

II. TEORI PENUNJANG

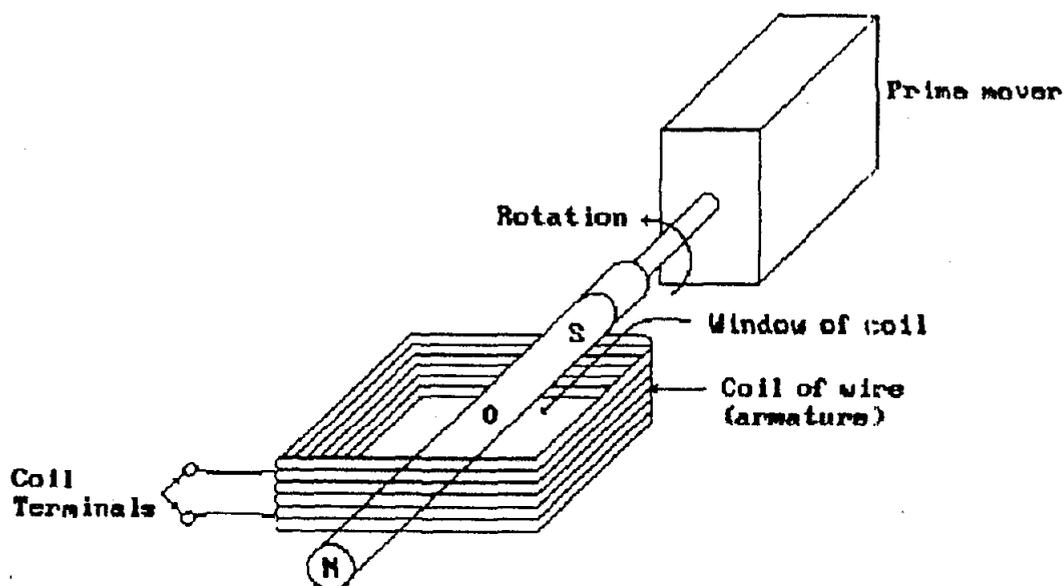
1. GENERATOR AC

Pada dasarnya pembangkitan tenaga listrik AC biasanya menggunakan mesin sinkrun yang bekerja sebagai generator. Untuk suatu frekuensi tertentu, motor sinkrun bekerja dengan putaran konstan tak tergantung dari beban dan dapat bekerja pada pf yang berubah-ubah. Perubahan tenaga mekanis menjadi tenaga listrik dengan menggunakan mesin sinkrun harus dijaga putaran dari mesin ini kalau frekuensi dari tegangan yang dihasilkan dikehendaki tetap konstan.

2. PRINSIP KERJA

Dalam bentuk yang paling sederhana, generator terdiri dari bagian :

- Kutub magnet dan kumparan medan.
- Kumparan jangkar.
- Mesin penggerak mula..

GAMBAR 2-1¹

PRINSIP KERJA GENERATOR

Bagian rotor adalah kumparan medan yang dialiri arus DC sehingga menimbulkan medan magnet yang berputar. Bagian stator adalah kumparan jangkar.

Prinsip kerja generator berdasarkan Hukum Faraday, yaitu : jika sepotong konduktor bergerak di dalam medan magnet, maka pada konduktor tersebut akan dihasilkan tegangan induksi. Karena medan magnet berubah-ubah (berputar), maka tegangan induksi yang dihasilkan berupa tegangan AC. Besar tegangan induksi yang dihasilkan pada kumparan jangkar adalah :

$$E_a = 4,44 \cdot k_c \cdot k_d \cdot T \cdot f \cdot \Phi$$

1) Theraja, R.L., " TEXT BOOK OF ELEKTRICAL TECHNOLOGI ", Nirja Construction & Development, New Delhi, 1984, hal. 983.

Keterangan :

E_a : tegangan efektif per fasa (Volt).

k_c : Faktor jarak kumparan (pitch).

k_d : Faktor distribusi.

T : Jumlah lilitan kumparan per fasa.

f : Frekuensi (Heartz).

Φ : fluks per kutub (Webers).

