

Studi Evaluasi Eksitasi Generator Unit 23 di Pabrik Pulp and Paper

Suripto Sinaga¹, Elvira Zondra², Hazra Yuvendius³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning Jl. Yos Sudarso km. 8
Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email: suriptosinaga88@gmail.com, elviraz@unilak.ac.id, [fazra_yuvendius@unilak.ac.id](mailto:hazra_yuvendius@unilak.ac.id)

Submitted : 21 Maret 2022

Accepted: 15 Desember 2022*

DOI: 10.31849/sainetin.v7i1.9620

Abstrak

Generator yang dimiliki PT Indah Kiat Pulp And Paper berjumlah 25 unit. Generator pada Unit 23 memiliki kapasitas 150 MW, tegangan keluaran generator berubah-ubah, diakibatkan adanya fluktuasi pemakaian beban pada industry kertas tersebut. Adanya gangguan Short Circuit dalam exciter Pada tanggal 15 juli 2020, mengakibatkan generator unit 23 terjadi shut down, hal ini tentunya merugikan pihak industry. Gangguan pada unit ini tersebut melatar belakangi penulis untuk menganalisa penyebab terjadinya hubung singkat dalam exciter generator dengan tujuan ditemukan permasalahannya dan didapatkan solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pemodelan dalam simulasi Simulink Matlab menunjukkan nilai arus eksitasi besarnya adalah 822,2 Ampere dan tegangan keluaran generator 15,46 kV dengan parameter daya aktif sebesar 75,2 MW dan daya reaktif 27 MVar dan sudut penyalan $145,968^\circ$ dan selanjutnya saat daya aktif 10,3 MW, dan daya reaktif sebesar 0,9 MVar dengan sudut penyalan $158,015^\circ$ besaran arus eksitasi adalah 497,7 Ampere dan tegangan keluaran generator 13,81 kV, tegangan keluaran yang terdapat pada papan informasi adalah 15,65 kV, tidak jauh berbeda nilai tegangan saat generator bekerja. Hal ini menunjukkan sistem exitasi telah bekerja normal pada setiap kenaikan beban dalam hasil uji simulasi ini

Kata Kunci: Generator Sinkron, Eksitasi, Beban

Abstract

PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang-Riau has 25 turbine generator units. Unit 23 has a capacity of 150 MW, the voltage released by the generator will always change because there is a load that continues to fluctuate, On July 15, 2020, a short circuit in the exciter as a result caused the generator unit 23 to shut down and harm the company, for that the author wants to analyze the cause of the short circuit in the exciter generator unit 23, In the simulation modeling the excitation assessment of the load test at a load requirement of $P = 75.2 \text{ MW}$, $Q = 27 \text{ MVar}$ using an ignition angle of 145.968° to obtain an excitation current of 822.2 Ampere & generator output voltage of 15, 46 kV and in load testing $P = 10.3 \text{ MW}$, $Q = 0.9 \text{ MVar}$ using an ignition angle of 158.015° to obtain an excitation current of 497.7 Ampere & generator output voltage of 13.81 kV not far according to its nominal value of 15, 65 kV, this illustrates that the excitation system works well, it can be seen that every time the load increases, the excitation current also increases. An increase in reactive power loads can cause the generator output voltage to decrease as a result, the excitation current must be increased. While the increase in the reactive power load can cause the generator output voltage to be higher as a result, the excitation current needs to be reduced, according to the test output in Simulink matlab that it can be seen how large the excitation is

Keywords: Synchronous Generator, Excitation, Load

1. PENDAHULUAN

Generator merupakan sistem yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik [1]–[3]. Generator memiliki kumparan medan yang terdapat pada rotor dan kumparan jangkar dalam stator. Kumparan medan yang ada pada rotor generator berfungsi sebagai sistem exitasi. Eksitasi generator

merupakan sumber arus searah ke belitan medan yang masuk ke dalam dalam rotor [4]–[6]. Arus tersebut mengalir melalui kumparan medan yang menyebabkan terjadinya fluks magnetik. Rotor diputar oleh *Prime Mover* dengan kecepatan sesuai dengan dengan nominal yang ada pada papan petunjuk teknis, putaran rotor secara bersamaan akan

menghasilkan medan magnet yang diperoleh dari kumparan medan. Fluks magnet kutub-kutub rotor akan membentuk ggl bolak-balik pada penghantar stator. Sistem eksitasi dalam generator dapat meningkatkan arus medan sesuai kebutuhan pembebanan generator itu sendiri. Saat pembebanan generator, harus menghasilkan putaran rotor yang sesuai dengan *name plate*, arus medan yang dihasilkan ini dapat membangkitkan medan magnet yang dapat mempengaruhi putaran pada rotor saat pembebanan seperti sistem kerja generator DC dan Generator Magnet Permanen [7].

