

# Studi Korelasi Arus Eksitasi terhadap *Output* Generator Sinkron Unit 3 PGU Suralaya

YUSUF JAKA LAKSANA<sup>1</sup>, DINI FAUZIAH<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung  
Email : yusufjakalaksana@gmail.com

*Received* DD MM YYYY | *Revised* DD MM YYYY | *Accepted* DD MM YYYY

## ABSTRAK

*Dalam suatu sistem pembangkitan energi listrik, tentu tidak mengesampingkan peranan sistem eksitasi. Sistem eksitasi merupakan sistem pemberian arus searah untuk membentuk fluksi bolak – balik pada rotor generator. Sistem eksitasi yang digunakan Generator Sinkron PGU Suralaya yaitu sistem eksitasi dinamik. Untuk mengetahui hubungan yang terjadi antara arus eksitasi dengan daya aktif, daya reaktif, dan tegangan keluaran generator, maka dilakukan uji korelasi berdasarkan metode pearson product momen yaitu memiliki hubungan sangat kuat, karena memiliki nilai koefisien korelasi antara 0,80 – 1,00. Artinya, korelasi arus eksitasi dengan parameter tersebut memiliki pengaruh satu sama lain. Hubungan tersebut dapat dilihat ketika daya reaktif mengalami kenaikan pada saat tegangan terminal mengalami penurunan, maka arus eksitasi perlu dinaikkan. Berdasarkan uji regresi menghasilkan persamaan Y berupa  $2796,91 + 7,57 \cdot 10^6(X)$  yang menjadi referensi untuk pengaturan arus eksitasi terhadap daya reaktif, dan error dari persamaan regresi sebesar -1,4% s/d 2,91% dari selisih nilai riil dan nilai peramalan.*

**Kata kunci:** sistem eksitasi, uji korelasi, pearson product momen, regresi, error

## ABSTRACT

*In an electrical energy generation system, it certainly does not rule out the role of the excitation system. The excitation system is a direct current system to form alternating flux in the generator rotor. The excitation system used by the Suralaya PGU Synchronous Generator is a dynamic excitation system. To find out the relationship between the excitation current and the active power, reactive power, and generator output voltage, a correlation test was carried out based on the Pearson product moment method, which has a very strong relationship, because it has a correlation coefficient value between 0.80 - 1.00. That is, the correlation of the excitation current with these parameters has an influence on each other. This relationship can be seen when the reactive power increases when the terminal voltage decreases, then the excitation current needs to be increased. Based on the regression test, it produces the Y equation in the form of  $2796,91 + 7,57 \cdot 10^6(X)$  which is the reference for setting the excitation current to reactive power, and the error from the regression equation is -1,4% s/d 2,91% of the difference between the real and forecasting value.*

