Journal of Systems Engineering and Management

journal homepage: https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/JOSEAM

e ISSN 2964-0040

# ANALISIS PENGARUH ARUS EKSITASI PADA STEAM TURBINE GENERATOR DI PT KRAKATAU CHANDRA ENERGI

Anis Fuadi Putra, Hartono*, Felycia

*Departemen Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jend. Sudirman KM 3, Cilegon 42435, Banten, Indonesia*

INFORMASI

Informasi artikel:
Disubmit 08 Mei 2025
Direvisi 30 Mei 2025
Diterima 31 Mei 2025
Tersedia Online 22 Juni 2025

Kata Kunci:
Sistem Eksitasi
Arus Eksitasi
Tegangan Keluaran
Daya Reaktif

ABSTRAK

Pada saat pengoperasian generator dapat mengalami berbagai macam gangguan atau kendala salah satunya adalah ketidakstabilan tegangan. Ketidakstabilan tegangan tersebut mengakibatkan adanya fluktuasi nilai tegangan keluaran pada generator. Untuk itu diperlukan adanya sistem eksitasi yang memiliki peran sebagai pengontrol tegangan keluaran pada generator, supaya mempunyai nilai yang stabil pada penggunaan beban dalam sistem yang fluktuatif. Tujuan pada penelitian ini untuk menganalisis pengaruh dari nilai arus eksitasi terhadap tegangan keluaran, daya reaktif dan faktor daya. Hasil dari penelitian menunjukan bahwa peningkatan nilai arus eksitasi akan berbanding lurus dengan nilai tegangan induksi yang mengakibatkan tegangan keluaran mengalami peningkatan. Sedangkan daya reaktif memiliki selisih 0,015 MVAR pada arus eksitasi 3,01 A. Berdasarkan analisis menunjukan bahwa tegangan keluaran dan daya reaktif bergantung pada arus eksitasi. Peningkatan arus eksitasi meningkatkan tegangan keluaran dan daya reaktif, begitupun sebaliknya.

Journal of Systems Engineering and Management is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA).

## 1. Pendahuluan

Komponen utama pada sistem pembangkit listrik yang memiliki peran dalam menghasilkan energi listrik adalah generator. Dalam generator, proses perubahan energi mekanis menjadi energi listrik dapat berlangsung karena adanya sistem eksitasi[1][2]. Sistem eksitasi memegang peran penting dalam proses pembangkitan listrik. Eksitasi memiliki fungsi sebagai penghasil medan magnet pada kumparan medan rotor generator. Arus eksitasi dipakai untuk mengatur besar kecilnya tegangan keluaran generator sesuai dengan pembebanan yang digunakan [3][4][5].

Sistem eksitasi generator sinkron memungkinkan penyaluran energi yang dihasilkan oleh mesin (*turbine*) ke jaringan listrik. Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan permasalahan vital dalam menunjang kehandalan sistem tenaga listrik. Oleh karena itu, keandalan dan ketersediaan peralatan eksitasi menjadi prioritas utama dalam pemilihan sistem[6][11]. Tegangan eksitasi umumnya tidak melebihi 1 kV sehingga belitannya tidak memerlukan insulasi tambahan[7][12]. Pada mesin yang lebih besar, kehilangan eksitasi dapat menimbulkan risiko besar terhadap sistem, karena mesin tersebut berubah menjadi beban daya reaktif yang signifikan, yang dapat memicu keruntuhan tegangan dan meningkatkan risiko ketidakstabilan tegangan di area yang sama dalam jaringan[8].

Hilangnya eksitasi adalah gangguan yang sangat umum terjadi pada pengoperasian mesin sinkron dan dapat disebabkan oleh hubung singkat pada belitan medan, pemutusan medan yang tidak terduga, atau kegagalan pengoperasian relai hilang eksitasi[7][13]. Pada kondisi ini, daya reaktif eksitasi yang diperlukan diambil dari sistem tenaga yang pada gilirannya menyebabkan penurunan besaran tegangan terminal[9][14]. Selain adanya kondisi kehilangan eksitasi juga terdapat *over* eksitasi yang mengacu pada kondisi ketika tegangan DC yang diterapkan pada medan rotor melebihi batas operasi normal[8]. Dengan menghindari masalah eksitasi, seperti kondisi eksitasi kurang dan eksitasi berlebih dengan mengatur nilai batas bawah dan nilai batas atas eksitasi[10][15]. Kedua kondisi ini memiliki dampak besar terhadap efisiensi, stabilitas, serta keamanan operasi generator.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh arus sistem eksitasi generator sinkron terhadap tegangan keluaran dan daya reaktif, dengan mengambil studi kasus di PT Krakatau Chandra Energi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan dan pemahaman yang lebih mendalam mengenai cara terbaik dalam mengelola sistem eksitasi untuk menjaga kinerja generator tetap efisien dan stabil.

*Penulis korepondensi
alamat *e-mail*: hartono@untirta.ac.id
http://dx.doi.org/10.6270/joseam.vxix.32511

## 2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini digunakan sebagai acuan untuk melakukan proses pengambilan data serta analisis data sesuai dengan alur dan metode yang telah dirancang untuk menghindari keluar batas dari tujuan yang diharapkan. Pada penelitian ini membahas tentang sistem eksitasi pada generator sinkron dengan melakukan analisis pengaruh arus eksitasi pada steam turbine generator sinkron di pt krakatau chandra energi. Dengan menggunakan metode perhitungan, simulasi dan analisis data aktual.

