

**ANALISIS PENGARUH ARUS EKSITASI TERHADAP
TEGANGAN KELUARAN DAN DAYA REAKTIF GENERATOR
PLTU TANJUNG JATI B UNIT 3 JEPARA**

LAPORAN TUGAS AKHIR

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU
SYARAT MEMPEROLEH GELAR S1 PADA PRODI TEKNIK
ELEKTRO FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS
ISLAM SUTAN AGUNG SEMARANG



DISUSUN OLEH:

MUHAMMAD DENY SATRIO

NIM 30601501730

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2022

FINAL PROJECT

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF EXCITATION CURRENT ON
OUTPUT VOLTAGE AND REACTIVE POWER GENERATOR
TANJUNG JATI B UNIT 3 JEPARA**

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1)
at Departement of Electrical Engineering, Faculty of Industrial
Technology, Universitas Islam Sultan Agung*



MUHAMMAD DENY SATRIO

NIM 30601501730

**MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2022

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Tegangan Keluaran Dan Daya Reaktif Generator PLTU Tanjung Jati B Unit 3 Jepara” ini disusun oleh:

Nama : MUHAMMAD DENY SATRIO

NIM : 30601501730

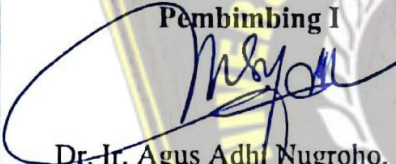
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:


Hari : Jumat

Tanggal : 09 September 2022


Pembimbing I


Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT.
NIDN. 062 808 6501

Pembimbing II


Dr. Ir. Muhamad Haddin, MT.
NIDN. 061 806 6301

Mengetahui,
Ka. Program Studi Teknik Elektro


Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T.
NIDN. 060 701 8501
090922

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

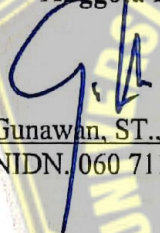
Laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Tegangan Keluaran Dan Daya Reaktif Generator PLTU Tanjung Jati B Unit 3 Jepara” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Rabu


Tanggal : 31 Agustus 2022

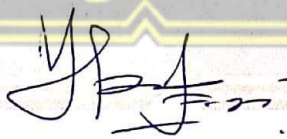
TIM PENGUJI

Anggota I


Gunawan, ST., MT.
NIDN. 060 711 7101

Anggota II


Munaf Ismail, ST., MT.
NIDN. 061 312 7302


Ketua Penguji

Ir. Ida Widiastuti, MT.
NIDN. 000 503 6501

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Deny Satrio

NIM : 30601501730

Fakultas : Teknologi Industri

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang dengan judul “**Analisis Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Tegangan Keluaran Dan Daya Reaktif Generator PLTU Tanjung Jati B Unit 3 Jepara**”, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 09 September 2022

Yatakan
METERAI TEMPEL
9F740AJX969883740 Deny Satrio
NIM. 30601501730


PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Deny Satrio
NIM : 30601501730
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan Judul :
ANALISIS PENGARUH ARUS EKSITASI TERHADAP TEGANGAN KELUARAN DAN DAYA REAKTIF GENERATOR PLTU TANJUNG JATI B UNIT 3 JEPARA Menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hak bebas Royalti Non_Eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan di Internet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penyusun sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta / Plagiatisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 09 September 2022

nyatakan

METERAI
TEMPEL
DF1ABAJX969883736
Muhammad Deny Satrio

NIM. 30601501730

HALAMAN PERSEMBAHAN

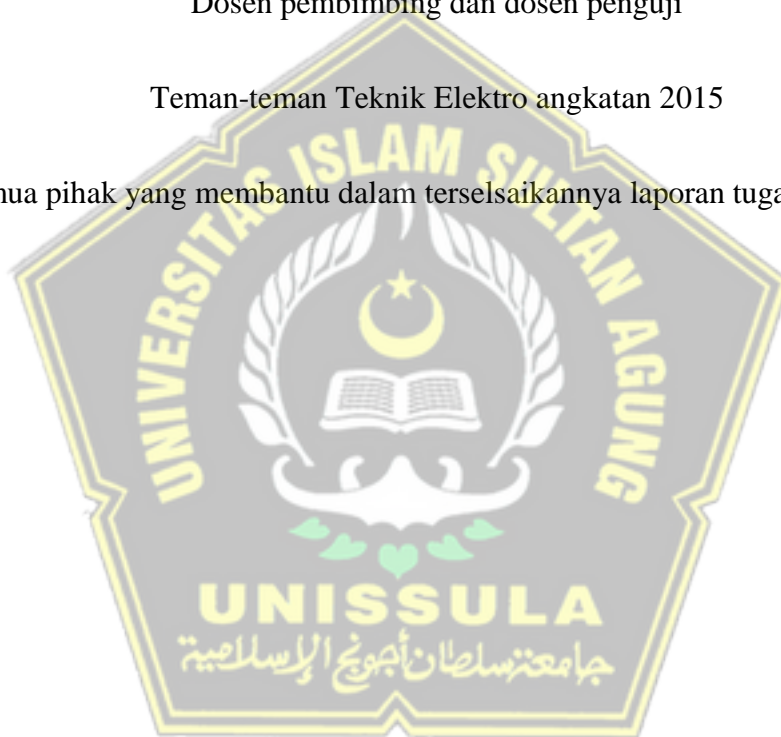
Laporan Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

Kedua orang tua dan saudara-saudara saya

Dosen pembimbing dan dosen penguji

Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2015

Semua pihak yang membantu dalam terselainya laporan tugas akhir ini.



HALAMAN MOTTO

“Maka Maha tinggi Allah, Raja yang sebenar-benarnya. Dan janganlah engkau (Muhammad) tergesa-gesa (membaca) Al-Qur'an sebelum selesai diwahyukan kepadamu, dan katakanlah, “Ya Tuhanku, tambahkanlah ilmu kepadaku.”

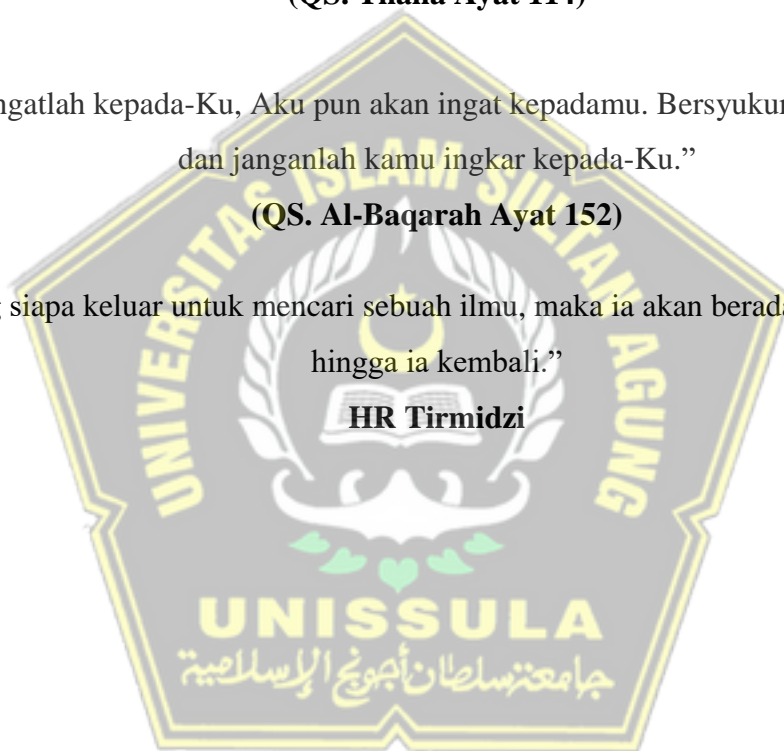
(QS. Thaha Ayat 114)

“Maka ingatlah kepada-Ku, Aku pun akan ingat kepadamu. Bersyukurlah kepada-Ku, dan janganlah kamu ingkar kepada-Ku.”

(QS. Al-Baqarah Ayat 152)

“Barang siapa keluar untuk mencari sebuah ilmu, maka ia akan berada di jalan Allah hingga ia kembali.”

HR Tirmidzi



KATA PENGANTAR

Assalamuallaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang sudah melimpahkan rahmat & karunia-Nya pada kita semua. Sholawat serta salam tercurah atas junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan pengikutnya, “Analisis Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Tegangan Keluaran Dan Daya Reaktif Generator Pltu Tanjung Jati Unit 3 Jepara”

Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana (S1) Teknik Elektro dari Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas mendapat bantuan dari berbagai pihak. Dengan rasa setulus hati, penulis ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan ridhonya serta memberikan ketabahan, kesabaran dan kelapangan hati serta pikiran dalam menimba ilmu.
2. Terima kasih kepada Dosen Pembimbing saya Bapak Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT. dan Bapak Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT. yang telah membantu dan membimbing saya dengan sabar sampai laporan tugas akhir ini terselesaikan.
3. Ibu Dr. Novi Marlyana, S.T, M.T selaku Dekan di Fakultas Teknologi Industri beserta jajarannya.
4. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
5. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
6. Kedua orang tua saya, Ibu Parida dan Bapak Suhardin tercinta yang telah memberikan dukungan baik materiil maupun non materiil dan tidak pernah berhenti mendo'akan disetiap sujudnya.

7. Staff dan Karyawan Fakultas Teknologi Industri yang sudah membantu dalam segala urusan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Maka dari itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun, semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat dan informatif bagi para pembaca.

