

## ANALISIS PENGARUH ARUS EKSITASI TERHADAP DAYA REAKTIF GENERATOR SINKRON UNIT 3 PLTA UBRUG

### *ANALYSIS OF THE EFFECT OF EXCITATION CURRENT ON REACTIVE POWER OF SYNCHRONOUS GENERATOR UNIT 3 UBRUG HEPP*

Setya Aria Putra<sup>1\*</sup>, Dian Budhi Santoso<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Singaperbangsa Karawang

Email : <sup>1\*</sup>setya.aria18095@student.unsika.ac.id, <sup>2</sup>dian.budhi@ft.unsika.ac.id

\*Penulis Korespondensi

**Abstrak** - Generator sinkron membutuhkan suatu medan magnet sebagai penguat agar dapat menghasilkan tegangan listrik. Medan magnet tersebut dapat diperoleh dari arus eksitasi yang dibangkitkan oleh exciter. Arus eksitasi tersebut mengalir pada kumparan medan yang terdapat pada rotor, sehingga rotor itu dapat menghasilkan medan magnet. Kemudian, konduktor akan memotong garis-garis gaya magnet dan menghasilkan Gaya Gerak Listrik (GGL) sehingga menghasilkan tegangan [1]. Saat arus eksitasi diatur di bawah nilai nominal, maka fluks magnet yang terdapat pada stator akan menurun, sehingga tegangan yang dihasilkan oleh generator juga ikut turun. Perubahan pada eksitasi menjadi penyebab tegangan dan daya reaktif yang dihasilkan generator mempunyai nilai batas tertinggi dan batas terendah. Perubahan besarnya arus eksitasi juga mempengaruhi variasi nilai beban pada besarnya daya reaktif. Pengaturan input pada generator sinkron adalah pengaturan yang dilakukan input arus medan dan frekuensi, input arus medan digunakan untuk mengatur besarnya nilai keluaran daya reaktif dan tegangan yang dihasilkan oleh generator. Berdasarkan data akhir dari hasil perhitungan daya reaktif dapat dilihat bahwa nilai faktor daya yang diperoleh minimum sebesar 0,94 dengan arus eksitasi pada rotor sebesar 314 A dan daya reaktif sebesar 3,1 MVAR, sehingga dapat disimpulkan bahwa besar nilai daya reaktif yang dihasilkan oleh generator berbanding lurus dengan arus eksitasi yang diberikan.

**Kata kunci:** Generator Sinkron, Daya Reaktif, Sistem Eksitasi, Faktor Daya.

**Abstract** - Synchronous generators require a magnetic field as an amplifier in order to produce an electric voltage. The magnetic field can be obtained from the excitation current generated by the exciter. The excitation current flows in the field coil contained in the rotor, so that the rotor can produce a magnetic field. Then, the conductor will cut the lines of magnetic force and produce an electromotive force (EMF) so as to produce a voltage [1]. When the excitation current is set below the nominal value, the magnetic flux in the stator will decrease, so that the voltage generated by the generator also decreases. Changes in excitation cause the voltage and reactive power produced by the generator to have the highest and lowest limit values. Changes in the size of the excitation current also affect the variation in the value of the load on the amount of reactive power. The pull setting on the synchronous generator is the setting made by the input field current and frequency, the input field current is used to adjust the value of the reactive power output and the voltage generated by the generator. Based on the final data from the calculation of reactive power, it can be seen that the minimum power factor value obtained is 0.94 with an excitation current in the rotor of 314 A and reactive power of 3.1 MVAR, so it can be concluded that the value of reactive power generated by the generator is large. Directly proportional to the applied excitation current.

**Keywords:** Synchronous Generator, Reactive Power, Excitation System, Power Factor

#### 1. PENDAHULUAN

PLTA Ubrug merupakan salah satu sub unit dari PLTA Saguling POMU yang terletak di Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. PLTA Ubrug ini didirikan pada tahun 1923 dengan kapasitas daya yang terpasang 18,36 MW dan menggunakan tiga unit generator sinkron. Generator tersebut masing-masing digerakkan oleh tiga buah turbin air. Kenyataan yang ada di lapangan, hanya dua unit turbin saja yang beroperasi, sedangkan satu unit lagi dalam posisi stand by jika sewaktu-waktu di butuhkan.

Pembangkit Listrik Tenaga Air atau PLTA adalah suatu pembangkitan listrik yang dapat bekerja dengan memanfaatkan gerak air dalam turbin untuk mengubah energi potensial yang mungkin menjadi energi mekanik dan terakhir dikonversi menjadi energi listrik [2]. Pada umumnya, metode yang terlibat dengan membangkitkan daya diselesaikan dengan memutar generator terkoordinasi untuk memberikan arus pertukaran (AC). Generator digerakkan

oleh pemutar poros, khususnya turbin pada umumnya proses pembangkitan energi listrik biasa dilakukan dengan cara memutar generator agar dapat menghasilkan arus listrik *Alternating Current (AC)*. Generator tersebut digerakkan oleh sebuah penggerak mula yaitu turbin [3][4].