### *2.1. Studi Literatur*

Studi literatur dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan informasi mengenai sistem eksitasi pada generator sinkron di PT Krakatau Chandra Energi dan informasi mengenai literasi tentang sistem eksitasi pada generator sinkron. Pada studi literatur dikumpulkan beberapa penelitian terdahulu, kajian teoritis dan buku-buku penelitian yang berkaitan dan berdekatan dengan pembahasan mengenai sistem eksitasi dan pengetahuan lain tentang generator dan sistem eksitasi.

### *2.2. Pengambilan Data*

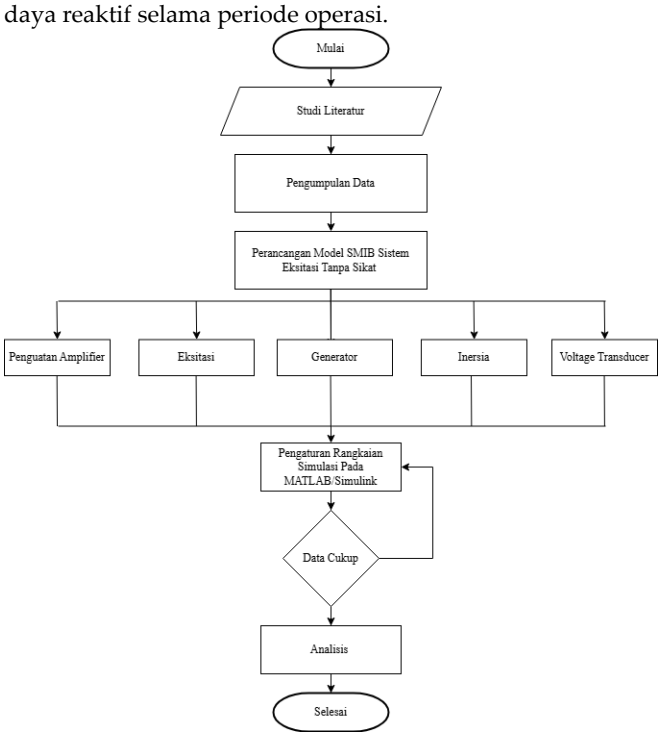
Pengambilan data dilakukan di PT Krakatau Chandra Energi terkait sistem eksitasi statis atau sistem eksitasi brushless pada generator sinkron yang digunakan di pembangkit listrik tersebut. Data yang diperlukan adalah data arus eksitasi, tegangan terminal, daya aktif, daya reaktif, faktor daya, dan data kebutuhan penunjang penelitian lainya.

### *2.3. Perhitungan dan Simulasi*

Perhitungan dengan memasukan parameter yang sama berdasarkan data aktual yang telah didapatkan dan literatur yang ada. Perhitungan dilakukan dengan rumus dasar kelistrikan, termasuk hukum Ohm dan persamaan daya listrik untuk mengetahui hubungan antara arus eksitasi dan parameter keluaran generator. Sedangkan, simulasi dilakukan untuk melihat bentuk grafik dari hasil simulasi tersebut dengan menggunakan MATLAB/simulink. Data tersebut kemudian diolah untuk menganalisis bagaimana perubahan arus eksitasi memengaruhi tegangan keluaran serta besaran daya reaktif yang dihasilkan oleh generator.

### *2.4. Pengamatan dan Analisis*

Analisis data yang didapat, untuk menganalisis pengaruh arus eksitasi terhadap kinerja sistem eksitasi tersebut dan membandingkanya terhadap tegangan keluaran serta daya reaktif. Pengamatan dan analisis dilaksanakan dengan memanfaatkan data operasional dari generator sinkron, yang meliputi arus eksitasi, tegangan keluaran, dan daya reaktif. Data ini dianalisis untuk mengidentifikasi pola perubahan pada tegangan dan daya reaktif sebagai akibat dari variasi arus eksitasi. Analisis tersebut bertujuan untuk memahami keterkaitan langsung antara parameter-parameter tersebut serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap kinerja generator dalam mempertahankan stabilitas tegangan dan efisiensi daya reaktif selama periode operasi.

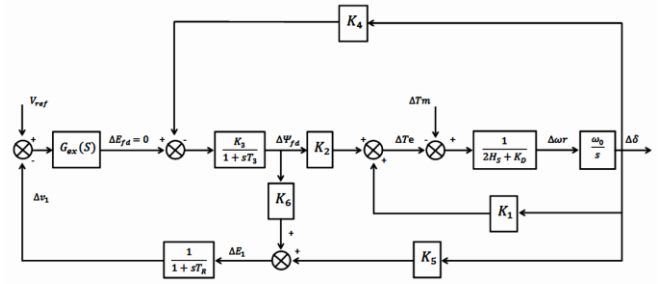



**Gambar 1**. Diagram alir penelitian

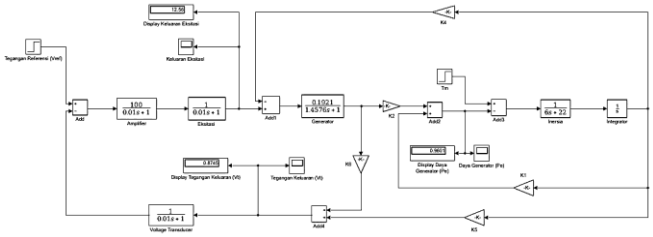
**Tabel 1**
Spesifikasi generator sinkron STG

| No | Item | Spesifikasi |
|---|---|---|
| 1 | *Kind of Machine* | Generator |
| 2 | *Machine Code* | SGEN 5-100A-4P |
| 3 | *Number of Phase* | 3 |
| 4 | *Connection* | YYYY |
| 5 | *Range of Rated Voltage* | 11000 V +10/-10% |
| 6 | *Rated Power* | 52350 kVA |
| 7 | *Type of Excitation* | *SELF EXCITATION* |
| 8 | *Frequency* | 50 Hz |
| 9 | *Rated Current* | 2748 A |
| 10 | *Rated Power Factor* | Cos φ = 0,85 |
| 11 | *Rated Speed* | 1500 $min^{-1}$ |
| 12 | *Rating and Performance Standard* | IEC 60034 |