Wa'alaikumsalam Wr. Wb

Semarang, 08 September 2022

Muh. Deny Satrio



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	1
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	III
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	IV
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	V
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	VI
HALAMAN PERSEMBAHAN	VII
HALAMAN MOTTO	VIII
KATA PENGANTAR.....	IX
DAFTAR ISI.....	XI
DAFTAR GAMBAR.....	XIII
DAFTAR TABEL	XIV
ABSTRAK	XV
ABSTRACK	XVI
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 LANDASAN TEORI.....	5
2.2.1 Pengertian Generator Sinkron	5
2.2.2 Konstruksi Generator Sinkron.....	6
2.2.3 Prinsip Kerja Generator.....	9

2.2.4 Karakteristik Generator Berbeban.....	11
2.2.5 Sistem Eksitasi Generator	12
2.2.6 Sistem Eksitasi Generator PLTU Tanjung Jati B.....	16
2.2.7 Daya Listrik.....	17
2.2.8 Segitiga Daya	19
2.2.9 Faktor Daya.....	19
2.2.10 Sifat Faktor Daya	20
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Model Penelitian	23
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.3 Data Penelitian	24
3.4 Perancangan Penelitian	27
3.5 <i>Flowchart</i> / Diagram Alir	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Pengaruh Arus Eksitasi terhadap Tegangan Keluaran Generator.....	29
4.2 Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Arus Jangkar.....	31
4.3 Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif.....	32
4.4 Perhitungan Pengaruh Perubahan Beban Daya Reaktif Terhadap Faktor Daya.....	33
BAB V PENUTUP.....	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Generator Sinkron	6
Gambar 2. 2 Kontruksi Generator Sinkron	7
Gambar 2. 3 Bentuk-bentuk Alur/Slot	8
Gambar 2. 4 Konstruksi Kumparan Stator	8
Gambar 2. 5 Kutub Rotor	9
Gambar 2. 6 Skema Generator Sinkron	10
Gambar 2. 7 Bentuk Sederhana Sistem Eksitasi Pada Generator	12
Gambar 2. 8 Diagram Sistem Eksitasi Tanpa Sikat (brushless excitation).....	13
Gambar 2. 9 sistem eksitasi dinamis	14
Gambar 2. 10 Sistem Eksitasi Statis	15
Gambar 2. 11 Bentuk Fisik Sikat Karbon	16
Gambar 2. 12 Segitiga Daya	19
Gambar 2. 13 Arus Sephasa Dengan Tegangan.....	21
Gambar 2. 14 Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut Phi.....	21
Gambar 2. 15 Faktor Daya “Leading”	21
Gambar 2. 16 Arus Tertinggal Dari Tegangan Sebesar Sudut.....	22
Gambar 2. 17 Faktor daya “lagging”	22
Gambar 3. 1 Diagram Garis Tunggal Generator Tanjung Jati B Unit 3	23
Gambar 3. 2 Lokasi Pembangkitan Tanjung Jati B Jepara	24
Gambar 3. 3 <i>Flowchart</i> Penelitian	28
Gambar 4. 1 Hubungan Arus Eksitasi Terhadap Tegangan Keluaran	30
Gambar 4. 2 Hubungan Arus Eksitasi Dengan Arus Jangkar	31
Gambar 4. 3 Hubungan Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif	32
Gambar 4. 4 Hubungan Perubahan Beban Daya Reaktif Terhadap Faktor Daya	35

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Generator Sinkron Pembangkitan TanjungJati B Unit 3.....	25
Tabel 3. 2 Data operasi generator Pembangkitan Tanjung Jati B Unit 3 Jepara.....	26
Tabel 4. 1 Data Operasi Harian Generator PLTU Tanjung Jati B Unit 3 Jepara	29
Tabel 4. 2 Perhitungan Pengaruh Perubahan Daya Reaktif Terhadap Factor Daya ...	34



ABSTRAK

Salah satu kendala dalam pengoperasian generator ketika dihubungkan ke grid melalui jaringan interkoneksi adalah ketidakstabilan tegangan yang menyebabkan fluktuasi tegangan keluaran generator. Ketika tegangan keluaran generator tidak konstan hal ini berdampak pada ketidakstabilan sistem tenaga listrik yang mana akan mengganggu stabilitas sistem tenaga listrik. Solusi dari permasalahan tersebut adalah perlunya regulator tegangan yang menjaga kestabilan tegangan generator dengan cara mengatur arus eksitasi generator, dengan mengatur besarnya arus eksitasi, tegangan keluaran generator dapat diatur.

Penelitian ini memfokuskan tentang analisis pengaruh perubahan arus eksitasi tegangan keluaran dan daya reaktif generator di PLTU Tanjung Jati B Unit 3 Jepara yang bertujuan untuk melihat pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap daya reaktif yang juga berhubungan dengan tegangan keluaran generator.

Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin besar arus eksitasi menunjukkan trend positif dengan tegangan keluaran generator, zona eksitasi yaitu Sumbu X= 11 dan sumbu Y=4, hal ini sesuai dengan persamaan tegangan $V = I.R$ yang dimana I merupakan arus eksitasi dan R merupakan hambatan yang diambil dari *nameplate* generator yang nilainya tetap. Nilai tegangan keluaran terendah sebesar 21,9 kv dan arus eksitasi 3698,4 A, dan nilai tegangan keluaran tertinggi sebesar 23,07 kV dan nilai arus eksitasinya sebesar 4139,2 A, namun tegangan keluaran juga dipengaruhi oleh daya aktif sehingga terdapat simpangan rata-rata arus eksitasi sebesar 187,7368 A, dan simpangan rata-rata tegangan sebesar 0,310417 kV. Perubahan besarnya arus eksitasi juga mempengaruhi nilai daya reaktif yang dihasilkan, arus eksitasi sebesar 4139,2 A, mengakibatkan daya reaktif meningkat menjadi naik sebesar 182 MVAR. Perubahan beban daya reaktif terhadap faktor daya menunjukkan adanya penurunan pada nilai faktor daya. Ketika daya reaktif mencapai 201 MVAR mengakibatkan penurunan pada nilai faktor daya yang diperoleh yaitu sebesar 0,955.

Kata Kunci: Arus eksitasi, tegangan keluaran, daya reaktif, PLTU

ABSTRACT

One of the obstacles in the operation of the generator when it is connected to the grid through an interconnection network is the voltage instability that causes fluctuations in the generator output voltage. When the generator output voltage is not constant this has an impact on the instability of the electric power system which will disrupt the stability of the electric power system. The solution to these problems is the need for a voltage regulator that maintains the stability of the generator voltage by adjusting the generator excitation current, by adjusting the amount of excitation current, the generator output voltage can be adjusted.

This study focuses on analyzing the effect of changes in excitation current output voltage and reactive power of the generator at PLTU Tanjung Jati B Unit 3 Jepara which aims to see the effect of changes in excitation current on reactive power which is also related to the generator output voltage.

The results of the analysis show that the greater the excitation current shows a positive trend with the generator output voltage, the excitation zone is the X axis = 11 and the Y axis = 4, this is in accordance with the voltage equation $V = I.R$ where I is the excitation current and R is the resistance taken. from the generator nameplate whose value is fixed. The lowest output voltage value is 21.9 kV and the excitation current is 3698.4 A, and the highest output voltage value is 23.07 kV and the excitation current value is 4139.2 A, but the output voltage is also influenced by the active power so that there is an average deviation. the average excitation current is 187.7368 A, and the average voltage deviation is 0.310417 kV. Changes in the magnitude of the excitation current also affect the value of the reactive power generated, the excitation current is 4139.3 A, resulting in an increase in reactive power of 182 MVAR. Changes in the reactive power load to the power factor indicate a decrease in the power factor value. When the reactive power reaches 201 MVAR, it results in a decrease in the power factor value obtained, which is 0.955.

Keywords: *Excitation current, output voltage, reactive power, PLTU*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan yang pokok pada masa kemajuan teknologi sekarang ini, baik digunakan dalam jumlah kecil seperti kebutuhan pribadi maupun dalam jumlah besar seperti perusahaan-perusahaan besar. Energi listrik di hasilkan oleh sistem pembangkit yang bekerja sepanjang waktu tanpa berhenti, hal ini agar tenaga yang dihasilkan tetap mencukupi kebutuhan konsumen yang semakin lama semakin besar. Untuk mencukupi kebutuhan tenaga listrik konsumen, diperlukan berbagai macam peralatan yang di gunakan untuk mensuplay energi listrik salah satunya yaitu generator.

Generator sinkron (sering disebut alternator) adalah mesin listrik arus bolak balik yang menghasilkan tegangan dan arus bolak balik (alternating current, AC) yang bekerja dengan cara merubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik dengan adanya induksi medan magnet (Anthony, 2018). Generator pada unit pembangkit listrik dilakukan pengoprasian secara paralel pada jaringan interkoneksi.

Salah satu permasalahan dalam operasi generator saat *connected to grid* melalui jaringan interkoneksi adalah ketidakstabilan tegangan, hal ini mengakibatkan fluktuasi perubahan tegangan keluaran generator. Ketika tegangan keluaran generator tidak konstan hal ini berdampak pada ketidakstabilan sistem tenaga listrik yang mana akan mengganggu stabilitas sistem tenaga listrik.

Untuk menjaga tegangan keluaran generator tetap stabil pada level tegangan yang diizinkan walaupun terjadi perubahan beban diperlukan suatu pengaturan tegangan, yaitu dengan dilakukan pengaturan arus eksitasi pada generator, dengan mengatur besar kecilnya arus eksitasi tersebut maka dapat diatur besar kecil tegangan keluaran generator.

