

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data

Generator yang dijadikan objek pada penelitian ini adalah generator sinkron produksi *Solar Turbine* di Petronas Carigali Ltd.

Berikut tabel data generator sinkron tersebut:

**Tabel 4.1** Generator Sinkron GTG A

Parameter	Nilai Parameter
Tegangan	4,9 kV
Arus	490 A
Daya Aktif	1000 kW
Daya Semu	1250 kVA
Putaran	1500 rpm
Frekuensi	50 Hz
Fasa	3
Faktor daya	0,9 lagging
Jumlah Kutub	4 bh
Koneksi stator	Wye

**Tabel 4.2** Generator Sinkron GTG B

Parameter	Nilai Parameter
Tegangan	4,9 kV
Arus	490 A
Daya Aktif	1000 kW
Daya Semu	1250 kVA
Putaran	1500 rpm
Frekuensi	50 Hz

**Tabel 4.2** Generator Sinkron GTG B (Lanjutan)

Parameter	Nilai Parameter
Fasa	3
Faktor daya	0,9 lagging
Jumlah Kutub	4 bh
Koneksi stator	Wye

**Tabel 4.3** Data Generator Sinkron GTG A

Simbol	Konstanta Generator	Nilai
$X_d$	Reaktansi sinkron	2,160 $\Omega$
$X_2$	Reaktansi urutan negatif	0,208 $\Omega$
$X'_d$	Reaktansi transient	0,266 $\Omega$
$X''_d$	Reaktansi sub transient	0,164 $\Omega$

**Tabel 4.4** Data Generator Sinkron GTG B

Simbol	Konstanta Generator	Nilai
$X_d$	Reaktansi sinkron	1.946 $\Omega$
$X_2$	Reaktansi urutan negatif	0,248 $\Omega$
$X'_d$	Reaktansi transient	0,292 $\Omega$
$X''_d$	Reaktansi sub transient	0,217 $\Omega$

**Tabel 4.5** Hasil Dari Pengukuran Tahanan Generator Sinkron GTG A

Tahanan Stator ( $R_a$ )	
$\phi_1 - \phi_2$	0,60 $\Omega$
$\phi_2 - \phi_3$	0,60 $\Omega$
$\phi_1 - \phi_3$	0,60 $\Omega$
Tahanan Rotor	
$\phi - \phi$	0.80 $\Omega$

**Tabel 4.6** Hasil Pengukuran Tahanan Generator Sinkron GTG B

Tahanan Stator ( $R_a$ )	
$\phi_1 - \phi_2$	0,28 $\Omega$
$\phi_2 - \phi_3$	0,28 $\Omega$
$\phi_1 - \phi_3$	0,28 $\Omega$
Tahanan Rotor	
$\phi - \phi$	0.722 $\Omega$

Generator sinkron tersebut digunakan sebagai sumber listrik di Petronas Carigali Ltd. untuk mengalirkan listrik di anjungan lepas pantai dan sumber tenaga di beberapa peralatan listrik. Artinya generator tersebut merupakan objek vital bagi Plan tersebut. Generator sinkron ini dijaga untuk terus berjalan terus-menerus.

**Tabel 4.7** Data generator GTG A dan GTG B saat berbeban

Tanggal : 07 Desember 2017 (Data Generator GTG A Dan GTG B Saat Berbeban ( *On Load* ))

Generator Turbine	Jam	Putaran (rpm)	Frekuensi (Hz)	Daya Aktif (kW)	Daya Reaktif (kVAR)	Arus (Amp)	Tegangan (V)
GTG A	02.00	1.498	49,9	334	150	464	4900
	08.00	1.500	49,5	288	142	467	4900
	14.00	1.499	49,5	285	144	467	4900
	22.00	1.500	49,9	333	155	465	4900
GTG B	02.00	1.500	49,9	339	160	464	4900
	08.00	1.500	49,5	284	144	466	4900
	14.00	1.500	49,5	290	140	444	4900
	22.00	1.500	49,9	321	163	460	4900

Tanggal : 10 Desember 2017 (Data Generator GTG A Dan GTG B

Saat Berbeban ( *On Load* )

