

BAB II

GENERATOR SINKRON KUTUB DALAM

Pada prinsipnya Generator Sinkron arus bolak-balik mempunyai kumparan jangkar pada Stator dan kumparan medan pada Rotor. Kumparan medan dapat berbentuk kutub menonjol biasanya digunakan Generator yang mempunyai putaran rendah dan menengah sekitar 1000 Rpm kebawah. PLTA biasanya menggunakan jenis ini, kutub tidak menonjol (silindris) dipakai pada Generator yang mempunyai kecepatan tinggi sekitar 1500 rpm keatas. Untuk menghasilkan frekuensi tinggi digunakan Generator yang mempunyai kecepatan tinggi. Kutub silindris hal ini supaya didapatkan dimensi yang kecil.

II.1 PUTARAN GENERATOR.

Kecepatan putaran rotor dan jumlah kutub pada generator dan frekuensi, ketiganya ini saling berhubungan dapat dinyatakan dengan rumus :

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \dots \dots \dots (01)$$

dimana :

f = Frekuensi yang dibangkitkan(HZ)

n = Putaran rotor. (rpm).

p = jumlah pasang kutub.

11.1.1 Tegangan yang dibangkitkan.

Dalam putaran rotor $60 / n$ detik pada setiap penghantar stator dipotong oleh flux (Φ) weber. Jadi tegangan induksi emf rata - rata perkwat penghantar dapat dinyatakan dengan rumus :

$$E = 2 k_e f \Phi \dots\dots\dots(02)$$

$$k_e = \frac{B}{B_a} \dots\dots\dots(03)$$

$$\Phi = \frac{2}{\pi} \tau l B_m \dots\dots\dots(04)$$

dimana :

E = Tegangan yang dibangkitkan (Volt)

k_e = Faktor bentuk medan (1.11 untuk sinusoidal)

B = Kerapatan fluks (weber/m)

B_a = Kerapatan fluks rata rata (weber/m)

B_m = Kerapatan fluks max (weber/m)

l = Panjang efektif mesin (m)

Φ = Fluks (weber)

τ = Pitch kutup (m)

1) M. Kostanko L. Pistrovsky Electrical Machineri volume II. Mir Pubbsher. Mascow.1969 hal 51

Harga rms tegangan induksi per phase dengan
 2)
 jumlah lilitan N per phase

$$E = 4,44 f N \phi \dots\dots\dots (05)$$

Cara untuk menghasilkan tegangan 3 phase dengan
 tiga kumparan jarak 120° listrik pada keadaan "Full
 pitch" dan diikat dalam satu slot, Besar tegangan emf
 3).
 untuk belitan akan menjadi

$$E = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f N K_d \dots\dots\dots (06)$$

$$K_d = \frac{\sin \pi / 2 m}{q \sin \pi / 2 m q} \dots\dots\dots (07)$$

$$N = 2 q p w \dots\dots\dots (08)$$

Dimana :

Kd = Faktor distribusi.

q = Jumlah slot per kutub dan phase.

m = Jumlah Phase.

N = Jumlah lilitan dalam seri per phase.

2) S.K Scar, rotating electrical Machinery, Khansia
 publeskers, New Delhi, Second edition 1979.Hal 3.
 3) Fitzgerald Kingsky, Kusko. hal 150.

Jadi tegangan terinduksi per phase sesungguhnya

$$E = 4,44 N KW f \phi \dots\dots\dots (09)$$

$$KW = Kp Kd \dots\dots\dots (10)$$

$$Kp = \frac{\sin \beta \pi}{2} \dots\dots\dots (11)$$

dimana :

KW = Faktor kumparan,

Kp = Faktor pitch,

β = Jarak kumparan,

Berdasarkan rumus emf (E) yang telah didapatkan bahwa besarnya emf (E) dapat berubah, bila putaran, berubah, jumlah belitan dan besarnya fluxsi berubah, pada generator jumlah belitannya tetap, frekwensi tetap dijaga konstan jika generator bekerja pada beban nol (no load) maka tegangan emf yang ditimbulkan berasal dari mmf medan.