Tegangan keluaran generator akan berpengaruh terhadap daya reaktif yang dihasilkannya. Besarnya daya reaktif akan membuat $\cos \phi$ (faktor daya) semakin

kecil, begitupun sebaliknya (Hana, 2017). Oleh karena itu, diperlukan pengaturan atau regulator yang mengatur besarnya tegangan terminal serta daya reaktif yang dihasilkan generator.

Penelitian ini memfokuskan tentang analisis pengaruh perubahan arus eksitasi tegangan keluaran dan daya reaktif generator sinkron PLTU Tanjung B Unit 3. Tugas Akhir ini bertujuan untuk melihat pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap daya reaktif yang juga berhubungan dengan tegangan keluaran generator di PLTU Tanjung Jati B Unit 3 Jepra.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengetahui pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap daya reaktif dan tegangan keluaran generator?
2. Bagaimana mengetahui pengaruh perubahan daya reaktif (VAR) terhadap faktor daya ($\cos \theta$)?

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan Masalah Batasan masalah dalam penyusunan penelitian ini sebagai berikut:

1. Hanya membahas sistem eksitasi PLTU Tanjung Jati B Unit 3 Jepra
2. Penelitian ini tidak melakukan pembahasan setting parameter alat pada peralatan sistem eksitasi dan peralatan kontrol/pengatur daya
3. Tidak mengatur putaran atau sumber mekaniknya (Turbin)
4. Tidak membahas beban-beban yang disuplai generator sinkron.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap daya reaktif dan tegangan keluaran generator.
2. Untuk mengetahui pengaruh perubahan daya reaktif (VAR) terhadap factor daya ($\cos \theta$).

1.5 Manfaat

Manfaat yang didapat dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan dan pengetahuan bagi pihak yang membutuhkan khususnya di bidang ketenagalistrikan, sehingga dapat mengetahui pengoperasian generator dengan memperhatikan sistem eksitasinya.
2. Untuk meningkatkan pengetahuan mengenai pengaruh arus eksitasi terhadap tegangan keluaran dan daya reaktif generator.
3. Dapat dijadikan sebagai acuan dan referensi bagi mahasiswa khususnya jurusan teknik elektro dalam penyusunan Tugas Akhir terkait permasalahan pada pengaruh eksitasi terhadap keluaran generator.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini disusun untuk memudahkan penulisan dan pembahasan, maka penulis menyusun penelitian tugas akhir ini dalam lima bab berdasarkan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Membahas mengenai latar belakang proyek akhir, identifikasi masalah, ruang lingkup masalah, tujuan penelitian, manfaat peneltian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Berisi tentang penelitian-penelitian yang terdahulu yang telah dipublikasikan mengenai sistem eksitasi generator sinkron, serta menjelaskan teori-teori yang berhubungan dengan penelitian yang

dilakukan, yang dikutip dari jurnal maupun buku diktat yang dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah.

BAB III METODE PENELITIAN

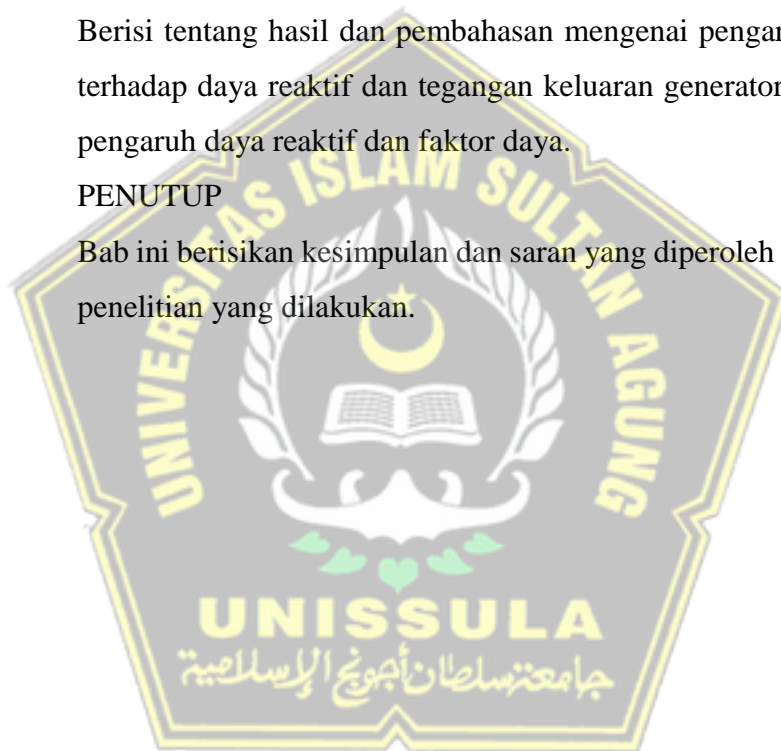
Pada bab ini membahas mengenai metode pelaksanaan penelitian, model penelitian, prosedur penelitian, flowchart mengenai alur penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil dan pembahasan mengenai pengaruh arus eksitasi terhadap daya reaktif dan tegangan keluaran generator dan membahas pengaruh daya reaktif dan faktor daya.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang diperoleh dari analisis dan penelitian yang dilakukan.



BAB II

TINJUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

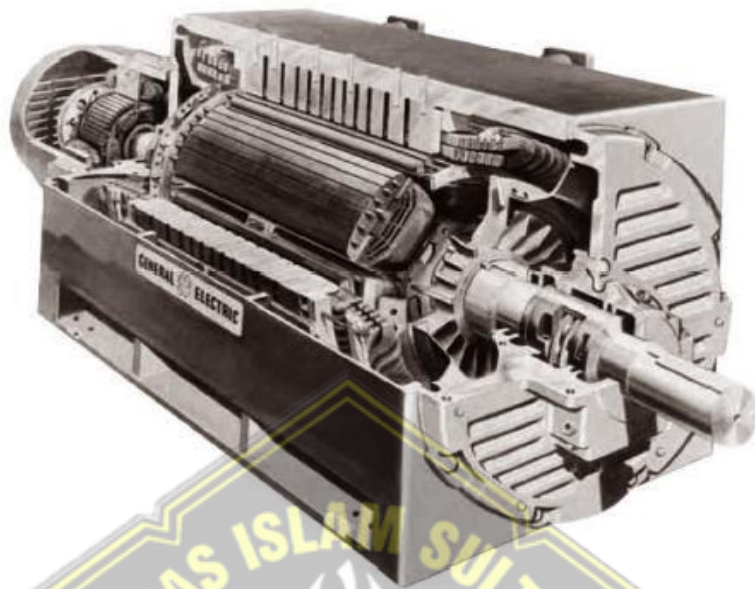
Dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis berpedoman pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, beberapa referensinya antara lain:

- a. (Kurniawan, 2018). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sifat arus eksitasi berbanding lurus dengan daya reaktif (Q) dan tegangan generator berbeban (E_a). Penyebab Q dan E_a mempunyai nilai minimal dan maksimal dikarenakan permintaan beban yang berubah-ubah dan diikuti dengan pengaturan arus eksitasi.
- b. (Nurjaman, 2021). Hasilnya, diketahui bahwa tegangan generator sinkron Mini Hydro Curug sangat dipengaruhi oleh besarnya pengaturan arus eksitasi. Nilai tegangan keluaran generator sebesar 6,133 kV dan tegangan keluaran maksimum generator sebesar 6,479 kV dengan arus eksitasi sebesar 4,6 A.
- c. (Marsoaly, 2020). Hasil penelitian tersebut menunjukkan nilai faktor daya yang diperoleh minimum sebesar 0,89 pada saat arus eksitasi (I_f) pada rotor sebesar 3688 A dan daya reaktif maksimum sebesar 166,875 MVAR, sehingga apabila nilai arus eksitasi semakin besar akan mempengaruhi keluaran daya reaktif yang nilainya sebanding dan akan mempengaruhi faktor daya yang berbanding terbalik sehingga faktor daya sistem akan semakin kecil.

2.2 LANDASAN TEORI

2.2.1 Pengertian Generator Sinkron

Generator adalah sebuah komponen listrik yang dapat mengkonversi energi gerak atau mekanis menjadi energi listrik. Generator yang umum digunakan di pembangkitan listrik adalah generator sinkron. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator sinkron dapat berupa DC (arus searah) ataupun AC (arus bolak balik). Gambar 2.1 memperlihatkan generator sinkron.



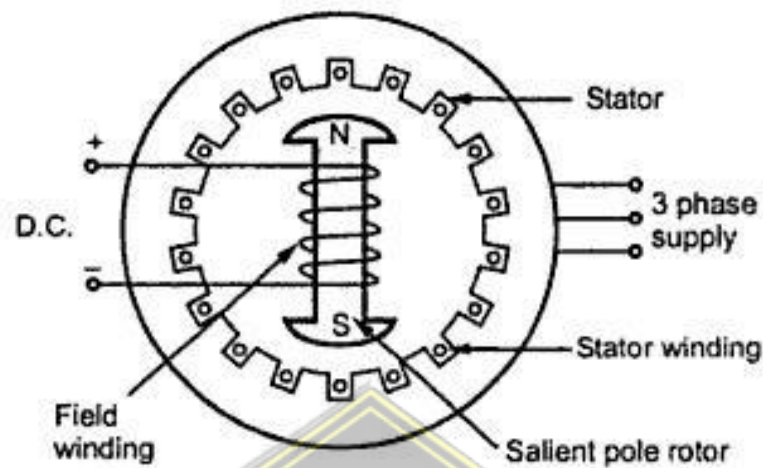
Gambar 2. 1 Generator Sinkron

Perubahan energi ini terjadi karena adanya pergerakan relatif antara medan magnet dengan kumparan generator. Pergerakan relatif adalah terjadinya perubahan medan magnet pada kumparan jangkar (tempat terbangkitnya tegangan pada generator) karena pergerakan medan magnet terhadap kumparan jangkar atau sebaliknya.