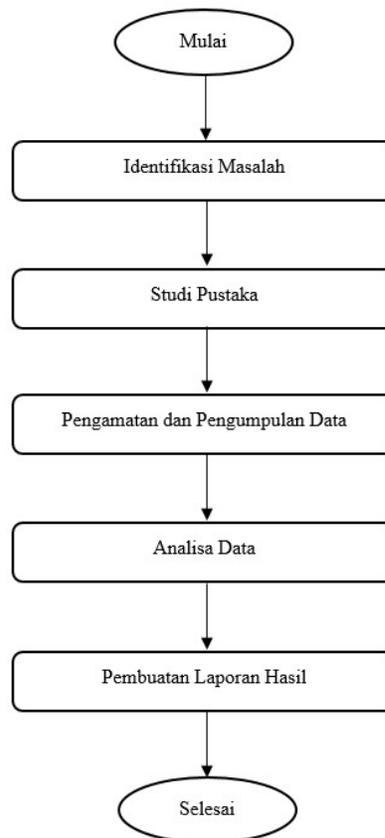
Generator sinkron merupakan salah satu komponen utama dalam proses pembangkitan tenaga listrik. Untuk membangkitkan daya listrik diperlukan sistem yang digunakan sebagai penguat agar dapat menghasilkan medan magnet atau lebih sering disebut sistem eksitasi [5][6][7]. Gaya gerak listrik (GGL) adalah beda potensial yang berada diantara ujung-ujung suatu penghantar dalam sebuah rangkaian terbuka [8]. Sistem eksitasi adalah sebuah sistem yang digunakan untuk mengirimkan daya DC sebagai penguat sehingga generator dapat membangkitkan energi listrik. Besarnya aliran eksitasi yang diberikan ke generator mempengaruhi energi listrik yang dihasilkan [9][10] [11].

Sistem eksitasi tipe statis sering disebut sebagai *self-excitation* adalah jenis sistem eksitasi yang tidak membutuhkan generator tambahan dari luar sebagai sumber tegangan penguat untuk generator sinkron. Sumber energi listrik yang digunakan pada sistem eksitasi jenis ini diperoleh dari tegangan *output* generator yang sebelumnya telah disearahkan oleh komponen *thyristor* [13][14]. Jenis sistem eksitasi statis ini digunakan pada generator sinkron unit 3 PLTA Ubrug [12].

Pentingnya peran dan fungsi sistem eksitasi pada pembangkitan energi listrik, melatarbelakangi dilakukannya penelitian ini, selain itu tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah untuk menganalisa dan mengetahui pengaruh dari arus eksitasi terhadap daya reaktif pada generator unit 3 PLTA Ubrug.

## 2. METODE PENELITIAN

Dalam sebuah penelitian, biasanya terdapat beberapa tahapan atau metode yang dipakai untuk menjawab permasalahan yang sedang dianalisa. Umumnya, penelitian dilakukan dengan mengikuti petunjuk yang telah disusun secara sistematis agar mendapatkan hasil yang mewakili keadaan sebenarnya [15]. Berikut ini tahapan atau metode penelitian yang penulis lakukan sebagai berikut.



Gambar 1. *Flowchart* Tahapan Penelitian

## 2.1. IDENTIFIKASI MASALAH

Identifikasi sebuah masalah menjadi langkah awal yang harus dilakukan dalam melakukan suatu penelitian. Tahap ini dilakukan agar peneliti dapat memahami kondisi dan masalah dari penelitian yang akan diambil, sehingga dapat membantu proses pengambilan data dan analisa agar tetap ada di ruang lingkup permasalahan yang diteliti.

## 2.2. STUDI PUSTAKA

Selama melakukan proses penelitian, penulis dapat mencari, mempelajari serta memahami teori pustaka yang ditemukan dari berbagai sumber seperti jurnal, buku, dan penelitian-penelitian sebelumnya sebagai panduan dan referensi untuk membantu dan memberikan landasan teori yang baik untuk pemecahan masalah.

## 2.3. PENGAMATAN DAN PENGAMBILAN DATA

Pengamatan dan pengumpulan data perlu dilakukan, hal tersebut merupakan bagian dari penelitian. Berikut beberapa cara yang peneliti lakukan dalam mengumpulkan data, antara lain :

- Kajian Pustaka, yaitu metode yang umum dilakukan, pada tahapan ini peneliti mengambil data dari berbagai sumber informasi yang berkaitan dengan fokus bahasan penelitian.
- Wawancara (*Interview*), yaitu melakukan wawancara atau tanya jawab sebagai proses pengumpulan data dengan pihak-pihak terkait di lapangan.
- Pengamatan (*Observation*), yaitu mengamati secara langsung kondisi yang di lapangan dan berkaitan dengan penelitian.
- Terlibat secara langsung dalam pelaksanaan *operation* dan *maintenance*.

Sumber data yang digunakan adalah data spesifikasi generator sinkron unit 3 dan data operasi pada tanggal 6 Agustus 2020. Dari data operasi tersebut tercantum nilai arus eksitasi pada generator sinkron. Berikut sumber data yang peneliti gunakan dalam penelitian ini, yaitu :

- Data laporan bulanan perusahaan (operasi) PLTA Ubrug
- Buka panduan manual *Automatic Voltage Regulator (AVR)* generator PLTA Ubrug

## 2.4. ANALISA DATA

Analisa data dilakukan sebagai bagian penelitian yang bertujuan agar dapat menjawab dari rumusan masalah yang telah ditentukan saat pembahasan topik penelitian. Di dalam analisa ini berisi ulasan teknik mengenai pengaruh arus eksitasi generator sinkron unit 3 terhadap daya reaktif di PLTA Ubrug.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. SPESIFIKASI GENERATOR SINKRON UNIT 3 PLTA UBRUG

