

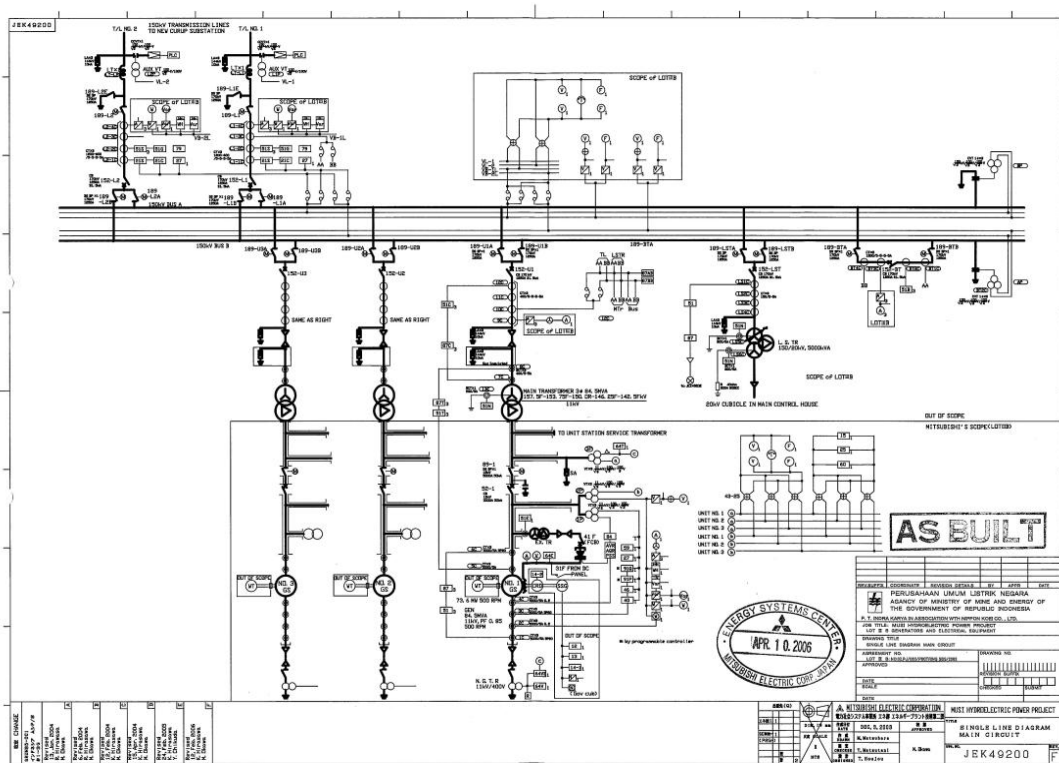
BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Sistem Eksitasi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Musi

4.1.1. Umum

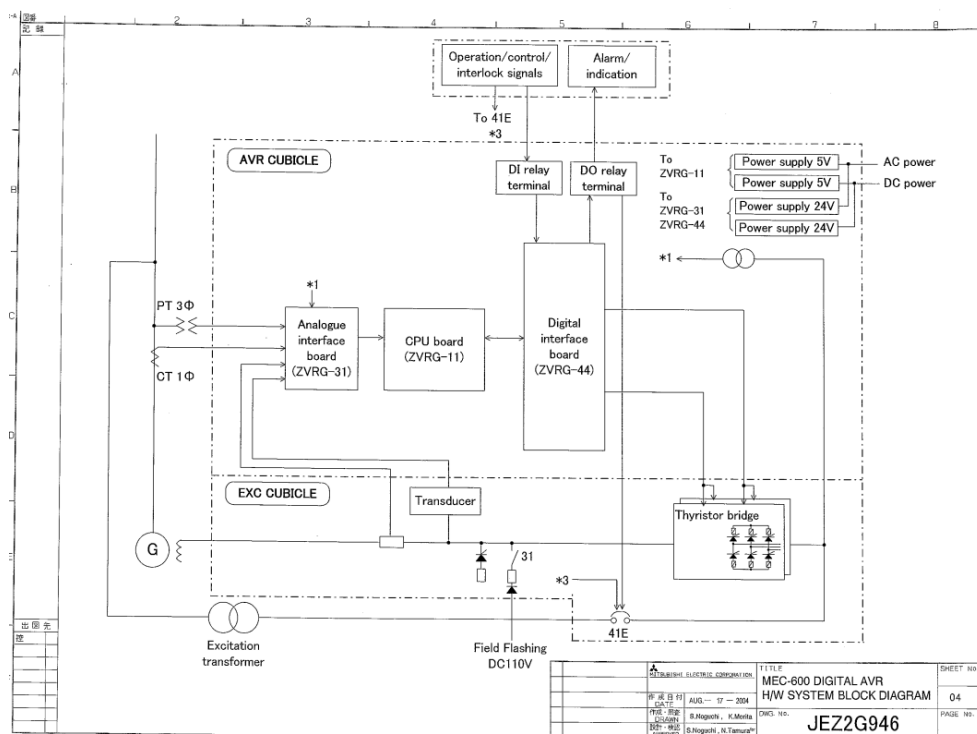
Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Musi merupakan pembangkit listrik tenaga air dengan tipe *Run of River* (RoR) yang memanfaatkan aliran sungai musi di sebelah hulu. PLTA Musi merupakan salah satu unit pembangkitan yang dikelola oleh PT. PLN Persero Sektor Bengkulu yang mensuplai listrik untuk *substation* Curup dan dikirimkan ke sistem interkoneksi sumatera bagian selatan. Pada pembangkit listrik PLTA Musi terdapat tiga unit generator sinkron dengan kapasitas 3 x 70 MW. Dan mampu menghasilkan energi listrik sebesar 1.140 GWH/tahun.