Alternator ini disebut generator sinkron (sinkron = serempak) karena kecepatan perputaran medan magnet yang terjadi sama dengan kecepatan perputaran rotor generator. Alternator ini menghasilkan energi listrik bolak balik (alternating current, AC) dan biasa diproduksi untuk menghasilkan listrik AC 1-fasa atau 3-fasa.

2.2.2 Konstruksi Generator Sinkron

Konstruksi generator sinkron terdiri dari dua bagian utama, yaitu: stator dan rotor. Stator adalah bagian diam yang mengeluarkan tegangan bolak-balik dan rotor adalah bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator (Agus, 2017). Gambar 2.2 memperlihatkan konstruksi Generator Sinkron.



Gambar 2. 2 Kontruksi Generator Sinkron

1. Stator

Stator merupakan bagian yang diam (statis) Terdapat beberapa komponen utama dalam stator generator sinkron yaitu sebagai berikut:

a. Rangka Stator

Rangka stator merupakan rumah (kerangka) yang menyangga inti jangkar generator.

b. Inti Stator

Inti stator membawa fluks magnet yang melintasi kumparan jangkar di stator. Jika inti stator terdiri dari baja paduan atau laminasi besi magnetik khusus yang dipasang pada rangka stator.

c. Alur (*Slot*) dan Gigi

konduktor ditempatkan di dalam di sepanjang keliling stator. Ada tiga jenis slot: slot terbuka, slot setengah terbuka, dan slot tertutup. Bentuk alur atau slot ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Bentuk-bentuk Alur/Slot

d. Kumparan Stator

Pada kumparan stator, persilangan medan magnet berputar dari rotor yang melintasi kumparan jangkar atau konduktor stator menghasilkan gaya gerak listrik yang diinduksi. Kumparan jangkar ini adalah kumparan di mana kabel timah berinsulasi ditempatkan pada alur-alur di inti besi. Skema kumparan jangkar stator ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Konstruksi Kumparan Stator

2. Rotor

Rotor adalah bagian bergerak dari sebuah generator. Rotor terdiri dari beberapa komponen utama yaitu:

a. Slip Ring

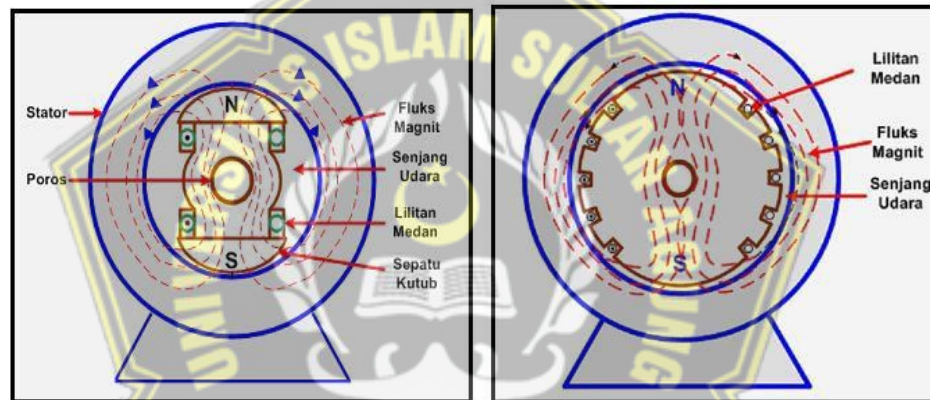
ring adalah cincin logam yang mengelilingi poros rotor tetapi dipisahkan oleh isolasi. Terminal kumparan rotor dipasang pada cincin selip dan dihubungkan ke catu daya DC melalui sikat yang dipasang pada cincin selip.

b. Kumparan Medan (Kumparan Rotor)

Kumparan medan ini adalah komponen yg berperan krusial pada membangun medan magnet. Kumparan ini mendapat arus searah menurut asal eksitasi tertentu.

c. Poros Rotor

Sebuah kumparan medan dipasang pada poros rotor, yang disusun sejajar dengan poros rotor. Rotor generator sinkron pada dasarnya adalah elektromagnet besar. Kutub medan rotor meliputi kutub yang menonjol (salient poles) dan kutub non-salient (kutub silinder). Gambar 2.5 memperlihatkan Kutub Rotor.



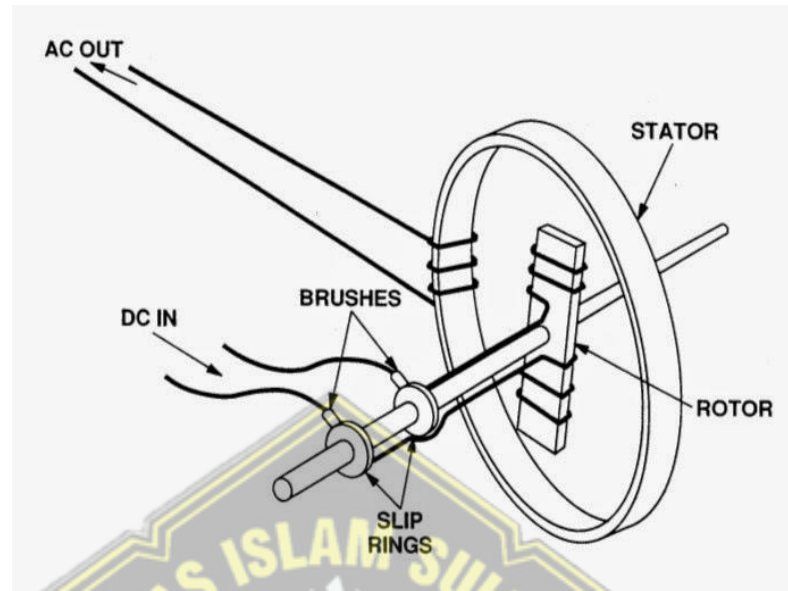
a. Kutub Menonjol

b. Kutub Silinder

Gambar 2. 5 Kutub Rotor

2.2.3 Prinsip Kerja Generator

Kumparan medan pada rotor generator saat dihubungkan ke suatu sumber eksitasi yang akan mensuplai arus DC terhadap kumparan medan (rotor). Sehingga adanya arus DC pada kumparan medan tersebut akan menimbulkan fluks magnetik yang besarnya tetap terhadap waktu, contoh bentuk gambaran sederhana proses pembangkitan energi listrik pada generator sinkron dapat diperlihatkan seperti pada gamba



Gambar 2. 6 Skema Generator Sinkron

Rotor menjadi berputar pada kecepatan nominalnya karena terkopel dengan penggerak mula. Besar kecepatan putar pada rotor bergantung kepada jumlah kutub rotor dan frekuensi yang ingin dihasilkan. Kecepatan putar rotor dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1).

$$n = \frac{120.f}{p} \quad (2.1)$$

dengan: n = Kecepatan putar rotor (rpm)

f = Frekuensi (Hz)

p = Jumlah kutub rotor

Medan magnet yang telah dihasilkan oleh kumparan medan akan diputar oleh rotor sehingga menghasilkan medan putar pada rotor dan medan putar tersebut akan menginduksi belitan jangkar maka muncul fluks magnetik dalam kumparan jangkar yang terdapat pada stator yang besarnya berubah-ubah terhadap waktu. Fluks magnetik yang berubah-ubah pada suatu kumparan akan menimbulkan munculnya ggl induksi pada ujung-ujung suatu kumparan tersebut, hal ini sesuai dengan persamaan (2.2).

$$e = N \frac{d\phi}{dt} \text{ (volt)} \quad (2.2)$$

dengan : $e =$ ggl induksi (volt)

$N =$ jumlah belitan

$\emptyset =$ fluks magnetik (weber)

Generator sinkron tiga fasa menggunakan tiga kumparan jangkar berada di stator dalam bentuk tertentu maka susunan kumparan jangkar tersebut akan membangkitkan tegangan induksi pada ketiga kumparan jangkar yang masing-masing fasanya berbeda 120° namun mempunyai besar yang sama. Setelah itu ketiga terminal kumparan jangkar siap untuk dioperasikan dan menghasilkan energi listrik.

2.2.4 Karakteristik Generator Berbeban

Pada generator sinkron tanpa beban, gaya gerak listrik E yang dibangkitkan pada kumparan jangkar stator sama dengan tegangan terminal V .

Ketika generator dibebani, ggl E tidak sama dengan tegangan terminal V , tegangan V pada terminal akan bervariasi karena:

1. Penurunan tegangan pada resistansi jangkar R_a adalah $I R_a$.
2. Penurunan tegangan akibat reaktansi bocor X_L dari jangkar adalah $I X_L$.
3. Penurunan tegangan akibat reaksi jangkar adalah $I X_a$.

Reaksi jangkar disebabkan oleh arus beban I yang mengalir pada kumparan jangkar. Arus ini menciptakan medan magnet yang melawan medan magnet utama, sehingga jangkar tampak memiliki reaktansi X_a . Reaktansi bocor X_L dan reaktansi reaksi jangkar X_a menghasilkan reaktansi sinkron X_S sesuai persamaan (2.3).

$$X_S = X_L + X_a \quad (2.3)$$

Tegangan saat generator dibebani mengikuti persamaan (2.4).

$$E = V + I(R_a + jX_a) \quad (2.4)$$

dengan: $E =$ ggl jangkar.