Generator yang digunakan pada unit 3 PLTA Ubrug merupakan jenis generator sinkron 3 fasa dengan tegangan *output* sebesar 6,3 kV yang selanjutnya dinaikkan menggunakan trafo *step up* [16]. Berikut spesifikasi dari generator unit 3 PLTA Ubrug :

Tabel 1. Spesifikasi Generator Unit 3 PLTA Ubrug

| No | Uraian          | Data Teknis   |
|----|-----------------|---------------|
| 1  | Pabrik          | ELIN          |
| 2  | Tipe            | SV 204/10-136 |
| 3  | No.Seri         | -             |
| 4  | Daya            | 7.200 Kva     |
| 5  | Putaran         | 600 Rpm       |
| 6  | Tegangan        | 6.300 Volt    |
| 7  | Arus            | 660 A         |
| 8  | Frekuensi       | 50 Hz         |
| 9  | $\cos \phi$     | 0,9           |
| 10 | Fasa            | 3             |
| 11 | Kelas Isolasi   | F             |
| 12 | Tahun Pembuatan | 1994          |
| 13 | Tahun Operasi   | 1995          |

**3.2. DATA OPERASI HARIAN GENERATOR SINKRON UNIT 3 PLTA UBRUG**

Berikut merupakan data operasi generator unit 3 PLTA Ubrug yang diambil pada tanggal 06 Agustus 2020.

Tabel 2. Data Operasi Generator Unit 3 PLTA Ubrug

| Jam   | Arus Eksitasi i (A) | Arus Generator (A) | Tegangan Keluaran Generator (kV) | Daya Beban (MW) | Cos φ |
|-------|---------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------|-------|
| 20.08 | 95                  | 314                | 5.81                             | 3.1             | 0.94  |
| 20.12 | 95                  | 412                | 5.77                             | 4               | 0.95  |
| 20.15 | 97                  | 527                | 5.72                             | 4.98            | 0.97  |
| 20.20 | 99                  | 620                | 5.65                             | 5.8             | 0.99  |

Pada saat generator beroperasi, untuk mengatur daya keluaran dari generator agar tetap stabil, maka arus eksitasi yang diberikan harus selalu dijaga. Hal tersebut dapat mengakibatkan kenaikan dan penurunan nilai fluks magnetik seiring dengan perubahan arus eksitasi untuk menjaga daya keluaran sehingga dapat mempengaruhi perubahan pada daya reaktif.

**3.3. ANALISA PENGARUH PERUBAHAN ARUS EKSITASI TERHADAP DAYA REAKTIF (MVAR)**

Besar nilai daya reaktif yang dihasilkan oleh generator tergantung pada besarnya pengaturan nilai arus eksitasi generator, perhitungan daya reaktif yang dihasilkan oleh generator dapat dihitung sebagai berikut:

$$S = V \times I \times \sqrt{3} \dots\dots\dots (1)$$

Pada persamaan (1), *S* merupakan daya semu. *V* adalah tegangan keluaran generator, sedangkan  $\sqrt{3}$  berasal dari perhitungan untuk penjumlahan vektor 3 fasa arus listrik yang saling berbeda 120°.

- Jam 20.08  
 $S = V \times I \times \sqrt{3}$   
 $= 5810 \times 314 \times \sqrt{3}$   
 $= 3156108.2 VA$   
 $S = 3.16 MVA$
  
- Jam 20.12  
 $S = V \times I \times \sqrt{3}$   
 $= 5770 \times 412 \times \sqrt{3}$   
 $= 4112625.2 VA$   
 $S = 4.11 MVA$
  
- Jam 20.25  
 $S = V \times I \times \sqrt{3}$   
 $= 5720 \times 527 \times \sqrt{3}$   
 $= 5214981.2 VA$   
 $S = 5.22 MVA$
  
- Jam 20.20  
 $S = V \times I \times \sqrt{3}$   
 $= 5650 \times 620 \times \sqrt{3}$   
 $= 6060190 VA$   
 $S = 6.06 MVA$

Untuk mencari besar daya reaktif (*Q*) pada masing-masing nilai, dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \times \sqrt{3} \dots\dots\dots (2)$$

Pada persamaan (2), *Q* merupakan daya reaktif. *V* adalah tegangan keluaran generator, *I* merupakan arus keluaran dari generator, dan *Sin φ* adalah faktor reaktif.  $\sqrt{3}$  berasal dari perhitungan untuk penjumlahan vektor 3 fasa arus listrik yang saling berbeda 120°.