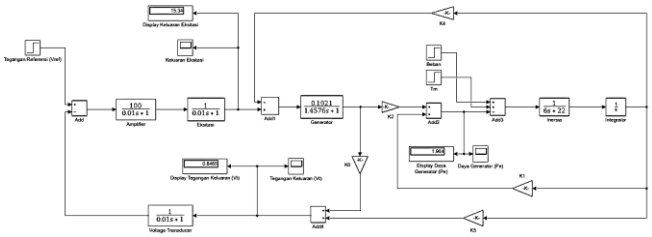
Sistem eksitasi yang dipakai dalam penulisan penelitian ini adalah sistem eksitasi dengan tipe ST1A. Bentuk representasi sistem eksitasi dengan tipe ST1A adalah pada gambar berikut.




**Gambar 2**. Bentuk representasi sistem eksitasi dengan tipe ST1A



**Gambar 3.** Pemodelan single machine to infinite bus (SMIB) tanpa beban menggunakan MATLAB/simulink



**Gambar 4.** Pemodelan *single machine to infinite bus* (SMIB) dengan beban menggunakan MATLAB/*simulink*

## 3. Hasil dan Diskusi

### *3.1. Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Tegangan Keluaran Generator*

Penelitian ini menggunakan data pengukuran generator sinkron dari PT Krakatau Chandra Energi selama tiga bulan, dengan interval pencatatan data setiap satu jam. Fokus analisis adalah hubungan antara arus eksitasi terhadap tegangan keluaran pada generator sinkron. Berdasarkan data yang diolah, diperoleh nilai arus armature (Ia), impedansi sinkron (Ω) dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Ia = \frac{P}{\sqrt{3} \times Vt \times Cos\phi} \quad (1)$$

$$Ia = 9.712\ A$$

Contoh perhitungan resistansi pada salah satu titik data adalah:

$$Zs = \frac{Vt}{I} \quad (2)$$

$$Zs = \frac{11.36}{9.712} = 1.170\ \ (\Omega)$$

Selanjutnya digunakan perhitungan tegangan induksi dengan menggunakan rumus berikut:

$$Ea = Vt + Ia\ (Ra + jXs) \quad (3)$$

Perhitungan Data Terendah:

$$Ea = 11.19 + 9.189(0.00468 + j1.218)$$

$$Ea = \sqrt{11232.0^2 + 11192.20^2}$$

$$Ea = 15.85\angle 44.90°\ \text{kV}$$

Perhitungan Data Tertinggi:

$$Ea = 11.30 + 9.687(0.00468 + j1.166)$$

$$Ea = \sqrt{11345.3^2 + 11295.04^2}$$

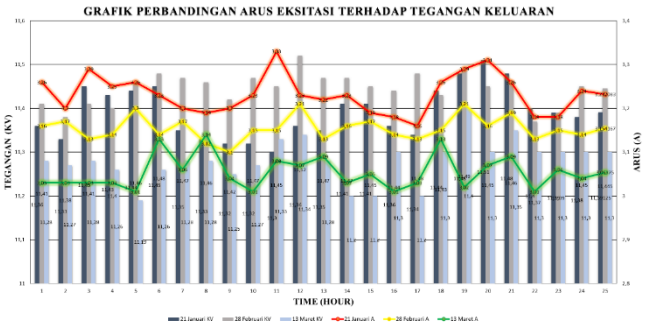
$$Ea = 16.00\angle 44.87°\ \text{kV}$$

Hasil perhitungan tersebut mengalami peningkatan nilai tegangan induksi seiring kenaikan nilai eksitasi. Peningkatan arus eksitasi dapat menguatkan medan magnet pada rotor, yang dapat meningkatkan fluks magnetik yang memotong kumparan pada stator sehingga nilai tegangan induksi mengalami peningkatan, begitupun sebaliknya Ketika arus eksitasi mengalami penurunan maka nilai tegangan induksi akan mengalami penurunan juga, karena nilai fluks akan menurun. Terjadinya fluktuasi arus eksitasi akan mempengaruhi nilai tegangan induksi yang dihasilkan generator, karena sistem eksitasi dipakai supaya nilai GGL induksi yang dihasilkan agar tetap stabil dan konstan sesuai dengan keinginan.