Mesin sinkrun yang berputar pada kecepatan sinkrun akan dihasilkan tegangan yang mempunyai frekuensi yang memenuhi persamaan $f = p n / 60$ dimana p adalah jumlah pasang kutub mesin tersebut sedangkan n adalah putaran per menit atau rpm.

Ditinjau secara bentuknya mesin sinkrun dibedakan menjadi dua macam yaitu dengan kutub utama didalam dan diluar. Yang dimaksud dengan kutub utama adalah kutub medan magnet yang menghasilkan medan magnet Φ .

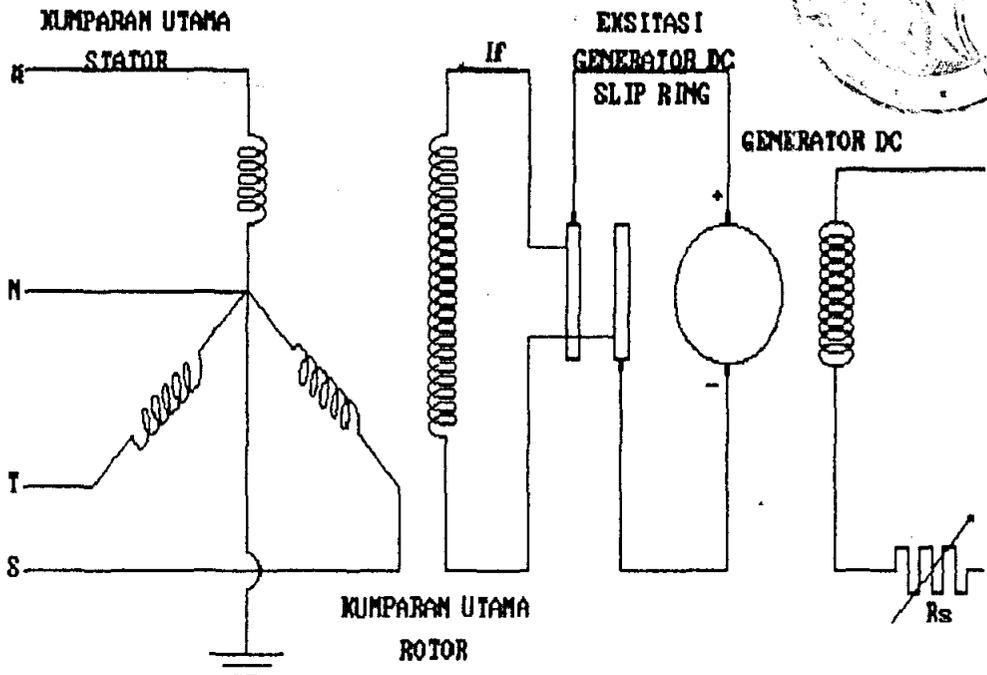
2.1 Generator Konvensional

Untuk generator yang konvensional, arus searah diperoleh dari sebuah generator DC kecil yang disebut exciter. Tegangan yang dihasilkan oleh generator DC ini diberikan pada rotor melalui sikat arang dan slip ring. Akibatnya arus searah mengalir ke dalam rotor dan kumparan medan dan menimbulkan medan magnet Φ yang diperlukan untuk dapat menghasilkan tegangan AC. Dalam keadaan ini bila generator diputar oleh penggerak misalkan diesel maka dibangkitkan

tegangan bolak-balik pada kumparan utama yang terletak distator.

Pada generator konvensional ini ada beberapa kerugian yaitu :

- a. Generator DC kecil (exciter) merupakan beban tambahan untuk penggerak generator AC ini. Ingat generator ini diputar oleh diesel atau mesin bensin dan lain sebagainya.



GAMBAR 2-2²

GENERATOR AC KONVENSIONAL

2) Ir. Susilo Matair M. Eng. Sc., " DIKTAT TTL II ", hal. 135.