**Keywords:** excitation system, correlation test, pearson product momen, regression, error

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi pada era digital atau milenial seperti sekarang ini sulit dipisahkan dari manusia akan energi listrik. Kemudahan energi listrik untuk diubah menjadi energi lain membuat pemanfaatannya telah mencakup hampir seluruh aspek kehidupan. Oleh karena itu, didirikanlah pembangkit – pembangkit tenaga listrik yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan pelanggan. Dari berbagai jenis pembangkit yang ada maka penulis memfokuskan pembahasan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) **(PLN, 2017)**. Listrik yang dibangkitkan merupakan hasil dari proses konversi energi mekanik berupa putaran turbin menjadi gaya gerak listrik **(Sari & Darwanto, 2021)**. Gaya gerak tersebut dibantu menggunakan generator sinkron. Generator sinkron tersebut sudah di kopling dengan turbin yang digerakkan oleh uap kering. Dalam hal ini, Uap kering tersebut dihasilkan dari proses pembakaran air demin pada ketel *boiler* melalui pipa dinding yang menempel dalam *boiler* dengan temperatur sebesar 540°C dan tekanan sebesar 169 kg/cm<sup>2</sup> **(PLN, 2017)**.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan M. Saleh, sistem eksitasi memiliki peranan penting dalam proses pembangkitan pada generator sinkron yang menjaga tegangan keluaran tetap stabil **(Saleh, 2019)**. Sistem eksitasi juga berperan dalam proses pemberian arus searah pada kumparan yang ada pada generator sinkron **(Azis, 2019)**. Sistem eksitasi yang digunakan pada PGU Suralaya ini menggunakan jenis sistem eksitasi dinamik tanpa sikat arang yang dimaksudkan untuk mengurangi biaya pemeliharaan sehingga dapat menghemat biaya pengeluaran perusahaan. Sistem eksitasi dinamik yang ada di PGU Suralaya ini dibantu oleh *rotating rectifier* dalam proses pembangkitan arus medan di kumparan medan di rotor generator. Sistem pembangkitan generator pada PGU Suralaya terdapat 3 bagian yaitu, PMG, AC *Exciter*, dan generator utama. Oleh karenanya, besarnya beban sistem yang dapat berubah – ubah, maka pengaturan tegangan eksitasi menjadi solusi untuk mengatur kondisi beban tersebut dengan menggunakan AVR **(PLN, 2017)**. Parameter seperti frekuensi, faktor daya, dan arus eksitasi harus dijaga untuk menjaga tegangan tetap berada pada batas aman generator ketika mengalami perubahan beban **(Hana, 2017)**. Perubahan beban juga harus menyesuaikan dengan batas aman generator sehingga parameter pada generator seperti frekuensi, faktor daya, arus eksitasi dll harus selalu dijaga.

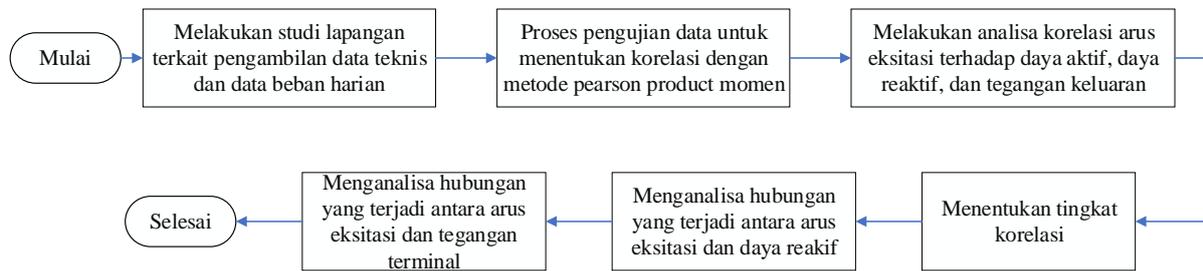
Penelitian ini dimaksudkan untuk melihat besarnya korelasi yang terjadi pada arus eksitasi terhadap daya aktif, daya reaktif, dan juga tegangan terminal generator dengan tujuan untuk melihat keterkaitan apa yang terjadi antara parameter – parameter tersebut. Sehingga karakteristik sistem eksitasi pada generator sinkron unit 3 PGU Suralaya apakah memiliki korelasi yang kuat atau tidak.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini didapatkan data arus eksitasi, data beban harian, dan data teknis peralatan yang didapatkan dari PGU Suralaya. Selanjutnya, dilakukan pengujian data untuk menentukan koefisien korelasi dengan menggunakan metode *pearson product momen*. Setelah korelasi didapatkan, dilakukan analisis hubungan yang terjadi antara arus eksitasi dengan daya aktif, daya reaktif, dan tegangan keluaran generator sinkron unit 3 PGU Suralaya sehingga dapat ditentukan tingkat korelasi berdasarkan tabel koefisien uji kerelasi, untuk melihat apakah hubungan tersebut sangat kuat ataukah tidak. Akhirnya, dapat diambil kesimpulan terkait hu-

bugan yang terjadi antara arus eksitasi dengan daya aktif, daya reaktif, dan tegangan keluaran generator sinkron.