**Tabel 2**
Hubungan arus eksitasi terhadap tegangan keluaran generator

| 21 Januari 2024 | | | 28 Februari 2024 | | | 13 Maret 2024 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KV | A | Ohm (Ω) | KV | A | Ohm (Ω) | KV | A | Ohm (Ω) |
| 11,36 | 3,26 | 3,48 | 11,41 | 3,16 | 3,61 | 11,28 | 3,03 | 3,72 |
| 11,33 | 3,2 | 3,54 | 11,38 | 3,17 | 3,59 | 11,27 | 3,03 | 3,72 |
| 11,45 | 3,29 | 3,48 | 11,41 | 3,13 | 3,65 | 11,28 | 3,03 | 3,72 |
| 11,43 | 3,25 | 3,52 | 11,4 | 3,14 | 3,63 | 11,26 | 3,03 | 3,72 |
| 11,44 | 3,26 | 3,51 | 11,46 | 3,2 | 3,58 | 11,19 | 3,01 | 3,72 |
| 11,45 | 3,23 | 3,54 | 11,48 | 3,14 | 3,66 | 11,26 | 3,13 | 3,6 |
| 11,35 | 3,2 | 3,55 | 11,47 | 3,17 | 3,62 | 11,28 | 3,06 | 3,69 |
| 11,33 | 3,19 | 3,55 | 11,46 | 3,12 | 3,67 | 11,28 | 3,14 | 3,59 |
| 11,32 | 3,2 | 3,54 | 11,42 | 3,1 | 3,68 | 11,25 | 3,04 | 3,7 |
| 11,32 | 3,23 | 3,5 | 11,47 | 3,15 | 3,64 | 11,27 | 3,01 | 3,74 |
| 11,3 | 3,33 | 3,39 | 11,45 | 3,15 | 3,63 | 11,33 | 3,08 | 3,68 |
| 11,36 | 3,23 | 3,52 | 11,52 | 3,21 | 3,59 | 11,34 | 3,07 | 3,69 |
| 11,35 | 3,22 | 3,52 | 11,47 | 3,13 | 3,66 | 11,28 | 3,09 | 3,65 |
| 11,41 | 3,23 | 3,53 | 11,47 | 3,16 | 3,63 | 11,2 | 3,03 | 3,7 |
| 11,41 | 3,19 | 3,58 | 11,45 | 3,17 | 3,61 | 11,2 | 3,05 | 3,67 |
| 11,36 | 3,18 | 3,57 | 11,44 | 3,14 | 3,64 | 11,3 | 3,01 | 3,75 |
| 11,34 | 3,16 | 3,59 | 11,48 | 3,13 | 3,67 | 11,2 | 3,03 | 3,7 |
| 11,44 | 3,26 | 3,51 | 11,43 | 3,15 | 3,63 | 11,3 | 3,13 | 3,61 |
| 11,48 | 3,29 | 3,49 | 11,49 | 3,21 | 3,58 | 11,4 | 3,02 | 3,77 |
| 11,51 | 3,31 | 3,48 | 11,45 | 3,16 | 3,62 | 11,3 | 3,07 | 3,68 |
| 11,48 | 3,26 | 3,52 | 11,46 | 3,19 | 3,59 | 11,35 | 3,09 | 3,67 |
| 11,4 | 3,18 | 3,58 | 11,37 | 3,13 | 3,63 | 11,3 | 3,01 | 3,75 |
| 11,39 | 3,18 | 3,58 | 11,39 | 3,15 | 3,62 | 11,3 | 3,06 | 3,69 |
| 11,38 | 3,24 | 3,51 | 11,45 | 3,14 | 3,65 | 11,3 | 3,04 | 3,72 |
| 11,39125 | 3,232083 | 3,52 | 11,445 | 3,154167 | 3,63 | 11,3 | 3,05375 | 3,7 |

Tabel 2 menyajikan hubungan antara arus eksitasi, tegangan keluaran, dan resistansi yang dihitung. Untuk mempermudah analisis, data ini diubah dalam bentuk grafik Gambar 5, yang menunjukkan hubungan visual antara arus eksitasi dan tegangan keluaran.




**Gambar 5**. Grafik hubungan arus eksitasi terhadap tegangan keluaran generator

Berdasarkan Gambar 5, grafik berwarna merah, kuning dan hijau menunjukan arus eksitasi sedangkan bar chart menunjukan nilai tegangan keluaran. Ditemukan bahwa peningkatan arus eksitasi cenderung meningkatkan

tegangan keluaran, meskipun tidak secara linear. Seperti, pada tanggal 21 Januari pada titik ke-20 arus eksitasi mencapai 3,31 A, menghasilkan tegangan keluaran sebesar 11,51 kV, yang menunjukkan indikasi akan terjadi kondisi overeksitasi. Sebaliknya, pada tanggal 13 Maret pada titik ke-5 arus eksitasi menurun hingga 3,01 A, menghasilkan tegangan sebesar 11,19 kV yang menunjukkan indikasi akan terjadi kondisi undereksitasi.

Fenomena overeksitasi berisiko menyebabkan kerusakan pada isolasi generator serta meningkatkan suhu berlebih pada inti besi rotor karena fluks magnet yang berlebihan. Sebaliknya, undereksitasi dapat menurunkan kestabilan tegangan sistem dan meningkatkan arus pada stator, yang menyebabkan panas berlebih pada kumparan stator. Hasil ini mengindikasikan bahwa pengaturan arus eksitasi sangat krusial dalam menjaga performa dan keamanan operasi generator sinkron. Ketidakseimbangan eksitasi, baik kelebihan maupun kekurangan, dapat memberikan dampak negatif pada sistem pembangkitan listrik secara keseluruhan.