V = Tegangan terminal.

I = Arus Beban.

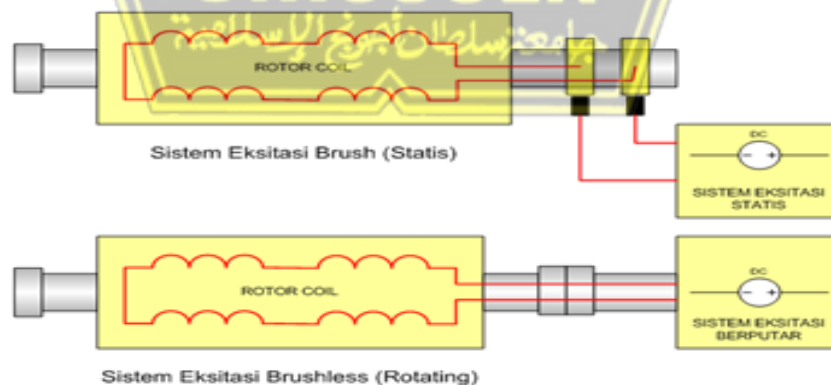
R_a = Reaktansi jangkar

$X_S = X_L + X_a$ = Reaktansi Sinkron.

2.2.5 Sistem Eksitasi Generator

Sistem eksitasi pada generator sinkron adalah suplai arus searah ke belitan medan yang terdapat pada rotor. Menurut prinsip elektromagnetisme, yaitu ketika sebuah penghantar berbentuk kumparan dialiri arus searah, kumparan tersebut menjadi magnet dan timbul fluks magnet. Ketika kumparan eksitasi yang mengalirkan arus eksitasi diputar dengan kecepatan konstan, kumparan jangkar yang terpasang pada stator diinduksi oleh fluks magnet yang dihasilkan oleh kumparan eksitasi, yang menghasilkan tegangan AC.

Arus magnetisasi itu sendiri adalah arus yang mengalir melalui kutub-kutub magnet. Dengan mengatur besarnya nilai arus eksitasi dapat diperoleh nilai tegangan keluaran generator dan daya reaktif yang diinginkan. Bentuk sederhana dari sistem eksitasi generator ditunjukkan pada Gambar 2.7.

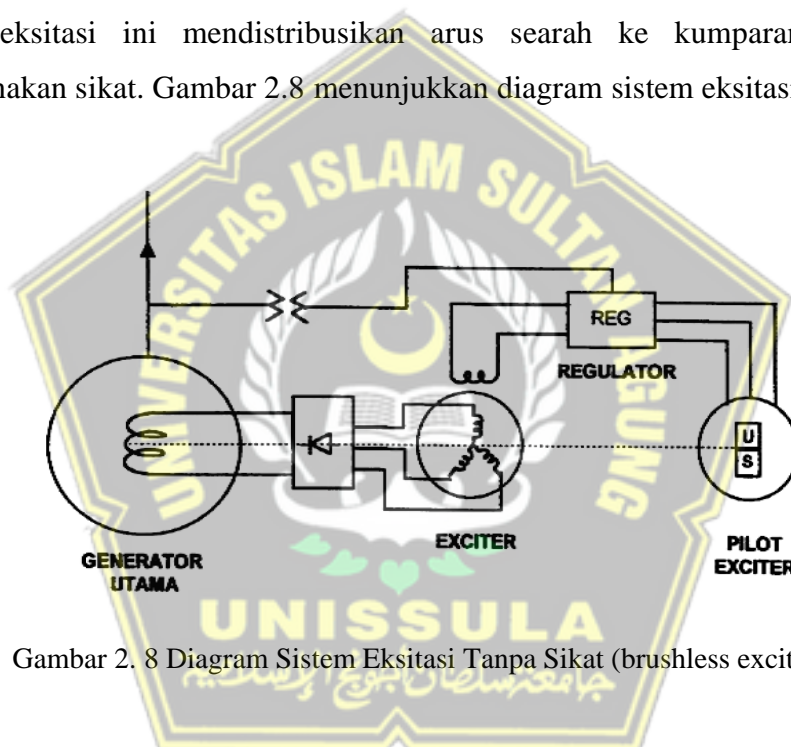


Gambar 2. 7 Bentuk Sederhana Sistem Eksitasi Pada Generator

Secara umum, ada dua jenis metode distribusi daya DC untuk rotor yaitu metode eksitasi yang tidak menggunakan sikat (brushless excitation), metode eksitasi yang menggunakan sikat (brush excitation)

1. Sistem Eksitasi Tanpa Sikat (Brushless excitation)

Eksitasi tanpa sikat adalah sistem eksitasi tanpa sikat. Dengan kata lain, sistem ini digunakan untuk memberi energi pada rotor utama generator dengan arus eksitasi. Sistem eksitasi ini mendistribusikan arus searah ke kumparan rotor tanpa menggunakan sikat. Gambar 2.8 menunjukkan diagram sistem eksitasi brushless.



Gambar 2. 8 Diagram Sistem Eksitasi Tanpa Sikat (brushless excitation)

Gambar 2.8 menunjukkan bahwa eksitasi generator disediakan oleh alternator exciter melalui roda penyearah yang dipasang pada poros, sehingga arus exciter terhubung langsung ke rotor generator. Exciter tersebut kemudian diumpankan oleh pilot exciter dengan fixed magnet atau yang disebut dengan PMG (Permanent Magnet Generator). Karena output pilot exciter adalah AC 3-fase dan ukurannya diatur oleh penyearah di regulator arus exciter, menyesuaikan eksitasi exciter secara langsung mengubah tegangan output generator utama (Ramadhanti, 2020)

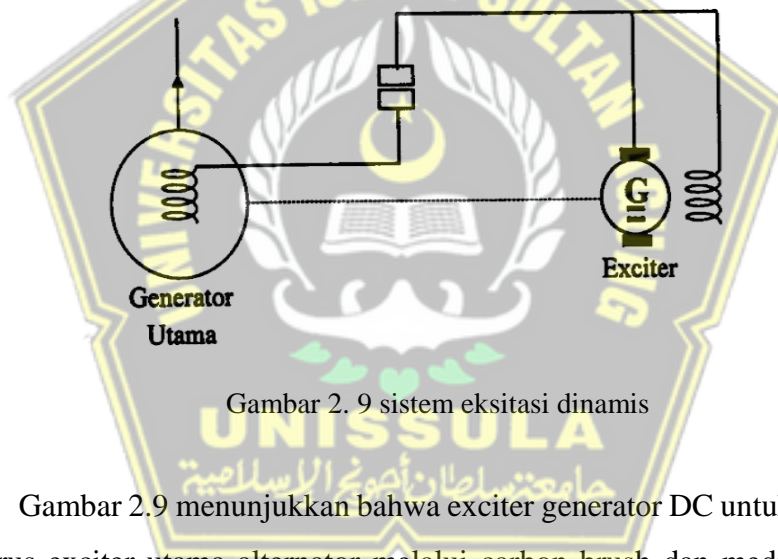
2. Sistem Eksitasi Menggunakan Sikat (*Brush excitation*)

Sistem eksitasi dengan menggunakan sikat terdiri dari:

a. Sistem Eksitasi Dinamis

Metode eksitasi dinamis adalah metode eksitasi dimana catu daya eksitasi diambil dari mesin mobile, dan mesin mobile disebut exciter. Exciter biasanya dipasang pada poros yang ditenagai oleh generator.

Seperti yang Anda ketahui, arus eksitasi adalah arus searah, sehingga dirangsang oleh motor arus searah (generator arus searah) atau motor arus bolak-balik (generator arus bolak-balik) dan disearahkan oleh penyearah. Gambar 2.9 menunjukkan konfigurasi sistem eksitasi dinamis.



Gambar 2. 9 sistem eksitasi dinamis

Gambar 2.9 menunjukkan bahwa exciter generator DC untuk menggerakkan arus exciter utama alternator melalui carbon brush dan media slip ring, dan menggerakkan output DC dari exciter generator melalui carbon brush.

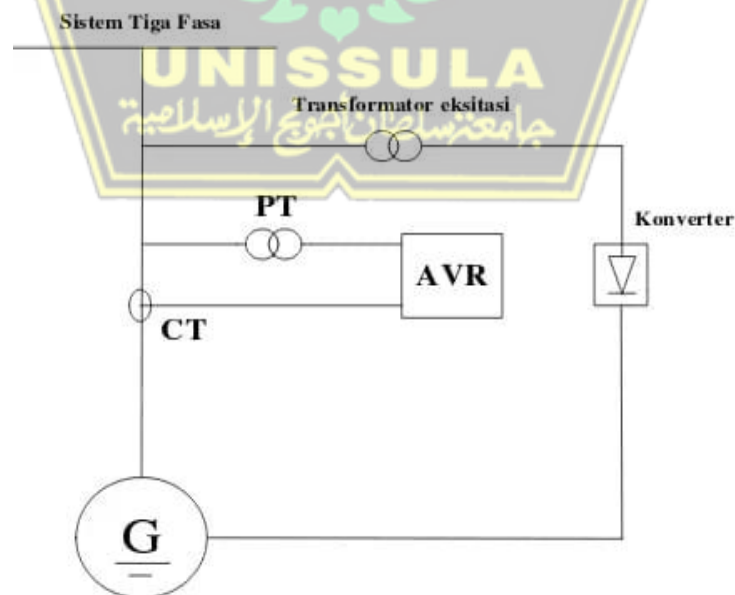
b. Sistem Eksitasi Statis

Sistem eksitasi statis adalah sistem eksitasi yang menggunakan alat eksitasi tetap (statis). Artinya, mesin exciter tidak berputar dengan rotor generator sinkron. Proses eksitasi statis ini disebut juga self-excitation, merupakan proses eksitasi yang tidak memerlukan tambahan generator sebagai sumber eksitasi

untuk generator sinkron. Sumber eksitasi untuk sistem eksitasi statis ini sendiri adalah tegangan keluaran generator, yang terlebih dahulu disearahkan menggunakan penyearah thyristor.