**Gambar 1. Diagram Alir Penelitian**

Gambar 1 merupakan proses yang dilakukan dalam pembuatan makalah terkait uji korelasi antara arus eksitasi dengan daya aktif, daya reaktif, dan tegangan terminal generator.

## 2.2. Persamaan Matematis

Berikut ini adalah persamaan yang digunakan untuk menentukan koefisien korelasi antara arus eksitasi dengan daya aktif, daya reaktif, dan tegangan keluaran generator sinkron.

### 1. Koefisien Korelasi

Pada bagian ini, diberikan persamaan uji korelasi menggunakan metode *pearson product momen* seperti berikut ini (Sugiyono, 2015).

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad (1)$$

Dimana:

x = Dinyatakan sebagai arus eksitasi (If).

y = Dinyatakan sebagai daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan tegangan generator (Vt).

**Tabel 1. Interpretasi Koefisien Korelasi**

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 - 0,199	Sangat rendah
0,20 - 0,399	Rendah
0,40 - 0,599	Sedang
0,60 - 0,799	Kuat
0,80 - 1,000	Sangat kuat

Berdasarkan Tabel 1 pedoman untuk memberikan interpretasi koefisien korelasi dapat dilihat sebagai acuan terkait hubungan yang terjadi.

### 2. Regresi Linier

Pada bagian ini, diberikan persamaan uji regresi linier menggunakan seperti berikut ini (Sugiyono, 2015).

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (3)$$

$$y = f(x) = a + bx \quad (4)$$

Dimana:

n = Banyak data  
 $\Sigma xy$  = Jumlah variabel xy

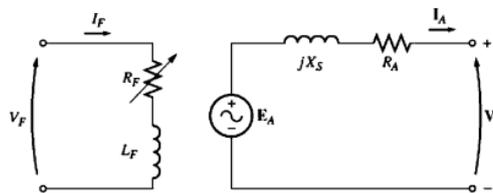
### 3. Tegangan Induksi yang Dibangkitkan

Berikut ini, diberikan persamaan tegangan yang dibangkitkan oleh generator yaitu (Chapman, 1991):

$$e_{ind} = c.n.\phi. \quad (5)$$

Dimana:

$e_{ind}$  = GGL Induksi (V)  
 c = Konstanta mesin  
 $\Phi$  = Fluksi magnetik (Wb)  
 n = Putaran sinkron (rpm)



**Gambar 2. Rangkaian Pengganti**

Gambar 2 merupakan rangkaian pengganti dari generator sinkron yang mana dapat menghasilkan persamaan berikut.

$$E_A = V_t + I_a (jX_s + R_A) \quad (6)$$

Dimana:

$E_A$  = Tegangan induksi yang dibangkitkan (Volt)  
 $V_t$  = Tegangan terminal generator (Volt)  
 $X_s$  = Reaktansi sinkron ( $\Omega$ )  
 $I_a$  = Arus jangkar (A)

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Data Output Generator Sinkron

Bagian ini akan ditampilkan data keluaran dari generator sinkron unit 3 PT Indonesia Power PGU Suralaya, sebagai berikut.

**Tabel 2. Keluaran Generator Sinkron**

Hari ke	VLL (KV)	$I_f$ (A)	Pf	P (MW)	Q (MVAR)	$I_{gen}$ (kA)	$V_t$ (KV)
1	22,98	3077,26	0,94	345,69	34,92	8,78	13,27
2	23,26	3446,82	0,93	355,73	55,41	9,02	13,41
3	23,51	3571,45	0,94	347,50	80,42	8,98	13,45
4	23,27	3365,35	0,95	371,55	73,04	9,46	13,43
5	23,3	3309,04	0,95	380,54	79,72	9,74	13,40
6	23,23	3201,12	0,95	382,03	79,49	9,79	13,43
7	23,39	3535,56	0,95	378,69	100,20	9,76	13,51
8	23,21	3402,72	0,97	392,96	98,18	10,02	13,57