Untuk generator berbeban, tegangan emf yang ditimbulkan berasal dari resultan mmf medan dan mmf reaksi jangkar tegangan jepit dan frekwensi harus dijaga konstan. Dalam keadaan mmf medan yang ditimbulkan oleh arus penguat akan mendapat pengaruh dari besar dan macamnya beban, pengaruh ini dapat memperkuat penyimpangan dan melemahkan medan.

Dengan adanya arus beban akan menimbulkan drop tegangan akibat tahanan dan reaktansi reaktansinya,

4) Kostenko L. Piotrovsky op-cil hal.65

Untuk mempertahankan tegangan jepit suatu generator dapat dilakukan dengan mengatur tegangan emf yang ditimbulkan atau dengan mengatur medan yang ditimbulkan arus penguat.

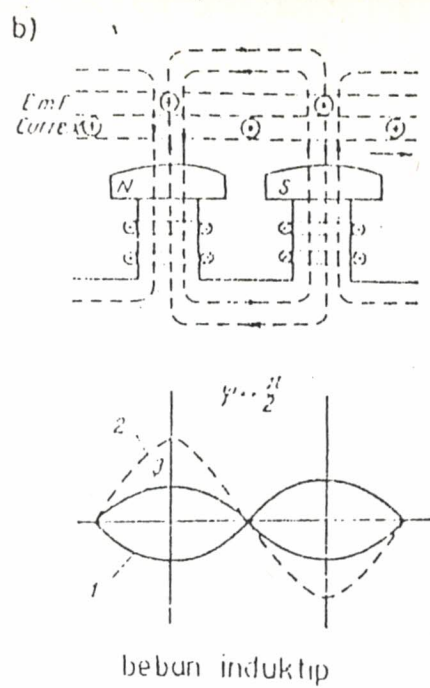
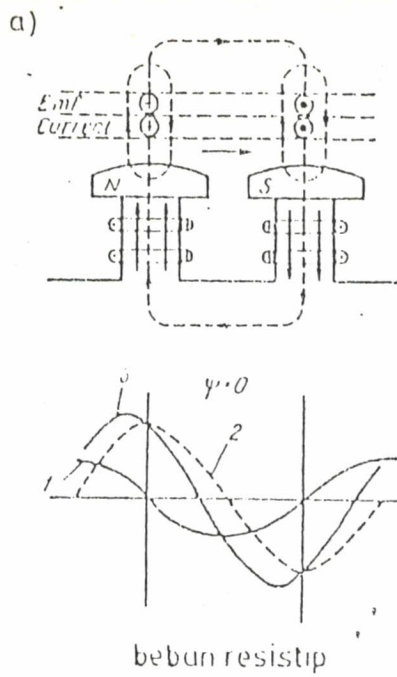
II. 1.2 REAKSI JANGKAR GENERATOR SINKRON.

Apabila suatu belitan stator dari suatu alternator di beri arus akan menimbulkan mmf gelombang dasar pada saat terbebani, yang dinamakan mmf reaksi jangkar. mmf reaksi jangkar berputar bersamaan dengan putaran rotor, mmf ini dapat mempengaruhi mmf medan, pengaruh dari mmf ini ialah, dapat melemahkan dan membuat distorsi bentuk gelombang, macam macam pengaruh ini ditimbulkan oleh sifatnya beban (Resistip, Capasitip dan induktip) atau dapat berbentuk resistip induktip dengan pergeseran sudut antara arus sekalar (I) terdapat mmf terinduksi (E_m) yang besarnya