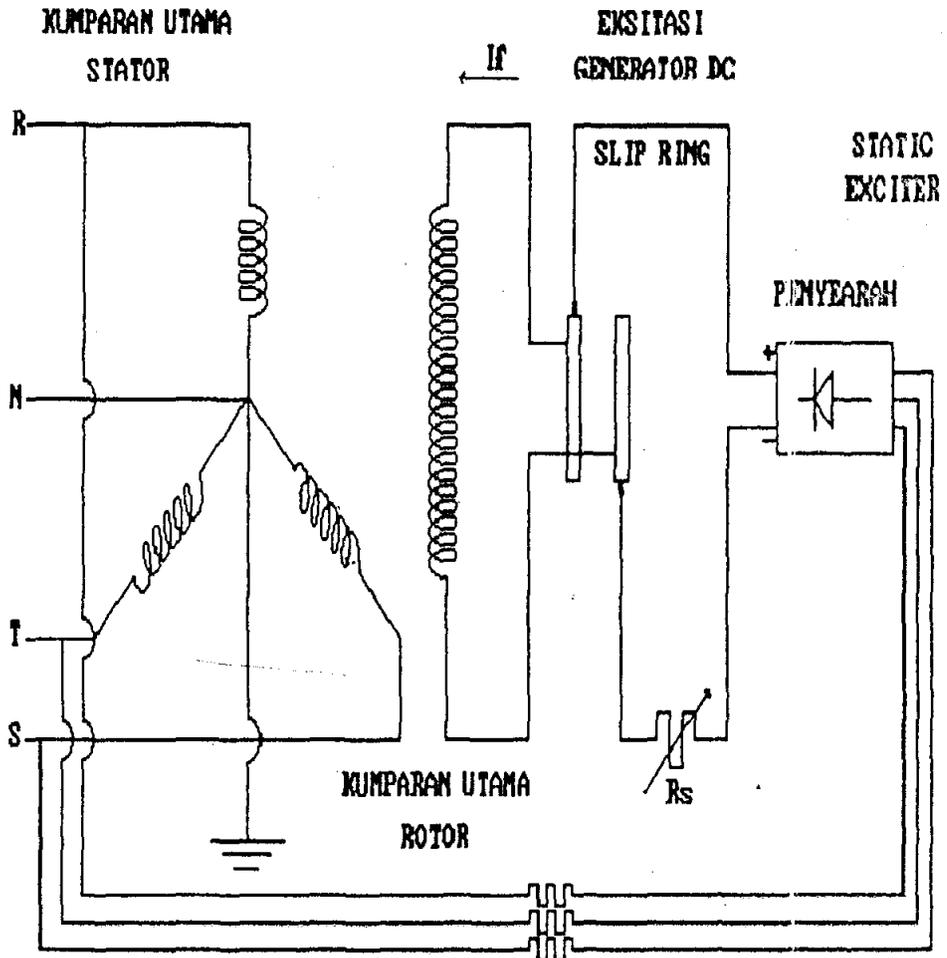
- b. Terdapat sikat arang yang menekan slip ring sehingga timbul rugi gesekan pada generator utamanya bukan itu saja pada generator DC juga terdapat sikat arang yang menekan komutator.
- c. Generator DC keandalannya rendah dan perlu pemeliharaan yang teratur.

2.2 Generator Penguat Statis (Static Exciter)

Pada generator dengan penguat statis, tegangan searah yang diperlukan untuk membangkitkan medan magnet pada rotor diperoleh dari penyearah elektronik (rectifier). Tentu saja penyearah ini memerlukan tegangan input AC, tegangan ini diambilkan dari output generator utama sendiri seperti dapat dilihat pada gambar 2-3. Karena exciter disini tidak berputar seperti pada generator dengan sistem konvensional maka eksitasinya dikatakan statis.

Pada mulanya pada rotor ada sedikit magnet sisa (remanent magnet) magnet sisa ini akan menimbulkan tegangan pada stator, tegangan itu kemudian masuk dalam penyearah dan dimasukkan kembali pada rotor akibatnya medan magnet yang dihasilkan makin besar dan tegangan AC akan naik demikian seterusnya sampai dicapai tegangan nominal dari generator AC tersebut. Biasanya penyearah itu juga mempunyai pengatur/controller sehingga tegangan generator dapat diatur

constant. Bersama dengan penyearah blok itu sering diasebut AVR (Automatic Voltage Regulator / pengatur tegangan otomatis).