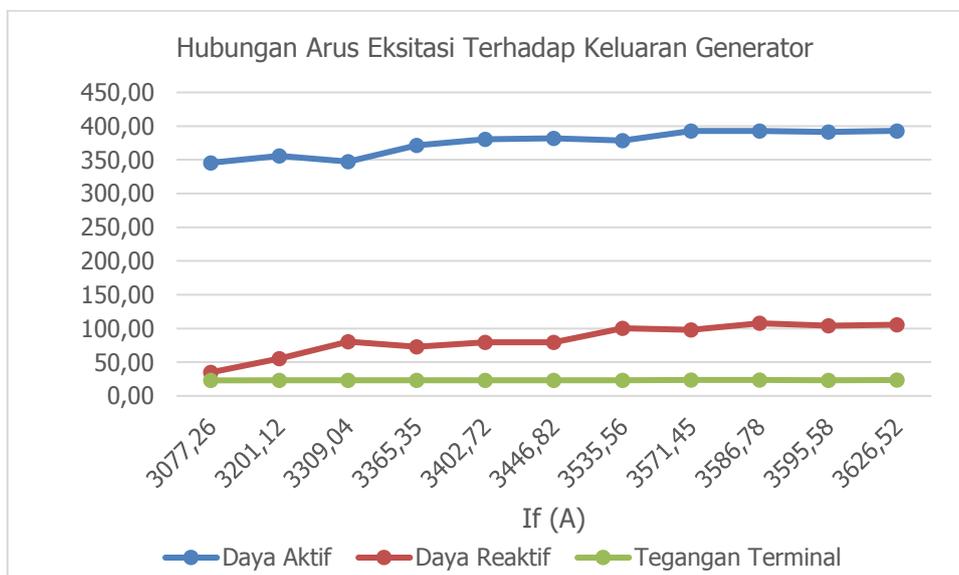
9	23,51	3626,52	0,98	392,61	107,70	10,04	13,57
10	23,49	3586,78	0,98	391,58	104,02	10,05	13,49
11	23,37	3595,58	0,95	393,04	105,70	10,09	13,57

Berdasarkan hasil pada Tabel 2 menyatakan bahwa generator sinkron unit 3 PGU Suralaya masih berjalan dengan optimal. Hal ini dikarenakan pengaturan arus eksitasi masih berjalan dengan baik, sehingga terhindar dari *under excitation* dan atau *over excitation*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, jika generator memberikan atau mensuplai daya reaktif, bisa dikatakan generator bersifat kapasitif, namun jika eksitasinya berlebihan (*Over Excitation*) maka hal ini akan mengakibatkan panas yang berlebihan pada lilitan rotornya, dan jika generator menyerap daya reaktif, bisa dikatakan generator bersifat induktif, namun jika eksitasinya kurang (*Under Excitation*) maka hal ini akan mengakibatkan panas yang berlebihan pada lilitan statornya (Mina & Fahmi, 2018). Perubahan beban pada sistem pembangkitan akan menyebabkan fluktuasi tegangan keluaran generator, sehingga kondisi tegangan keluaran generator yang sering berubah – ubah berdampak pada stabilitas sistem tenaga listrik, maka untuk menjaga keandalan sistem, harus diperlukan suatu sistem tenaga listrik yang stabil (Hana, 2017).

### 3.2. Koefisien Korelasi dari Arus Eksitasi terhadap Daya Keluaran Generator

Dalam hal ini, hubungan arus eksitasi dengan keluaran seperti daya aktif, daya reaktif, dan tegangan keluaran generator dapat dilihat dari uji dengan teknik korelasi menggunakan metode *pearson product momen*.