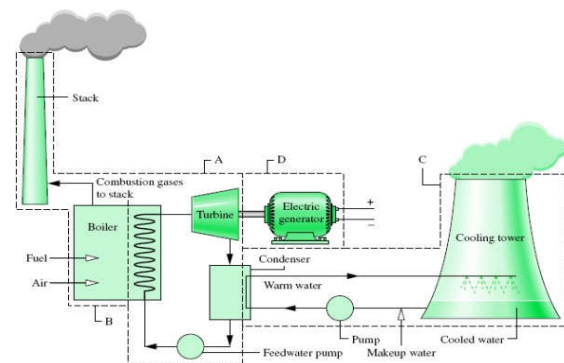
PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang-Riau mempunyai 25 unit turbin generator. Unit 23 berkapasitas 150 MW. Tegangan yg didapatkan generator akan selalu berubah disebabkan beban yang fluktuatif. Pada 15 Agustus 2020, terjadi *Short Circuit* pada exciter mengakibatkan unit generator 23 tidak berfungsi dan hal ini merugikan perusahaan. Untuk itu perlu menganalisa penyebab terjadinya *Short Circuit* dalam exciter generator unit 23, supaya kejadian ini tidak terulang, dan dapat menjadi solusi alternatif untuk PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang-Riau

2. METODE PENELITIAN

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap PLTU merupakan pembangkit dari sumber energi batu bara dan gas. Uap yang dihasilkan pada pembakaran akan memutar turbin dan menggerakkan generator sehingga menghasilkan menghasilkan energi listrik. *Steam* dihasilkan dari proses pemanasan pada boiler. Uap yg didapatkan boiler memiliki tekanan yang sangat tinggi. Pemanasan yang terjadi pada boiler dalam sistem pembangkitan ini memiliki suhu sangat panas sebagai sehingga steam berada dalam fase *superheated*, uap yang bertekanan sangat tinggi ini akan mengalir ke dalam sudu-sudu turbin, sehingga turbin mampu berputar dan mampu mengasilkan listrik melalui generator [8].

Prinsip kerja PLTU adalah menggunakan siklus air-uap-air dengan sistem tertutup. Air yang berasal dari kondensat atau air dari proses kondensasi di dalam kondensor yakni air murni yang dialirkan oleh pompa kondensat ke tempat yang rendah ke pemanas bertekanan. Disini air dipanaskan kemudian dimasukan oleh *deaerator* untuk mengeluarkan oksigen, kemudian air ini dipompa oleh pompa air yang diumpankan boiler pada *economizer*. Pada *economizer* air tersebut dialirkan ke pipa untuk dipanaskan di dalam tabung boiler. Dalam tabung boiler, air dipanaskan dalam bentuk uap air. Uap air

ini ditampung kembali di dalam *steam drum*, kemudian dipanaskan lebih lanjut pada *superheater*, Pada *superheater* air berubah menjadi uap kering yang memiliki tekanan dan temperatur tinggi, kemudian uap ini digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin, sehingga menghasilkan gerak mekanik pada poros turbin. Hasil putaran poros turbin dikopel pada poros generator yang akan memutar generator tersebut. dari putaran inilah dihasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan dari generator disalurkan dan selanjutnya didistribusikan untuk penggunaan energi pada industri. Uap bebas dari turbin kemudian dikondensasikan dari kondensor secara bersama-sama dengan air dari *make up water pump* dipompa lagi oleh pompa kondensat ke dalam *low pressure heater*, daerator, boiler feed water pump, *high pressure heater*, *economizer*, dan terakhir ke boiler untuk dipanaskan kembali menjadi steam. Proses ini akan terjadi berulang-ulang seperti pada seperti pada Gambar.1 [8].



Gambar 1 Siklus PLTU

Generator Sinkron

Generator arus bolak-balik (AC) atau alternator merupakan sistem yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik melalui induksi medan magnet. Perubahan tenaga ini terjadi lantaran adanya perubahan medan magnet dalam kumparan jangkar (dimana tegangan dibangkitkan dalam generator) [9].

Medan putar yang dihasilkan oleh rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut seperti pada Gambar 1.



Gambar 2 Generator Unit

Penggerak mula (*Prime Mover*) yang menghubungkan poros turbin dengan poros rotor akan bekerja sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya. Perputaran rotor tersebut sekaligus akan ggl yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor, akan diinduksikan pada kumparan jangkar sehingga pada kumparan jangkar yang terletak di stator akan dihasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu [8].

Prinsip Kerja Generator Sinkron

Kumparan medan yang terdapat dalam rotor dihubungkan dengan sistem eksitasi yang mensuplai arus searah yang mengakibatkan fluks magnet. Kemudian penggerak mula (*primemover*) yang telah terkopel menggunakan rotor bekerja sehingga rotor akan berputar dalam kecepatan nominalnya sinkron menggunakan persamaan :

$$n = \frac{120f}{p} \quad (1)$$

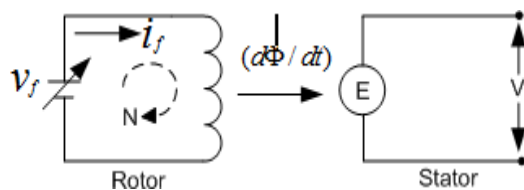
Keterangan:

n = Kecepatan putar rotor (rpm)

p = Jumlah kutub rotor

f = Frekuensi (Hz)