Pertama, ada magnet sisa kecil di rotor, magnet sisa ini menciptakan tegangan di stator, tegangan ini masuk ke penyearah dan diumpankan kembali ke rotor. Akibatnya, medan magnet yang dihasilkan meningkat dan tegangan bolak-balik meningkat. Begitu seterusnya sampai tegangan nominal yang dibutuhkan generator untuk proses pembangkitan tercapai. Sebuah penyearah biasanya juga dilengkapi dengan regulator, sehingga tegangan generator dapat dijaga konstan. Penyesuaian ini biasanya dilakukan oleh alat yang disebut AVR (Automatic Voltage Regulator).

Automatic voltage regulator (AVR) sebagai pengatur pada sistem ini bertanggung jawab untuk mengatur sudut tembak thyristor agar tegangan keluaran generator tetap konstan walaupun beban berubah. Pengukuran arus dan tegangan keluaran dilakukan oleh AVR menggunakan trafo potensial yaitu trafo arus (CT) dan trafo tegangan (PT). Sistem eksitasi statis ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Sistem Eksitasi Statis

Generator dilengkapi dengan medan listrik petir jika rotor tidak memiliki magnet sisa untuk menghasilkan tegangan untuk eksitasi awal. Medan kedip ini merupakan injeksi arus sesaat ke dalam rotor dari sumber lain, baik baterai atau listrik, dan pertama-tama disearahkan.

2.2.6 Sistem Eksitasi Generator PLTU Tanjung Jati B

Sistem eksitasi yang digunakan pada Unit 3 PLTU Tanjung Jati B adalah sistem statik carbon brush yang memperoleh sumber eksitasi dari tegangan keluaran generator itu sendiri dan menerapkannya pada penyearah thyristor. Oleh karena itu, arus eksitasi PLTU Tanjung Jati B Unit 3 disuplai ke belitan rotor melalui sepasang slip ring yang dipasang pada poros generator itu sendiri. Menurut papan nama generator, arus eksitasi yang ditarik mencapai 5110 ampere. Gambar 2.11 menunjukkan bentuk fisik sikat karbon.



Gambar 2. 11 Bentuk Fisik Sikat Karbon.

Sikat karbon membentuk kontak listrik yang stabil dengan cincin slip saat disuplai dengan arus tinggi pada kecepatan gesekan lebih dari 250 km/jam. Ini harus dicapai tanpa merusak cincin slip sehingga sikat dapat digunakan untuk waktu yang

lama. Jenis carbon brush yang digunakan di PLTU Tanjung Jati B adalah Natural Carbon NCC-634. Sikat karbon kelas 634 adalah standar dunia untuk kinerja sikat karbon turbogenerator. Sedangkan material slip ring yang digunakan pada Unit 3 PLTU Tanjung Jati B terbuat dari campuran baja (alloy steel).

2.2.7 Daya Listrik

a. Pengetian Daya Listrik

Daya berarti energi per satuan waktu. Daya adalah jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan kerja dalam suatu sistem tenaga. Satuan daya biasanya watt. Daya pada sistem arus bolak-balik (AC) dikenal dalam tiga jenis: daya aktif (daya nyata) dengan simbol (P) dan watt (W), daya reaktif dengan simbol (Q), dan daya reaktif dengan satuan volt. arus reaktif (VAR) dan simbol daya semu (S) volt ampere (VA) (Markoni, 2014).

b. Berbagai Jenis Daya Listrik

Daya Listrik dibagi menjadi 3 bagian yaitu sebagai berikut:

1. Daya Aktif (P)

Daya sebenarnya merupakan daya homogen-homogen yg sinkron menggunakan daya yang sebenarnya ditransmisikan atau dikonsumsi sang beban. Contoh daya aktif merupakan tenaga panas, tenaga mekanik, & cahaya, & satuan daya aktif merupakan watt (W). Persamaan daya diberikan (2.5) & (2.6).

$$P = V \cdot I \cdot \cos\varphi \text{ (1 Fasa)} \quad (2.5)$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_l \cdot \cos\varphi \text{ (3 Fasa)} \quad (2.6)$$

dengan: P = Daya aktif (watt)

V = Tegangan *line to line* (Volt)

I = Arus (ampere)

$\cos\varphi$ = Factor daya

V_L = Tegangan jaringan (volt)

$$I_l = \text{Arus jaringan (ampere)}$$

2. Daya Semu (S)

Daya semu adalah daya yang mengalir melalui saluran transmisi atau distribusi. Daya ini adalah produk dari tegangan dan arus yang mengalir melalui konduktor. Daya ini merupakan daya sebelum sistem dihubungkan ke beban listrik menurut persamaan (2.7) dan (2.8)

$$S = V \cdot I \text{ (1 fasa)} \quad (2.7)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \text{ (3 fasa)} \quad (2.8)$$

dengan: S = Daya semu (volt ampere)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

3. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah jumlah energi yang diperlukan untuk membentuk medan magnet. Fluks magnet dihasilkan dengan membentuk medan magnet. Misalnya, perangkat yang menghasilkan daya reaktif, yaitu transformator, motor, bola lampu, dll, dengan satuan VAR, persamaan daya reaktif ditunjukkan pada (2.9) dan (2.10).

$$Q = V \times I \times \sin \vartheta \text{ (1 Fasa)} \quad (2.9)$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_l \cdot \sin \varphi \text{ (3 Fasa)} \quad (2.10)$$

dengan: Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (ampere)

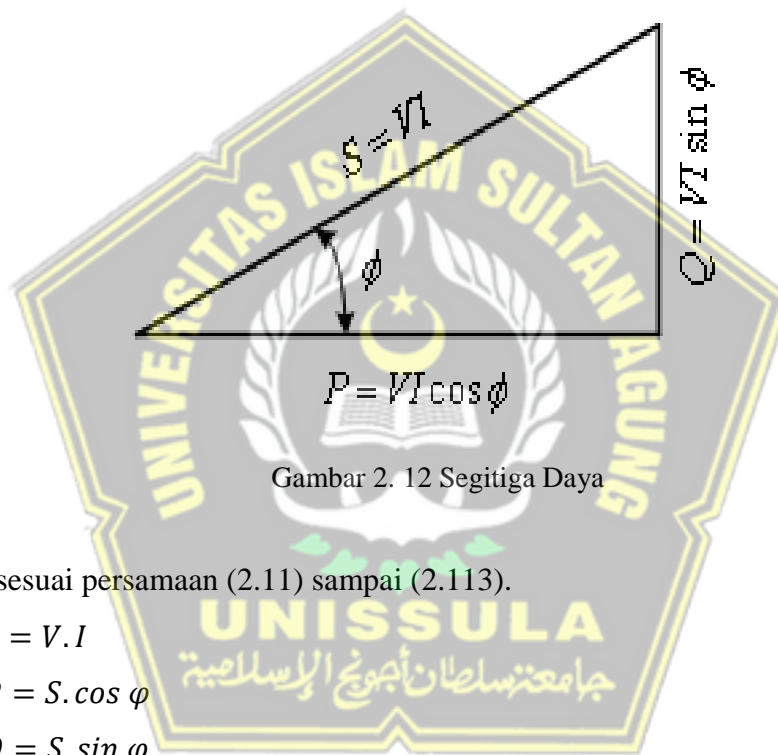
V_L = Tegangan jaringan (volt)

I_l = Arus jaringan (ampere)

2.2.8 Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematis antara tipe daya yang berbeda berdasarkan prinsip trigonometri. Hubungan ketiga daya tersebut dapat dijelaskan melalui segitiga daya seperti pada Gambar 2.15.

Segitiga daya adalah segitiga yang mewakili hubungan matematis antara berbagai jenis daya berdasarkan prinsip trigonometri. Hubungan antara ketiga daya ini ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Dimana sesuai persamaan (2.11) sampai (2.113).

$$S = V \cdot I \quad (2.11)$$

$$P = S \cdot \cos \varphi \quad (2.12)$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi \quad (2.13)$$

2.2.9 Faktor Daya

Faktor daya merupakan ukuran dari kualitas sistem tenaga listrik yang digunakan. Faktor daya (pf) didefinisikan sebagai perbandingan antara daya aktif dalam kW dengan daya nyata / daya semu yaitu dalam kVA. Dalam kondisi ideal dimana tegangan V dan arus I hanya terdiri dari komponen-komponen frekuensi fundamental (misalnya 50 Hz), sesuai persamaan (2.14) sampai (2.16).

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \text{atau factor daya} \quad (2.14)$$

$$\sin \varphi = \frac{Q}{S} \quad (2.15)$$

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad (2.16)$$

dengan : Q = Daya Reaktif

P = Daya Aktif

S = Daya Semu

Faktor daya (power factor) penting dalam jaringan AC, baik jaringan tiga fasa maupun satu fasa. Kerugian karena faktor daya rendah dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan (2.17) dan (2.18) untuk nilai arus yang mengalir melalui jaringan.

$$P = V \times I \cos \varphi, \text{ kemudian} \quad (2.17)$$

$$I = \frac{P}{V \times \cos \varphi} \quad (2.18)$$

sehingga dapat dikatakan bahwa I (arus) berbanding terbalik terhadap $\cos \varphi$.