**Gambar 3. Hubungan Arus Eksitasi terhadap Daya Keluaran**

Gambar 3 merupakan hubungan arus eksitasi terhadap daya aktif, daya reaktif dan tegangan keluaran. Secara keseluruhan, dapat dikatakan bahwa arus eksitasi berbanding lurus terhadap daya keluaran, yaitu semakin besar arus eksitasi maka daya keluaran akan semakin meningkat meskipun tidak signifikan.

Berdasarkan Gambar 3, daya reaktif juga selalu mengikuti perubahan beban (daya aktif), apabila beban (daya aktif) naik maka daya reaktif pada generator naik. Sedangkan kondisi di

generator sinkron, tegangan terminal harus dijaga tetap. Apabila arus eksitasi tidak diatur maka daya reaktif dan faktor daya pada generator mempengaruhi tegangan terminal yang menyebabkan tegangan terminal tidak tetap. Pengendalian daya reaktif dengan cara pengendalian arus medan lewat fasilitas AVR.

Pada suatu sistem generator sinkron, mesin ini memerlukan adanya medan magnet untuk menghasilkan tegangan listrik pada titik terminalnya. Medan magnet ini ditimbulkan dari arus eksitasi yang dihasilkan oleh exciter. Pengaruh sistem eksitasi sangat berpengaruh untuk menjaga kestabilan keluaran generator terhadap perubahan beban. Jika arus eksitasi meningkat maka daya reaktif juga akan meningkat dan sebaliknya. Hubungan arus eksitasi terhadap daya reaktif berbanding lurus (**Multiningsih, 2018**).

1. Korelasi Arus Eksitasi terhadap Daya Aktif

Untuk mengetahui hubungan yang terjadi dari arus eksitasi terhadap daya aktif dapat diketahui dengan mencari koefisien korelasi dengan persamaan 1.

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}}$$

$$r_{xy} = \frac{1,42E+13}{\sqrt{(129651347,6)(1,56E+18)}} = 0,999834988 \approx 0,999$$

Dari contoh perhitungan yang diberikan penulis yang didapatkan dari proses uji korelasi pearson product momen dan dijelaskan pada Tabel 1.

**Tabel 3. Korelasi Arus Eksitasi terhadap Daya Aktif**

	X; I <sub>f</sub> (A)	Y; P (MW)	X*Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
Σ (Total)	37718,20	4131916070	1,42E+13	129651347,6	1,56E+18
<i>r<sub>xy</sub></i> Arus Eksitasi terhadap Daya Aktif					0,999834988 ≈ 0,999

Berdasarkan hasil pada Tabel 3, maka koefisien korelasi yang ditemukan sebesar 0,99 termasuk pada kategori sangat kuat. Jadi terdapat hubungan yang sangat kuat antara arus eksitasi terhadap daya aktif.

2. Korelasi Arus Eksitasi terhadap Daya Reaktif

Untuk mengetahui hubungan yang terjadi dari arus eksitasi terhadap daya reaktif dapat diketahui dengan mencari koefisien korelasi dengan persamaan 1.

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}}$$

$$r_{xy} = \frac{3,19E+12}{\sqrt{(129651347,6)(8,20E+16)}} = 0,978297156 \approx 0,978$$

**Tabel 4. Korelasi Arus Eksitasi terhadap Daya Reaktif**

	X; I <sub>f</sub> (A)	Y; Q (MVAR)	X*Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
Σ (Total)	37718,20	918813893,86	3,19E+12	129651347,6	8,20E+16
<i>r<sub>xy</sub></i> Arus Eksitasi terhadap Daya Reaktif					0,978297156 ≈ 0,978

Berdasarkan Tabel 4, maka koefisien korelasi yang ditemukan sebesar 0,97 termasuk pada kategori sangat kuat. Jadi terdapat hubungan yang sangat kuat antara arus eksitasi terhadap daya reaktif. Dapat dikatakan ketika tegangan terminal generator akan turun ketika daya reaktif meningkat dan sebaliknya, maka dari itu ketika tegangan terminal turun, maka arus eksitasi mulai dinaikkan (**Azis, 2019**).