Gambar 4.1 Single Line Diagram Main Circuit PLTA Musi

Pada PLTA Musi, sistem eksitasi menggunakan jenis eksitasi dengan sikat (*brush excitation*). Di mana sistem eksitasi jenis ini menggunakan *slip ring* dan *carbon brush* sebagai media penyaluran arus eksitasi ke generator. Dan sistem eksitasi PLTA Musi menggunakan tegangan keluaran generator itu sendiri sebagai sumber eksitasi sehingga sering disebut dengan *self excitation*. Sistem eksitasi *self excitation* merupakan sistem eksitasi yang tidak memerlukan generator tambahan sebagai sumber eksitasi generator sinkron. Sumber eksitasi pada sistem eksitasi statis berasal dari tegangan output generator itu sendiri yang disearahkan terlebih dahulu dengan menggunakan penyearah *thyristor*. Namun jika kondisi generator dalam keadaan mati dan akan dinyalakan maka untuk injeksi awal arus eksitasi menggunakan baterai. Hal itu dinamakan kondisi *field flashing* yaitu kondisi di mana generator belum mampu untuk menghasilkan tegangan keluaran. Dan setelah tegangan keluaran generator mencapai 5% dari tegangan nominal maka *thyristor* pada *automatic voltage regulator* (AVR) akan bekerja dan menaikkan hingga mencapai nilai tegangan nominalnya yaitu sebesar 11 kV.

Berikut ini merupakan skema sistem eksitasi pada PLTA Musi:



Gambar 4.2 Skema Sistem Eksitasi Pada PLTA Musi

4.1.2. Peralatan Sistem Eksitasi PLTA Musi

Peralatan utama pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Musi yang digunakan dalam sistem eksitasi dan spesifikasinya adalah sebagai berikut:

1. Sistem Eksitasi

Sistem eksitasi pada PLTA Musi menggunakan sistem eksitasi statik, yakni sumber arus eksitasi yang digunakan diambil dari keluaran generator itu sendiri. Sedangkan dalam pemyaluran arus eksitasi ke generator menggunakan media *slip ring* dan sikat arang (*carbon brush*). Berikut ini adalah spesifikasi sistem eksitasi yang digunakan pada PLTA Musi.

Tabel 4.1 Spesifikasi Sistem Eksitasi PLTA Musi

a.	Generator rated output	84,500 kVA
b.	Generated rated voltage	11 kV
c.	Generator rated current	4,435 A
d.	Generator rated frequency	50 Hz
e.	Rated field current	1295 A
f.	No-load field current	640 A
g.	Rated field voltage	118 V
h.	No-load field voltage	62 V
i.	Rated converter supply voltage	171 V
j.	Nominal voltage response time	0,05 sec
k.	Celling voltage under rated load conditions	341 volt

2. Generator

Generator berfungsi untuk menghasilkan daya listrik yang ditransmisikan ke jaringan interkoneksi Sumatera bagian selatan, pemakaian sendiri dan mencatu daya sistem eksitasi generator itu sendiri. Dan karena sistem eksitasi yang digunakan pada PLTA Musi merupakan tipe *self excitation* yang menggunakan media *slip ring* dan sikat arang (*carbon brush*) maka keluaran dari generator itu sendiri akan digunakan sebagai sumber tegangan untuk sistem eksitasi generator tersebut. Berikut adalah spesifikasi dari generator di PLTA Musi.

Tabel 4.2 Spesifikasi Generator PLTA Musi

a.	Rated output	84,500 kVA
b.	Rated voltage	11 kV
c.	Rated current	4,435 A
d.	Rated frequency	50 Hz
e.	Rated speed	500 rpm
f.	Rated power factor	0.85 lagging
		1.3 pu
g.	Standard	IEC 60034-1 (1992)
h.	Rating	Continuous
i.	Phase	3
j.	Pole	12
k.	Max. Runaway Speed	830 rpm

l.	Serial No.	03GRUNO1
m.	Ex. Voltage	170 V
n.	Protection	IP40
o.	Primary Winding Connection	2 Λ
p.	Insulation	Class F
q.	Date	MAR-2005

3. Battery

Battery berfungsi sebagai sumber catu daya sistem eksitasi pada saat *starting* awal. Di mana pada proses ini generator belum mampu untuk menghasilkan tegangan sendiri sebagai sumber eksitasi. Sehingga diperlukan *battery* sebagai pensuplai untuk sistem eksitasi generator. Berikut spesifikasi generator yang digunakan pada PLTA Musi.

Tabel 4.3 Spesifikasi *Battery* PLTA Musi

a.	Type	Nickel Cadmium Alkaline
b.	Capacity at 5-hour rating	
	- For main control house	615 Ah
	- For underground power house	700 Ah
c.	Number of cell	86 cells
d.	Rated voltage	110 VDC

4. *Battery Charger*

Battery Charger berfungsi untuk mengisi ulang kembali baterai pada PLTA Musi yang digunakan sebagai catu daya *starting* awal sistem eksitasi. Berikut ini adalah spesifikasi dari *batteri charger* pada PLTA Musi.

