

# Analisa Pengaruh Pembebanan pada Sistem Eksitasi Generator Unit Pembangkit Listrik Tenaga Air Siman

Izzah Aula Wardah<sup>a</sup>, Aris Heri Andriawan<sup>b</sup>, Balok Hariadi<sup>c</sup>, Mochamad Ariandhani Pratama<sup>d</sup>

<sup>a,b,c,d</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received November 2, 2025

Received in revised form

November 12, 2025

Accepted November 25, 2025

Available online November 29, 2025

### Keywords:

Excitation Current

Generator

Hydroelectric Power Plant

Loading Current

## ABSTRACT

The importance of generator performance under load variation is essential to provide a robust energy system. This study analyzes the influence of load variation on the excitation system of the generator at the Siman Hydropower Plant (PLTA Siman), with a particular focus on the relationship between load current and excitation current as well as their impact on generator performance. The study is implemented by analysing load variation data in the generator and oversee the impact of the load variation to the excitation of generator. The results indicate a correlation between these two parameters, although the relationship is not always linear. For Unit 1 in 2019, the recorded load current was 314 A with an excitation current of 289 A. In the following year, the load current decreased to 225 A, accompanied by a reduction in excitation current to 252 A. Several operating conditions show that variations in load current are followed by corresponding adjustments in excitation current; however, the magnitude of the response is not always proportional due to the effects of magnetization characteristics, voltage regulation, and load conditions. These findings demonstrate that the relationship between load current and excitation current is dynamic, emphasizing the need for careful monitoring to maintain generator stability and optimal performance.

## 1 Pendahuluan

Keberadaan energi alternatif di era ini sangat dibutuhkan, guna menopang kebutuhan energi yang digunakan manusia tentunya keberadaan energi alternatif ini diharapkan dapat mengalihkan sumber daya energi konvensional menuju sumber energi baru yang lebih efisien dan ramah lingkungan [1, 2]. Dalam menanggapi permasalahan di atas maka operasional dan efisiensi dari sebuah pembangkit harus sangat diperhatikan terutama bagi pembangkit listrik yang ramah lingkungan atau pembangkit listrik yang menggunakan energi baru terbarukan.

Setiap pembangkit tenaga listrik selalu berhubungan dengan generator yang menjadi kunci terbentuknya energi listrik dan sebuah generator, tidak pernah lepas terhadap proses eksitasi yang merupakan dasar dari terbentuknya suatu gaya gerak listrik. Pada sistem interkoneksi perubahan beban selalu berubah – ubah setiap saat, sehingga setiap generator yang berkontribusi pada sistem interkoneksi dituntut untuk siap dalam menghadapi setiap kondisi sistem. Eksitasi pada generator sinkron bertujuan untuk membangkitkan fluks magnetik yang digunakan untuk menghasilkan Gaya Gerak Listrik (GGL) dengan cara menyuplai arus searah pada rotor generator [3, 4].

Dalam proses pembangkitan Gaya Gerak Listrik (GGL) selain putaran dari turbin, diperlukan arus penguat (eksitasi) yang berfungsi untuk menghasilkan medan magnet pada kumparan medan di rotor generator. Arus penguatan digunakan untuk mengatur besarnya tegangan keluaran sesuai pembebanan yang diterapkan [3-5].

Sistem eksitasi merupakan suatu proses penguatan medan magnet dengan cara memberikan arus searah (DC) ke belitan medan pada rotor generator sinkron. Secara umum ketika suatu konduktor berupa kumparan dialiri arus searah (DC), maka kumparan tersebut akan menjadi magnet yang nantinya akan menghasilkan fluks magnet. Ketika kumparan medan sudah diberi arus searah yang di dapat dari arus eksitasi dan berputar dengan kecepatan tertentu, maka kumparan jangkar stator generator akan terinduksi dari fluks-fluks magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan, sehingga akan menghasilkan tegangan listrik bolak-balik (AC).

Pada sistem interkoneksi perubahan beban selalu berubah-ubah setiap saat, sehingga setiap generator yang berkontribusi pada sistem interkoneksi dituntut untuk siap dalam menghadapi setiap kondisi sistem [8-10]. Salah satunya adalah menjaga agar tegangan generator tetap stabil pada batas-batas yang ditentukan. Dalam hal ini sistem eksitasi berperan penting untuk menjaga tegangan dan daya reaktif generator agar tetap pada nilai yang diinginkan, oleh karena itu fenomena pengaruh perubahan tegangan perlu dianalisis guna menjaga stabilitas dan keandalan sistem tenaga listrik [11, 12].