### 3. Korelasi Arus Eksitasi terhadap Tegangan Keluaran Generator

Untuk mengetahui hubungan yang terjadi dari arus eksitasi terhadap tegangan yang dibangkitkan dapat diketahui dengan mencari koefisien korelasi dengan persamaan 1.

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}}$$

$$r_{xy} = \frac{8,80E+08}{\sqrt{(129651347,57)(5,98E+09)}} = 0,9990428 \approx 0,999$$

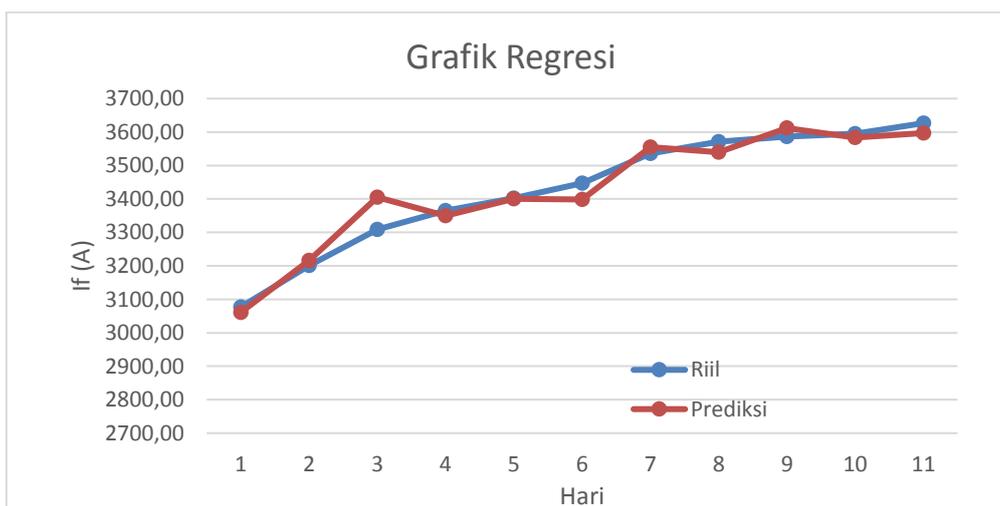
**Tabel 5. Korelasi Arus Eksitasi terhadap Tegangan Keluaran Generator**

	X; If (A)	Y; Vt (V)	X*Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
Σ (Total)	37718,20	256535,58	8,80E+08	129651347,57	5,98E+09
$r_{xy}$ Arus Eksitasi terhadap Tegangan Keluaran Generator					0,9990428 ≈ 0,999

Berdasarkan hasil pada Tabel 5, maka koefisien korelasi yang ditemukan sebesar 0,99 termasuk pada kategori sangat kuat. Jadi terdapat hubungan yang sangat kuat antara arus eksitasi terhadap tegangan keluaran. Dapat dikatakan bahwa tegangan terminal generator akan turun ketika daya reaktif meningkat dan sebaliknya, maka dari itu ketika tegangan terminal turun, maka arus eksitasi mulai dinaikkan (**Azis, 2019**).

### 3.3. Metode Regresi Arus Eksitasi terhadap Daya Reaktif

Pada bagian ini disajikan terkait hasil regresi untuk menentukan prediksi berdasarkan data – data yang telah dimiliki sebelumnya. Dari hasil perhitungan menggunakan Rumus (2), (3), dan (4) didapatkan nilai konstanta a sebesar 2796,91 dan nilai b sebesar  $7,57 \cdot 10^{-6}$  dimana X adalah daya reaktif dan Y adalah besarnya arus eksitasi. Setelah mendapatkan konstanta a dan b maka dapat ditentukan persamaan *regresi linier* dengan persamaan Y berupa  $2796,91 + 7,57 \cdot 10^{-6} (X)$ .