Generator Turbine	Jam	Putaran (rpm)	Frekuensi (Hz)	Daya Aktif (kW)	Daya Reaktif (kVAR)	Arus (Amp)	Tegangan (V)
GTG A	02.00	1.500	49,9	333	152	464	4900
	08.00	1.498	49,5	277	143	446	4900
	14.00	1.500	49,6	284	140	444	4900
	22.00	1.499	49,9	332	15	466	4900
GTG B	02.00	1.498	49,8	347	162	464	4900
	08.00	1.500	49,9	286	140	460	4900
	14.00	1.500	49,8	280	141	445	4900
	22.00	1.498	49,6	319	166	461	4900

Tanggal : 17 Desember 2017 (Data Generator GTG A Dan GTG B

Saat Berbeban ( *On Load* )

Generator Turbine	Jam	Putaran (rpm)	Frekuensi (Hz)	Daya Aktif (kW)	Daya Reaktif (kVAR)	Arus (Amp)	Tegangan (V)
GTG A	02.00	1.498	49,9	334	150	463	4900
	08.00	1.500	49,5	288	142	467	4900
	14.00	1.499	49,5	285	144	467	4900
	22.00	1.500	49,9	333	155	465	4900
GTG B	02.00	1.500	49,9	339	160	464	4900
	08.00	1.500	49,5	284	144	466	4900
	14.00	1.500	49,5	290	140	444	4900
	22.00	1.500	49,9	321	163	460	4900

## 4.2 Perhitungan

Berikut ini merupakan perhitungan berdasarkan jenis generator sinkron :

### a. Perhitungan Berdasarkan Generator Sinkron GTG A

Frekuensi generator sinkron dengan menggunakan persamaan (2.5),

diperoleh:

$$f = \frac{n_m P}{120} = \frac{1500 \cdot 4}{120} = 50 \text{ Hz}$$

Putaran mekanik generator sinkron dengan menggunakan persamaan

(2.10), diperoleh:

$$n_m = \frac{f \cdot 120}{P} = \frac{50 \cdot 120}{4} = 1500 \text{ rpm}$$

Arus jangkar generator sinkron dengan menggunakan persamaan

(2.11), diperoleh:

$$I_a = \frac{S}{\sqrt{3}V_T} = \frac{1250 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 4,9 \text{ kV}} = 147,28 \text{ A}$$

Daya output yang dihasilkan berdasarkan persamaan (2.12),

diperoleh:

$$P_{out} = S \cdot \cos \varphi = 1250 \text{ kVA} \cdot 0,9 = 1125 \text{ kW}$$

Tegangan line to line dengan menggunakan persamaan (2.13),

diperoleh:

$$V_l = \frac{V_T}{\sqrt{3}} = \frac{4900 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 2829,02 \text{ V}$$

GGL yang dibangkitkan generator sinkron berdasarkan persamaan

(2.6), maka diperoleh:

$$E_a = V_l + I_a (R_a + jX_s)$$

$$E_a = 2829,02 \angle 0^\circ + 147,28 \angle -25,84^\circ (0,60 + j2,160)$$

$$E_a = 2829,02 + 147,28 \angle -25,84^\circ \frac{\sqrt{(0,60)^2 + (2,160)^2}}{\tan^{-1} \frac{2,160}{0,60}}$$

$$E_a = 2829,02 + 147,28 \angle -25,84^\circ \frac{\sqrt{0,36 + 4,6656}}{\arctan 3,6}$$

$$E_a = 2829,02 + 147,28 \angle -25,84^\circ \frac{2,24178}{74,475^\circ}$$

$$E_a = 2829,02 + 330,17 \angle 48,635^\circ \text{ V}$$

$$E_a = 2829,02 + 330,17 (\cos 48,635 + \sin j 48,635) \text{ V}$$

$$E_a = 2829,02 + 330,17 (0,66 + j 0,75)$$

$$E_a = 2829,02 + (217,91 + j 177,075)$$

$$E_a = 3046,96 + j 177,075$$

$$E_a = 3046,96 \angle 1,23^\circ$$

Daya input generator sinkron dengan menggunakan persamaan (3.5),

maka diperoleh:

$$P_{in} = 3E_a I_a \cos \varphi$$

$$P_{in} = 3 \cdot 3046,96 \cdot 147,28 \cdot 0,9$$

$$P_{in} = 121163 \text{ W}$$

$$P_{in} = 1211,63 \text{ kW}$$

Putaran mekanik generator sinkron berdasarkan persamaan (3.9),

maka diperoleh:

$$\omega_m = n_m \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \left( \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ r}} \right)$$

$$\omega_m = (1500 \text{ r/min}) \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \left( \frac{2 \cdot 3,14 \text{ rad}}{1 \text{ r}} \right)$$

$$\omega_m = 157 \text{ rad/s}$$

Torsi dengan menggunakan persamaan (3.8), diperoleh:

$$\tau_{ind} = \frac{3V_l E_a \sin \delta}{\omega_m X_s}$$

$$\tau_{ind} = \frac{3 \cdot 2829,02 \cdot 3046,96 \cdot 0,03}{157 \cdot 2,160}$$

$$\tau_{ind} = 2287,66 \text{ Nm}$$

Efisiensi generator sinkron berdasarkan persamaan (3.11), diperoleh :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$



$$\eta = \frac{1125 \text{ kW}}{1211,63 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$\eta = 92,85 \%$$

### **b. Perhitungan Pada Saat Generator Berbeban**

Berikut perhitungan generator berbeban GTG A pada tanggal 07 Desember 2017 pada pukul 02.00 AM.

Frekuensi generator sinkron dengan menggunakan persamaan (3.1),

diperoleh:

$$f = \frac{n_m P}{120} = \frac{1.498 \cdot 4}{120} = 49,93 \text{ Hz}$$

Putaran mekanik generator sinkron dengan menggunakan persamaan

(3.2), diperoleh:

$$n_m = \frac{f \cdot 120}{P} = \frac{49,93 \cdot 120}{4} = 1498 \text{ rpm}$$

Daya semu generator sinkron dengan menggunakan persamaan (3.4),

diperoleh:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{334^2 + 150^2}$$

$$S = 336 \text{ kVA}$$

Faktor daya generator sinkron dengan menggunakan persamaan

(3.3), diperoleh:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$\cos \varphi = \frac{334 \text{ kW}}{336 \text{ kVA}}$$

$$\cos \varphi = 0,9$$

Daya output yang dihasilkan generator sinkron dengan menggunakan persamaan (3.6), diperoleh:

$$P_{out} = S \cdot \cos \varphi = 334 \text{ kVA} \cdot 0,9 = 300 \text{ kW}$$

Arus medan generator sinkron dengan menggunakan persamaan

(3.10), diperoleh:

$$I_a = \frac{S}{\sqrt{3}V_T} = \frac{334 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 4,9 \text{ kV}} = \frac{334 \text{ kVA}}{1,73 \cdot 4,9 \text{ kV}} = 39,4 \text{ A}$$

Tegangan Line to line dengan menggunakan persamaan (2.11),

diperoleh:

$$V_l = \frac{V_T}{\sqrt{3}} = \frac{4900 \text{ V}}{1,73} = 2832 \text{ V}$$

GGL yang dibangkitkan generator sinkron berdasarkan persamaan

(2.6), maka diperoleh:

$$E_a = V_l + I_a (R_a + jX_s)$$

$$E_a = 2832 \angle 0^\circ + 39,4 \angle -25,84^\circ (0,6 + j2,160)$$

$$E_a = 2832 \angle 0^\circ + 39,4 \angle -25,84^\circ \frac{\sqrt{(0,60)^2 + (2,160)^2}}{\tan^{-1} \frac{2,160}{0,60}}$$

$$E_a = 2832 + 39,4\angle -25,84^\circ \frac{\sqrt{0,36 + 4,6656}}{\arctan 3,6}$$