Selain itu, perubahan beban jaringan interkoneksi pada generator yang terjadi setiap waktu akan menyebabkan berubahnya nilai tegangan generator serta dapat mempengaruhi bagaimana kinerja generator baik secara *lagging* ataupun *leading* [13, 14].

Menanggapi betapa pentingnya peran sistem eksitasi dalam sebuah pembangkitan energi listrik yang menjadi latar belakang dilakukannya analisa pengaruh pembebanan terhadap sistem eksitasi pada sebuah unit pembangkit energi listrik Siman. Hal tersebut diharapkan dapat membantu monitoring performa dan perencanaan generator yang diteliti, sehingga dapat menghasilkan generator yang lebih stabil dan dapat diandalkan.

## 2 Metodologi

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur. Studi literatur merupakan sebuah langkah dimana kita mencari beberapa referensi dari jurnal - jurnal ilmiah yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Setelah melakukan studi literatur didapatkan referensi metode yang akan digunakan pada penelitian, yaitu dengan melakukan pengambilan data *output* generator, jumlah debit air yang mengalir ke dalam *penstock*, data tinggi jatuh air, data besaran arus eksitasi dan besaran arus pembebanan yang digunakan di PLTA Siman,  $\cos \phi$ , kemudian data - data yang telah diambil dilakukan analisa seberapa besar pengaruh pembebanan terhadap sistem eksitasi lalu dihitung juga besaran rumus eksitasi yang sebenarnya dengan cara mencari besaran daya dari output generator menggunakan pendekatan rumus sebagai berikut [13].

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \quad (1)$$

Keterangan :

$P$  : Daya nyata (Watt)  
 $V$  : Tegangan (Volt)  
 $I$  : Arus listrik (Ampere)  
 $\cos \varphi$  : Faktor daya

Pada rumus Persamaan (1) dibutuhkan data dari daya eksitasi dan tegangan eksitasi untuk bisa mendapatkan nilai arus eksitasi, untuk mendapatkan nilai daya eksitasi dapat dilakukan dengan melakukan pendekatan menggunakan Persamaan (2) sebagai berikut:

$$P_{eks} = (1 - 3\%) \times P \quad (2)$$

Dimana,

$P_{eks}$  : Daya eksitasi  
 1-3% : Persentase besaran tegangan yang digunakan dalam arus eksitasi  
 $P$  : Daya output generator

Setelah melakukan perhitungan menggunakan rumus Persamaan (2) di atas dan mendapatkan nilai dari daya eksitasi, kita bisa melanjutkan ke langkah selanjutnya untuk bisa mendapatkan nilai arus eksitasi menggunakan pendekatan rumus Persamaan (3) sebagai berikut.

$$P_{eks} = V_{eks} \times I_{eks} \quad (3)$$

Setelah mendapatkan semua nilai arus eksitasi yang sebenarnya dari perhitungan di atas langkah selanjutnya membandingkan data arus eksitasi dari data Laporan Harian Operasional (LHO), arus pembebanan, dan arus eksitasi dari perhitungan di atas. Data - data yang telah didapatkan juga digunakan dalam perhitungan menggunakan daya secara konversi energi untuk mencari potensi daya yang dapat dibangkitkan oleh PLTA Siman menggunakan Persamaan (4) sebagai berikut [15].

$$P_G = \rho \times g \times h \times \eta_r \times Q \quad (4)$$

Keterangan :

$P_G$  : Daya yang dihasilkan (Watt)  
 $\rho$  : Massa jenis air  $\text{kg/m}^3$   
 $g$  : Percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )  
 $h$  : Tinggi jatuh air (m)  
 $\eta_r$  : Efisiensi generator  
 $Q$  : Debit air ( $\text{m}^3/\text{det}$ )

Tabel 1. Spesifikasi Generator Unit 1 & Unit 3

Generator unit I	
Generator merk	BBC
Generator type	WAV 190/10
Generator S/N	M34512
Daya	4.5 MVA
Putaran	600 rpm
Tegangan	6000 V +/- 5 %
Arus	434 A
Frekuensi	50 Hz
Factor Daya (cos Q)	0.8
Fasa	3 Fasa
Tahun Operasi	1955