### *3.2. Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif*

Selain mempengaruhi tegangan keluaran, arus eksitasi juga memiliki pengaruh langsung terhadap besaran daya reaktif (Q) yang diserap atau dihasilkan oleh generator sinkron. Berdasarkan Tabel 3 mengenai hubungan arus eksitasi terhadap daya reaktif, dilakukan perhitungan menggunakan rumus:

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

Dimana nilai sudut daya (φ) diperoleh dari hubungan antara daya reaktif (Q) dan daya semu (S), dengan:

Perhitungan data tertinggi:

| | |
|---|---|
| Arus Generator (A) | = 962 A |
| *Vout* Generator (kV) | = 11,44 kV |
| *Power Factor* | = 1 |
| *Reactif Power* (MVAR) | = 1,07 MVAR |
| *Apparent Power* | = 18,50 MVA |

$$\sin\varphi = \frac{Q}{S}$$

$$\sin\varphi = \frac{1{,}07}{18{,}50} = 0{,}058$$

$$Q = 11{,}44 \times 962 \times \sin 0{,}058 \sqrt{3}$$

$$Q = 1104{,}95908 \text{ VAR}$$

$$Q = 1{,}11 \text{ MVAR}$$

Perhitungan data terendah:

| | |
|---|---|
| Arus Generator (A) | = 916 A |
| *Vout* Generator (kV) | = 11,19 kV |
| *Power Factor* | = 0.99 |
| *Reactif Power* (MVAR) | = 0,6 MVAR |
| *Apparent Power* | = 17,81 MVA |

$$\sin\varphi = \frac{Q}{S}$$

$$\sin\varphi = \frac{0{,}6}{17.81} = 0{,}033$$

$$Q = 11{,}19 \times 916 \times \sin 0{,}033 \sqrt{3}$$

$$Q = 585{,}76214 \text{ VAR}$$

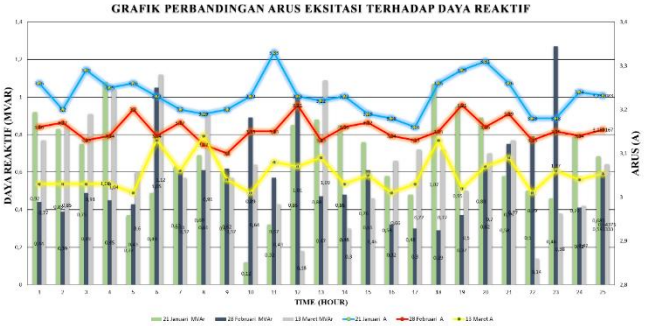
$$Q = 0{,}585 \text{ MVAR}$$

**Tabel 3**

Hubungan arus eksitasi terhadap daya reaktif

| 21 Januari | | | | | | 13 Maret | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GENERATOR (kV) | GENERATOR (A) | APPARENT POWER | REACTIVE POWER (MVAR) | sin ϕ | REACTIVE POWER (VAR) | GENERATOR (kV) | GENERATOR (A) | APPARENT POWER | REACTIVE POWER (MVAR) | sin ϕ | REACTIVE POWER (VAR) |
| 11,36 | 939 | 19,11 | 0,92 | 0,048 | 889,47 | 11,28 | 940 | 17,77 | 0,77 | 0,043 | 795,79 |
| 11,33 | 965 | 18,97 | 0,83 | 0,044 | 828,56 | 11,27 | 929 | 18,29 | 0,85 | 0,046 | 842,76 |
| 11,45 | 943 | 19,19 | 0,75 | 0,039 | 730,91 | 11,28 | 916 | 17,98 | 0,91 | 0,051 | 905,76 |
| 11,43 | 952 | 18,92 | 1,08 | 0,057 | 1075,8 | 11,26 | 918 | 17,90 | 1,04 | 0,058 | 1040,2 |
| 11,44 | 934 | 19,19 | 0,37 | 0,019 | 356,82 | 11,19 | 916 | 17,81 | 0,6 | 0,034 | 598,09 |
| 11,45 | 957 | 18,32 | 0,49 | 0,027 | 507,63 | 11,26 | 924 | 18,02 | 1,12 | 0,062 | 1120,0 |
| 11,35 | 975 | 18,71 | 0,63 | 0,034 | 645,39 | 11,28 | 937 | 18,20 | 0,57 | 0,031 | 573,34 |
| 11,33 | 949 | 18,56 | 0,69 | 0,037 | 692,35 | 11,28 | 921 | 17,79 | 0,91 | 0,051 | 920,43 |
| 11,32 | 952 | 18,88 | 0,6 | 0,032 | 593,18 | 11,25 | 932 | 18,32 | 0,57 | 0,031 | 565,03 |
| 11,32 | 985 | 19,12 | 0,12 | 0,006 | 121,20 | 11,27 | 924 | 17,97 | 0,64 | 0,036 | 642,37 |
| 11,3 | 984 | 18,96 | 0,32 | 0,017 | 325,04 | 11,33 | 921 | 18,13 | 0,43 | 0,024 | 428,66 |
| 11,36 | 985 | 19,25 | 0,85 | 0,044 | 855,78 | 11,34 | 915 | 18,36 | 0,18 | 0,01 | 176,19 |
| 11,35 | 981 | 19,30 | 0,88 | 0,046 | 879,32 | 11,28 | 937 | 17,91 | 1,09 | 0,061 | 1114,1 |
| 11,41 | 977 | 19,00 | 0,85 | 0,045 | 863,78 | 11,2 | 929 | 18,15 | 0,3 | 0,017 | 297,87 |
| 11,41 | 971 | 18,67 | 0,76 | 0,041 | 781,15 | 11,2 | 934 | 18,02 | 0,46 | 0,026 | 462,51 |
| 11,36 | 965 | 19,41 | 0,58 | 0,03 | 567,37 | 11,3 | 914 | 18,01 | 0,66 | 0,037 | 655,56 |
| 11,34 | 981 | 19,21 | 0,48 | 0,025 | 481,45 | 11,2 | 915 | 18,04 | 0,72 | 0,04 | 708,42 |
| 11,44 | 962 | 18,50 | 1,07 | 0,058 | 1102,4 | 11,3 | 901 | 18,08 | 0,72 | 0,04 | 702,25 |
| 11,48 | 949 | 18,94 | 0,95 | 0,05 | 946,48 | 11,4 | 904 | 18,09 | 0,5 | 0,028 | 493,36 |
| 11,51 | 979 | 18,84 | 0,89 | 0,047 | 921,99 | 11,3 | 902 | 17,89 | 0,7 | 0,039 | 690,76 |
| 11,48 | 974 | 18,97 | 0,58 | 0,031 | 592,13 | 11,35 | 897 | 17,87 | 0,77 | 0,043 | 759,82 |
| 11,4 | 916 | 19,02 | 0,5 | 0,026 | 475,46 | 11,3 | 938 | 18,18 | 0,14 | 0,008 | 141,37 |
| 11,39 | 926 | 18,73 | 0,46 | 0,025 | 448,65 | 11,3 | 932 | 17,87 | 0,38 | 0,021 | 387,89 |
| 11,38 | 947 | 19,10 | 0,79 | 0,041 | 772,05 | 11,3 | 925 | 17,91 | 0,42 | 0,023 | 424,55 |
| 11,39 | 960,3 | 38,05 | 0,685 | 0,036 | 685,60 | 11,3 | 921,7 | 18,02 | 0,643 | 0,036 | 643,63 |