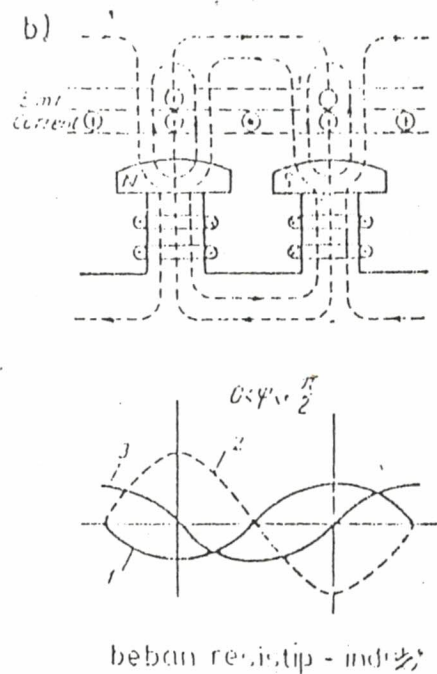
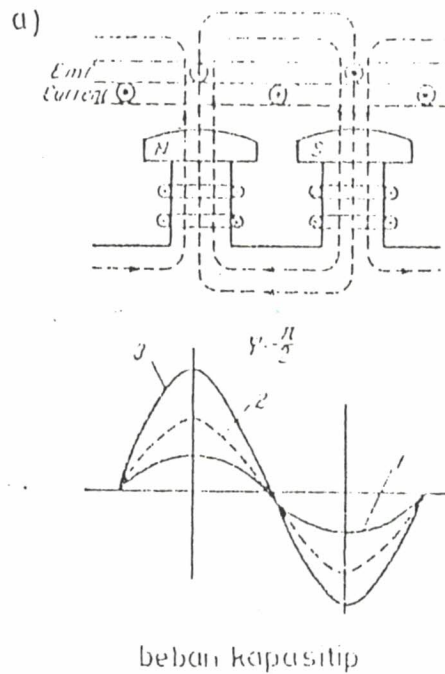
$$-\pi/2 < \psi < \pi/2 \dots\dots\dots(12)$$

Bentuk gelombang reaksi jangkar dengan beban reaktip murni $\psi = 0$ terdapat pada gambar 1a, untuk beban induktip dengan harga $\psi = \pi/2$ terdapat pada gambar (1b), beban kapasitip dengan harga $\psi = -\pi/2$ pada gambar 2b dan beban resistip induktip dengan harga $0 < \psi < \pi/2$ pada gambar (2b)

5) M. Kostenko L. Piotrovsky op-cit hal 188 - 189.



GAMBAR (1)
BENTUK GELOMBANG REAKSI JANGKAR UNTUK BEBAN RESISTIF
DAN BEBAN INDUKTIF



GAMBAR (2)
BENTUK GELOMBANG REAKSI JANGKAR UNTUK BEBAN KAPASITIF
DAN BEBAN RESISTIF INDUKTIF

Kurva gelombang satu merupakan kurva gelombang reaksi jangkar, kurva gelombang 2 merupakan kurva gelombang dasar, pada gambar 3 merupakan resultan dari kedua gelombang, besarnya reaksi jangkar pada beban seimbang

$$F_a = \frac{m \sqrt{2} M_{kw}}{\pi P} I \dots\dots\dots(13)$$

Harga dari mmf medan :

$$F_{exc} = K_a F_a \dots\dots\dots(14)$$

K_a merupakan faktor reduksi mmf reaksi jangkar.

$$k_a = \frac{\pi^2 \gamma}{(8 \sin \gamma \pi/2)} \dots\dots\dots(15)$$

TABEL (I)

Faktor reduksi dari mmf reaksi jangkar untuk generator sinkron kutup silindris.

Y	Y x 90 ^o	K _a
0,60	54,0 ^o	0,910
0,66	59,4 ^o	0,943
0,70	63,0 ^o	0,970
0,75	67,5 ^o	1,000
0,80	72,0 ^o	1,035

Untuk harga K_a = 1, maka tegangan induksi

6) Ibid, hal 192.
7) Ibid, hal 128.

$$E = 2 m f \frac{\mu \cdot D_i \cdot l \cdot N^2 \cdot K_w^2}{K \mu \cdot K \delta \cdot \delta \cdot p^2} \cdot I \dots\dots\dots(16)$$

di mana : D_i = Diameter efektif stator (m)

l = Panjang efektif stator (m)

K = Faktor kejenuhan besi.

K = Faktor celah udara

δ = Lebar celah udara (m).

μ = $1,16 \times 10^{-8}$ H/m.

I = Arus jangkar (ampere).

II.1.3. REAKTANSI BOCOR.

Pada generator sinkron kutub silindris terdapat Reaktansi-reaktansi yang dapat menyebabkan drop tegangan jika generator di bebani. Reaktansi bocor tersebut terdapat pada reaktansi induktif pada jangkar dan kumparan stator.