$$E_a = 2832 + 39,4\angle -25,84^\circ \frac{2,24178}{74,475^\circ}$$

$$E_a = 2832 + 88,32\angle 37,615^\circ V$$

$$E_a = 2832 + 88,32 (\cos 37,615 + \sin j 37,615) V$$

$$E_a = 2832 + 88,32 (0,792 + j 0,61)$$

$$E_a = 2832 + j 86,698$$

$$E_a = 2901\angle 0,57^\circ$$

$$E_a = 2901 V$$

Daya input generator sinkron dengan menggunakan persamaan (3.5),

maka diperoleh:

$$P_{in} = 3E_a I_a \cos \varphi$$

$$P_{in} = 3 \cdot 2901 \cdot 39,4 \cdot 0,9$$

$$P_{in} = 308,60 kW$$

Putaran mekanik generator sinkron berdasarkan persamaan (3.9),

maka diperoleh:

$$\omega_m = n_m \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \left( \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ r}} \right)$$

$$\omega_m = (1498 \text{ r/min}) \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \left( \frac{2 \cdot 3,14 \text{ rad}}{1 \text{ r}} \right)$$

$$\omega_m = 156,79 \text{ rad/s}$$

Torsi dengan menggunakan persamaan (3.8), diperoleh:

$$\tau_{ind} = \frac{3V_l E_a \sin \delta}{\omega_m X_s}$$

$$\tau_{ind} = \frac{3 \cdot 2832 \cdot 2901 \cdot 0,0099}{156,79 \cdot 2,160}$$

$$\tau_{ind} = 720,48 \text{ Nm}$$

Efisiensi generator sinkron berdasarkan persamaan (3.11), diperoleh :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{300 \text{ kW}}{308,60 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$\eta = 97,21\%$$

Sedangkan berikut adalah perhitungan generator berbeban GTG B pada tanggal 07 Desember 2017 pada pukul 02.00 AM.

Frekuensi generator sinkron dengan menggunakan persamaan (3.1),

diperoleh:

$$f = \frac{n_m P}{120} = \frac{1500 \cdot 4}{120} = 50 \text{ Hz}$$

Putaran mekanik generator sinkron dengan menggunakan persamaan

(3.2), diperoleh:

$$n_m = \frac{f \cdot 120}{P} = \frac{50 \cdot 120}{4} = 1500 \text{ rpm}$$

Daya semu generator sinkron dengan menggunakan persamaan (3.4),

diperoleh:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{339^2 + 160^2}$$

$$S = 494 \text{ kVA}$$

Faktor daya generator sinkron dengan menggunakan persamaan

(3.3), diperoleh:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$\cos \varphi = \frac{339 \text{ kW}}{494 \text{ kVA}}$$

$$\cos \varphi = 0,9$$

Daya output yang dihasilkan generator sinkron dengan menggunakan persamaan (3.6), diperoleh:

$$P_{out} = S \cdot \cos \varphi = 494 \text{ kVA} \cdot 0,9 = 447 \text{ kW}$$

Arus medan generator sinkron dengan menggunakan persamaan

(3.10), diperoleh:

$$I_a = \frac{S}{\sqrt{3}V_T} = \frac{494 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 4,9 \text{ kV}} = \frac{494 \text{ kVA}}{1,73 \cdot 4,9 \text{ kV}} = 58,27 \text{ A}$$

Tegangan Line to line dengan menggunakan persamaan (2.11),

diperoleh:

$$V_l = \frac{V_T}{\sqrt{3}} = \frac{4900 \text{ V}}{1.73} = 2832 \text{ V}$$

GGL yang dibangkitkan generator sinkron berdasarkan persamaan (2.6), maka diperoleh:

$$E_a = V_l + I_a (R_a + jX_s)$$

$$E_a = 2832 \angle 0^\circ + 58,27 \angle -32,85^\circ (0,28 + j1,945)$$

$$E_a = 2832 \angle 0^\circ + 58,27 \angle -32,85^\circ \frac{\sqrt{(0,28)^2 + (1,945)^2}}{\tan^{-1} \frac{1,945}{0,28}}$$

$$E_a = 2832 + 58,27 \angle -32,85^\circ \frac{\sqrt{0,0784 + 3,783025}}{\arctan 6,946}$$