Putaran terjadi pada rotor akan menghasilkan efek pengaruh medan putar. Medan putar yg dibangkitkan dalam rotor akan menginduksikan tegangan 3 fasa. Rotasi ini membentuk fluks magnet yang besarnya bervariasi terhadap waktu tergantung pembebanan. pada Gambar 3



Gambar 3 Prinsip kerja generator sinkron

GGL induksi (E_a) dalam alternator akan terinduksi dalam kumparan armature alternator saat rotor diputar mengelilingi stator. Besarnya bertenaga

medan dalam rotor bisa diatur menggunakan mengatur arus medan (I_f) yg diberikan dalam rotor. Rata-homogen ggl induksi (E) yg didapatkan sang kumparan armature alternator dapat dilihat pada gambar 3 sebagai berikut [8].

$$E = 4,44 \cdot f \cdot \Phi \cdot T \quad (2)$$

Dengan memperhatikan persamaan (1), maka :

$$E = \frac{4,44 \cdot n \cdot p}{120} \cdot \Phi \cdot T$$

$$E = C \cdot n \cdot \Phi \quad (3)$$

Keterangan:

E = GGL induksi (Volt)

C = Konstanta

p = Jumlah kutub

n = Putaran (rpm)

ϕ = Fluks magnetik (weber)

T = Banyaknya lilitan / fase = 1/2

Fluksi (ϕ) medan magnet yang berputar tersebut berubah-ubah ($d\phi/dt$) oleh kumparan stator timbul tegangan induksi (E)

$$E = N_s \cdot \frac{d\Phi}{dt} = 4,44 \cdot N_s \cdot \Phi_{max} \cdot f, Volt \quad (4)$$

Keterangan :

E =Tegangan induksi (Volt)

N_s =Jumlah lilitan kumparan stator

$d\phi/dt$ =Kecepatan perubahan fluksi medan magnet

n =Putaran (rpm)

Masukan dan persamaan $f = (p \cdot N_r / 120)$ ke dalam, maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$E = \sqrt{3} \cdot 4,44 \cdot N_s \cdot \frac{\mu \cdot N_r \cdot A}{l} \cdot \frac{p \cdot N_r \cdot A}{120} \quad (5)$$

Keterangan :

E =Tegangan induksi (Volt)

N_R =Jumlah lilitan kumparan rotor

$d\phi/dt$ =Kecepatan perubahan fluksi medan magnet

p =Jumlah kutub

μ =Permeabilitas bahan inti

l =Panjang kumparan (m)

A =Luas penampang kumparan (m^2)

Dengan demikian konstanta kumparan rotor dan stator pada putaran nominal diperoleh seperti :

$$K_f = 0,064 \cdot \left(\frac{\mu \cdot N_r \cdot N_r \cdot A \cdot p \cdot \mu_s}{l} \right) \quad (6)$$

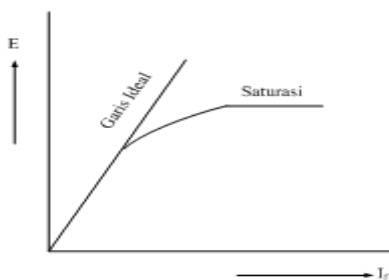
Keterangan :

- K_f = Konstanta eksitasi
 - N_R = Jumlah lilitan kumparan rotor
 - A = Luas penampang kumparan (m^2)
 - p = Jumlah kutub
 - μ = Permeabilitas bahan inti
 - μ_s = Permeabilitas bahan inti pada stator
 - l = Panjang kumparan (m)
- atau tegangan Induksi (E) adalah
- $$E = K_f \cdot I_f \quad (7)$$

Keterangan :

- E = Tegangan induksi (Volt)
- K_f = Konstanta eksitasi
- I_f = Arus eksitasi (Ampere)

Nilai Konstanta ini akan cenderung menurun ketika inti kumparan mengalami kejenuhan (saturasi). Hubungan tegangan induksi (E) terhadap arus eksitasi (I_f) seperti pada Gambar 4



Gambar 4 Grafik arus eksitasi (I_f) dan tegangan induksi (E)

Grafik pada Gambar 4 menunjukkan bahwa makin besar arus pada eksitasi, maka tegangan-induksi akan semakin besar, namun sampai pada nilai arus eksitasi terjadi kejenuhan (*saturated*) inti kumparan stator.

Paralel Generator Sinkron

Jika sebuah generator bekerja dan mendapat beban yg melewati kapasitasnya, maka bisa menyebabkan generator tidak mampu bekerja atau bahkan mengalami kerusakan. Masalah ini bisa diatasi menggunakan mengaktifkan generator lain untuk dioperasikan secara paralel. Keuntungan alternator paralel adalah [10]

- a. Menambah Daya.
- b. Meningkatkan Kapasitas Generator.
- c. Menjamin Pasokan dan kehandalan .
- d. Dapat melayani Pembebanan yang bertambah

Sistem Kerja Paralel Generator Sinkron

Paralel generator sinkron yaitu menghubungkan dua buah generator atau lebih secara bersamaan, sistem paralel ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan daya yang lebih besar yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban. Dalam hal efisiensi, hal ini dapat menghemat biaya pemakaian operasional dan biaya ekonomi dari pembelian kapasitas generator, serta menjamin kontinuitas ketersediaan listrik. Sistem paralel ini dapat disebut juga dengan sinkronisasi generator.