GAMBAR 2-3³

GENERATOR AC STATIC EXCITER

Dibandingkan dengan generator yang konvensional generator dengan penguatan statis ini memang sudah

3) Ibid, hal. 136.

jauh lebih baik yaitu tidak ada generator DC (yang keandalannya rendah) dan juga sikat atau beban generator DC pada penggerak utama dihilangkan. Exciter diganti dengan exciter yang tidak berputar yaitu penyearah karena itu ini disebut static exciter. Sekalipun generator exciter ini sudah lebih baik daripada generator konvensional orang masih belum puas mengembangkan apa yang disebut brushless generator. Generator ini seperti namanya tidak mempunyai sikat sehingga rugi akibat gesekan berkurang tetapi untuk itu harus dibayar dengan hal yang lain.

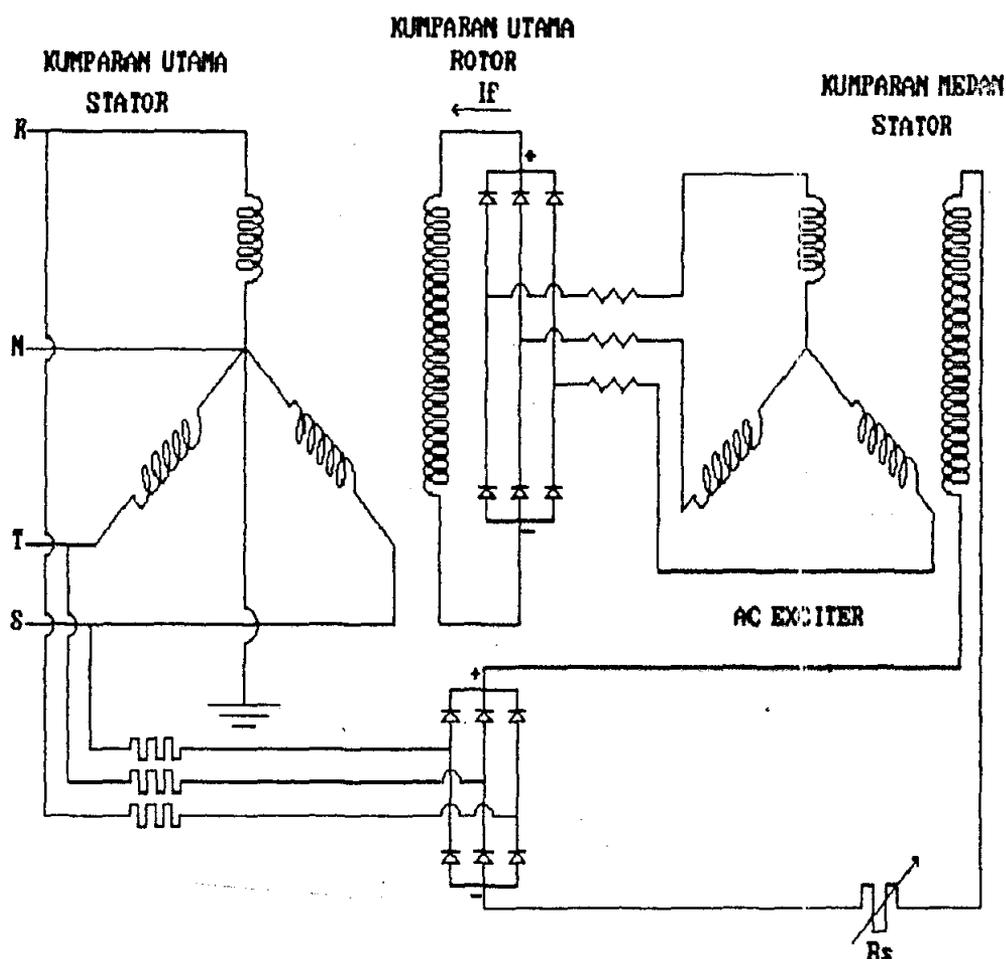
2.3 Generator Tanpa Sikat (brushless)

Pada prinsipnya generator tanpa sikat (brushless) menggunakan generator AC kecil sebagai exciter. Generator AC kecil ini mempunyai kutub luar artinya arus searah yang diperlukan untuk menimbulkan medan magnet diberikan pada bagian yang tidak berputar (stator) sedangkan rotor terdiri dari kumparan bolak-balik. Exciter ini dapat dilihat sebagai generator AC kecil pada gambar 2-4.