- Jam 20.08  

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \times \sqrt{3}$$

$$= 5810 \times 314 \times 0.2 \times \sqrt{3}$$

$$= 631221.64 \text{ VAR}$$

$$Q = 0.63 \text{ MVAR}$$
- Jam 20.12  

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \times \sqrt{3}$$

$$= 5770 \times 412 \times 0.23 \times \sqrt{3}$$

$$= 945903.796 \text{ VAR}$$

$$Q = 0.95 \text{ MVAR}$$
- Jam 20.15  

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \times \sqrt{3}$$

$$= 5720 \times 527 \times 0.3 \times \sqrt{3}$$

$$= 1564494.36 \text{ VAR}$$

$$Q = 1.56 \text{ MVAR}$$
- Jam 20.20  

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \times \sqrt{3}$$

$$= 5650 \times 620 \times 0.29 \times \sqrt{3}$$

$$= 175655.1 \text{ VAR}$$

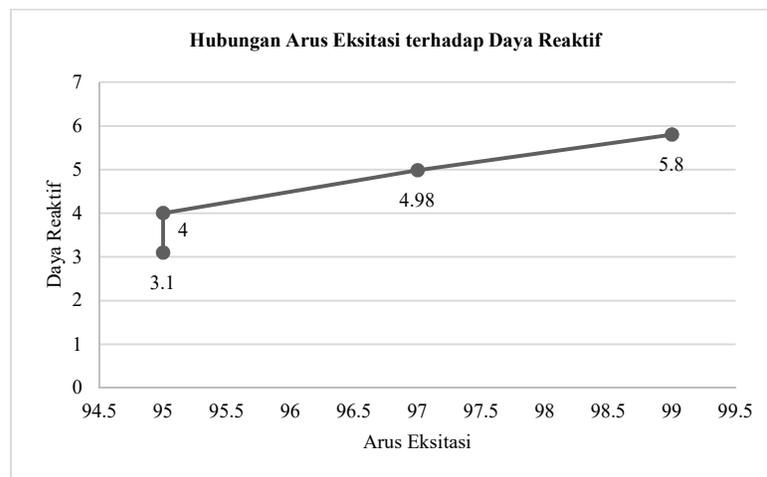
$$Q = 1.76 \text{ MVAR}$$

Di bawah ini merupakan data daya reaktif yang diperoleh dari hasil perhitungan :

Tabel 3. Data Hasil perhitungan Daya Semu (S) dan Daya Reaktif (Q)

| Jam   | Arus Eksitasi (A) | Arus (A) | Cos $\varphi$ | Tegangan Keluaran Generator (KV) | Beban           |                     |                 |
|-------|-------------------|----------|---------------|----------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|
|       |                   |          |               |                                  | Daya Aktif (MW) | Daya Reaktif (MVAR) | Daya Semu (MVA) |
| 20.08 | 95                | 314      | 0.94          | 5.81                             | 5.81            | 3.1                 | 0.94            |
| 20.12 | 95                | 412      | 0.95          | 5.77                             | 5.77            | 4                   | 0.95            |
| 20.15 | 97                | 527      | 0.97          | 5.72                             | 5.72            | 4.98                | 0.97            |
| 20.20 | 99                | 620      | 0.99          | 5.65                             | 5.65            | 5.8                 | 0.99            |

Berdasarkan perhitungan diatas, hubungan antara perubahan besar nilai arus eksitasi terhadap daya reaktif (MVAR) dapat dilihat berdasarkan gambar 4 di bawah sebagai berikut:



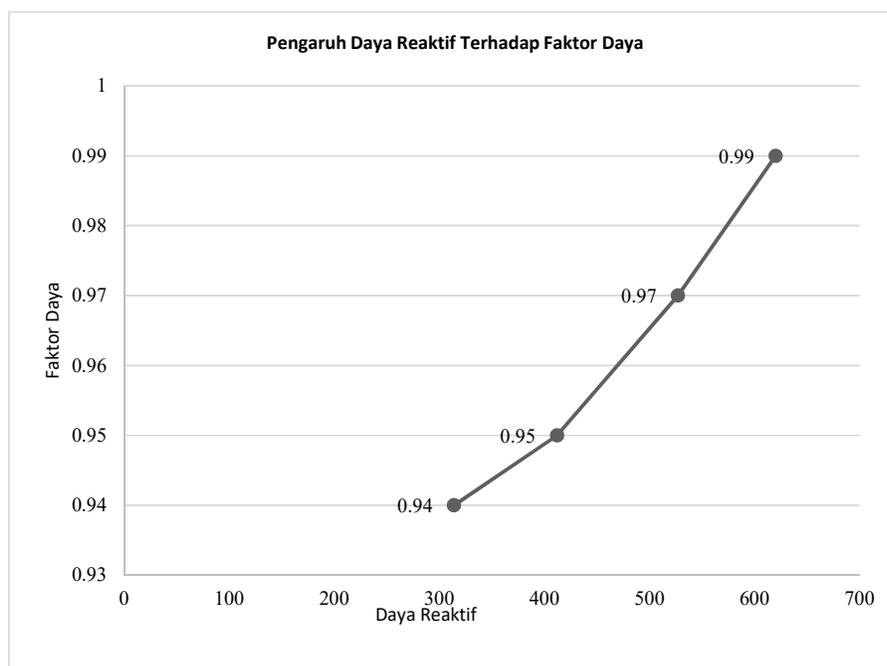
Gambar 2. Hubungan Arus Eksitasi dengan Daya Reaktif

Dari grafik yang ditampilkan pada gambar 2 di atas memperlihatkan besarnya arus eksitasi yang diberikan pada generator unit 3 PLTA Ubrug memiliki pengaruh terhadap daya reaktif yang dihasilkan, maka harus dilakukan pengendalian agar tetap berada pada batas nominalnya. Pada saat beban puncak, tegangan yang terukur pada sistem relatif lebih rendah, hal tersebut dikarenakan pengaruh dari nilai beban induktif yang harus di kendalikan oleh sistem, sehingga menyebabkan tegangan *output* generator terlihat lebih rendah dari batas nominal. Penyelesaian yang dapat dilakukan untuk menanggulangi hal tersebut, maka daya reaktif pada generator tersebut dinaikkan dengan tujuan agar tetap mampu mengirimkan daya reaktif ke sistem. Dengan demikian, terjadi peningkatan terhadap tegangan generator sesuai dengan nilai nominalnya. Untuk menaikkan atau menurunkan daya reaktif generator, arus eksitasi yang diberikan harus sebanding, maka tugas AVR adalah mengontrol besar arus eksitasi sesuai dengan yang dibutuhkan oleh generator.