Tabel 4.4 Spesifikasi *Battery Charger* PLTA Musi

a.	AC input voltage	400 V three-phase
b.	Rated DC output voltage	110 V
c.	Rated DC Output Current	
	- For main control house	200 A
	- For underground power house	300 A
d.	DC output voltage adjustable range	
	- Floating charge voltage	120,4 V
	- Equalizing charge voltage	137,6 V

5. *Excitation Transformer*

Excitation Transformer atau transformator eksitasi berfungsi untuk menurunkan tegangan keluaran generator dari tegangan 11 kV tiga fasa menjadi tegangan 280 VAC. Yang kemudian akan disearahkan menjadi 110 VDC. Adapun spesifikasi dari transformator eksitasi yang digunakan pada PLTA Musi adalah sebagai berikut.

Tabel 4.5 Spesifikasi *Excitation Transformer* PLTA Musi

a.	Rated power	650 kVA
b.	Primary voltage	11 kV \pm 2.5 % , 5.0 %

c.	Secondary voltage	280 V
d.	Rated frequency	50 Hz
e.	Impedance voltage	6.0 %
f.	Transformer connection	Yd11

6. Thyristor Rectifier

Thyristor rectifier merupakan peralatan yang berfungsi untuk menyalurkan tegangan 3 fasa keluaran dari trafo eksitasi dari 280 VAC menjadi 110VDC. Tegangan 110 VDC inilah yang digunakan sebagai sumber arus eksitasi pada generator sinkron di PLTA Musi. Dengan menggunakan penyearah *thyristor*, maka besarnya arus eksitasi dapat diatur dengan cara mengatur sudut penyalan *thyristor*. Berikut ini adalah spesifikasi dari *thyristor rectifier* yang digunakan oleh PLTA Musi.

Tabel 4.6 Spesifikasi *Thyristor Rectifier*

No	Item	Specification
a.	Type	3 phase full bridge
b.	Number of parallels	2 parallels
c.	Construction	Easy accessible panel type

7. Alat Proteksi

Dalam sistem eksitasi terdapat alat pengaman yang mengamankan komponen dan peralatan penting lainnya dari kerusakan. Pada sistem eksitasi di PLTA Musi terdapat alat pengaman antara lain adalah *surge absorber* dan *field circuit breaker*. *Surge absorber* merupakan alat proteksi yang berfungsi untuk melindungi *thyristor* dari tegangan lebih (*over voltage*). Sedangkan *field circuit breaker* berfungsi sebagai pemutus apabila terjadi gangguan pada sistem eksitasi. Berikut ini adalah spesifikasi dari *field circuit breaker*.

Tabel 4.7 Spesifikasi *Field Circuit Breaker*

No.	Item	Rating
a.	Type	AT20
b.	Rated voltage	690 V
c.	Rated Current	2000 A
d.	Interrupting current	45 kA

8. *Automatic Voltage Regulator*

Automatic voltage regulator (AVR) adalah peralatan yang berfungsi untuk mengatur tegangan yang akan diinjeksikan ke generator. Berikut ini adalah spesifikasi dari AVR yang digunakan pada PLTA Musi.

Tabel 4.8 Spesifikasi *Automatic Voltage Regulator*

No.	Item	Specification
a.	Type	Digital
b.	Setting range at auto mode	$\pm 5\%$ of generator rated voltage (on load), 50 % to 110 % of generator rated voltage (no load)
c.	Setting range at manual mode	25 % of generator rated field current/voltage at generator no load to 120 % of rated field current/voltage at generator rated load.
d.	Voltage accuracy	$\pm 0.5\%$ or less
e.	Sampling time	10 ms

4.1.3. Prinsip Kerja Sistem Eksitasi PLTA Musi

Berdasarkan pengamatan dan studi yang dilakukan di PLTA Musi diperoleh hasil bahwa generator yang digunakan pada PLTA Musi tidak menggunakan magnet permanen. Maka dari itu, medan magnet yang digunakan untuk membangkitkan tegangan induksi diperoleh dengan cara menginjeksikan arus DC pada kumparan medan yang terdapat pada rotor digenerator tersebut melalui media *slip ring* dan sikat arang (*carbon brush*).

PLTA Musi memiliki tipe sistem eksitasi statis, yaitu arus eksitasi didapatkan dari tegangan keluaran dari generator itu sendiri yang telah diturunkan dan disearahkan dalam perjalanannya dari tegangan AC tiga fasa menjadi sistem tegangan DC. Dan tegangan DC inilah yang digunakan untuk menginjeksikan ke kumparan medan rotor generator.



Gambar 4.3 *Slip Ring* dan *Carbon Brush* PLTA Musi

Gambar 4.3 di atas merupakan gambar dari *slip ring* dan *carbon brush* yang digunakan di PLTA Musi. Pada setiap generator terdapat masing masing 24

carbon brush yang dihubungkan ke *slip ring* yang digunakan untuk menyalurkan arus DC.

Pada prosesnya, tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator PLTA Musi adalah sebesar 11 kV 3 fasa dan merupakan tegangan bolak-balik. Dan karena tegangan yang dibutuhkan untuk sistem eksitasi adalah tegangan DC, maka tegangan tersebut diturunkan dan disearahkan terlebih dulu.