$$E_a = 2832 + 58,27 \angle -32,85^\circ \frac{1,965}{81,8^\circ}$$

$$E_a = 2832 + 114,5 \angle 48,95^\circ \text{ V}$$

$$E_a = 2832 + 114,5 (\cos 48,95 + \sin j 48,95) \text{ V}$$

$$E_a = 2832 + 114,5 (0,656 + j 0,75)$$

$$E_a = 2907 + j 122,9$$

$$E_a = 2907 \angle 0,846^\circ$$

$$E_a = 2907 \text{ V}$$

Daya input generator sinkron dengan menggunakan persamaan (3.5), maka diperoleh:

$$P_{in} = 3E_a I_a \cos \varphi$$

$$P_{in} = 3 \cdot 2907,58,27 \cdot 0,9$$

$$P_{in} = 457,35 \text{ kW}$$

Putaran mekanik generator sinkron berdasarkan persamaan (3.9),

maka diperoleh:

$$\omega_m = n_m \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \left( \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ r}} \right)$$

$$\omega_m = (1500 \text{ r/min}) \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) \left( \frac{2 \cdot 3,14 \text{ rad}}{1 \text{ r}} \right)$$

$$\omega_m = 157 \text{ rad/s}$$

Torsi dengan menggunakan persamaan (3.8), diperoleh:

$$\tau_{ind} = \frac{3V_l E_a \sin \delta}{\omega_m X_s}$$

$$\tau_{ind} = \frac{3 \cdot 2832 \cdot 2907 \cdot 0,0147}{157 \cdot 1,945}$$

$$\tau_{ind} = 1188,93 \text{ Nm}$$

Efisiensi generator sinkron berdasarkan persamaan (3.11), diperoleh :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{447 \text{ kW}}{457 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$\eta = 97,8\%$$

Kondisi generator sinkron saat berbeban seperti tabel 4.7, dihitung seperti cara diatas dan didapat hasil perhitungannya seperti tabel dibawah ini.

**Tabel 4.8** Hasil Perhitungan Generator Sinkron Kondisi Berbeban

Tanggal 07 Desember 2017 (GTG A)

Data yang Diperoleh					Hasil Perhitungan Data		
Jam	rpm	Daya (kW)	Arus (A)	Tegangan (V)	Ea (V)	$\tau_{ind}$ (Nm)	$\eta$ (%)
02.00	1498	334	39,4	4900	2901	720,48	97,21
08.00	1500	288	37,88	4900	2904	722,11	98,2
14.00	1499	285	37,80	4900	2907	725,4	98,4
22.00	1500	333	39,39	4900	2903	721,9	97,5

Tanggal 07 Desember 2017 (GTG B )

Data yang Diperoleh					Hasil Perhitungan Data		
Jam	rpm	Daya (kW)	Arus (A)	Tegangan (V)	Ea (V)	$\tau_{ind}$ (Nm)	$\eta$ (%)
02.00	1.500	339	39,6	4900	2905	723,1	97,20
08.00	1.500	284	38,76	4900	2901	722,2	97,14
14.00	1.500	290	38,9	4900	2906	720,8	97,51
22.00	1.500	321	39,3	4900	2904	725,2	97,60



Tanggal 10 Desember 2017 (GTG A)

Data yang Diperoleh					Hasil Perhitungan Data		
Jam	Rpm	Daya (kW)	Arus (A)	Tegangan (V)	Ea (V)	$\tau_{ind}$ (Nm)	$\eta$ (%)
02.00	1.500	333	39,39	4900	2910	723,4	98,20
08.00	1.498	277	37,75	4900	2906	723,5	98,11
14.00	1.500	284	38,76	4900	2903	722,11	97,55
22.00	1.499	332	39,37	4900	2911	724,1	97,34

Tanggal 10 Desember 2017 (GTG B)