Pada poros generator ini dilekatkan juga penyearah (rectifier) dan ini turut berputar bila mesin diputar. Sama seperti pada static exciter generator pada mulanya dibangkitkan tegangan karena magnet sisa maka akan timbul tegangan AC kecil saja. Tegangan ini diserahkan dan dimasukkan pada kutub

generator AC yang kecil (distator) maka timbul bolak-balik pada generator AC kecil (exciter) di rotornya.

Tegangan AC ini akan dimasukkan pada penyearah yang terdapat pada poros (turut berputar) dan langsung



GAMBAR 2-4⁴

GENERATOR BRUSHLESS

4) Ibid, hal. 137.

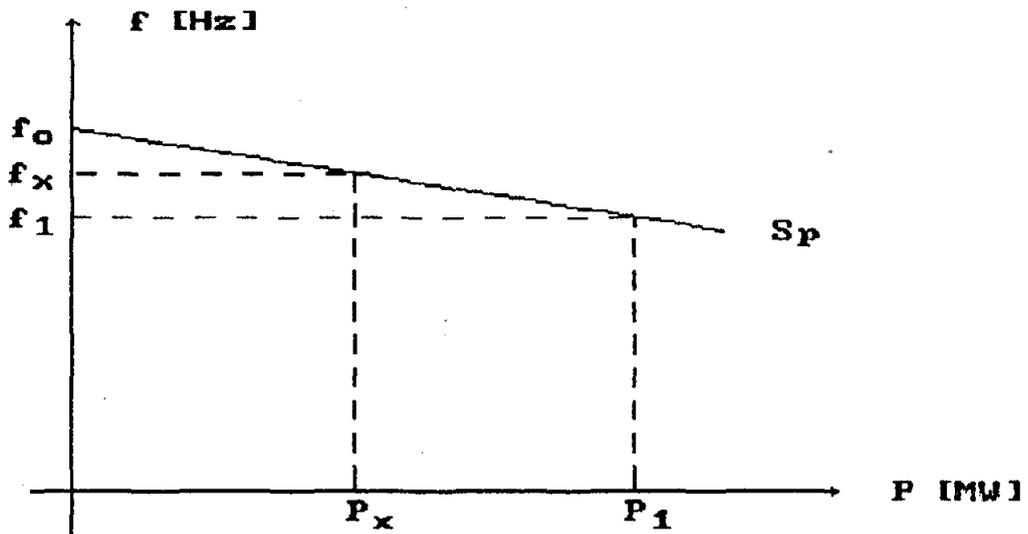
dimasukkan pada rotor utama akibatnya akan timbul tegangan AC yang lebih besar pada stator utama dan akan dipakai untuk menguatkan exciter maka timbul tegangan yang lebih besar dan seterusnya.

Generator ini mempunyai keuntungan yaitu tidak mempunyai sikat atau dengan kata lain kerugian gesekan kecil tetapi penggerak utama diberi beban extra yaitu exciter AC kecil.

3. SPEED DROOP

Jika generator dibebani, maka frekuensi akan menurun.

Karakteristik ini disebut " Speed Droop ", umumnya 2%.



GAMBAR 2-5
SPEED DROOP

$$\text{Speed Droop} = \frac{f_0 - f_1}{f_1} \times 100\%$$

Keterangan :

f_0 : Frekuensi beban kosong.

f_1 : Frekuensi beban penuh.

Dari gambar 2-5 diperoleh :

$$S_p = \frac{P_1}{f_0 - f_1}$$

$$P_x = S_p \cdot (f_0 - f_x)$$

Keterangan :

S_p : Slope.

P_1 : Daya beban penuh.

P_x : Daya beban tertentu.

f_1 : Frekuensi beban penuh.

f_x : Frekuensi beban tertentu.

f_0 : Frekuensi beban kosong.

