan fasa *abc* dan *acb* dapat dijelaskan melalui persamaan-persamaan di bawah ini

$$\begin{aligned} I_a &= I_{ab} \sqrt{3} \angle -30^\circ \\ I_b &= I_{bc} \sqrt{3} \angle -30^\circ \\ I_c &= I_{ca} \sqrt{3} \angle -30^\circ \end{aligned}$$

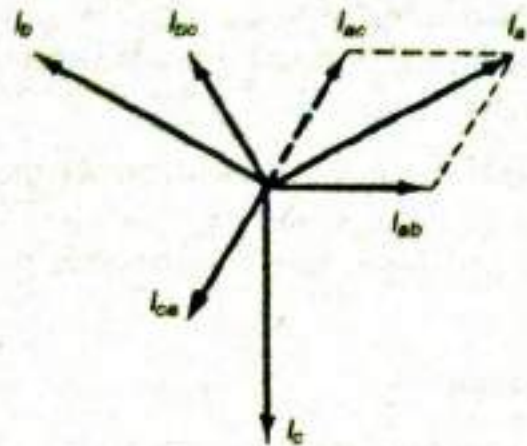
Untuk urutan fasa *abc*, arus kawat  $\sqrt{3}$  kali arus fasa dan tertinggal  $30^\circ$  arus fasa.

$$\begin{aligned} I_a &= I_{ab} \sqrt{3} \angle -30^\circ \\ I_b &= I_{bc} \sqrt{3} \angle -30^\circ \\ I_c &= I_{ca} \sqrt{3} \angle -30^\circ \end{aligned}$$

Untuk urutan fasa *acb*, arus terdahulu  $30^\circ$  terhadap arus fasa.



(a)



(b)

Gambar 3.7

Daya yang dikonsumsi setiap fasa pada beban Gambar 3.6 adalah

$$P_{1\phi} = V_H |I_{ab}| \cos \phi$$

di mana

$V_H$  = tegangan  $V_{ab}$

$\cos \phi$  = faktor daya

Untuk sistem yang seimbang, daya total yang dikonsumsi ke beban adalah

$$P_T = 3 P_{1\phi} = 3 V_H |I_{ab}| \cos \phi$$

$$= 3 V_H \frac{I_1}{\sqrt{3}} \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} V_H I_1 \cos \phi$$

di mana  $I_1$  = arus kawat

Dengan memperhatikan persamaan di atas, maka tampak kedua persamaan itu adalah sama. Hal ini berarti, jika tegangan kawat-kawat, arus kawat dan  $\cos \phi$  diketahui maka daya yang dikonsumsi dapat dihitung tanpa perlu mengetahui bentuk hubungan dari beban tersebut. Dengan penurunan yang sama, dapat diketahui bahwa

$$|S_T| = \sqrt{3} V_H I_1$$

$$Q_T = \sqrt{3} V_H I_1 \sin \phi$$

### Contoh 1

Dua wattmeter dihubungkan dengan cara yang biasa untuk mengukur sistem 3 kawat pada 3 fasa. Jika tegangan beban 400 V dan arus kawat 20 ampere, hitunglah:

- Pembacaan pada wattmeter pada keadaan faktor daya sama dengan 1.0, 0.5 (*lagging*) dan 0
- Faktor daya, bila pembacaan pada wattmeter menunjukkan 2 kW dan 1 kW.

### Pemecahan

- Pemecahan dari kedua wattmeter adalah:

$$W_1 = V_L I_L \cos(30^\circ + \phi) \text{ dan } W_2 = V_L I_L \cos(30^\circ - \phi)$$

untuk kasus di mana faktor daya sama dengan 1, maka  $\phi = 0^\circ$ . Oleh karena itu:

$$W_1 = W_2 = V_L I_L \cos 30^\circ$$

$$= 400 \times 20 \times 0.6866$$

$$= 6928 \text{ watt}$$

Jika faktor daya 0.5 (*lagging*), maka  $\phi = 60^\circ$  sehingga:

$$W_1 = V_L I_L \cos(30^\circ + 60^\circ) = 0 \text{ dan}$$

$$W_2 = V_L I_L \cos(30^\circ - 60^\circ).$$

$$= 6928 \text{ watt}$$

Untuk kasus di mana faktor daya adalah 0 (nol), maka  $\phi = 90^\circ$  sehingga

$$W_1 = V_L I_L \cos(120^\circ) = -4000 \text{ watt}$$

$$W_2 = V_L I_L \cos(-60^\circ) = 4000 \text{ watt}$$

- Jika pembacaan dari wattmeter masing-masing adalah:

$$W_1 = 1 \text{ kW dan } W_2 = 2 \text{ kW}$$

maka jumlah daya yang tertarik = 2 kW - 1 kW = 1 kW

$$\text{dan } \phi = \frac{W_1 - W_2}{(W_1 + W_2)} = 1/3$$

$$\cos \phi = 0.949$$

### Contoh 2

Suatu sistem 3 fasa 4 kawat, mempunyai beban dari masing-masing fasa sebesar:  $Z_a = 10/\underline{0^\circ}$ ,  $Z_b = 20/\underline{30^\circ}$ , dan  $Z_c = 10/\underline{-30^\circ}$ . Beban tersebut dihubung bintang, dan disuplai oleh tegangan 400 volt, 50 Hz. Hitunglah arus yang mengalir pada masing-masing fasa dan arus netralnya.

### Pemecahan

Pada saat sistem 4 kawat, tegangan yang melewati beban akan seimbang. Dapatkan urutan *ACB* dengan tegangan fasa *A* sebagai titik acuan.



$$V_{AN} = \frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ, V_{BN} = \frac{400}{\sqrt{3}} \angle 120^\circ, V_{CN} = \frac{400}{\sqrt{3}} \angle 120^\circ$$

dan

$$I_A = \frac{231 \angle 0^\circ}{10 \angle 0^\circ} = 23.1 + j0 \text{ ampere}$$

$$I_B = \frac{231 \angle 120^\circ}{20 \angle 30^\circ} = 11.5 \angle 90^\circ$$

$$= 0 + j11.5 \text{ ampere}$$

$$I_C = \frac{231 \angle -120^\circ}{10 \angle -30^\circ} = 23.1 \angle -90^\circ$$

$$= 0 - j23.1 \text{ ampere}$$

sehingga arus netral

$$\begin{aligned} I_N &= -(I_A + I_B + I_C) \\ &= -(23.1 + j0 + 0 + j11.5 + 0 - j23.1) \\ &= -23.1 + j11.55 \text{ ampere} \end{aligned}$$

### Contoh 3

Sistem 400 volt (fasa ke fasa), 3 fasa, 50 Hz mensuplai daya untuk beban yang seimbang dengan besarnya tahanan dan reaktansi berturut-turut 0 ohm dan 6 ohm. Hitung daya keseluruhan yang disuplai dan faktor daya dari arus yang ditarik dari sumber.

### Pemecahan

Pada keadaan beban seimbang, tegangan fasa dari beban sama dengan

$$\frac{\text{tegangan saluran}}{\sqrt{3}}$$

Oleh karena itu, tegangan per fasa =  $\frac{400}{\sqrt{3}} = 231$  volt

Arus per fasa:

$$I = \frac{V_{ph}}{Z_{ph}}$$

$$Z_{ph} = 8 + j6 \text{ ohm}$$

$$= 10 \text{ ohm}$$

$$I = \frac{231/10}{10} = 23.1 \text{ ampere}$$

Maka besarnya arus dari tiap saluran 23.1 ampere  
 Daya yang ditarik oleh beban:

$$\sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$$

$$\cos \phi = \frac{8}{10} = 0.8 (R/Z)$$

$$\text{Daya total} = \sqrt{3} \times 400 \times 23.1 \times 0.8$$

$$= 12\,800 \text{ watt}$$

#### Contoh 4

Tiga impedansi mempunyai tahanan 8 ohm dan reaktansi 6 ohm, dihubungkan: (a) Untuk beban bintang, (b) Untuk beban delta Hitung daya yang dipakai dari tiap-tiap kasus, jika beban di suplai sumber 200 V, 3 fasa.

#### Pemecahan

*Kasus (a)*—beban dihubung bintang

$$\text{Tegangan per fasa} = 200/\sqrt{3}$$

$$\text{Impedansi} = 8 + j6 = 10 \text{ ohm}$$

$$I_{\text{fasa}} = I_{\text{kawat}} = 20/\sqrt{3} \text{ ampere}$$

$$\text{Daya masuk} = \sqrt{3} \times 200 \times 20/\sqrt{3} \times \cos \phi$$

$$\cos \phi = 0.8 (R/Z)$$

$$\text{maka daya masuk} = \sqrt{3} \times 200 \times 20/\sqrt{3} \times 0.8 = 3200 \text{ watt}$$

*Kasus (b)*—beban dihubung delta

$$\text{Tegangan saluran} = \text{Tegangan fasa} = 200 \text{ volt}$$

$$\text{Arus fasa} = 200/10 = 20 \text{ ampere}$$

Besar arus pada beban yang terhubung delta:

$$\sqrt{3} I_{\text{fasa}} = 20 \sqrt{3} \text{ ampere}$$

$$\text{Daya yang ditarik beban} = \sqrt{3} \times 200 \times 20 \sqrt{3} \times 0.8 = 9600 \text{ watt}$$