Tegangan terminal keluaran generator sebesar 11 kV 3 fasa AC terlebih dahulu diturunkan menggunakan *transformer step down* eksitasi menjadi tegangan 280 VAC 3 fasa. Selanjutnya tegangan 3 fasa sebesar 280 VAC ini disearahkan dan diturunkan lagi oleh *converter AC to DC* menggunakan *rectifier*. Sehingga keluaran dari *rectifier* dihasilkan tegangan DC 110 Volt. Tegangan 110 VDC ini yang akan diinjeksikan ke kumparan medan rotor generator melalui *carbon brush* dan *slip ring* untuk membangkitkan medan magnet pada rotor generator sinkron tersebut.



Gambar 4.4 *Excitation Transformer* Pada PLTA Musi

Namun, untuk kondisi *starting* awal, di mana generator belum mampu menghasilkan tegangan keluaran, maka energi yang digunakan untuk sistem eksitasi diambil dari baterai yang terletak di ruang baterai PLTA Musi. Proses ini dinamakan dengan proses *field flashing*. Pada PLTA Musi, baterai yang digunakan memiliki tegangan 1.5 Volt dan arus 700 Ah untuk setiap unitnya. Baterai ini tersusun secara seri sebanyak 86 unit yang terletak di ruang baterai. Sehingga tegangan total dari generator tersebut mampu untuk menginjeksikan arus ke rotor generator.



Gambar 4.5 Baterai Pada PLTA Musi

Pada proses *field flashing* baterai menginjeksikan arus inisial eksitasi ke rotor generator. Dengan adanya arus inisial ini maka generator akan menghasilkan tegangan keluaran. Dan ketika tegangan keluaran generator telah mencapai 5% dari tegangan nominalnya, maka *thyristor* akan mulai bekerja dan menaikkan tegangan hingga mencapai nilai tegangan nominalnya yaitu sebesar 11 kV.

Kemudian arus eksitasi yang tersedia telah mencapai 25% dari arus eksitasi tanpa beban, maka *contactor* yang menghubungkan antara baterai dengan rotor generator akan terbuka, sehingga sistem eksitasi akan dicatu daya oleh tegangan keluaran generator itu sendiri, tentunya setelah tegangan keluaran generator tersebut diturunkan menggunakan transformator eksitasi dan disearahkan dengan menggunakan *thyristor rectifier*. Besarnya arus eksitasi pada saat beban nol dari generator ini adalah sebesar 640 ADC.

Setelahnya untuk pengaturan besarnya arus eksitasi yang diinjeksikan ke rotor generator akan diatur oleh AVR. Avr ini akan mengontrol proses *switching* sistem eksitasi dengan cara mengatur besarnya tegangan atau arus yang diinjeksikan pada terminal *gate* di *thyristor*.



Gambar 4.6 Panel AVR, *Surge Absorber*, dan *Thyristor* di PLTA Musi

4.2. Analisa Karakteristik Sistem Eksitasi Generator Sinkron di PLTA Musi

Pada analisa mengenai pengaruh pembebanan terhadap arus eksitasi pada PLTA Musi digunakan data operasi harian PLTA musi terkait dengan tegangan generator, daya beban, arus jangkar dan arus eksitasi. Data yang dianalisa dalam pembahasan kali ini yaitu data operasi harian PLTA Musi yang diambil dan diamati selama 25 hari dimulai dengan tanggal 1 Juli 2016 hingga 25 Juli 2016. Berikut data rata-rata operasi harian PLTA Musi.

Tabel 4.9 Data Operasi Harian PLTA Musi 1 Juli 2016 Hingga 25 Juli 2016

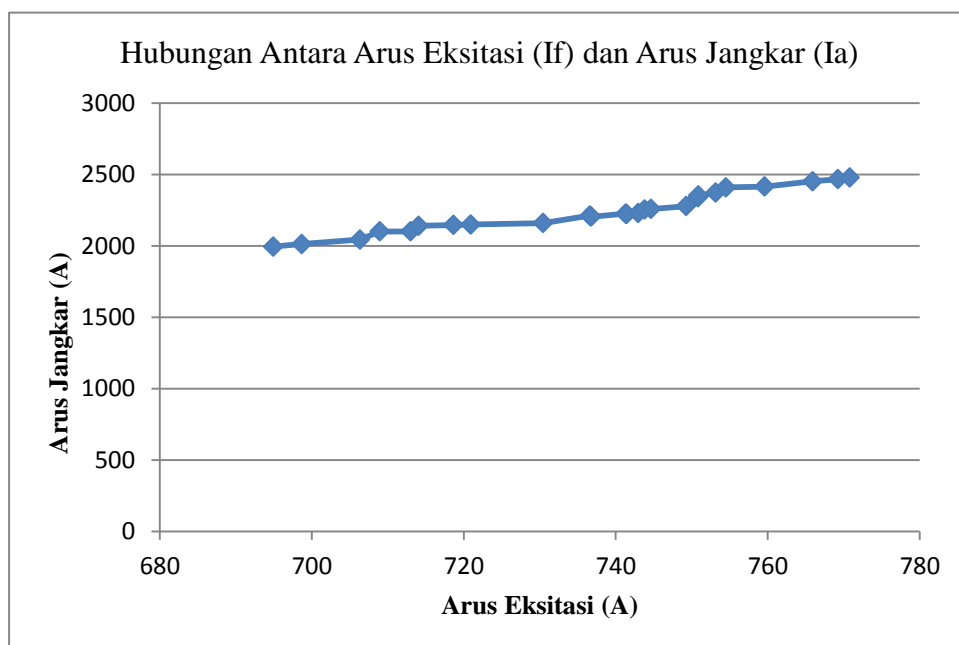
Hari Ke	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Frekuensi (Hz)	Vout Generator (kV)	Arus Jangkar (A)	Tegangan Eksitasi (V)	Arus Eksitasi (A)	Faktor Daya
1	40.42	10.64	50.21	10.54	2338.9	68.64	750.83	0.85
2	41.87	10.42	50.23	10.61	2414.77	70.11	759.59	0.85
3	42.77	8.98	50.23	10.65	2466.09	70.73	769.22	0.85
4	42.44	7.51	50.17	10.62	2451.16	67.79	765.89	0.85
5	41.53	7.31	50.17	10.55	2371.95	68.08	753.15	0.85
6	38.96	6.72	50.23	10.52	2222.18	66.27	741.42	0.85
7	39.45	5.22	50.19	10.53	2227.81	67.46	742.96	0.85
8	37.19	7.04	50.24	10.47	2139.48	67.27	714.05	0.85
9	39.66	6.98	50.26	10.53	2253.02	66.11	743.79	0.85