Sebaliknya, saat kondisi tidak dalam beban tertinggi, kebutuhan beban induktif dari sistem menjadi rendah, sehingga nilai daya reaktif generator relatif lebih kecil dan tidak melebihi dari tegangan nominalnya, sehingga arus eksitasi yang dialirkan ke rotor generator harus diturunkan agar dapat menurunkan daya reaktif yang dihasilkan oleh generator. Terlihat dari bentuk grafik pada gambar 2, besar nilai daya reaktif yang dihasilkan oleh generator berbanding lurus dengan arus eksitasi yang diberikan.

### 3.4. PENGARUH DAYA REAKTIF (MVAR) TERHADAP FAKTOR DAYA ( $\cos \phi$ )

Terjadinya pergeseran arus dengan tegangan diakibatkan karena adanya beban reaktif. Faktor daya atau bilangan  $\cos \phi$  dan daya reaktif memiliki fungsi yang fungsi. Maka nilai ( $\neq 0$ ) akan dimiliki daya reaktif dan faktor daya. Hubungan antara perubahan nilai arus eksitasi terhadap daya reaktif (MVAR) sehingga mempengaruhi faktor daya dapat dilihat berdasarkan gambar dibawah sebagai berikut:



Gambar 3. Pengaruh Daya Reaktif Terhadap Faktor Daya

Berdasarkan gambar 5 diatas mengenai hubungan antara keluaran daya reaktif terhadap faktor daya. Jika dilihat dari rumus daya reaktif yaitu  $Q = V \times I \times \sin \phi \times \sqrt{3}$ , tegangan keluaran dari generator selalu dalam keadaan tetap, sehingga jika arus eksitasi yang diberikan akan semakin besar maka daya reaktif yang dihasilkan juga akan semakin besar sehingga akan berbanding lurus dengan besar faktor daya yang ada pada sistem. Berdasarkan data akhir dari hasil perhitungan daya reaktif dapat dilihat bahwa nilai faktor daya yang diperoleh minimum sebesar 0,94 dengan arus eksitasi ( $I_f$ ) pada rotor sebesar 314 A dan daya reaktif sebesar 3,1 MVAR, maka semakin besar nilai arus eksitasi yang diberikan, berbanding lurus dengan daya reaktif yang dihasilkan.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Hasil Uji Validitas dan Uji Reliabilitas

Suatu instrumen dikatakan valid dan reliabel jika nilai  $r_{hitung} > r_{tabel}$  dengan taraf signifikan ( $\alpha$ ) sebesar 0,05.

Tabel 1. Hasil Uji Validitas dan Reliabilitas

| Variabel                          | Kode | Validitas | Reliabilitas | $r_{\text{tabel}}$ | Kesimpulan         |
|-----------------------------------|------|-----------|--------------|--------------------|--------------------|
| Keterlibatan Pekerja (X1)         | X1.1 | 0,822     | 0,808        | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X1.2 | 0,816     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X1.3 | 0,853     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X1.4 | 0,683     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X1.5 | 0,613     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
| Peranan Manajemen (X2)            | X2.1 | 0,852     | 0,854        | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X2.2 | 0,822     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X2.3 | 0,845     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X2.4 | 0,826     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X3.1 | 0,776     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
| Peraturan dan Prosedur K3 (X3)    | X3.2 | 0,859     | 0,851        | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X3.3 | 0,803     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X3.4 | 0,794     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
| Kondisi dan Lingkungan Kerja (X4) | X3.5 | 0,759     | 0,711        | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X4.1 | 0,876     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X4.2 | 0,799     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
| Kompetensi Pekerja (X5)           | X4.3 | 0,714     | 0,840        | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X5.1 | 0,860     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X5.2 | 0,878     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
| Komunikasi Pekerja (X6)           | X5.3 | 0,875     | 0,794        | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X6.1 | 0,820     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X6.2 | 0,747     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | X6.3 | 0,811     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
| Kinerja Proyek (Y)                | X6.4 | 0,771     | 0,370        | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | Y1   | 0,572     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | Y2   | 0,538     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | Y3   | 0,440     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | Y4   | 0,354     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | Y5   | 0,616     |              | > 0,329            | Valid dan Reliabel |
|                                   | Y6   | 0,572     | > 0,329      | Valid dan Reliabel |                    |

Pada Tabel 1. diperoleh hasil jika semua item dinyatakan valid dilihat dari nilai  $r_{\text{hitung}} > r_{\text{tabel}}$ .