Sistem paralel generator dapat dilakukan dengan dua cara yaitu cara manual dan otomatis. Sinkronisasi generator secara manual dilakukan dengan mengandalkan peralatan dan ketelitian operator ketika beberapa generator telah aman untuk dapat di paralel. Beberapa peralatan yang harus ada saat kondisi manual paralel generator adalah *dobel voltmeter, synchroscope, double* frekuensi meter, lampu indikator kondisi paralel generator

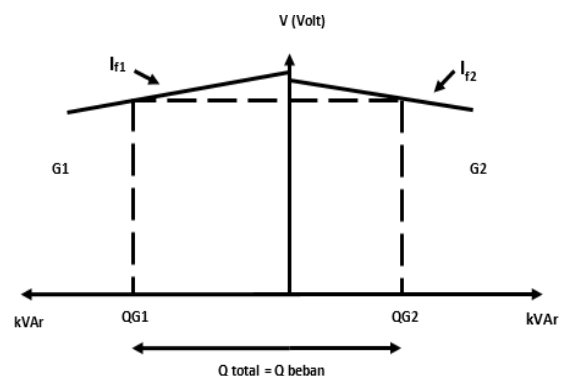
Untuk mensuplai beban dalam ke 2 generator bekerja secara paralel maka besar daya aktif & reaktif yang disuplai pada generator harus sama. Adapun rumus daya aktif & reaktif yg wajib disuplai oleh ke 2 generator adalah [11].

$$P_{Load} = PG1 + PG2 \quad (8)$$

$$Q_{Load} = QG1 + QG2 \quad (9)$$

Keterangan :

- P_{Load} = Beban Aktif Generator (Watt)
- Q_{Load} = Beban Reaktif Generator (Volt Ampere Reaktif)
- $PG1$ = Daya Aktif Generator 1 (Watt)
- $PG2$ = Daya Aktif Generator 2 (Watt)
- $QG1$ = Daya Reaktif Generator 1 (Volt Ampere Reaktif)



Gambar 5. Diagram daya reaktif dan tegangan

Efek Pengaturan Arus Eksitasi

Dalam pengaturan arus eksitasi, nilai fluks medan magnet (Φ) akan berubah seiring perubahan arus eksitasi. Apabila alternator beroperasi secara

paralel, saat arus eksitasi diatur sedangkan nilai putaran (n) tetap maka akan menyebabkan tingginya nilai fluks magnet sebagai akibatnya daya reaktif yg diperlukan besar namun daya aktif tidak berubah. Hal ini akan merubah nilai faktor daya pada generator G1 & G2 saat bekerja secara paralel masing-masing alternator akan mensuplai separuh daya aktif & separuh daya reaktif. Saat alternator mensuplai arus sebanyak I, mengakibatkan arus beban yg disuplai adalah dua kali dari. Hal ini mengakibatkan arus sirkulasi [12].

$$I_s = \frac{E_1 - E_2}{Z_1 + Z_2} \quad (1)$$

Keterangan :

- I_s = Arus sirkulasi (Ampere)
- E_1 = Tegangan induksi generator 1 (Volt)
- E_2 = Tegangan induksi generator 2 (Volt)
- Z_1 = Impedansi generator 1 (Ohm)
- Z_2 = Impedansi generator 2 (Ohm)

Arus I_s ini naiknya arus beban dalam G1 & G2, yang mengakibatkan besarnya arus dalam G1 Perubahan ini tidak mempengaruhi daya aktif akibat pembebanan, namun menyebabkan perubahan daya reaktif yg dibawa oleh alternator. Segitiga daya ditimbulkan oleh perubahan eksitasi dalam alternator yg bekerja secara paralel [13].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data parameter kinerja generator yang diteliti adalah seperti Tabel 1.

Tabel 1 Parameter kinerja generator Unit 23

Turbin Generator Unit 23						
NO	Generator			Excitation		
	Beban Aktif [MW]	Beban Reaktif [MW]	Frekuensi [Hz]	Voltage (kV)	Voltage [V]	Current [A]
1	10,3	0,9	50,2	15,65	38,53	497,7
2	24,3	3,0	50,4	15,87	42,6	515,6
3	35,7	0,4	50,2	15,72	50,7	624,4
4	47,2	2,3	50,1	15,82	55,60	652,3
5	51,4	1,3	50,2	15,72	75,7	660,5
6	60	1,8	50,3	15,86	85,12	758,3
7	75,2	2,7	50,2	15,95	88,7	822,2

Pada Tabel diatas data diperoleh dari logsheet generator tanggal 15 Juli 2020 yang sebagian diambil untuk dikumpulkan sampel dan dilakukan perhitungan agar dapat dianalisa eksitasi pada generator unit 23. Unit 23 mengalami lepas sinkron

dan Tegangan keluaran generator sebesar 15.6 kV sementara itu *limit/range* tegangan keluaran 11 kV sampai 15.75 kV.