2.2.10 Sifat Faktor Daya

Pada suatu sistem tenaga listrik memiliki 3 jenis faktor daya yaitu faktor daya unity, faktor daya mendahului (*leading*) dan faktor daya terbelakang (*lagging*) yang ditentukan oleh jenis beban pada sistem tenaga listrik.

1. Faktor Daya Unity

Faktor daya unity adalah keadaan saat nilai $\cos \phi$ adalah satu dan tegangan sephasa dengan arus. Faktor daya unity akan terjadi bila jenis beban adalah resistif murni. Gambar 2.13 memperlihatkan arus sephasa dengan tegangan

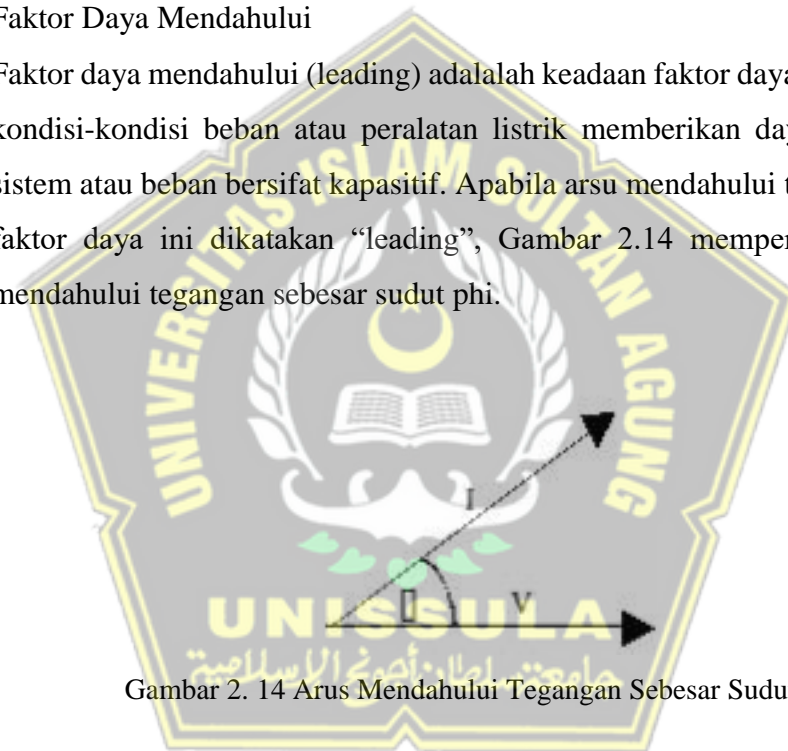


Gambar 2. 13 Arus Sephasa Dengan Tegangan

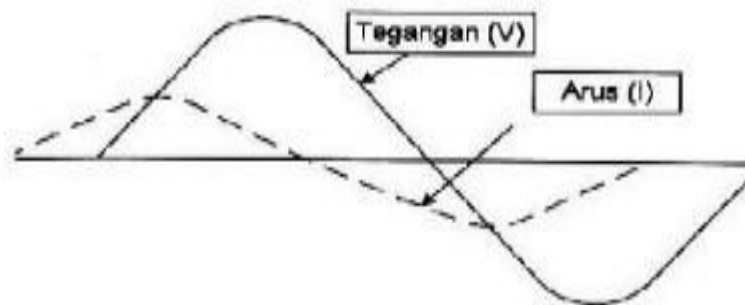
Pada Gambar 2.13 terlihat nilai $\cos \phi$ sama dengan 1 yang menyebabkan jumlah daya nyata yang dikonsumsi beban sama dengan daya semu.

2. Faktor Daya Mendahului

Faktor daya mendahului (leading) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi beban atau peralatan listrik memberikan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat kapasitif. Apabila arus mendahului tegangan maka faktor daya ini dikatakan “leading”, Gambar 2.14 memperlihatkan Arus mendahului tegangan sebesar sudut phi.



Gambar 2. 14 Arus Mendahului Tegangan Sebesar Sudut Phi



Gambar 2. 15 Faktor Daya “Leading”

Berdasarkan Gambar 2.15 terlihat bahwa arus mendahului tegangan maka daya reaktif tertinggal dari daya semu, berarti beban memberikan daya reaktif kepada sistem.

3. Faktor Daya Terbelakang (*lagging*)

Faktor daya terbelakang (*lagging*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi beban atau perlatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif. Apabila tegangan mendahului arus, maka faktor daya ini dikatakan "*lagging*", Gambar 2.16 memperlihatkan Arus tertinggal dari tegangan sebesar sudut.



Gambar 2. 16 Arus Tertinggal Dari Tegangan Sebesar Sudut

Gambar 2. 17 Faktor daya "*lagging*"

Berdasarkan Gambar 2.17 terlihat bahwa arus tertinggal dari tegangan maka daya reaktif mendahului daya semu, berarti beban membutuhkan atau menerima daya reaktif dari sistem.

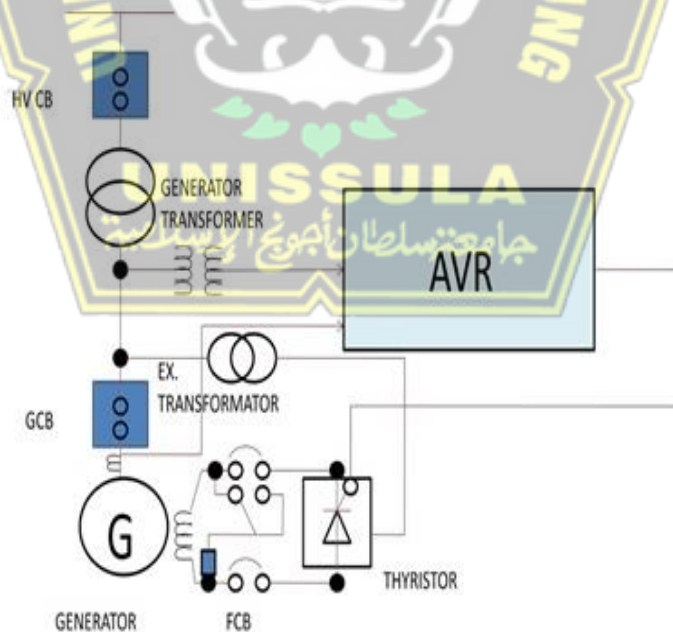
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis pengaruh arus eksitasi terhadap daya reaktif generator sinkron. Jenis sistem eksitasi yang digunakan yaitu sistem eksitasi statis di PLTU Tanjung Jati B Unit 3 Jepara.

Awal penelitian dimulai dengan menentukan lokasi penelitian, kemudian dilanjutkan dengan mengumpulkan data, yaitu data spesifikasi generator, sistem eksitasi dan data harian output genertor sinkron PLTU Tanjung Jati B Unit 3.

Data tersebut kemudian akan diolah dengan membuat tabel dan grafik pada *microsoft excel*, kemudian dilanjutkan dengan analisis pengaruh perubahan eksitasi terhadap daya rekatif dan daya reaktif terhadap factor daya. Gambar 3.1 menunjukkan single line diagram sistem eksitasi generator PLTU Tanjung Jati B Unit 3.



Gambar 3. 1 Diagram Garis Tunggal Generator Tanjung Jati B Unit 3

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian Tugas Akhir ini dilaksanakan di Pembangkitan Tanjung Jati B Unit 3 Jepara yang terletak di Desa Tubanan, Kecamatan Kembang, Kabupaten Jepara, sekitar 25 km disebelah kota Jepara dan 84 km Kota Semarang. Gambar 3.2 memperlihatkan lokasi PLTU Tanjung Jati B Unit 3 via Google Maps.



Gambar 3. 2 Lokasi Pembangkitan Tanjung Jati B Jepara

Penelitian dilaksanakan mulai tanggal 30 Agustus sampai 3 September 2019.

3.3 Data Penelitian

Pada tahapan Tugas Akhir ini, penulis melakukan analisis perubahan arus eksitasi terhadap tegangan keluaran generator dan daya reaktif, penulis membutuhkan data sebagai berikut:

1. Data spesifikasi generator Pembangkitan Tanjung Jati B Unit 3 Jepara

Generator yang digunakan pada penelitian ini mempunyai spesifikasi yang diperlihatkan pada Table 3.1.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Generator Sinkron Pembangkitan TanjungJati B Unit 3

No.	Item	Spesifikasi
1.	Manufacture	Toshiba Industrial Products Manufacturing Corporation
2.	Rated Capacity	802.000 kVA
3.	Type	TAKS
4.	Form	LCH
5.	Rated Frequency	50 Hz
6.	Number of Poles	2
7.	Rated Speed	3.000 rpm
8.	Power Factor	0,9 Lag
9.	Rated Terminal Voltage	22.800 V
10.	Rated Current	20.309 A
11.	Field Voltage at Generator Rated Load	511 V DC
12.	Field Current at Generator Rated Load	5.110 A DC
13.	Design Data of Generator Field Resistance (@ 20 deg C)	0.0752 Ω
14.	Xs	0.25 pu
16.	Applied Standard	IEC60034-1 (2004)

Tabel 3.1 menjelaskan generator sinkron yang dibuat oleh Toshiba Industrial Products Manufacturing Corporation dari jepang dengan kapasitas 802.000 kVA, kecepatan putaran 3.000 rpm (rotasi permenit), dengan 2 kutub, factor daya 0,9 lag, Tegangan terminal yaitu 22.800 Volt, untuk arus nya senilai 20.309 Ampere nilai tegangan eksitasi sebesar 511 Volt DC (searah) dan arus eksitasinya 5.110 A DC (searah).