8).

II.2.1. REAKTANSI INDUKTIF PADA JANGKAR

$$X_a = 2 m f \frac{\mu \cdot D_i \cdot l \cdot N^2 \cdot k_w^2}{K \delta \cdot K \mu \delta p^2} \dots\dots\dots(17)$$

di mana : X_a = Reaktansi induktif pada jangkar (ohm)

9

II.2.2 .REAKTANSI INDUKTIF KUMPARAN STATOR

$$X_\sigma = 4\pi f \mu \frac{l \cdot N}{P \cdot Q} (\lambda_s + Q \lambda_e \frac{l \cdot e}{l}) \dots\dots\dots(18)$$

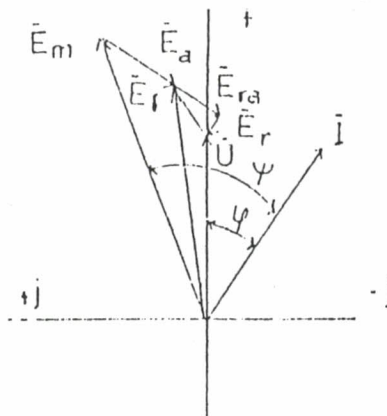
8) Ibid. hal 193.

9) Ibid, hal 133.

di mana : X_{σ} = Reaktansi induktif kumparan stator (Ohm)
 λ_s = permeance ekivalen untuk slot.
 λ_c = permeance ekivalen akhir hubungan.
 l_c = panjang akhir hubungan (m).

11.2.3. DROP TEGANGAN.

Generator dalam keadaan berbeban akan mengalami drop tegangan jika sifat bebannya induktif dan bisa juga kapasitif. Untuk beban yang bersifat induktif vektor terjadi kenaikan tegangan jika bebannya bersifat arus (I) akan terbelakang dengan vektor tegangan (V) dengan sudut ψ dan vektor emf yang merupakan hasil fluksi magnetik Φ_m mendahului vektor arus (I) dengan sudut δ . Pada gambar (3), menunjukkan diagram tegangan emf untuk kutub selindris, dengan harga $0 < \psi < 90^{\circ}$ ¹⁰⁾



GAMBAR (3)

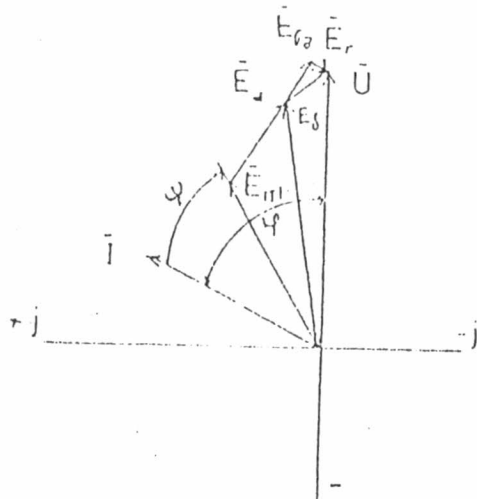
DIAGRAM EMF KUTUP SILINDRIS $0 < \psi < 90^{\circ}$.

10) Ibid. hal 212

Pada beban yang bersifat kapasitif vektor arus (I) mendahului emf dengan sudut φ dan mendahului vektor tegangan (V) dengan sudut φ gambar (4) menunjukkan diagram emf untuk kutub silindris dengan harga $0 < \varphi < 90^\circ$.

Vektor tegangan (V) merupakan tegangan terminal generator pada saat dibebani. pada beban induktif drop tegangan $E_a = -j I X_a$, X_a merupakan reaktansi induktif pada jangkar, $E_o = -j I X_{oo}$, X_{oo} merupakan reaktansi bocor pada belitan stator dan $E_r = -I R_a$, R_a adalah tahanan konduktor pada belitan stator. Reaktansi sinkron (X_s) adalah

$$X_s = X_a + X_{oo} \dots\dots\dots(19)$$



GAMBAR (4)
 DIAGRAM EMF KUTUB SILINDRIS $0 < \psi < -90^\circ$.