Tabel 2. Spesifikasi Generator Unit II

Generator unit II	
-------------------	--

Generator merk	ETHOS ENERGY
Generator type	GCV-1610M
Daya	4.5 MVA
Putaran	600 rpm
Tegangan	6000 V +/- 5 %
Arus	433 A
Frekuensi	50 Hz
Factor Daya (Cos $\varphi$ )	0.8
Fasa	3 Fasa
Tahun Operasi	2020

Dengan menggunakan pendekatan Persamaan (4) untuk mendapatkan potensi besaran daya yang dapat dibangkitkan dari sistem pembangkit listrik tenaga air Siman. Langkah dalam analisis selanjutnya untuk mendapatkan nilai efisiensi maka diperlukan besaran daya yang dibangkitkan dengan menggunakan rumus elektrik yang ditunjukkan pada Persamaan (1) dan data - data dari spesifikasi generator yang digunakan berikut adalah spesifikasi generator yang digunakan di PLTA Siman dan ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Dari Persamaan (1) didapatkan besaran daya dari rumus elektrik yang akan digunakan untuk mendapatkan efisiensi dengan menggunakan Persamaan (5) di bawah ini [12].

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (5)$$

Keterangan :

$\eta$  : Efisiensi  
 $P_{out}$  : Daya yang didapatkan dari laporan harian operasional.  
 $P_{in}$  : Daya yang didapatkan dengan menggunakan rumus perhitungan secara elektrik.

Setelah penggunaan rumus di atas, didapatkan nilai efisiensi dari setiap tahun pada masing – masing unit pembangkit.

### 3 Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Perbandingan Arus Eksitasi Dan Arus Pembebanan Pada Setiap Unit Pembangkit

Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5 berikut menampilkan data laporan operasional harian dari setiap unit PLTA Siman yang telah diolah dan dirata-ratakan per tahun, mulai dari 2019 hingga Juli 2024. Data ini memuat informasi mengenai arus eksitasi dan arus pembebanan yang menjadi dasar dalam menganalisis keterkaitan antara variasi beban generator dan kebutuhan arus eksitasi pada masing-masing unit. Berdasarkan data dalam tabel, terlihat bahwa nilai arus eksitasi dan arus pembebanan mengalami perubahan setiap tahunnya, namun pola perubahan tersebut tidak selalu bersifat proporsional. Dalam beberapa periode, peningkatan atau penurunan arus pembebanan tidak diikuti perubahan arus eksitasi dengan besaran yang sebanding. Ketidaksesuaian ini menunjukkan adanya faktor lain yang turut memengaruhi kebutuhan eksitasi, seperti kondisi magnetisasi, perubahan karakteristik beban, serta respons sistem regulasi tegangan. Pola hubungan tersebut dapat diamati lebih jelas melalui grafik pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.

Tabel 3. Data Unit 1 pada Tahun 2019 – 2024

Generator Unit 1						
Tahun	Tegangan (kV)	Daya (MW)	Arus (A)	Faktor Daya (Cos $\varphi$ )	Arus Eksitasi (A)	Daya Reaktif (MVAR)
2019	6	3,3	314	0,99	289	0,1
2020	6	2,4	225	0,9	252	0,2
2021	6	2,5	234	0,99	267	0,2
2022	6	2,8	265	0,99	269	0,2
2023	6	3,2	299	0,99	284	0,3
2024	6	2,5	235	0,99	257	0,2

Tabel 4. Data Unit 2 pada Tahun 2019 – 2024

Tahun	Generator Unit 2					
	Tegangan (kV)	Daya (MW)	Arus (A)	Faktor Daya (Cos $\varphi$ )	Arus Eksitasi (A)	Daya Reaktif (MVAR)
2019	6	2,4	224	0,99	196	0,1
2020	6	2,3	214	0,9	186	0,2
2021	6	2,9	265	0,99	195	0,2
2022	6	3,1	285	0,99	195	0,3
2023	6	3,3	307	0,99	205	0,3
2024	6	2,6	239	0,99	186	0,3

Tabel 5. Data Unit 3 Pada Tahun 2019 – 2024

Tahun	Generator Unit 3					
	Tegangan (kV)	Daya (MW)	Arus (A)	Faktor Daya (Cos $\varphi$ )	Arus Eksitasi (A)	Daya Reaktif (MVAR)
2019	6	3,3	308	0,99	294	0,2
2020	6	2,4	227	0,92	259	0,3
2021	6	2,8	260	0,99	279	0,5
2022	6	2,9	273	0,99	276	0,4
2023	6	3,2	302	0,99	291	0,3
2024	6	2,4	229	0,99	263	0,3