Hasil perhitungan ini menunjukkan adanya selisih nilai dibandingkan data aktual pengukuran, masing-masing sebesar 0,04 MVAR (3,74%) untuk data tertinggi dan 0,015 MVAR (2,5%) untuk data terendah. Ketidaksesuaian ini dapat dipengaruhi oleh rugi-rugi sistem, toleransi pengukuran, perubahan beban, atau variasi kondisi operasional.

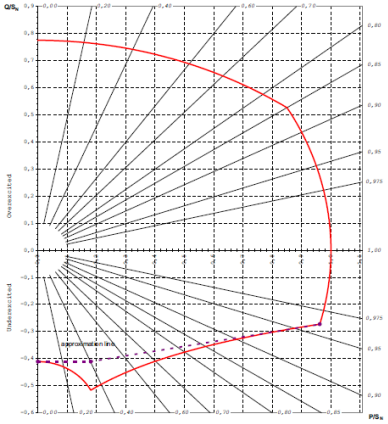



**Gambar 6.** Grafik hubungan arus eksitasi terhadap daya reaktif

Gambar 6 menunjukkan bahwa peningkatan arus eksitasi umumnya menyebabkan peningkatan daya reaktif, meskipun hubungan ini tidak selalu linear. Pada 21 Januari, daya reaktif berfluktuasi antara 0,2–1,2 MVAR dengan perubahan kecil arus eksitasi, menunjukkan pengaruh beban. Tanggal 28 Februari terjadi lonjakan daya reaktif meskipun arus eksitasi tidak mengalami lonjakan, menandakan fluktuasi yang terjadi bisa disebabkan karena adanya faktor eksternal. Sedangkan pada 13 Maret, terdapat peningkatan daya reaktif yang konsisten seiring naiknya arus eksitasi hingga 1,2 MVAR, menunjukkan pengaruh eksitasi yang lebih dominan.

PT Krakatau Chandra Energi mengatur daya reaktif mendekati nol (0 MVAR) untuk menjaga kestabilan sistem dan menghindari kerusakan akibat overeksitasi maupun undereksitasi. Ketika generator menghasilkan atau menyerap daya reaktif berlebih, arus yang mengalir meningkat sehingga

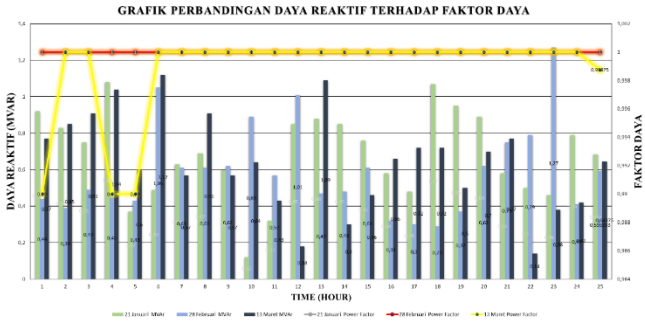
rugi-rugi tembaga pada stator bertambah, menyebabkan pemanasan berlebih pada rotor dan stator. Dengan menjaga nilai daya reaktif (MVAR) mendekati nilai 0, generator akan tetap bekerja pada zona aman dalam capability curve seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 7**. Grafik capability curve MVAR

*3.3. Pengaruh Daya Reaktif Terhadap Faktor Daya*

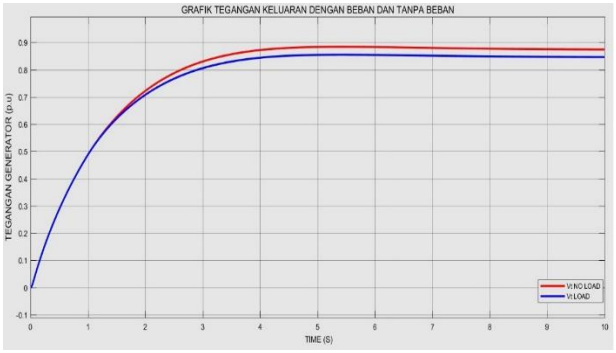
Daya reaktif (Q) secara langsung mempengaruhi faktor daya (power factor, PF) karena hubungannya dengan daya semu (S) melalui segitiga daya. Peningkatan Q menyebabkan peningkatan S, dan jika daya aktif (P) tetap, maka rasio P/S menurun sehingga PF menurun. Sebaliknya, penurunan Q meningkatkan PF. Pengaturan daya reaktif mendekati nol akan membuat PF mendekati 1, kondisi paling efisien dalam sistem tenaga. Kontrol daya reaktif bertujuan menjaga kestabilan tegangan sistem; daya reaktif leading berlebih dapat menyebabkan overvoltage, sedangkan lagging berlebih dapat menyebabkan undervoltage. Oleh karena itu, arus eksitasi diatur agar daya reaktif tetap aman dan generator beroperasi dalam batas capability curve.