Hari Ke	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Frekuensi (Hz)	Vout Generator (kV)	Arus Jangkar (A)	Tegangan Eksitasi (V)	Arus Eksitasi (A)	Faktor Daya
10	40.08	4.09	50.19	10.53	2257.29	66.39	744.62	0.85
11	37.1	5.15	50.26	10.46	2100.29	62.05	712.98	0.85
12	38.33	7.87	50.21	10.49	2211.25	65.16	736.6	0.85
13	37.63	9.33	50.25	10.48	2149.06	68.17	720.91	0.85
14	39.02	7.69	50.23	10.5	2225.02	67.66	741.32	0.85
15	37.92	6.01	50.27	10.49	2203.19	64.11	736.77	0.85
16	37.21	8.89	50.27	10.47	2145.38	66.63	718.63	0.85
17	37.73	6.05	50.29	10.49	2158.76	65.34	730.43	0.85
18	41.61	6.7	50.24	10.57	2408.8	66.93	754.49	0.85
19	35.73	4.96	50.29	10.39	2043.42	63.09	706.35	0.85
20	35.29	4.27	50.31	10.37	2011.7	60.86	698.68	0.85
21	35.13	5.57	50.26	10.36	1994.13	63.79	694.92	0.85
22	40.24	4.85	50.24	10.54	2277.73	62.55	749.25	0.85
23	43.4	6.49	50.28	10.68	2478.19	68.31	770.8	0.85

Hari Ke	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Frekuensi (Hz)	Vout Generator (kV)	Arus Jangkar (A)	Tegangan Eksitasi (V)	Arus Eksitasi (A)	Faktor Daya
24	36.54	4.89	50.27	10.42	2100.14	62.27	708.94	0.85
25	41.53	7.33	50.26	10.54	2351.81	68.09	750.89	0.85

4.2.1. Hubungan Arus Eksitasi Terhadap Arus Jangkar

Data di atas merupakan data operasi harian yang akan digunakan dalam menganalisa karakteristik sistem eksitasi generator sinkron di PLTA Musi. Dari data di atas, karakteristik pertama yang akan dianalisa adalah hubungan antara arus eksitasi terhadap arus jangkar generator. Dan dari tabel 4.8 dapat dibuat grafik hubungan antara arus eksitasi dan arus jangkar sebagai berikut.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Arus Eksitasi dan Arus Jangkar Generator Sinkron PLTA Musi

Dari grafik hubungan arus jangkar (I_a) dan arus eksitasi (I_f) dapat disimpulkan bahwa arus eksitasi sebanding dengan arus jangkar pada generator. Semakin besar arus eksitasi maka akan semakin besar juga arus jangkar pada generator sinkron. Sehingga nilai dari arus eksitasi berubah-ubah sesuai dengan nilai arus eksitasi yang diinjeksikan ke kumparan rotor generator. Dan dari data tabel 4.8 di atas dapat kita lihat hubungan antara arus eksitasi dan arus jangkar terhadap pembebanan pada generator sinkron. Dalam hubungan ini, data yang digunakan adalah daya aktif pada generator sinkron, arus eksitasi dan arus jangkar.

4.2.2. Pengaruh Fluktuasi Tegangan

Untuk mengetahui fluktuasi tegangan maka perlu di cari terlebih dahulu ggl induksi (E_a) dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$V = E_a - jX_s I_a - R_a I_a (\text{Volt})$$

Dalam menentukan ggl induksi salah satunya ditentukan oleh reaksi jangkar dan reaktansi jangkar ini ditentukan oleh arus jangkar dan resistansi jangkar sehingga akan menyebabkan jatuh tegangan. Namun pada praktiknya, ini diabaikan karena nilainya yang sangat kecil. Sehingga untuk mencari nilai dari ggl induksi (E_a) rumusnya menjadi sebagai berikut:

$$E_a = V - jX_s I_a (\text{Volt})$$

Dari data operasi harian tabel 4.8 dan dengan spesifikasi dari generator dapat ditentukan nilai dari E_a generator tersebut. Berikut ini adalah data spesifikasi yang dibutuhkan:

$$X_s : 1.3 \text{ pu}$$

$$V : 11 \text{ kV} = 11000 \text{ Volt}$$

$$I : 4435 \text{ A}$$

Dari data di atas dapat ditentukan impedansi (Z_{base}) dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} Z_{base} &= \frac{V_{base}/\sqrt{3}}{I_{base}} \\ &= \frac{11000\sqrt{3}}{4435} \\ &= 1.43 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_s \text{ (dalam Ohm)} &= 1.3 \times 1.43 \Omega \\ &= 1.86 \Omega \end{aligned}$$