Dari ketiga data tabel di atas dapat dilihat data – data yang terekam pada masing - masing unit pembangkit selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan Persamaan (1), (2), dan (3) secara berurutan untuk mendapatkan nilai arus eksitasi yang sebenarnya berikut adalah salah satu contoh perhitungan arus eksitasi yang dilakukan pada tahun 2019.

$$P = V \times I \times \cos \varphi \times \sqrt{3}$$

$$P = 6000 \times 314 \times 0,99 \times 1,73$$

$$P = 3,2 \text{ MW}$$

Setelah kita mendapatkan nilai daya kerja dari unit generator dengan data data yang didapat dari LHO kita bisa menentukan

$P_{eks}$  yang akan digunakan dalam mencari nilai arus eksitasi menggunakan Persamaan (2) di bawah ini.

$$P_{eks} = 1 - 3 \times P$$

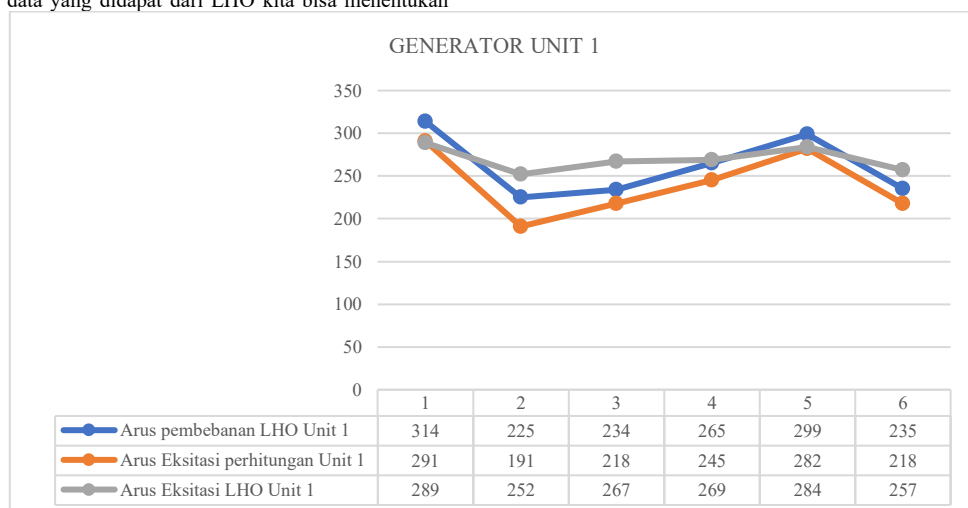
$$P_{eks} = 0,01 \times 3,2 \times 10^6$$

$$P_{eks} = 3,2 \times 10^3 = 3,2 \text{ kW}$$

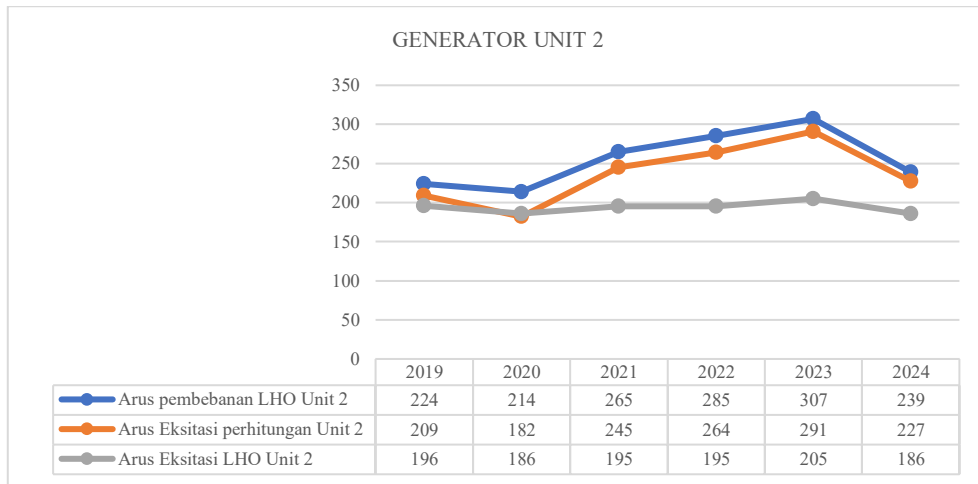
Setelah kita mendapatkan nilai dari daya eksitasi kita bisa menentukan arus eksitasi menggunakan Persamaan (3) sebagai berikut.