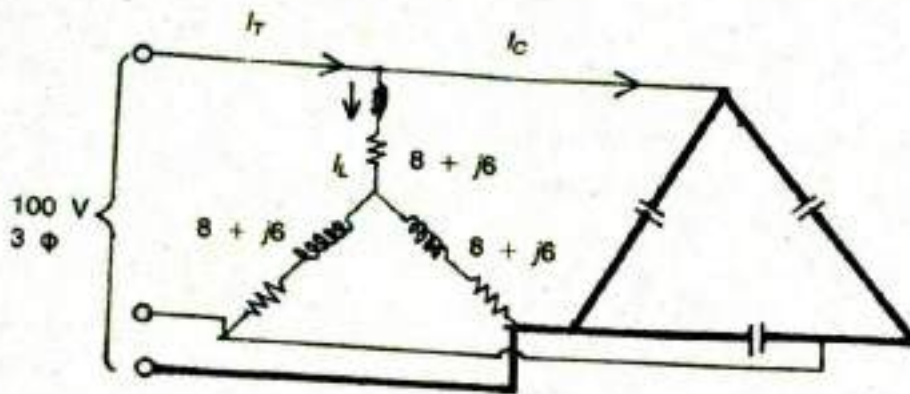
Dari sini dapat dilihat bahwa untuk 2 kasus yang berbeda daya yang ditarik tidaklah sama.

### Contoh 5

Hubungan bintang dengan masing-masing impedansi sebesar  $8 + j6$  dilalui suplai  $100 \text{ V}$ ,  $3 \text{ fasa}$ . Hitung besar kapasitor yang dibutuhkan agar faktor daya keseluruhan menjadi satu.

### Pemecahan

Pada saat kedua sirkuit  $3 \text{ fasa}$  dihubungkan secara paralel, arus total yang melalui saluran:  $I_T = I_C + I_L$  di mana  $I_C$  dan  $I_L$  arus-arus utama yang tidak saling bergantung. Lihat Gambar 3.8.



Gambar 3.8

$$I_L = \frac{100}{\sqrt{3} \times 10} = \frac{10}{\sqrt{3}} \text{ ampere}$$

Secara vektor  $I_L = \frac{10}{\sqrt{3}} (0.8 - j0.6)$

Pada rangkaian kapasitif arus mendahului tegangan dengan sudut  $90^\circ$ . Sehingga arus kapasitif dari rangkaian adalah:

$$I_C = \frac{10}{\sqrt{3}} \times 0.6$$

Dalam rangkaian delta, arus per fasa adalah  $1/\sqrt{3}$  dari arus saluran. Arus per fasa pada kapasitor bank yang terhubung delta

$$= \frac{10}{\sqrt{3}} \frac{0.6}{\sqrt{3}} = 2 \text{ ampere}$$

Impedansi dari kapasitansi per fasa

$$= \frac{\text{tegangan fasa}}{\text{arus fasa}}$$

$$= \frac{100}{2} = 50 \text{ ampere}$$

Jadi,

$$\frac{1}{2\pi fC} = 50 \text{ ohm}$$

$$C = \frac{1}{50 \times 100\pi}$$

$$= \frac{10^6}{5000\pi} = \frac{200}{\pi} = 63.66 \mu \text{ farad}$$

Sehingga besarnya kapasitor bank yang dihubung delta untuk mendapatkan faktor daya satu adalah  $63.66 \mu\text{F}$ .

# DAFTAR NILAI

## SEMESTER GANJIL REGULER TAHUN 2022/2023

Program Studi : Teknik Mesin S1  
Matakuliah : Teknik Tenaga Listrik  
Kelas / Peserta : K  
Perkuliahan : Kampus ISTN Bumi Srengseng P2K - Kelas  
Dosen : Iriandi Ilyas, Ir.MT.

Hal. 1/1

No	NIM	NAMA	ABSEN	TUGAS	UTS	UAS	MODEL	PRESENTASI	NA	HURUF
			10%	20%	30%	40%	0%	0%		
1	22214702	Evans Budyprakoso	100	85	90	91	0	0	90.4	A

Rekapitulasi Nilai							
A	1	B+	0	C+	0	D+	0
A-	0	B	0	C	0	D	0
		B-	0	C-	0	E	0

Jakarta, 29 January 2023

Dosen Pengajar



Iriandi Ilyas, Ir.MT.