Dari data tabel diketahui sebagai berikut:

$$\begin{aligned} - \text{ Data ke-1 : } \quad V_t &= 10.54 \text{ kV} = 10540 \text{ Volt} \\ & \\ & \quad I_a = 2338.9 \text{ A} \\ \text{Maka diperoleh} \quad E_a &= V + jI_a X_s \\ &= 10540 + (j2338.9 \times 1.86) \\ &= 11402.5 \angle 22.6^\circ \\ &= 11.4 \text{ kV} \end{aligned}$$

- Data ke-2 :
- $$V_t = 10.61 \text{ kV} = 10610 \text{ Volt}$$
- $$I_a = 2414.77 \text{ A}$$
- Maka diperoleh
- $$E_a = V + jI_a X_s$$
- $$= 10610 + (j2414.77 \times 1.86)$$
- $$= 11521.5 < 22.94^{\circ}$$
- $$= 11.52 \text{ kV}$$
-
- Data ke-3 :
- $$V_t = 10.65 \text{ kV} = 10650 \text{ Volt}$$
- $$I_a = 2466.09 \text{ A}$$
- Maka diperoleh
- $$E_a = V + jI_a X_s$$
- $$= 10650 + (j2466.09 \times 1.86)$$
- $$= 11595.8 < 23.3^{\circ}$$
- $$= 11.59 \text{ kV}$$
-
- Data ke-4 :
- $$V_t = 10.62 \text{ kV} = 10620 \text{ Volt}$$
- $$I_a = 2451.16 \text{ A}$$
- Maka diperoleh
- $$E_a = V + jI_a X_s$$
- $$= 10620 + (j2451.16 \times 1.86)$$
- $$= 11557.26 < 23.23^{\circ}$$
- $$= 11.55 \text{ kV}$$

- Data ke-5 :

$$V_t = 10.55 \text{ kV} = 10550 \text{ Volt}$$

$$I_a = 2371.95 \text{ A}$$

Maka diperoleh

$$E_a = V + jI_a X_s$$

$$= 10550 + (j2371.95 \times 1.86)$$

$$= 11435.32 \angle 22.69^\circ$$

$$= 11.43 \text{ kV}$$

- Data ke-6 :

$$V_t = 10.52 \text{ kV} = 10520 \text{ Volt}$$

$$I_a = 2222.18 \text{ A}$$

Maka diperoleh

$$E_a = V + jI_a X_s$$

$$= 10520 + (j2222.18 \times 1.86)$$

$$= 11302.84 \angle 21.44^\circ$$

$$= 11.3 \text{ kV}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dapat dibuat tabel sebagai berikut:

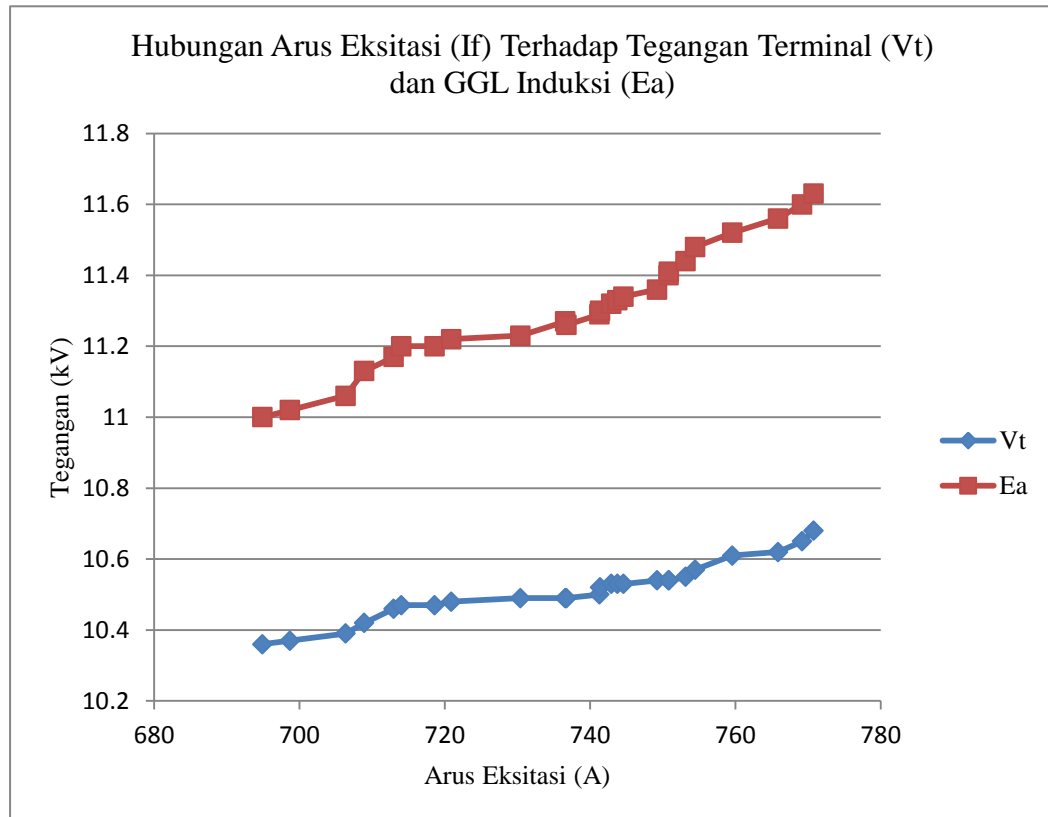
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan GGL Induksi (E_a)