$$P_{eks} = V_{eks} \times I_{eks}$$

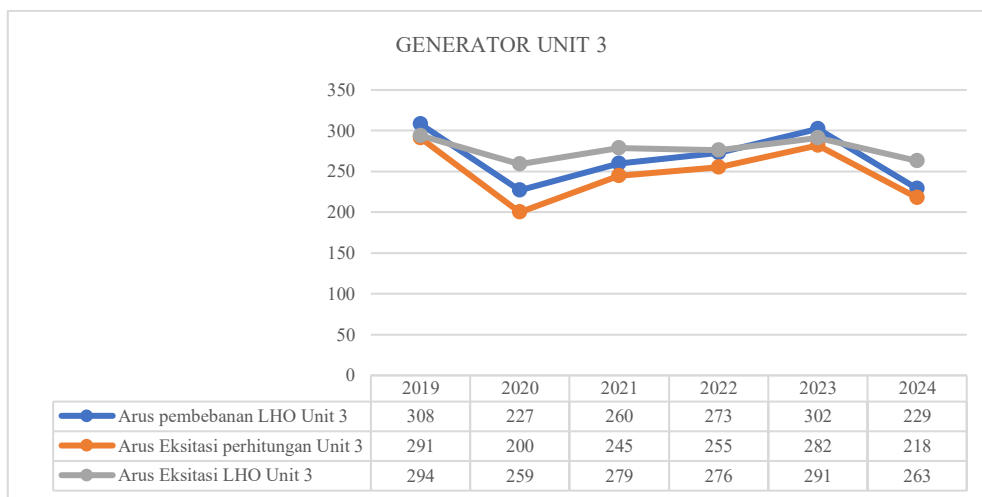
$$3,2 \times 10^3 = 110 \times I_{eks}$$



Gambar 1. Grafik Perbandingan Arus Eksitasi LHO, Arus Eksitasi Sebenarnya dan Arus Pembebanan Unit 1



Gambar 2. Grafik Perbandingan Arus Eksitasi LHO, Arus Eksitasi Sebenarnya dan Arus Pembebanan Unit 2



Gambar 3. Grafik Perbandingan Arus Eksitasi LHO, Arus Eksitasi Sebenarnya dan Arus Pembebanan Unit 3

$I_{eks} = 290,9 \text{ A}$

Pada perhitungan di atas didapatkan besaran arus eksitasi sebenarnya didapatkan 290,9 A dengan arus pembebanan sebesar 225 A dan berikut merupakan data data arus eksitasi yang sebenarnya dari perhitungan dengan Persamaan (1), (2), dan (3) secara berurutan pada setiap unit dan tahun yang berbeda. Setelah didapatkan nilai dari arus sebenarnya langkah selanjutnya melakukan perbandingan antara data dari perhitungan menggunakan Persamaan (1), (2) dan (3) dengan data arus pembebanan dan arus eksitasi yang terekam pada data laporan harian operasional di atas disajikan dalam Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.

Tabel 6. Perhitungan Arus Eksitasi Sebenarnya

Tahun	Arus Eksitasi Unit 1 (A)	Arus Eksitasi Unit 2 (A)	Arus Eksitasi Unit 3 (A)
2019	291	209	291
2020	191	182	200
2021	218	245	245
2022	245	264	255
2023	282	291	282
2024	218	227	218

Pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 3 merupakan perbandingan antara arus eksitasi berdasarkan data LHO, arus eksitasi hasil perhitungan, dan arus pembebanan pada generator Unit 1, Unit 2, dan Unit 3, terlihat bahwa ketika arus pembebanan meningkat, arus eksitasi juga cenderung meningkat, demikian pula sebaliknya ketika arus pembebanan menurun maka arus eksitasi ikut menurun. Namun, pada beberapa kondisi, perubahan kedua tidak selalu proporsional. Selisih antara arus eksitasi LHO dan arus eksitasi sebenarnya menunjukkan adanya indikasi saturasi inti magnet atau pengaruh faktor lain seperti saturasi inti akibat arus eksitasi yang melebihi batas linearitas, respons AVR yang tidak mampu mengimbangi fluktuasi beban, kerugian pada sistem eksitasi, pengaruh lingkungan seperti suhu dan kelembapan tinggi, serta gangguan pada komponen AVR.