**Gambar 4. Grafik Hasil Regresi**

Gambar 4 merupakan hasil regresi perbandingan antara hasil riil dengan prediksi. Persamaan regresi linier yang didapatkan digunakan untuk meramalkan perubahan daya reaktif terhadap arus eksitasi dengan error dari persamaan regresi sebesar -1,4% s/d 2,91% dari selisih nilai

riil dan nilai peramalan sebagai contoh pada kondisi daya reaktif sebesar 34,92 MVAR, maka arus reaktif perlu dikurangi untuk mendapatkan daya reaktif yang sesuai. Ketika nilai daya reaktif berubah – ubah maka nilai arus eksitasi bisa mengikuti untuk menjaga kestabilan tegangan terminal generator ketika daya reaktif berubah ubah berdasarkan beban, apakah beban tersebut sedang bersifat induktif atau bersifat kapasitif.

### 3.4. Analisa Hubungan Arus Eksitasi terhadap Daya Keluaran Generator

Dapat dikatakan ketika tegangan terminal generator akan turun ketika daya reaktif meningkat dan sebaliknya, maka dari itu ketika tegangan terminal turun, maka arus eksitasi mulai dinaikkan (**Azis, 2019**). Sehingga, arus eksitasi dan tegangan terminal generator memiliki keterkaitan terhadap daya aktif. Dengan meningkatkan penembakan sudut thyristor dapat mengurangi besarnya arus eksitasi dalam mempertahankan kestabilan dari tegangan terminalnya (**Sukmahadi, 2018**). Ketika permintaan beban semakin besar maka arus eksitasi akan ditingkatkan yang mana akan menyebabkan penguatan medan rotor generator akan semakin besar artinya torsi yang bekerja akan semakin meningkat.

Meningkatnya arus eksitasi dapat meningkatkan arus jangkar dan ggl induksi ketika tegangan terminal generator ( $V_t$ ) mengalami penurunan (**Sentosa, 2018**). AVR bekerja dengan mengatur besarnya arus eksitasi pada eksiter, apabila beban bertambah maka AVR memerintahkan eksiter agar menambah arus eksitasi dan sebaliknya, jadi AVR ikut membantu peranan sistem eksitasi dalam mengatur tegangan keluaran (**Nurdin, 2018**).

Berdasarkan hasil pada Tabel 2 ditunjukkan bahwa tegangan terminal generator sinkron kondisi berbeban bekerja dalam kondisi konstan. Fungsi dari arus eksitasi itu sendiri ialah untuk menjaga tegangan terminal generator tetap konstan, mengatur daya reaktif, dan menjaga stabilitas rotor (**Chapman, 1991**). Pengaruh arus eksitasi saat tegangan terminal ( $V_t$ ) konstan yaitu terdapat pada tegangan yang dibangkitkan ( $E_a$ ). Ketika tegangan terminal pada suatu sistem yang sangat besar dijaga konstan, maka besar kecilnya  $E_a$  ditentukan dari reaktansi sinkron dan arus jangkar ( $jX_s.I_A$ ) (**Chapman, 1991**).