Hubungan Antara Daya Reaktif Dan Daya Aktif Terhadap Cos ϕ

Berdasarkan data-data *logsheet* yang diperoleh dari tabel 1 maka dapat dilakukan perhitungan sebagai hubungan daya reaktif dan daya aktif terhadap Cos ϕ berikut :

Beban 1

Daya aktif = 10,3 MW dan Daya Reaktif = 0,9 MVar, Maka :

$$\tan^{-1} \frac{Q}{P} = \frac{0,9}{10,3} = 4,993$$

$$pf = \text{Cos}(4,993)$$

$$\text{Cos } \phi = 0,996$$

Beban 2

Daya aktif = 24,3 MW dan Daya Reaktif = 30 MVar, Maka :

$$\tan^{-1} \frac{Q}{P} = \frac{3,0}{24,3} = 7,037$$

$$pf = \text{Cos}(7,037)$$

$$\text{Cos } \phi = 0,992$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat diperoleh tabel 2 Hubungan cos Hubungan Cos ϕ dengan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q)

Tabel 2 Hubungan Cos ϕ dengan daya aktif (P) dan daya reaktif(Q)

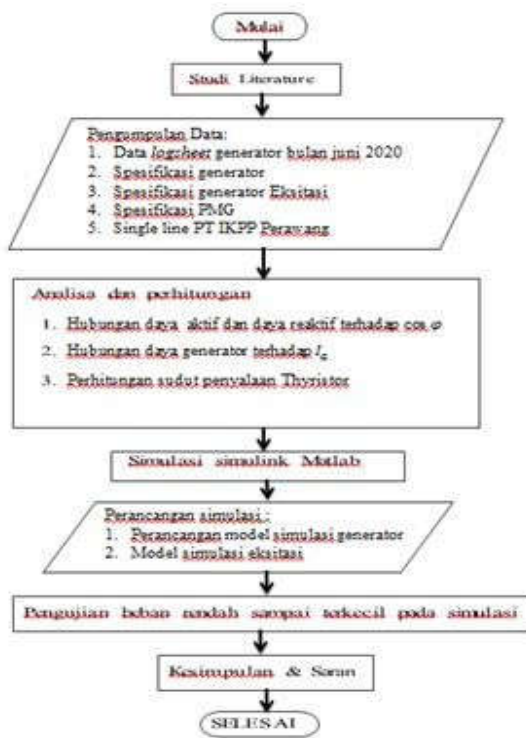
NO	Turbin Generator Unit 23						
	Generator				Hasil Perhitungan	Excitation	
	Beban Aktif [MW]	Daya Reaktif [MVar]	Voltage (kV)	Frekuensi [Hz]	cos θ	Voltage [V]	Current [A]
1	10,3	0,9	15,65	50,2	0,996	38,53	497,7
2	24,3	3,0	15,87	50,4	0,992	42,6	515,6
3	35,7	0,4	15,72	50,2	0,999	50,7	624,4
4	47,2	2,3	15,82	50,1	0,998	55,60	652,3
5	51,4	1,3	15,72	50,2	0,999	75,7	660,5
6	60	1,8	15,86	50,3	0,999	85,12	758,3
7	75,2	2,7	15,95	50,2	0,999	88,7	822,2

Dari Tabel .2 terlihat bahwa pada keadaan awal dengan beban sebesar P = 10.3 MW dan sampai keadaan dengan beban penuh P = 75,2 MW nilai cos ϕ cenderung konstan pada nilai 0,999, sesuai dengan standart pada *nameplate* generator.

Langkah-langkah atau tahapan penelitian yang dilaksanakan adalah sebagaimana pada

diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 6. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pengumpulan Data Generator tanggal 15 juni 2020
2. Melakukan Perhitungan Data dengan data yang di peroleh
3. Analisa dan membuat Simulink
4. Merancang model simulasi Generator
5. Pengujian beban rendah sampai terkecil pada simulasi



Gambar 6 Flowchart Langkah-langkah Pembahasan

Tahapan yang dilakukan seperti terlihat pada Gambar 6 flowchart yang akan dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini agar hasil yang dicapai tidak melenceng dari tujuan yang telah ditentukan yaitu : 1). Melaksanakan pengambilan data sesuai dengan *Nameplate* generator. 2). Melakukan perhitungan berdasarkan rumus yang ada. 3). Semua hasil perhitungan dengan actual hasil pengukuran. 4). Melakukan *validasi* data yang telah diperoleh dengan menggunakan *Matlab Simulink* dengan *variable* yang mengacu pada nilai spesifikasi generator sehingga didapatkan hasil probabilitas hubungan antara *Matlab Simulink* dengan data perhitungan yang dihasilkan.