Ketidaklinieran ini tampak pada Unit 1 tahun 2019, ketika arus pembebanan 314 A dan arus eksitasi 289 A menghasilkan daya reaktif 0,1 MVAR, sedangkan pada 2023 arus pembebanan dan eksitasi menurun sedikit menjadi 299 A dan 289 A namun daya reaktif meningkat menjadi 0,3 MVAR. Hal ini mengindikasikan saturasi inti magnet, sebagaimana dijelaskan oleh Stephen D. Umans [10] bahwa meningkatnya fluks menyebabkan penurunan permeabilitas magnetik dan efektivitas peningkatan fluks. Dengan demikian, kenaikan arus eksitasi tidak lagi menghasilkan penambahan fluks yang proporsional, sehingga hubungan antara arus eksitasi dan arus beban menjadi tidak linear. Faktor-faktor tersebut merupakan kemungkinan

penyebab ketidaklinieran dan memerlukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan mekanisme utama yang terjadi pada sistem eksitasi generator.

### 3.2 Perhitungan Daya Menggunakan Rumus Konversi Energi

Pada perhitungan daya menggunakan rumus konversi ini dibutuhkan beberapa data dapat dilihat dari rumus Persamaan (4) sebagai berikut:

$$P_G = \rho \times g \times h \times \eta_T \times Q$$

Berikut adalah data data yang telah didapatkan dari PLTA Siman untuk bisa melakukan perhitungan besaran daya yang bisa dibangkitkan oleh generator :

Tabel 7. Efisiensi Unit 1-3 antara data LHO dan daya yang didapatkan menggunakan persamaan elektrik.

Efisiensi Pembangkit (%)			
Tahun	Unit 1	Unit 2	Unit 3
2019	92	64	86
2020	67	61	64
2021	69	75	75
2022	78	81	78
2023	89	86	86
2034	69	67	64

$\rho$  : 997 g/m<sup>3</sup>  
 $g$  : 9,8 m/s<sup>2</sup>  
 $h$  : 104,25 m  
 $\eta_T$  : 0,8  
 $Q$  : 13,5 : 3 = 4,5 m<sup>3</sup>/s

Setelah didapatkan semua data - data yang dibutuhkan maka perhitungan daya menggunakan rumus Persamaan (4) dapat dilakukan sebagai berikut :

$$P_G = 997 \text{ g/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 104,25 \text{ m} \times 0,8 \times 4,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_G = 3.666.906 \text{ W} = 3,6 \text{ MW}$$

Dari perhitungan menggunakan rumus konversi energi didapatkan hasil daya yang bisa dibangkitkan oleh generator sebesar 3.666.906 W atau sekitar 3,6 MW, potensi pembangkitan daya sebesar 3,6 MW sesuai dengan besaran kapasitas dari spesifikasi generator yang ada di PLTA Siman.

### 3.3 Perhitungan Daya Menggunakan Persamaan Elektrikal

Pada perhitungan daya menggunakan rumus elektrik alada beberapa data yang di perlukan untuk dapat dilakukan perhitungan, data data tersebut dapat dilihat pada rumus persamaan (1) di bawah ini :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

Apabila data-data yang dibutuhkan telah didapatkan maka perhitungan bisa dilakukan. Pada perhitungan di bawah ini data tegangan dan arus diambil dari spesifikasi generator unit 1, 2 dan 3 PLTA Siman.

$$P = 6000 \times 434 \times 1,73 \times 0,8$$

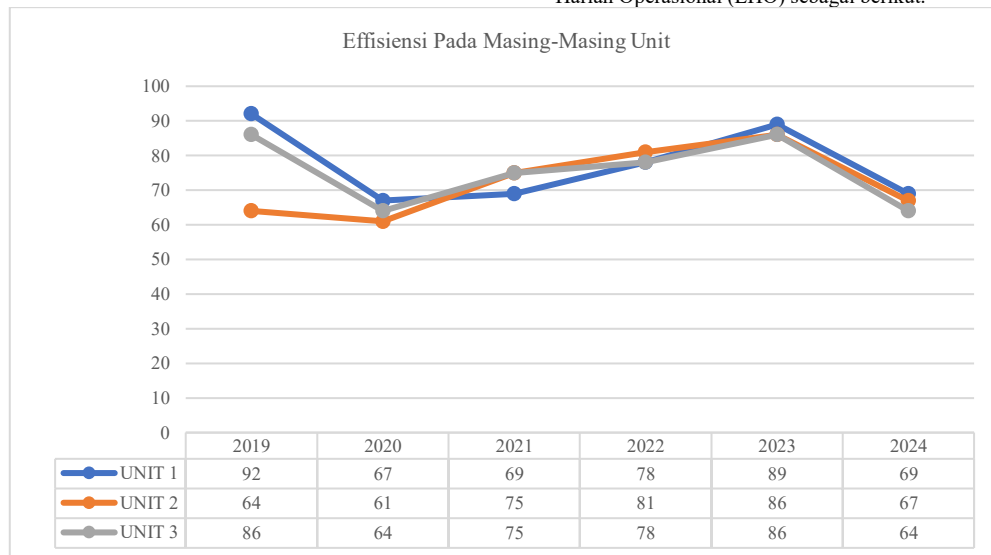
$$P = 3.603.936 \text{ W} = 3,6 \text{ MW}$$