Arus Eksitasi (A)	Arus Jangkar (A)	Faktor Daya	Vout Generator (kV)	E_a (kV)	Presentasi Tegangan Suplai
750.83	2338.9	0.85	10.54	11.40	-4.18%
759.59	2414.77	0.85	10.61	11.52	-3.55%

Arus Eksitasi (A)	Arus Jangkar (A)	Faktor Daya	Vout Generator (kV)	Ea (kV)	Presentasi Tegangan Suplai
769.22	2466.09	0.85	10.65	11.60	-3.18%
765.89	2451.16	0.85	10.62	11.56	-3.45%
753.15	2371.95	0.85	10.55	11.44	-4.09%
741.42	2222.18	0.85	10.52	11.30	-4.36%
742.96	2227.81	0.85	10.53	11.32	-4.27%
714.05	2139.48	0.85	10.47	11.20	-4.82%
743.79	2253.02	0.85	10.53	11.33	-4.27%
744.62	2257.29	0.85	10.53	11.34	-4.27%
712.98	2100.29	0.85	10.46	11.17	-4.91%
736.6	2211.25	0.85	10.49	11.27	-4.64%
720.91	2149.06	0.85	10.48	11.22	-4.73%
741.32	2225.02	0.85	10.5	11.29	-4.55%
736.77	2203.19	0.85	10.49	11.26	-4.64%

Arus Eksitasi (A)	Arus Jangkar (A)	Faktor Daya	Vout Generator (kV)	Ea (kV)	Presentasi Tegangan Suplai
718.63	2145.38	0.85	10.47	11.20	-4.82%
730.43	2158.76	0.85	10.49	11.23	-4.64%
754.49	2408.8	0.85	10.57	11.48	-3.91%
706.35	2043.42	0.85	10.39	11.06	-5.55%
698.68	2011.7	0.85	10.37	11.02	-5.73%
694.92	1994.13	0.85	10.36	11.00	-5.82%
749.25	2277.73	0.85	10.54	11.36	-4.18%
770.8	2478.19	0.85	10.68	11.63	-2.91%
708.94	2100.14	0.85	10.42	11.13	-5.27%
750.89	2351.81	0.85	10.54	11.41	-4.18%

Dari tabel 4.9 dapat kita buat grafik sebagai berikut:



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Arus Eksitasi Terhadap Tegangan Terminal Dan GGL Induksi (E_a)

Dari grafik gambar 4.8 di atas dapat dilihat bahwa semakin besar arus eksitasi (I_f) maka nilai ggl induksi (E_a) juga akan semakin besar. Kenaikan ini juga mempengaruhi nilai tegangan terminal (V_t) yang nilainya berubah-ubah dan cenderung. Hal ini dapat membuktikan bahwa kenaikan arus eksitasi mengakibatkan nilai tegangan terminal naik dan itu berarti arus eksitasi berguna untuk menjaga kestabilan dari tegangan terminal. Tegangan terminal yang awalnya rendah karena perubahan beban, dapat distabilkan lagi dengan cara memperkuat arus penguatan medan pada generator rotor sinkron. Terlihat hubungan antara arus eksitasi terhadap tegangan terminal dan ggl induksi yaitu berbanding lurus. Untuk membangkitkan tegangan terminal selain meningkatkan putaran rotor yaitu dengan cara meningkatkan penguatan medan

magnet pada rotor generator. Namun pada kondisi ini, putaran rotor selalu dijaga konstan maka, langkah yang harus dilakukan untuk meningkatkan tegangan terminal yaitu dengan cara meningkatkan arus eksitasi pada rotor generator sinkron.

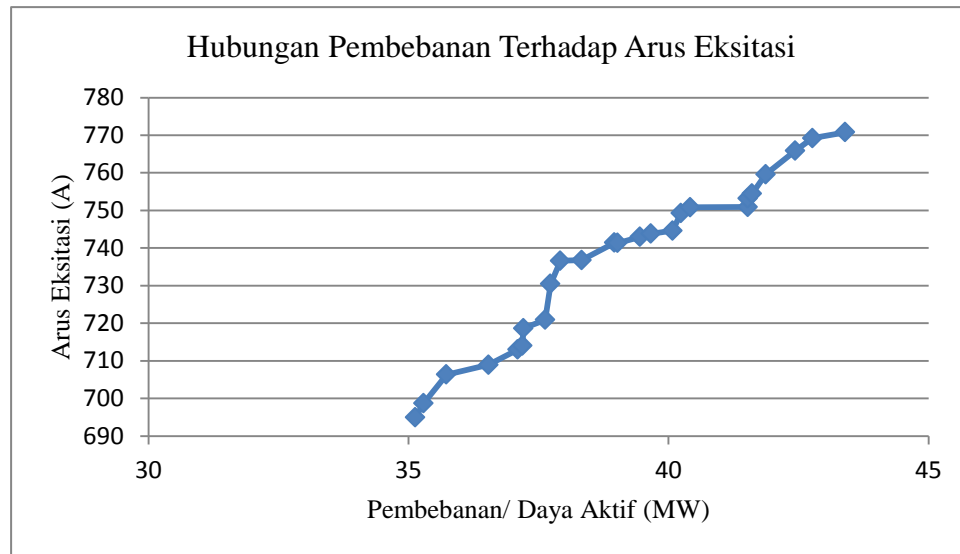
Selain itu, berdasarkan tabel 4.9 dapat dilihat bahwa nilai presentase fluktuasi tegangan pada generator sinkron PLTA Musi selama penelitian berkisar -2,91 % hingga -5.82%.