4. PENGATURAN FREKUENSI

Untuk mengatur frekuensi dipergunakan governor. Governor terdiri dari flyballs dan pegas yang mengatur bahan bakar yang masuk ke prime mover serta pengatur setpoint frekuensi generator. Bila tekanan flyballs > tekanan pegas maka jumlah bahan bakar yang masuk ke prime mover berkurang dan setpoint frekuensi akan turun. Se-

baliknya jika tekanan flyballs < tekanan pegas maka jumlah bahan bakar yang masuk ke prime mover bertambah dan setpoint frekuensi bisa naik. Pembangkit tenaga diesel servo motornya terhubung dengan motor dieselnnya.

Flyballs menggerakkan relay valve dan pilot valve yang mengatur jalannya minyak bertekanan ke piston. Piston menggerakkan servo motor yang mengatur suplai bahan bakar ke prime mover (motor diesel).

5. PENGARUH BEBAN

Jika generator diberi beban, maka tegangan terminal akan turun. Turunnya tegangan ini diperbolehkan dengan batas 10% dari tegangan nominal. Turunnya tegangan ini disebabkan :

- R_a , tahanan jangkar.
- X_l , reaktansi bocor dari kumparan jangkar.
- X_a , reaksi jangkar.
- X_s , reaktansi sinkron.

Turunnya tegangan dapat dilihat lebih jelas dalam pembahasan diagram vektor. Dalam pembahasan diagram vektor ada beberapa simbol :

E_0 : Tegangan induksi beban nol.

V : Tegangan beban.

I : Arus beban.

Φ : Sudut faktor daya.

R_a : Tahanan jangkar.

X_l : Reaktansi bocor.

- X_a : Reaktansi jangkar.
 X_S : Reaktansi sinkron.
 Z_S : Impedansi sinkron.
 Z : Impedansi.

a. Faktor daya nol.

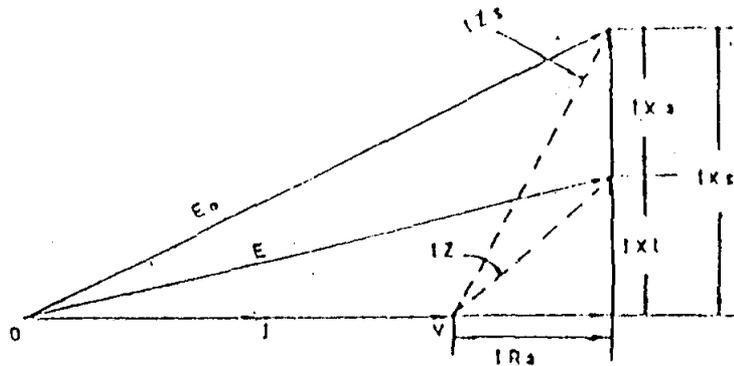
$$E_o = (V + I.R_a)^2 + (I.X_S)^2.$$

b. Faktor daya tertinggal.

$$E_o^2 = (V.\cos\phi + I.R_a)^2 + (V.\sin\phi + I.X_S)^2.$$

c. Faktor daya mendahului.

$$E_o^2 = (V.\cos\phi + I.R_a)^2 + (V.\sin\phi - I.X_S)^2.$$



GAMBAR 2-6⁵

DIAGRAM VEKTOR BEBAN FAKTOR DAYA NOL

5) Drs. Sumanto, MA, " MESIN SINKRON ", hal. 55.