Dari proses perhitungan di atas didapatkan besaran daya sebesar 3,6 MW, daya tersebut didapatkan dari hasil perhitungan menggunakan rumus elektrik al dengan data - data yang didapatkan dari spesifikasi Generator Unit 1 dan Unit 3 PLTA Siman dapat dilihat pada Tabel 3 dan pada Generator Unit 2 dapat dilihat di Tabel 4 pada Unit 2 dilakukan perhitungan tersendiri karena memiliki spesifikasi yang berbeda dari Unit 1 dan Unit 3. Perhitungan daya pada unit 2 juga menggunakan persamaan (1) sebagai berikut.

$$P = 6000 \times 433 \times 1,73 \times 0,8$$

$$P = 3.595.632 \text{ W} = 3,6 \text{ MW}$$

Dari 2 proses perhitungan di atas dapat dilihat generator Unit 1, 2 dan 3 memiliki besaran daya sebesar 3,6 MW dan daya ini akan digunakan untuk menemukan efisiensi antara daya dari perhitungan menggunakan persamaan (5) dengan data Laporan Harian Operasional (LHO) sebagai berikut.



Gambar 4. Nilai Efisiensi pada Masing-Masing Unit Generator

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

$$\eta = \frac{3,3 \text{ MW}}{3,6 \text{ MW}} \times 100 = 91,6 \%$$

Pada Tabel 7 menunjukkan perhitungan nilai efisiensi menggunakan persamaan (5) dan didapatkan nilai efisiensi pada Unit 1 paling rendah berada diangka 67 % pada tahun 2020 sedangkan nilai efisiensi paling tinggi berada sebesar 92% pada tahun 2019, pada Unit 2 nilai efisiensi terendah berada diangka 61% pada tahun 2020 sedangkan nilai efisiensi tertinggi berada diangka 86% yang terjadi pada tahun 2023 dan untuk Tnit 3 nilai efisiensi terendah berada diangka 64% pada tahun 2020 dan 2024 sedangkan nilai efisiensi tertinggi berada diangka 86% yang terjadi pada tahun 2019 dan 2023, apabila data - data tersebut disajikan dalam bentuk grafik maka dapat dilihat pada gambar grafik 3.4 di bawah ini garis warna biru mengimplementasikan

Unit 1, warna orange merepresentasikan Unit 2 dan garis hijau merepresentasikan Unit 3.

### 4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perubahan arus pembebanan menyebabkan arus eksitasi melakukan penyesuaian, dan hubungan keduanya pada kondisi ideal semestinya berlangsung secara linier. Pada generator Unit 1 tahun 2019, arus pembebanan sebesar 314 A menghasilkan arus eksitasi 289 A, sedangkan pada tahun berikutnya arus pembebanan menurun menjadi 225 A dan arus eksitasi turun menjadi 252 A, meskipun secara perhitungan seharusnya bernilai 291 A. Ketidaksesuaian ini menunjukkan adanya nonlinieritas akibat beberapa faktor, termasuk saturasi magnetik ketika inti magnet tidak mampu menampung fluks tambahan sehingga perubahan arus eksitasi tidak lagi menghasilkan perubahan daya reaktif secara linier.

Selain itu, sistem pembangkitan pada setiap unit memiliki potensi daya terpasang sebesar 3,6 MW. Dari sisi kinerja, nilai efisiensi pada Unit 1 berada pada rentang 67% hingga 92%, Unit 2 berada pada rentang 61% hingga 86%, sedangkan Unit 3 memiliki efisiensi antara 64% hingga 86%.