Dan dalam sistem penyediaan tenaga listrik, secara umum tegangan listrik di titik suplai memiliki presentase yang bervariasi yaitu menurut standar PLN +5% dan -10%, sedangkan menurut standar ANSI C 84.1 diijinkan +4% dan -4% dalam kondisi normal (Tobing, 2010).

Sehingga berdasarkan standar yang telah ditetapkan baik standar PLN maupun standar ANSI C 84.1, bahwa titik suplai tegangan pada PLTA Musi berada pada presentase aman dan tidak akan menyebabkan gangguan pada generator maupun sistem pembangkitan listrik PLTA Musi.

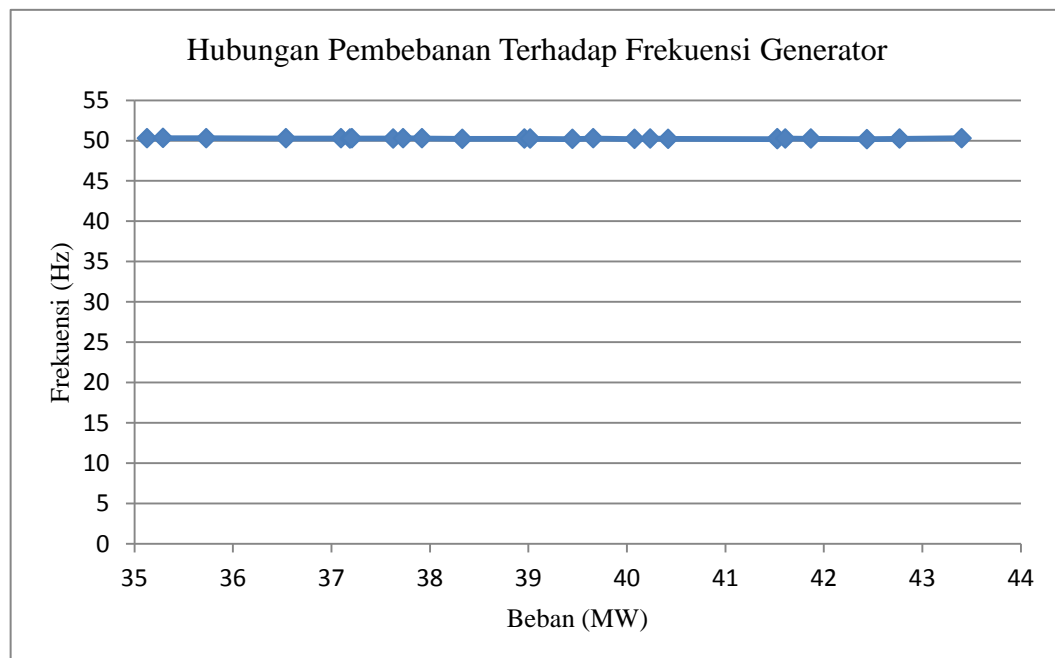
4.2.3. Hubungan Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi

Tegangan terminal dan arus eksitasi, memiliki hubungan yang saling berkaitan dengan pembebanan pada generator. Pada prinsipnya apabila pembebanan naik, maka tegangan jaringan akan turun. Dan turunnya tegangan jaringan akan mengakibatkan tegangan terminal juga akan turun. Sehingga dibutuhkan penambahan arus eksitasi untuk menjaga tegangan terminal tetap pada kondisi nominalnya. Untuk lebih jelasnya terkait hubungan pembebanan terhadap arus eksitasi dapat kita lihat pada grafik hubungan kedua parameter tersebut. Berikut merupakan grafik hubungan pembebanan terhadap arus eksitasi generator sinkron:



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi

Selain itu pada PLTA Musi, frekuensi dari generator dijaga konstan untuk tetap berada pada nominal 50 Hz, berikut dapat dilihat dalam grafik di bawah ini.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Pembebanan Terhadap Frekuensi Generator

Pada pembahasan dalam dasar teori telah dijelaskan bahwa tegangan terminal secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V = E_a - jX_s I_a - R_a I_a \text{ (Volt)}$$

$$E_{eff} = Cn\phi$$

$$P = VI \cos \theta \sqrt{3}$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa tegangan terminal (V_t) yang dibangkitkan pada generator akan berbanding lurus dengan dengan ggl induksi (E_a). Dan karena dalam kondisi ini putaran rotor dijaga konstan untuk menjaga frekuensi generator tetap pada nominal 50 Hz, maka untuk pengaturan besarnya tegangan terminal yang dibangkitkan hanya dipengaruhi oleh fluksi (ϕ) magnet yang dihasilkan oleh arus eksitasi. (I_f). Sehingga dari penjelasan ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

$$P_{beban} \approx E_a \approx V_t \approx I_f$$

Sehingga, dengan mengetahui karakteristik dari sistem eksitasi, kerusakan pada generator akibat *over excitation* dan *under excitation* dapat diminimalisir dan dihindari.