Analisa Perhitungan Hubungan Daya Generator Terhadap (I_a) dapat dilakukan erdasarkan data data harian yang diperoleh, pada Tabel 1 serta data $\cos \phi$

maka dapat dihitung parameter-parameter dari tabel 1 sebagai berikut :

Beban1 :

$$P = 10.3 \text{ MW}$$

$$V = 15,65 \text{ kV}$$

$$\cos \phi = 0,996$$

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi} = \frac{10,3 \text{ MW}}{\sqrt{3} \times 15,65 \text{ kV} \times 0,996}$$

$$= 381,507 \text{ A}$$

Tabel .3 Perhitungan Arus Stator (I_a)

NO	Generator				Excitation	
	Beban Aktif [MW]	Daya Reaktif [MVar]	Voltage (kV)	Frekuensi [Hz]	I_a [A]	Current [A]
1	10,3	0,9	15,65	50,2	381,501	497,7
2	24,3	3,0	15,87	50,4	903,690	515,6
3	35,7	0,4	15,72	50,2	1318,340	624,4
4	47,2	2,3	15,82	50,1	1744,763	652,3
5	51,4	1,3	15,72	50,2	1898,115	660,5
6	60	1,8	15,86	50,3	2215,699	758,3
7	75,2	2,7	15,95	50,2	2784,394	822,2

Dari hasil perhitungan diatas Tabel .3 menunjukkan bahwa semakin naik beban daya pada generator, maka nilai arus stator (I_a) pula semakin besar (naik). Hal ini dikarenakan menggunakan bertambahnya beban, maka generator membutuhkan suntik arus yg lebih besar.

Perhitungan Sudut Penyalan

Berdasarkan data-data harian yang diperoleh dari tabel 1 maka dapat dihitung parameter-parameter sebagai berikut :

Beban (10.3 MW)

Tegangan Puncak Keluaran Eksitasi (V_{M-exc})

$$V_{M-exc} = \frac{V_{DC-gen}}{1,6548} = \frac{38,53}{1,6548} = 23,283 \text{ Volt}$$

$$V_{DC-gen} = \frac{V_{M-exc}}{\sqrt{3}} = \frac{23,283}{\sqrt{3}} = 13,442 \text{ Volt}$$

Tegangan Puncak Keluaran PMG (V_{M-PMG}) Fasa ke Tanah berdasarkan tabel 3

$$V_{M-PMG} = \frac{\sqrt{2} \times V_{LL}}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2} \times 270}{\sqrt{3}} = 220,454 \text{ Volt}$$

Sudut Penyalan *Thyristor* Pada Rangkaian Konverter di AVR.

$$\alpha = \text{Cos}^{-1} \left(\frac{2 \times \pi \times V_{DC-Exc}}{3 \times \sqrt{3} \times V_{M-PMG}} \right)$$

$$= \text{Cos}^{-1} \left(\frac{2 \times \pi \times 13,442}{3 \times \sqrt{3} \times 220,454} \right)$$

$$= 179,304^{\circ}$$

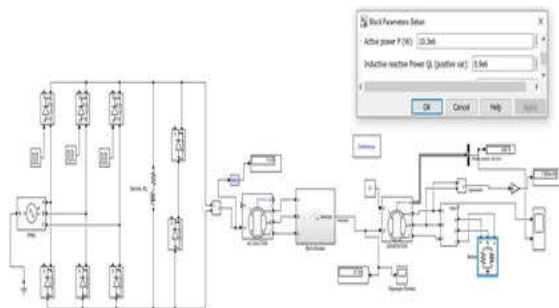
Tabel 4 Perhitungan Sudut Penyalan Thyristor

NO	Turbin Generator Unit 23						
	Generator				Hasil Perhitungan	Excitation	
	Beban Aktif [MW]	Daya Reaktif [MVar]	Voltage [kV]	Frekuensi [Hz]	Sudut Penyalan	Voltage [V]	Current [A]
1	10,3	0,9	15,65	50,2	158,015 ^o	38,53	497,7
2	24,3	3,0	15,87	50,4	156,787 ^o	42,6	515,6
3	35,7	0,4	15,72	50,2	154,629 ^o	50,7	624,4
4	47,2	2,3	15,82	50,1	153,550 ^o	55,60	652,3
5	51,4	1,3	15,72	50,2	146,560 ^o	75,7	660,5
6	60	1,8	15,86	50,3	148,648 ^o	85,12	758,3
7	75,2	2,7	15,95	50,2	145,968 ^o	88,7	822,2

Hasil Simulasi

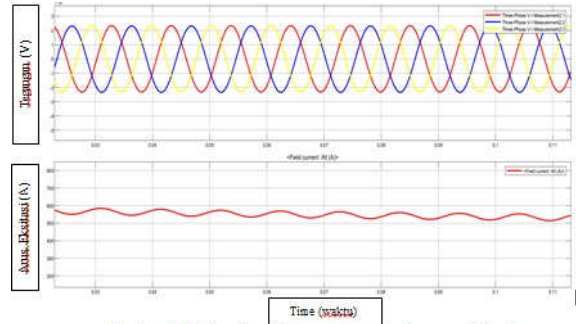
Seperti telah diketahui bahwa nilai tegangan nominal generator sinkron dalam penelitian ini adalah 15,75 kV. Untuk menganalisa eksitasi perlu dilakukan pemodelan eksitasi PMG, berikut adalah pengujian beban yang dilakukan untuk mengevaluasi eksitasi dibuat dalam *Simulink Matlab r2018b*. Seperti Pada pengujian tiap beban.