#### Referensi

- [1] G. Mörée dan M. Leijon, "Overview of Hybrid Excitation in Electrical Machines," *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 19, Okt 2022, doi: 10.3390/en15197254.
- [2] V. B. Murali Krishna, V. Sandeep, B. K. Narendra, dan K. R. K. V. Prasad, "Experimental study on self-excited induction generator for small-scale isolated rural electricity applications," *Results in Engineering*, vol. 18, Jun 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101182.
- [3] N. B. Pirmatov dkk., "Some aspects of comparing the operational properties of synchronous machines with a conventional and two mutually shifted excitation windings," dalam *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Jul 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202340103056.
- [4] H. Santoso, U. Wibawa, R. K. Subroto, dan L. Ardhenita, "Impact of load and speed variation to frequency variation on single-phase self-excited induction generator," dalam *2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*, 2018, hlm. 5–8. doi: 10.1109/EECCIS.2018.8692949.
- [5] W. Ullah, F. Khan, dan S. Hussain, "A Comparative Study of Dual Stator With Novel Dual Rotor Permanent Magnet Flux Switching Generator for Counter Rotating Wind Turbine Applications," *IEEE Access*, vol. 10, hlm. 8243–8261, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3143166.
- [6] M. Hawarul Aini Al Mursyid, Brandon Bayu Mangkurat, dan Aris Heri Andriawan, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Air Laut (Pelampung) Kapasitas 100 Watt," *El-Sains: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 2, no. 1, hlm. 2527–6336, 2020.
- [7] K. C. Sindang, B. Mukhlis, dan Y. Arifin, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Sistem Eksitasi Generator Sinkron Sf 33.065 Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Poso 1 Energy," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2022-Teknik Listrik*, Sep 2022, hlm. 393–397.
- [8] K. Yao, Y. Wang, S. Fan, J. Wan, H. Wu, dan Y. Cao, "Fault mechanisms and diagnosis methods for typical load mutation problems of turbo-generator sets," *Front Energy Res*, vol. Volume 10-2022, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2022.981598>
- [9] Hamdan Rizal Maulana, Agus Suandi, dan Helmizar, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi Pada Generator," *Rekayasa Mekanika: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 6, no. 2, hlm. 63–70, Okt 2022, doi: 10.33369/rekayasamekanika.v6i2.25458.
- [10] A. Zulhakim, Yanolanda Suzantry Handayani, dan Priyadi Irmada, "Pengaruh Sistem Eksitasi Terhadap Generator Sinkron Tiga Fasa Di Unit 1 Pt. Pln Indonesia Power Ulpl Ta Musi," *Tekno: Jurnal Ilmiah Elektro*, vol. 17, no. 1, hlm. 1–12, 2023, [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.unib.ac.id/index.php/teknosia>
- [11] V. B. M. Krishna, V. Sandeep, S. S. Murthy, dan K. Yadlapati, "Experimental investigation on performance comparison of self excited induction generator and permanent magnet synchronous generator for small scale renewable energy applications," *Renew Energy*, vol. 195, hlm. 431–441, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.051>.
- [12] D. F. Nurjaman, "Analisis Pengaruh Sistem Eksitasi Terhadap Tegangan Keluaran Generator (Dede Furqon Nurjaman : 85-88) Analisis Pengaruh Sistem Eksitasi Terhadap Tegangan Keluaran Generator Sinkron Mini Hydro," *EPSILON: Journal of Electrical Engineering and Information technology*, vol. 19, no. 3, hlm. 85–88, 2021, doi: <https://doi.org/10.55893/epsilon.v19i3.71>.
- [13] A. Wibisono dkk., "CYCLOTRON: Jurnal Teknik Elektro Analisis Kinerja Generator Sinkron Tiga Fasa pada Pembebanan Resistif," *CYCLOTRON: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 7, no. 01, hlm. 20–26, 2024, doi: <https://doi.org/10.30651/cl.v7i01.21268>.
- [14] F. Yao, Q. An, dan L. Sun, "Voltage Stabilization Analysis of a Harmonic Excitation Generator Employing Armature Current Auxiliary Self-Excitation Scheme Under Variable Load Conditions," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 69, no. 6, hlm. 5432–5441, 2022, doi: 10.1109/TIE.2021.3086730.
- [15] F. Miftah, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi Generator Unit 2 Pltmh Curug," *Jurnal Simetrik (Sipil, Mesin, Listrik)*, vol. 11, no. 1, hlm. 398–403, 2021, doi: <https://doi.org/10.31959/js.v11i1.653>.