### 3.2. Hasil Analisis Faktor-faktor K3 Dominan dalam Pelaksanaan Proyek

Tabel 2. Peringkat Faktor-Faktor K3 Dominan Dalam Pelaksanaan Proyek

| Faktor-Faktor K3             | Hasil Analisis |                 |                   |
|------------------------------|----------------|-----------------|-------------------|
|                              | Mean           | Standar Deviasi | Peringkat/Ranking |
| Peraturan dan Prosedur K3    | 16,750         | 4,843           | 1                 |
| Keterlibatan Pekerja         | 15,083         | 4,279           | 2                 |
| Komunikasi Pekerja           | 14,000         | 3,757           | 3                 |
| Peranan Manajemen            | 13,889         | 4,248           | 4                 |
| Kompetensi Pekerja           | 11,028         | 2,913           | 5                 |
| Kondisi dan Lingkungan Kerja | 10,306         | 2,671           | 6                 |

Berdasarkan hasil analisis *mean* dan standar deviasi pada Tabel 2. di atas diperoleh pengelompokan atas 3 peringkat teratas dari faktor-faktor K3 dominan dalam pelaksanaan proyek, yaitu 1) Peraturan dan Prosedur K3, 2) Keterlibatan Pekerja, 3) Komunikasi Pekerja.

### 3.3. Hasil Uji Normalitas

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas Dengan *Kolmogorov-Smirnov Test*

| One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test |                |                         |
|------------------------------------|----------------|-------------------------|
|                                    |                | Unstandardized Residual |
| N                                  |                | 36                      |
| Normal Parameters <sup>a,b</sup>   | Mean           | ,0000000                |
|                                    | Std. Deviation | ,80548025               |
| Most Extreme Differences           | Absolute       | ,094                    |
|                                    | Positive       | ,094                    |
|                                    | Negative       | -,088                   |
| Test Statistic                     |                | ,094                    |
| Asymp. Sig. (2-tailed)             |                | ,200 <sup>c,d</sup>     |

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

d. This is a lower bound of the true significance.

Tabel 3. menunjukkan apabila nilai signifikansi dari uji normalitas menggunakan *Kolmogorov-Smirnov Test* yaitu 0,200 hal ini berarti data tersebut adalah normal.

**3.4. Hasil Uji Multikolinearitas**

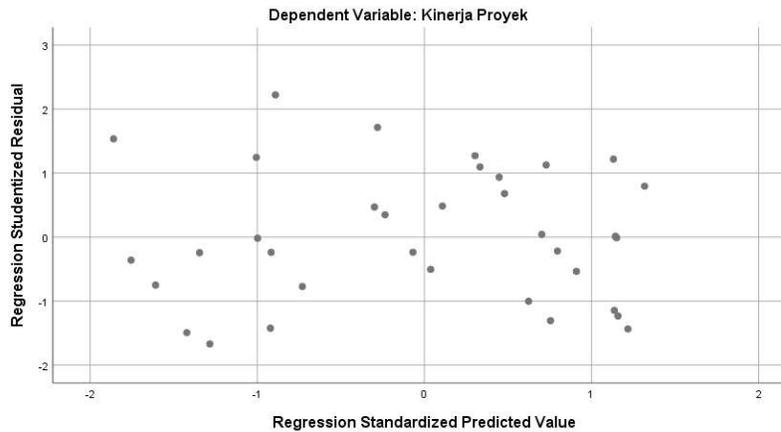
**Tabel 4. Hasil Uji Multikolinearitas**

| Coefficients <sup>a</sup> |                              | Collinearity Statistics |       |
|---------------------------|------------------------------|-------------------------|-------|
| Model                     |                              | Tolerance               | VIF   |
| 1                         | (Constant)                   |                         |       |
|                           | Keterlibatan Pekerja         | ,643                    | 1,554 |
|                           | Peranan Manajemen            | ,275                    | 3,636 |
|                           | Peraturan dan Prosedur K3    | ,292                    | 3,420 |
|                           | Kondisi dan Lingkungan Kerja | ,711                    | 1,406 |
|                           | Kompetensi Pekerja           | ,443                    | 2,257 |
|                           | Komunikasi Pekerja           | ,558                    | 1,793 |

a. Dependent Variable: Kinerja Proyek

Pada Tabel 4. menunjukkan jika semua variabel independen tidak mengalami gejala multikolinearitas dibuktikan dengan hasil Tolerance yang didapat > 0,10 dan nilai *VIF* didapat < 10,00.

**3.5. Hasil Uji Heterokedastisitas**



**Gambar 1. Hasil Uji Heterokedastisitas dengan Grafik Scaterplot**

Gambar 1 menunjukkan bahwa titik-titik pada sumbu Y terdistribusi acak baik diatas maupun dibawah 0 (nol). Dapat disimpulkan bahwa data tidak terdapat tanda gejala heteroskedastisitas.

**3.6. Hasil Uji Koefisien Determinasi (*R-Square/R<sup>2</sup>*)**

**Tabel 5. Hasil Uji Koefisien Determinasi (*R-Square*)**

| Model Summary <sup>b</sup> |                   |          |                   |                            |
|----------------------------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| Model                      | R                 | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
| 1                          | ,945 <sup>a</sup> | ,893     | ,871              | ,885                       |

a. Predictors: (Constant), Komunikasi Pekerja, Kondisi dan Lingkungan Kerja, Keterlibatan Pekerja, Kompetensi Pekerja, Peraturan dan Prosedur K3, Peranan Manajemen  
 b. Dependent Variable: Kinerja Proyek

Pada Tabel 5 di atas terlihat bahwa koefisien determinasi sebesar 0,871 atau 87,1 persen. Sebuah koefisien 87,1 persen ditemukan untuk menjelaskan variabel dependen. Sementara faktor independen yang tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini hanya menyumbang 12,9% dari varians.