Beban 1 (10,3 MW)

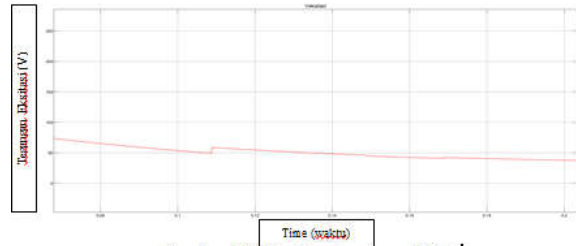


Gambar 7 Pengujian Beban 10.3 MW

Gambar 6 menunjukkan hasil dari simulasi pengujian pertama pada beban P= 10,3 MW, Q = 0,9 MVar, memperoleh arus eksitasi I = 495,7 A, V = 38,53 V, dan output generator 15,65 kV dengan sudut penyalan 158,015^o hasil dari simulasi tegangan output tidak jauh dari nilai nominalnya 15,57 kV Gambar 8-9 merupakan bentuk gelombang output dan gelombang arus eksitasi dari hasil pengujian .



Gambar 8 Gelombang Output generator dan arus eksitasi



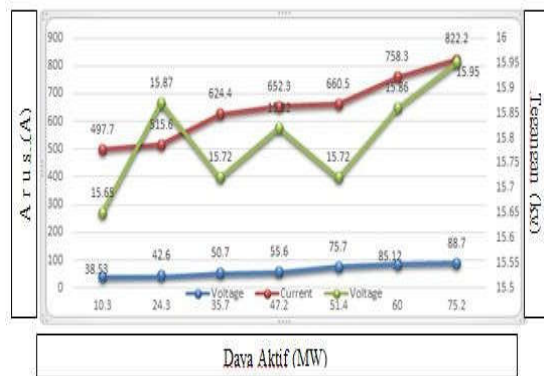
Gelombang 9 merupakan gelombang

Tegangan eksitasi yang diperoleh dari simulasi dengan P = 10.3 MW dan Q = 0,9 MVar dengan besar tegangan eksitasi yang diperoleh 37,53 Volt. Berdasarkan hasil simulasi pengujian beban pertama dan terakhir dapat buat tabel hasil simulasi seperti pada Tabel 5

Tabel .5 Hasil Simulasi

NO	Generator unit 23						
	Generator		Hasil simulasi				
	Excitation		Output-gen	V _{DC-exc} Excitation			
	Voltage (V)	Current (A)	Voltage (kV)	Voltage (V)	Voltage (V)	Current (A)	
1	38,53	497,7	15,65	15,65	13,26	37,53	495,7
2	42,6	515,6	15,87	15,37	14,76	42,52	516,6
3	50,7	624,4	15,72	15,23	17,56	50,81	621,6
4	55,60	652,3	15,82	15,91	19,16	54,56	656,4
5	75,7	660,5	15,72	15,29	30,16	76,18	686,5
6	85,12	758,3	15,86	15,86	30,16	86,52	760,6
7	88,7	822,2	15,95	15,46	31,6	89,39	830,4

Dari Tabel 5 juga dapat dilihat bawah ketika beban naik makan arus eksitasi dan tegangan eksitasi naik ini menunjukkan bahwa kinerja generator bekerja dengan baik sesuai degan fungsinya, beban yang terpasang juga tidak melebihi batas kemampuan generator. Dan berdasarkan Tabel 5 dapat dibuat grafik perbandingan hubungan antara beban terhadap tegangan eksitasi, tegangan output, dan arus eksitasi seperti pada Gambar 10.

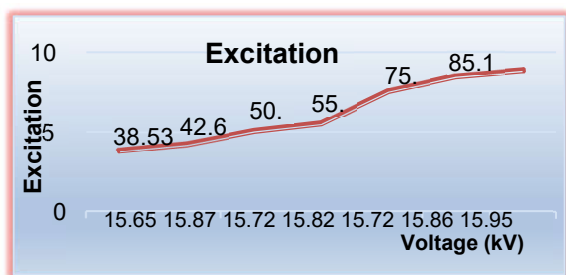


Gambar 10 Hubungan beban terhadap tegangan Output, tegangan eksitasi, dan arus eksitasi

Pada gambar 10 dijelaskan bahwa Pada implementasi atau pemodelan Simulink yang dilakukan, pada kondisi beban rendah $P = 10,3$ MW, $Q = 0,9$ MVar dengan arus eksitasi 497,7 A dan tegangan *output* generator 15,65 kV dan beban penuh $P = 88,7$ MW, $Q = 1,8$ MVar dengan arus eksitasi 830,4 A dan tegangan *output* generator 15,95 kV dan dari tiap pengujian beban yang berubah ubah dapat dilihat bahwa tegangan output generator mendekati dari nilai nominalnya 15,57 kV.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai atau besar arus eksitasi, tegangan eksitasi, dan tegangan output generator tidak jauh dari data yang diperoleh dari perusahaan PT IKPP Perawang.