**Gambar 8.** Grafik hubungan arus eksitasi terhadap daya reaktif

*3.4. Hasil Simulasi SIMULINK*

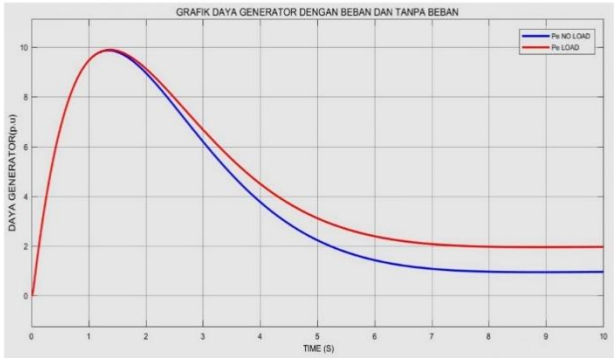
Simulasi dilakukan untuk menganalisis respons sistem terhadap kondisi dengan dan tanpa beban, meliputi tegangan keluaran generator, daya output, serta respon sistem pada kondisi over dan under eksitasi. Pengujian dilakukan dalam dua scenario yaitu tanpa beban seperti pada Gambar 3 dan dengan beban seperti pada Gambar 4. Pada pengujian pertama, dilakukan perbandingan tegangan keluaran generator dengan dan tanpa beban. Beban yang digunakan berupa dua sinyal step masing-masing sebesar 1 p.u.




**Gambar 9.** Grafik perbandingan tegangan keluaran generator dengan beban dan tanpa beban

Berdasarkan Gambar 9, grafik merah menunjukkan tegangan keluaran tanpa beban, sedangkan grafik biru menunjukkan tegangan keluaran dengan beban. Pada simulasi tanpa beban, tegangan maksimum (Vt) mencapai 0,88424 p.u., dengan overshoot kecil hingga detik ke-5 hingga sistem stabil. Sedangkan pada simulasi dengan beban, tegangan menurun menjadi 0,85504 p.u., dan sistem mencapai kestabilan setelah 5 detik. Kondisi tanpa beban mencapai stabilitas lebih cepat karena tidak ada penurunan tegangan yang disebabkan oleh beban, yang menyebabkan fluktuasi.

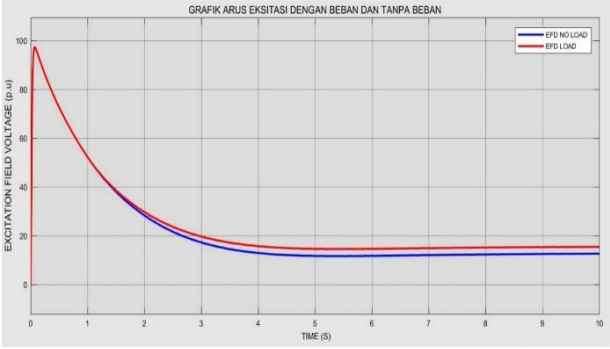
Pengujian kedua membandingkan daya keluaran generator dengan dan tanpa beban, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10.




**Gambar 10.** Grafik perbandingan daya keluaran generator dengan beban dan tanpa beban

Pada kondisi tanpa beban, daya mengalami overshoot besar hingga 9,8943 p.u. pada 1,5 detik, lalu menurun dan stabil di bawah 1 p.u. setelah 8 detik. Dengan beban, nilai puncaknya sama, namun titik stabil tercapai di bawah 2 p.u. Overshoot pada kondisi berbeban disebabkan oleh pengaturan eksitasi atau interaksi rotor-generator. Tanpa beban, daya mendekati nol karena tidak ada transfer daya, sedangkan dengan beban, daya stabil di atas nol menandakan transfer daya ke sistem. Kedua kondisi menunjukkan sistem dalam keadaan stabil sesuai dengan bebannya.

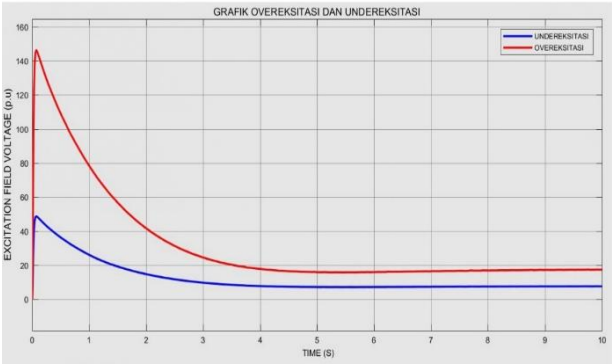
Pengujian ketiga membandingkan keluaran eksitasi generator dengan dan tanpa beban, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11.




**Gambar 11.** Grafik perbandingan keluaran eksitasi dengan beban dan tanpa beban

Grafik menunjukkan adanya overshoot tinggi hingga detik ke-3, kemudian menurun selama 8 detik hingga sistem mencapai kestabilan. Meskipun overshoot awal serupa pada kedua kondisi, saat stabil nilai eksitasi dengan beban lebih tinggi 15 p.u dibandingkan tanpa beban 12 p.u, dengan selisih 3 p.u. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan eksitasi yang lebih besar untuk memenuhi beban. Overshoot mencerminkan respons awal sistem saat pembentukan medan magnet, sedangkan penurunan menunjukkan proses redaman dan penyesuaian eksitasi menuju kestabilan.