**3.7. Hasil Uji Signifikansi Simultan (Uji F)**

**Tabel 6. Hasil Uji F**

| ANOVA <sup>a</sup> |            |                |    |             |        |                   |
|--------------------|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| Model              |            | Sum of Squares | df | Mean Square | F      | Sig.              |
| 1                  | Regression | 189,292        | 6  | 31,549      | 40,290 | ,000 <sup>b</sup> |
|                    | Residual   | 22,708         | 29 | ,783        |        |                   |
|                    | Total      | 212,000        | 35 |             |        |                   |

a. Dependent Variable: Kinerja Proyek

b. Predictors: (Constant), Komunikasi Pekerja, Kondisi dan Lingkungan Kerja, Keterlibatan Pekerja, Kompetensi Pekerja, Peraturan dan Prosedur K3, Peranan Manajemen

Berdasarkan Tabel 6. dapat diperoleh bahwa variabel independen berpengaruh secara keseluruhan/ simultan akan variabel dependennya.

### 3.8. Hasil Uji Signifikansi Parsial (Uji t)

Tabel 7. Hasil Uji t

| Model |                              | Coefficients <sup>a</sup>        |            | Standardized Coefficients<br>Beta | t      | Sig. |
|-------|------------------------------|----------------------------------|------------|-----------------------------------|--------|------|
|       |                              | Unstandardized Coefficients<br>B | Std. Error |                                   |        |      |
| 1     | (Constant)                   | 12,335                           | ,819       |                                   | 15,058 | ,000 |
|       | Keterlibatan Pekerja         | -,027                            | ,044       | -,046                             | -,610  | ,547 |
|       | Peranan Manajemen            | ,239                             | ,067       | ,413                              | 3,561  | ,001 |
|       | Peraturan dan Prosedur K3    | -,010                            | ,057       | -,020                             | -,178  | ,860 |
|       | Kondisi dan Lingkungan Kerja | ,112                             | ,066       | ,121                              | 1,684  | ,103 |
|       | Kompetensi Pekerja           | ,315                             | ,077       | ,373                              | 4,085  | ,000 |
|       | Komunikasi Pekerja           | ,187                             | ,053       | ,286                              | 3,514  | ,001 |

a. Dependent Variable: Kinerja Proyek

Pada Tabel 7. diperoleh 3 faktor yang mempengaruhi kinerja proyek pada pembangunan gedung Muhammadiyah Palangka Raya Kampus II yaitu Peranan Manajemen (X2), Kompetensi Pekerja (X5) dan Komunikasi Pekerja (X6). Hal ini didukung oleh Wieke et al, 2012 [9].

### 3.9. Hasil Analisis Regresi Linear Berganda

Tabel 8. Hasil Analisis Regresi Linear Berganda

| Model |                              | Coefficients <sup>a</sup>   |            |                           | t      | Sig. | Kesimpulan             |
|-------|------------------------------|-----------------------------|------------|---------------------------|--------|------|------------------------|
|       |                              | Unstandardized Coefficients |            | Standardized Coefficients |        |      |                        |
|       |                              | B                           | Std. Error | Beta                      |        |      |                        |
| 1     | (Constant)                   | 12,335                      | ,819       |                           | 15,058 | ,000 |                        |
|       | Keterlibatan Pekerja         | -,027                       | ,044       | -,046                     | -,610  | ,547 | Tidak Berpengaruh      |
|       | Peranan Manajemen            | ,239                        | ,067       | ,413                      | 3,561  | ,001 | Berpengaruh Signifikan |
|       | Peraturan dan Prosedur K3    | -,010                       | ,057       | -,020                     | -,178  | ,860 | Tidak Berpengaruh      |
|       | Kondisi dan Lingkungan Kerja | ,112                        | ,066       | ,121                      | 1,684  | ,103 | Tidak Berpengaruh      |
|       | Kompetensi Pekerja           | ,315                        | ,077       | ,373                      | 4,085  | ,000 | Berpengaruh Signifikan |
|       | Komunikasi Pekerja           | ,187                        | ,053       | ,286                      | 3,514  | ,001 | Berpengaruh Signifikan |

Berdasarkan Tabel 8. didapat faktor K3 yang berpengaruh terhadap kinerja proyek pada pembangunan gedung Muhammadiyah Palangka Raya Kampus II, yaitu Peranan Manajemen (X2), Kompetensi Pekerja (X5) dan komunikasi Pekerja (X6). Hal ini didukung oleh Wieke et al, 2012 [9].

## 5. KESIMPULAN

Sistem eksitasi tipe statis merupakan sistem penguatan yang digunakan oleh generator sinkron di PLTA Ubrug. Pada sistem ini, *exciter* diam dan tidak ikut berputar secara bersama rotor. Self-excitation merupakan nama lain dari jenis sistem eksitasi ini, perbedaan dengan jenis eksitasi lainnya adalah pada sistem ini yang tidak membutuhkan generator tambahan sebagai sumber tegangan penguat melainkan berasal dari output tegangan generator yang sebelumnya telah disearahkan oleh komponen thyristor.