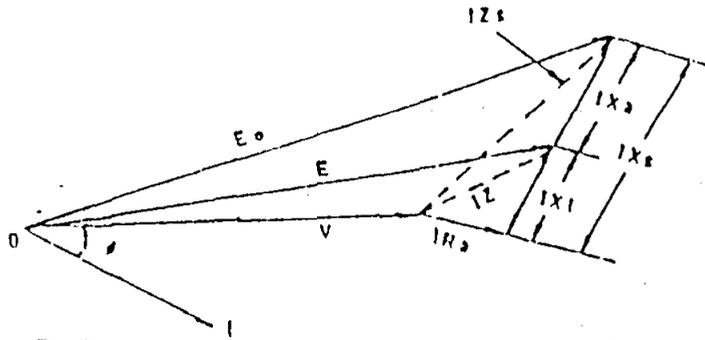
GAMBAR 2-7⁶

DIAGRAM VEKTOR BEBAN FAKTOR DAYA TERTINGGAL

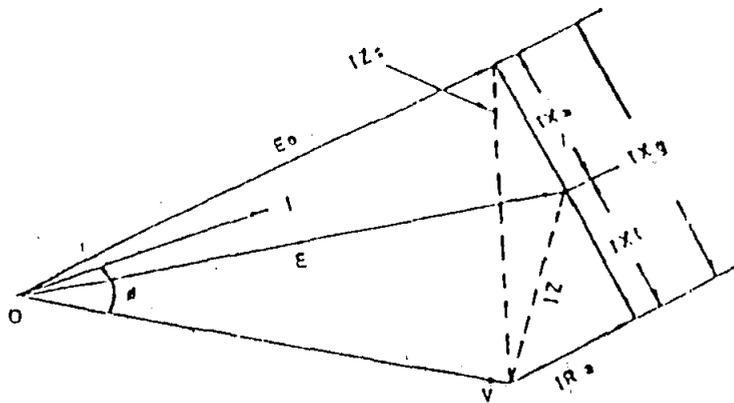
GAMBAR 2-8⁷

DIAGRAM VEKTOR BEBAN FAKTOR DAYA MENDAHJLUI

6) Ibid, hal. 55.

7) Ibid, hal. 55.

6. PENGATURAN TEGANGAN

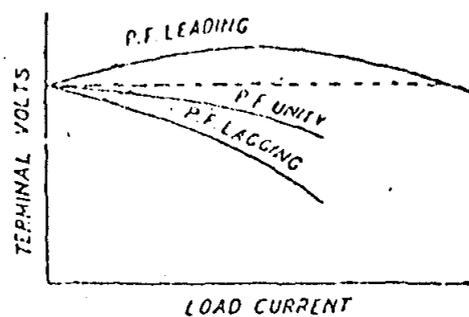
Pengaturan tegangan dari generator didefinisikan sebagai perubahan tegangan dari beban nol ke beban penuh dengan menjaga eksitasi tetap dan putaran tetap.

$$\% \text{ Regulasi} = \frac{E_0 - V}{V} \times 100\%$$

dimana : E_0 = Tegangan generator tanpa beban.

V = Tegangan generator berbeban.

Pada saat generator dibebani, maka tegangan generator akan turun sehingga diperlukan arus eksitasi yang lebih besar pada saat beban kosong. Sedangkan bila beban dilepas, maka tegangan generator akan naik sehingga arus eksitasi harus dikurangi.



GAMBAR 2-9⁸

KARAKTERISTIK GENERATOR TERHADAP FAKTOR DAYA

8) Ir. Susilo Matair M. Eng. Sc, " DIKTAT TTL II ", hal. 17.

Untuk faktor daya mendahului, tegangan terminal naik sehingga diperoleh regulasi negatif. Untuk faktor daya tertinggal, tegangan terminal turun sehingga diperoleh regulasi positif.

7. PENGUMPULAN DATA

7.1 Generator

Generator yang digunakan adalah generator AC brushless Stamford dari negara Inggris dengan nomor seri C036112/06. Data yang terdapat pada name plate generator adalah :

- Type : BCI 184 F.
- AVR : SX 460.
- KVA : 25.
- Hz : 50.
- Phase : 3.
- PF : 0.8.
- RPM : 1500.
- Enclosure : IP 22.
- Insulation Class : H.
- Stator Winding : 311.
- Volt : 380/220.
- Amps : 38.
- Stator Connection : star.
- Rating : continue.

- Ambient Temperatur : 40°C.
- Excitation Volts : 42.
- Amps : 1.91.

7.2 Prime Mover

Sebagai penggerak generator digunakan mesin diesel buatan Ford dengan data pada name plate sebagai berikut ini :

- Model : 333 BSD.
- No. seri : K363755.
- Kapasitas mesin : 34.8 KW.
- Max power output overload : 38.3 KW pada 2200 rpm.
- Max power output continuous : 34.3 KW pada 2200 rpm.
- Max torque overload : 195.6 Nm pada 1400 rpm.
- Max torque continuous : 178.0 Nm pada 1400 rpm.