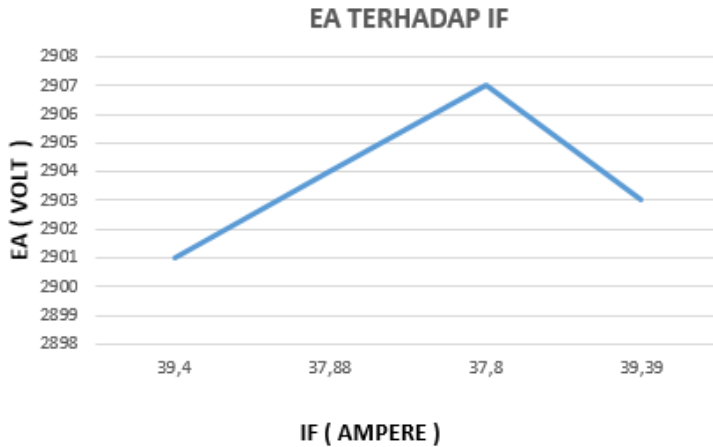
Data yang Diperoleh					Hasil Perhitungan Data		
Jam	rpm	Daya (kW)	Arus (A)	Tegangan (V)	Ea (V)	$\tau_{ind}$ (Nm)	$\eta$ (%)
02.00	1.498	347	39,51	4900	2914	721,1	98,10
08.00	1.500	286	37,82	4900	2907	720,2	97,32
14.00	1.500	280	37,79	4900	2911	722,8	97,30
22.00	1.498	319	39,3	4900	2910	721,2	98,01

Tanggal 17 Desember 2017 (GTG A )

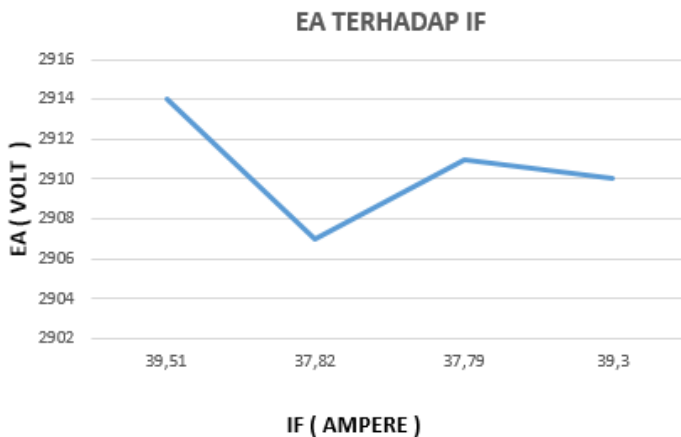
Data yang Diperoleh					Hasil Perhitungan Data		
Jam	rpm	Daya (kW)	Arus (A)	Tegangan (V)	Ea (V)	$\tau_{ind}$ (Nm)	$\eta$ (%)
02.00	1.498	334	60,9	4900	2911	724,4	98,20
08.00	1.500	288	60	4900	2903	722,1	97,60
14.00	1.499	285	63,1	4900	2904	721,8	97,55
22.00	1.500	333	62,7	4900	2910	724,2	98,17

Tanggal 17 Desember 2017(GTG B)

Data yang Diperoleh					Hasil Perhitungan Data		
Jam	rpm	Daya (kW)	Arus (A)	Tegangan (V)	Ea (V)	$\tau_{ind}$ (Nm)	$\eta$ (%)
02.00	1.500	339	82	4900	2913	724,1	98,25
08.00	1.500	284	81,6	4900	2903	720,2	97,87
14.00	1.500	290	81,6	4900	2906	721,8	98,10
22.00	1.500	321	82,7	4900	2904	724,2	98,02