Pengujian dilakukan untuk menganalisis respon sistem pada kondisi overeksitasi Vref = 1,5 p.u dan undereksitasi Vref = 0,5 p.u, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12.




**Gambar 12**. Hasil pengujian overeksitasi dan undereksitasi

Pada overeksitasi, arus eksitasi meningkat hingga 17,52 p.u, menyebabkan tegangan keluaran naik menjadi 1,326 p.u dan daya reaktif sebesar 0,9379 p.u. Sebaliknya, pada undereksitasi, arus eksitasi turun ke 7,675 p.u, dengan tegangan keluaran 0,4232 p.u dan daya 0,9821 p.u. Meskipun overeksitasi umumnya meningkatkan daya reaktif, hasil menunjukkan nilai lebih rendah karena kemungkinan daya reaktif justru diserap oleh sistem akibat ketidaksinkronan arus medan dan tegangan terminal. Kedua kondisi ekstrem ini berisiko menyebabkan ketidakstabilan tegangan dan hilangnya sinkronisasi, sehingga diperlukan pengaturan eksitasi yang tepat untuk menjaga stabilitas sistem.

## 4. Kesimpulan

Model menunjukkan respons generator terhadap perubahan arus eksitasi sebesar 3 p.u, yang memengaruhi tegangan keluara. Simulasi menunjukan penurunan tegangan keluaran sebesar 0,28 p.u dengan waktu stabil 5 detik. Hubungan arus eksitasi dan daya reaktif bersifat secara langsung, dengan selisih 0,015 (0.15%) MVAR pada arus eksitasi 3.01 A. Simulasi menunjukan perubahan daya 1 p.u dengan waktu stabil 8 detik.

## Referensi

[1] S. T. Juni Hardiansyah, "Analisis Pengaturan Tegangan Generator Sinkron Berdasarkan Perubahan Beban Daya Menggunakan Static Excitation System Berbasis MATLAB Simulink R2015a," *Jurnal Energi Elektrik*, vol. Volume 13, no. 67, pp. 67–74, 2024.

[2] C. Monicasari, A. Mashar, and A. Rahardjo, "Rancangan Brushless Exciter Generator Sinkron Kapasitas Daya 314 Mw," *Jurnal Teknik Energi*, vol. 12, no. 2, pp. 33–39, 2024, doi: 10.35313/energi.v12i2.5248.

[3] M. Harahap *et al.*, "Pengaruh Perubahan Variasi Eksitasi Tegangan Terhadap Daya Reaktif Pada Generator," Jurnal RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi), vol. 3, no.2, 2021, doi: https://doi.org/10.30596/rele. v3i2.6485

[4] H. Rizal Maulana, A. Suandi, and H. P. T. Mesin, "Pengaruh pembebanan terhadap arus eksitasi pada generator the effect of loading on the excitation current on the generator," *REKAYASA MEKANIKA* , vol. 6, no. 2, p. 2022, 2022.

[5] A. Rosyid Idris, A. Achmad, and D. Fitriana Ramli, "Analisis Perubahan Arus Eksitasi Berdasarkan Sudut Penyalaan Thyristor Pada Generator Ulplta Bili-Bili,", Prosiding seminar penelitian & pengabdian kepada masyarakat, 2022.

[6] R. De Fazio, A. Alerksousi, L. Spongano, B. Al-Naami, A. Al-Odienat, and P. Visconti, "A New Technique for Connecting a Dual Excitation Synchronous Generator to the Power Grid," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 24, Dec. 2023, doi: 10.3390/en16247936.

[7] V. Krištof and M. Mešter, "Loss of excitation of synchronous generator," *Journal of Electrical Engineering*, vol. 68, no. 1, pp. 54–60, Jan. 2017, doi: 10.1515/jee-2017-0007.

[8] E. Pajuelo, "Coordination of Generator Protection and Control in the Over and Under Excited Regions,", Thesis, 2015.

[9] T. Amraee, "Loss-of-field detection in synchronous generators using decision tree technique," *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 7, no. 9, pp. 943–954, 2013, doi: 10.1049/iet-gtd.2013.0138.

[10] V. B. M. Krishna, S. S. Duvvuri, P. V. S. Sobhan, K. Yadlapati, V. Sandeep, and B. K. Narendra, "Experimental study on excitation phenomena of renewable energy source driven induction generator for isolated rural community loads," *Results in Engineering*, vol. 21, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.101761.

[11] Agung Baktiarto, "Penyedia Energi," Krakatau Chandra Energi. Accessed: Oct. 17, 2024. [Online]. Available: https://kce-co-id.translate.goog/product/energy?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=tc

[12] Zuhal, Dasar Tenaga Listrik dam Elektonika Daya. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 1988.

[13] I. B. Simanjorang, I. S. Siahaan, and J. L. Hutabarat, "Studi Analisis Eksitasi dan Governor Untuk Mengatur Tegangan dan Frekuensi Keluaran Generator Pada PLTMH Aek Raisan I," 2021.

[14] R. Mustofa et al., "Analisis Pengaruh Fluktuasi Beban Terhadap Rugi Daya Stator dan Rotor Pada Generator Sinkron

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi," Journal of Mechanical Engineering and Applied Technology, vol. 2, no. 2, pp. 65–70, 2023.

[15] R. H. Y. Miftah Farhan, "PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP ARUS EKSITASI GENERATOR UNIT 2 PLTMH CURUG," JURNAL SIMETRIK , vol. 11, no. 399, pp. 398–403, 2021.