11.2.4. DAYA GENERATOR.

Dari persamaan (2) bahwa tegangan yang dibangkitkan rata-rata per hantaran yaitu :

$$E = 2 K_e f \phi$$

Bila arus yang mengalir dalam penghantar adalah $D_i A/2$ maka daya generator yang dihasilkan adalah :

$$\begin{aligned} P &= 2 K_e f \phi \pi D_i A/2 \dots\dots\dots(25) \\ &= K_e f \phi \cdot \pi D_i A. \end{aligned}$$

di mana : P = Daya generator (VA)

A = Ampere konduktor per centimeter (A/cm)

11.2.5. RUGI RUGI PADA GENERATOR.

Daya yang dihasilkan pada generator banyak mengalami kerugian-kerugian. Rugi-rugi tersebut mengurangi daya yang dihasilkan generator¹¹⁾. diantaranya rugi-rugi tersebut adalah :

1. Rugi-rugi besi
2. Rugi-rugi tembaga
3. Rugi-rugi bantalan.

Rugi-rugi tersebut di atas adalah rugi yang pokok, masih banyak lagi rugi-rugi yang dialami generator pada saat pembangkitan.

11) Ralph 2 lawrence.prinsipe or Alternating current Machinery, Mc Graw-Hill Book Company. Inc.Fourt Edition. London.1953.hal 170.

11.2.5.1. RUGI - RUGI BESI

Rugi-rugi besi terdiri dari :

a. Rugi Histerisis.

Rugi histerisis itu dipengaruhi oleh sifat dari bahan, yang besarnya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P_h = k_h f B_m^K \dots\dots\dots(21)$$

di mana : P_h = Besar rugi histerisis (watt)

k_h = Faktor histerisis

f = Frekwensi (Hz)

B_m = Kerapatan flux maksimum (W/m)

K = Konstanta (1,6 - 2)

b. RUGI RUGI ARUS EDDY

Rugi arus eddy dipengaruhi tegangan terinduksi yang ada pada inti besi, yang besarnya adalah

$$P_e = k_e f^2 B_m^2 \dots\dots\dots(22)$$

di mana : P_e = Besar rugi arus eddy (watt)

k_e = Faktor arus eddy (tabel II)

Besarnya rugi-rugi besi per satuan berat adalah

$$P_c = P_h + P_e \dots\dots\dots(23)$$

Harga faktor histerisis dan arus eddy pada tabel II ¹²⁾ .

12) M. Kostenko.L. piotrousky. Electrical Machinery
Mascow, Vol.I. 1986, hal 199.

Tabel (II)

Harga faktor Kh dan Ke

Type campuran besi	Ketebalan (mm)	Kh	Ke
Rendah dan menengah	1,0	4,4	22,4
	0,5	4,4	5,6
	0,35	4,7	3,2
Tinggi	0,50	4,7	1,2
	0,35	2,4	0,6

II.2.6. RUGI - RUGI T E M B A G A.

Pada konduktor tembaga terdapat harga tahanan walaupun kecil, karena adanya arus (I) yang mengalir pada konduktor tersebut, maka akan terjadi rugi rugi tembaga.

$$Pr = I_r^2 Ra \dots\dots\dots(24)$$

Dimana :

Pr = Rugi tembaga (watt)

Ir = Arus yang mengalir (Amp)

Ra = Tahanan tembaga pada temperatur kerja (Ohm)

II.2.7. RUGI - RUGI BANTALAN.

Rugi- rugi bantalan dapat terjadi karena gesekan poros dengan bantalan akibat dari putaran rotor, Besar rugi

rugi batalan di asumsikan 0,3 s/d 0,5 dari daya yang keluar dari generator ¹³⁾

11.2.8. EFESIENSI.

Besar efisiensi Generator ¹⁴⁾

$$\eta = 1 - \frac{\sum P_{rg}}{P + \sum P_{rg}} \times 100 \% \dots\dots\dots(25)$$

Dimana :

η = Besar efisiensi (%)

P = Daya keluar dari generator (watt)

P_{rg} = Jumlah rugi - rugi Generator (watt)

13) Ralph R. Louwance , op - cit, hal. 271.

14) M.Kostenko. L, Piotrousky, Op - cit haal. 258