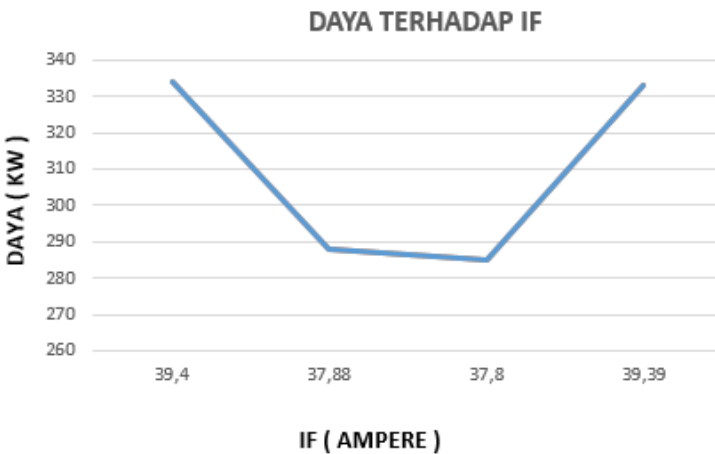


**Gambar 4.1** Hubungan antara GGL Induksi ( $E_a$ ) Terhadap Arus Medan ( $I_f$ ) saat Faktor Daya Lagging

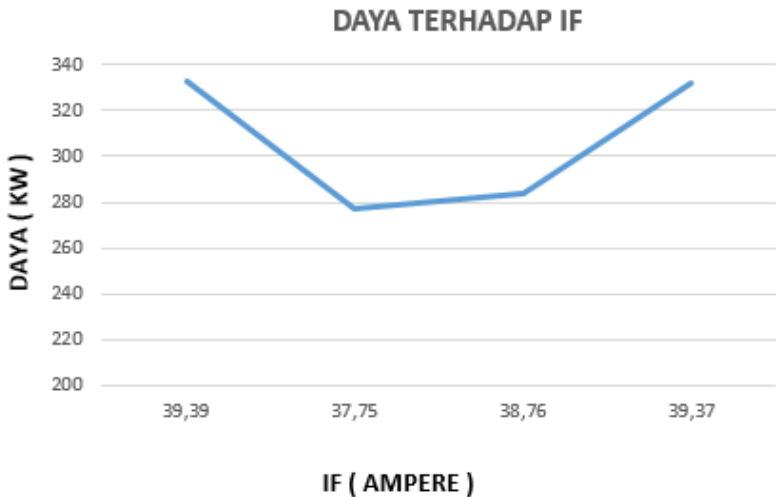


**Gambar 4.2** Hubungan antara GGL Induksi ( $E_a$ ) Terhadap Arus Medan ( $I_f$ ) saat Faktor Daya Leading

Pada gambar 4.1 dan 4.2 di atas terlihat bahwa jika arus eksitasi atau arus medan dinaikan sesuai dengan penambahan beban, maka ggl induksi yang terbangkitkan juga akan bertambah besar. Dengan berubahnya arus eksitasi sehingga akan merubah tegangan ggl induksi, yang akhirnya akan diperoleh tegangan terminal yang tetap.



**Gambar 4.3** Hubungan antara GGL Induksi (Daya) Terhadap Arus Beban ( $I_a$ ) saat Faktor Daya Lagging



**Gambar 4.4** Hubungan antara GGL Induksi (Daya) Terhadap Arus Beban ( $I_a$ ) saat Faktor Daya Leading

Pada Gambar 4.4 dan 4.5 di atas terlihat bahwa jika arus beban bertambah yang di akibatkan dari penambahan beban maka arus eksitasi juga harus bertambah karena untuk menjaga agar tegangan terminal selalu dalam keadaan stabil atau konstan.

Berdasarkan hasil grafik diatas antara hubungan GGL induksi dengan arus beban, hubungan GGL induksi dengan arus medan dan hubungan arus medan dengan arus beban, dapat

dilihat bahwa semakin bertambahnya beban maka GGL induksi juga akan naik dan arus eksitasi juga naik untuk menjaga agar tegangan terminal tetap stabil.

Sistem eksitasi sebagai penguatan pada generator listrik atau sebagai pembangkit medan magnet, sehingga suatu generator dapat menghasilkan energi listrik dengan besar tegangan keluaran generator bergantung pada besarnya arus eksitasinya. Sistem eksitasi yang baik dapat menyebabkan sistem mampu bertahan terhadap gangguan sehingga dapat meningkatkan kestabilan

Saat generator dihubungkan dengan beban akan menyebabkan tegangan keluaran generator akan turun, karena medan magnet yang dihasilkan dari arus penguat relatif konstan. Agar tegangan generator konstan, maka harus ada peningkatan arus penguatan sebanding dengan kenaikan beban.