Saat arus eksitasi diatur di bawah nilai nominal, maka fluks magnet yang terdapat pada stator akan menurun, sehingga tegangan yang dihasilkan oleh generator juga ikut turun. Perubahan pada eksitasi menjadi penyebab tegangan dan daya reaktif yang dihasilkan generator mempunyai nilai batas tertinggi dan batas terendah. Perubahan besarnya arus eksitasi juga mempengaruhi variasi nilai beban pada besarnya daya reaktif.

Perubahan besarnya arus eksitasi akan mempengaruhi nilai daya reaktif yang dihasilkan. Masukkan arus medan berfungsi untuk mengatur besarnya nilai keluaran daya reaktif dan tegangan hasilkan oleh generator. Arus eksitasi tersebut dihubungkan ke bagian rotor generator. Besarnya arus eksitasi yang mengalir pada belitan rotor akan mempengaruhi nilai dari daya reaktif yang hasilkan sesuai dengan persamaan daya reaktif yaitu  $Q = V \times I \times \sin \varphi \times \sqrt{3}$ , dimana  $I$  adalah arus yang mengalir pada belitan rotor dan nilainya tergantung dari besar arus eksitasi yang diberikan. Maka, besar arus eksitasi harus terus dijaga agar daya yang dihasilkan oleh generator tetap pada nilai nominalnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Suryadi, W. A. Sukarno, and Ilham, "Karakteristik Pembebanan Puncak Grid System 500 kV Terhadap Arus Eksitasi Pembangkitan," *Elektra*, vol. 2, no. 2, pp. 42–49, 2017.
- [2] F. Azis and S. N. Fitri, "Rancang Bangun Trainer Pembangkit Listrik Mikro Hidro," *J. Electr. Enginering*, vol. 1, no. 2, pp. 50–53, 2020.
- [3] 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. Ujdom Tenayan Raya,” *Semin. Nas. Karya Ilm. Multidisiplin*, vol. 1, no. 1, pp. 96–109, 2021.
- [4] A. K. Sidabutar, A. H. J. Ontowirjo, and G. M. C. Mangindaan, “Pengaturan Pencegahan Over-eksitasi Pada Generator Sinkron 20MW Menggunakan Distributed Control System Di PLTP Lahendong Unit 2,” *Repo.Unsrat.Ac.Id*, pp. 1–12.
- [5] S. Ramadhanti, “Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Dan Tegangan Terminal Generator Unit 3 PLTP Gunung Salak,” Institut Teknologi PLN, 2020.
- [6] A. Annisa, W. Winarso, and W. Dwiono, “Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron,” *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 37–53, 2019, doi: 10.30595/jrre.v1i1.4928.
- [7] M. Farhan, R. Hidayat, and Y. Saragih, “Pengaruh Pembebanan Terhadap Arus Eksitasi Generator Unit 2 PLTMH Curug,” *J. Simetrik*, vol. 11, no. 1, pp. 388–397, 2021.
- [8] Y. Liklikwatil, “Analisa Pengaruh Pergerakan Fluks Magnet Eksitasi Di Dalam Generator Listrik Terhadap Tegangan Keluaran,” *J. Isu Teknol.*, vol. 15, no. 2, pp. 51–55, 2020.
- [9] M. Harahap, Y. T. Nugraha, M. Adam, and M. S. Nasution, “Pengaruh Perubahan Variasi Eksitasi Tegangan Terhadap Daya Reaktif Pada Generator,” *RELE(Rekayasa Elektr. dan Energi)*, vol. 3, no. 2, pp. 71–76, 2021.
- [10] R. Ricky and J. Windarta, “Analisis Komparasi Perhitungan Teori dan Aktual Terhadap Daya Aktif dan Daya Reaktif Steam Turbine Generator 2.0 Pada PT Indonesia Power Semarang,” *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 1, pp. 7–18, 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.8133.
- [11] A. Nurdin, A. Azis, and R. A. Rozal, “Peranan Automatic Voltage Regulator Sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron,” *J. Ampere*, vol. 3, no. 1, p. 163, 2018, doi: 10.31851/ampere.v3i1.2144.
- [12] F. Alamsyah, D. Notosudjono, and H. Soebagia, “Studi Kinerja Generator Pembangkit Listrik Tenaga Air Ubrug Sukabumi,” *J. Online Mhs. Bid. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 2–4, 2017, [Online]. Available: <https://jom.unpak.ac.id/index.php/teknikelektro/article/view/665>.
- [13] H. Azis, P. Pawenary, and M. T. B. Sitorus, “Simulasi Pemodelan Sistem Eksitasi Statis pada Generator Sinkron terhadap Perubahan Beban,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 11, no. 2, pp. 46–54, 2019.
- [14] A. F. Ismail, H. M. Taqiyuddin, and B. D. Sulo, “Analisis Sistem Eksitasi Terhadap Kondisi Jenis Beban Pada Generator 11 Kv Di Pt. Pupuk Indonesia Energi,” *Sci. ELECTRO*, 2021.
- [15] D. F. Nurjaman, “Analisis Pengaruh Sistem Eksitasi Terhadap Tegangan Keluaran Generator Sinkron Mini Hydro,” *J. Electr. Eng. Inf. Technol.*, pp. 85–88, 2021.
- [16] Rimbawati, P. Harahap, and K. U. Putra, “Analisis Pengaruh Perubahan Arus Eksitasi Terhadap Karakteristik Generator,” *J. RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi)*, vol. 2, no. 1, pp. 37–44, 2019.