Setelah didapatkan pernyataan hubungan antara arus eksitasi dengan daya aktif, daya reaktif, dan tegangan terminal sangat kuat, dapat dikatakan bahwa pengaturan arus eksitasi sangat berperan penting ketika daya reaktif mengalami kenaikan dan tegangan terminal generator mengalami penurunan, maka arus eksitasi perlu dinaikkan untuk menjaga tegangan terminal tetap stabil. Dengan berubahnya arus eksitasi sehingga akan merubah tegangan ggl induksi, yang akhirnya akan diperoleh tegangan terminal yang konstan. Hubungan antara arus eksitasi dengan ggl induksi dan dikatakan bahwa jika arus eksitasi atau arus medan dinaikkan sesuai dengan pertambahan beban, maka ggl induksi yang terbangkitkan juga akan sedikit bertambah besar.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terkait analisa uji korelatif, dapat diketahui bahwa hubungan arus eksitasi terhadap daya aktif, daya reaktif, dan tegangan generator memiliki koefisien korelasi sebesar  $\pm 0,9$ . Hal ini menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang sangat kuat antara ketiga variabel tersebut terhadap arus eksitasi. Persamaan *regresi linier* yang didapatkan yaitu  $2796,91 + 7,57 \cdot 10^{-6} (X)$  digunakan untuk meramalkan perubahan daya reaktif terhadap arus eksitasi. nilai daya reaktif berubah – ubah maka nilai arus eksitasi bisa mengikuti untuk menjaga kestabilan tegangan terminal generator. Dapat dikatakan ketika tegangan terminal generator akan turun ketika daya reaktif meningkat dan sebaliknya, maka dari itu ketika tegangan terminal turun, maka arus eksitasi mulai dinaikkan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada pihak – pihak yang telah mendukung dalam menyelesaikan penelitian ini baik kepada PT. Indonesia Power PGU Suralaya yang telah membantu dalam segi tempat, waktu, dan ilmu yang diberikan kepada penulis. Selanjutnya kepada keluarga yang telah memberi dukungan moril dan doa, serta pihak lainnya yang tidak bisa disebutkan. Semoga jurnal ini dapat memberikan manfaat untuk penulis dan pembaca sehingga bisa dijadikan referensi yang baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Azis, H. (2019). Simulasi Pemodelan Sistem Eksitasi Statis Pada Generator Sinkron terhadap Perubahan Beban. *Energi & Kelistrikan 11 (2)*, 46 - 54.
- Chapman, S. J. (1991). *Electric Machinery Fundamentals Fourth Edition*. Boston: BAE System Australia.
- Hana, N. (2017). *Pemodelan Pengaruh Perubahan Beban Daya Reaktif terhadap Arus Eksitasi dan Tegangan Keluaran Generator Sinkron*. Semarang: Unissula Institute Repository.
- Kementerian ESDM. (2007). *Peraturan Menteri ESDM No.3 Tahun 2007 tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa– Madura–Bali*. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Mina, I. A., & Fahmi, M. S. (2018). Supply Eksitasi Output Generator 300 MW menggunakan Metode Pola Titik Daya Reaktif. *Journal of Mechanical Emgineering and Mechatronics Vol 5, No 1*.
- Multiningsih, P. (2018). *Analisis PEngaruh Arus Eksitasi terhadap Daya Reaktif Pada Generator Sinkron PLTU PT DSS*. Jakarta: Institut Teknologi PLN.
- Nurdin, A. A. (2018). Peranan Automatic Voltage Regulator Sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron. *Jurnal Ampere, Vol 3 No 1*.
- PLN. (2017). *Sistem Eksitasi Generator & Pemeliharaan AVR*. Jakarta: PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan.
- Saleh, M. (2019). Analisis Pengaruh Perubahan Eksitasi terhadap Daya Reaktif Generator. *Dsspace UMSU*.
- Sari, F., & Darwanto, A. (2021). Analisis Sistem Eksitasi Pada Generator Paralel terhadap Daya Reaktif. *Jurnal Teknologi 14 (1)*, 10 - 19.
- Sentosa, A. (2018). *Analisis Sistem Eksitasi Terhadap Performa Generator Sinkron Di PLTU*. Yogyakarta: UMY.
- Sugiyono. (2015). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sukmahadi, A. (2018). Simulasi Pemodelan Sistem Eksitasi Statis pada Generator Sinkron terhadap Perubahan Beban. *Dsspace UII, Electrical Engineering 509*.