Dari Tabel 5 juga dapat dilihat bawah ketika tegangan makan arus eksitasi naik ini menunjukkan bahwa kinerja generator bekerja dengan baik sesuai Dan berdasarkan Tabel 5 dapat dibuat grafik



Gambar 11 Perubahan grafik kareakteristik arus eksitasi

Perbandingan hubungan antara terhadap, tegangan output, dan arus eksitasi seperti pada Gambar 11. Dari gambar 11 dijelaskan bahwa pada grafik diatas, maka pada saat tegangan 15,65 kV didapati nilai tegangan eksitasi sebesar 38,53 V, pada saat tegangan 15,87 kV didapati nilai tegangan eksitasi sebesar 42,60 V, pada saat tegangan 15,72 kV didapati nilai tegangan eksitasi sebesar 50,7 V, pada saat tegangan 15,82 kV didapati nilai tegangan

eksitasi sebesar 55,6 V, pada saat tegangan 15,72 kV didapati nilai tegangan eksitasi sebesar 75,70 V, pada saat tegangan 15,86 kV didapati nilai tegangan eksitasi sebesar 85,12 V, pada saat tegangan 15,95 kV didapati nilai tegangan eksitasi sebesar 88,70 V,

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi yang dilakukan pada bab pembahasan dapat disimpulkan : Pada simulasi pemodelan evaluasi eksitasi generator pengujian beban dalam kondisi beban sebesar $P = 75,2$ MW, $Q = 2,7$ MVar dengan sudut penyalaan $145,968^\circ$ memperoleh arus eksitasi 822,2 Ampere dan tegangan keluaran generator 15,46 kV serta pada saat pengujian beban $P = 10,3$ MW, $Q = 0,9$ MVar dengan sudut penyalaan $158,015^\circ$ memperoleh arus eksitasi sebesar 497,7 Ampere dan tegangan keluaran generator 13,81 kV tidak jauh dari nilai nominal nya sebesar 15,65 kV, ini membuktikan bahwa sistem eksitasi bekerja dengan baik terlihat bahwa setiap naik beban maka arus eksitasi juga naik. Tingginya beban daya reaktif (induktif) dapat menyebabkan tegangan keluaran generator mengalami penurunan sehingga arus eksitasi harus diperbesar. Perlunya perawatan intensif pada sistem eksitasi secara keseluruhan, agar sistem dapat bekerja secara maksimal dan mengurangi terjadinya synchronous atau black out akibat perubahan beban.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Muranto, Atmam, and Zulfahri, “Studi Peralihan Daya Listrik dari PLN ke Generator Set (Genset) Ketika Terjadi Pemadaman dari PLN dengan Uninterruptible Power Supply (UPS) Pada Hotel Grand Elite Pekanbaru,” *SainETIn*, vol. 3, no. 1, pp. 9–16, 2018.
- [2] Ramadhan, E. Zondra, and M. P. Halilintar, “Analisis Eksitasi Generator Unit 3 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) Teluk Lembu PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Pekanbaru,” *SainETIn*, vol. 6, no. 1, pp. 32–38, 2021.
- [3] H. Eteruddin, D. Setiawan, and H. P. P. Sitepu, “Modifikasi Sistem ATS-AMF Diesel Emergency Generator Pada PLTU dengan Metode Warming Up,” *Jurnal Teknik*, vol. 14, no. 2, pp. 129–136, 2020.
- [4] P. R. H. Marpaung, H. Eteruddin, and D. Setiawan, “Studi Perubahan Beban Terhadap Kinerja AVR pada Generator

- Sinkron Unit 2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Ubjom Tenayan Raya,” in *Seminar Nasional Karya Ilmiah Multidisiplin*, 2021, pp. 96–109.
- [5] A. Mustang and A. M. Prasetya, “Implementasi Automatic Voltage Regulator Pada Generator Sinkron 3 Fasa Dengan Mengatur Arus Eksitasi,” *SainETIn*, vol. 6, no. 2, pp. 46–55, 2022.
- [6] Atmam, E. Zondra, and H. Yuvendius, “Konsumsi Energi Listrik Terhadap Perubahan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa,” *SainETIn*, vol. 4, no. 1, pp. 9–18, 2019.
- [7] D. Marsudi, *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga, 2005.
- [8] Y. Rijono, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Edisi Revi. Yogyakarta: Andi Offset, 2014.
- [9] E. Mufrizon, *Pemeriksaan dan Pengujian Kelaikan Operasi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik*, vol. 7, no. 1. Pekanbaru: Universitas Lancang Kuning, 2016.
- [10] B. L. Theraja and A. K. Theraja, *A Text Book of Electrical Technology*, First Mult., vol. I, no. I. New Delhi: S. Chand Publishing, 2008.
- [11] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: Gramedia, 2000.
- [12] S. J. Chapman, *Electric Machinery Fundamentals*, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- [13] R. Syahputra, “Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi terhadap Tegangan Keluaran Generator Sinkron,” *Jurnal Teknologi*, vol. 12, no. 2, pp. 85–88, 2012.