2. Data Operasi Generator Pembangkitan Uap Tanjung Jati B Unit 3 Jepara

Tabel 3.2 menunjukkan data operasi pada generator Pembangkitan Tenaga uap Tanjung Jati B Unit 3 Jepara.

Tabel 3. 2 Data operasi generator Pembangkitan Tanjung Jati B Unit 3 Jepara

Tgl	Jam	Daya Aktif (MW)	Vout Generator (KV)	Arus Jangkar (KA)	Tegangan Eksitasi (V)	Daya Reaktif (MVAR)	Arus Eksitasi (A)	Faktor Daya
30/08/2019	00.00	653	22,11	18,13	354,9	111,6	3968,1	0,99
	02.00	651	21,94	17,68	339,5	91,7	3829,7	0,99
	04.00	650	21,9	16,94	326	85,6	3698,4	0,99
	06.00	649	22,52	18,24	376,9	171,1	4181,3	0,97
	08.00	651	22,9	18,05	388,7	195,4	4284,4	0,96
	10.00	650	22,45	18,47	393,5	201	4310,2	0,96
	12.00	650	23,07	17,28	373,8	182	4139,2	0,97
	14.00	651	22,6	18,28	384,5	187,6	4246,9	0,97
	16.00	651	22,9	18,00	384,8	188,7	4242,2	0,96
	18.00	650	22,81	18,12	386,4	189,8	4251,6	0,96
	20.00	650	22,69	18,19	386,2	188,3	4256,3	0,97
	22.00	651	23,01	17,99	389,3	189,2	4275,1	0,97
31/08/2019	00.00	651	22,19	18,02	353,5	108,6	3951,6	0,99
	02.00	650	22,33	17,21	335,8	93,4	3794,5	0,99
	04.00	651	22,44	16,84	324	90,4	3691,4	0,99
	06.00	650	22,22	16,33	320,9	89,4	3646,9	0,99
	08.00	651	22,26	16,73	349,6	150,5	3914,1	0,97
	10.00	651	22,14	17,00	339,5	123,3	3834,4	0,98
	12.00	650	22,85	18,05	383,1	180	4218,8	0,97
	14.00	650	22,71	18,16	281,9	180,7	4214,1	0,97
	16.00	651	23,02	16,87	358,6	155,8	3993,8	0,97
	18.00	651	22,8	17,98	374,3	165,3	4153,1	0,97
	20.00	651	22,24	18,26	365,1	136,9	4064,1	0,98
	22.00	651	22,21	17,55	349,0	124,7	3918,8	0,98

Table 3.2 memperlihatkan data yang diambil dalam penelitian ini yaitu daya nyata (MW), daya reaktif (MVAR), Vout Generator (KV) tegangan eksitasi (KV), arus eksitasi (A) dan factor daya ($\cos \varphi$).

3.4 Perancangan Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahap untuk melakukan penelitian, diantaranya:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis melengkapi kosakata konsep dan teori yang melatarbelakanginya dengan mencari dan memahami landasan teori dari berbagai buku, jurnal, artikel, dll. Kami kemudian menggunakan sumber literatur untuk mendukung pembahasan penelitian ini.

2. Pengumpulan Data

Tahap ini dilakukan melalui survei langsung ke lapangan tempat penelitian dilakukan dan bila perlu dilakukan pengumpulan data. Data yang dikumpulkan adalah spesifikasi genset dan data operasional harian pembangkit Tenaga Uap Tanjung Jati B Unit 3 Jepara.

3. Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan perhitungan perubahan daya reaktif terhadap factor daya dengan menggunakan teori serta rumus yang telah di dapat sebelumnya, kemudian dilakukan analisis mengenai perubahan arus eksitasi terhadap tegangan keluaran dan daya reaktif generator PLTU Tanjung Jati B Unit, semua pengolahan data di lakukan di *Microsoft Excel*.

Pada tahap ini perhitungan variasi daya reaktif terhadap faktor daya dilakukan dengan menggunakan teori dan rumus yang diperoleh sebelumnya, kemudian variasi arus eksitasi dengan tegangan keluaran dan daya reaktif generator unit PLTU Tanjung Jati B dianalisis dan semua pengolahan data dilakukan di *Microsoft Excel*.

4. Pembuatan Laporan

Pada tahap ini dibuat laporan berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan. Pelaporan dilakukan secara sistematis dan sesuai prosedur yang ditetapkan.

3.5 Flowchart / Diagram Alir

Diagram flow chart penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Flowchart Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan model penelitian yang di tunjukkan pada Gambar 3.1 dan pada Table 3.1 dan 3.2 pada Tugas Akhir ini analisis dilakukan mengenai perubahan arus eksitasi terhadap tegangan keluaran, daya reaktif generator dan pengaruh perubahan daya reaktif terhadap factor daya.

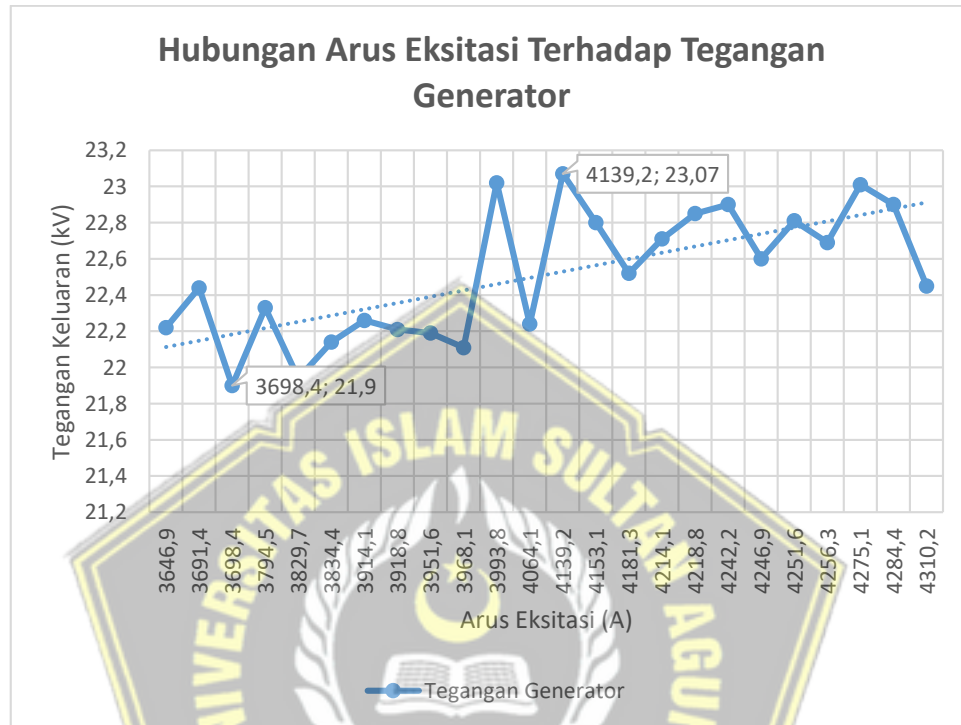
4.1 Pengaruh Arus Eksitasi terhadap Tegangan Keluaran Generator

Tabel 4.1 menampilkan data operasi generator yang diambil saat kondisi generator berbeban.

Tabel 4. 1 Data Operasi Harian Generator PLTU Tanjung Jati B Unit 3 Jepara

Tgl	Jam	Daya Aktif (MW)	Vout Generator (KV)	Arus Jangkar (KA)	Tegangan Eksitasi (V)	Daya Reaktif (MVAR)	Arus Eksitasi (A)	Faktor Daya
30/08/2019	00.00	653	22,11	18,13	354,9	111,6	3968,1	0,99
	02.00	651	21,94	17,68	339,5	91,7	3829,7	0,99
	04.00	650	21,9	16,94	326	85,6	3698,4	0,99
	06.00	649	22,52	18,24	376,9	171,1	4181,3	0,97
	08.00	651	22,9	18,05	388,7	195,4	4284,4	0,96
	10.00	650	22,45	18,47	393,5	201	4310,2	0,96
	12.00	650	23,07	17,28	373,8	182	4139,2	0,97
	14.00	651	22,6	18,28	384,5	187,6	4246,9	0,97
	16.00	651	22,9	18,00	384,8	188,7	4242,2	0,96
	18.00	650	22,81	18,12	386,4	189,8	4251,6	0,96
	20.00	650	22,69	18,19	386,2	188,3	4256,3	0,97
	22.00	651	23,01	17,99	389,3	189,2	4275,1	0,97
31/08/2019	00.00	651	22,19	18,02	353,5	108,6	3951,6	0,99
	02.00	650	22,33	17,21	335,8	93,4	3794,5	0,99
	04.00	651	22,44	16,84	324	90,4	3691,4	0,99
	06.00	650	22,22	16,33	320,9	89,4	3646,9	0,99
	08.00	651	22,26	16,73	349,6	150,5	3914,1	0,97
	10.00	651	22,14	17,00	339,5	123,3	3834,4	0,98
	12.00	650	22,85	18,05	383,1	180	4218,8	0,97
	14.00	650	22,71	18,16	281,9	180,7	4214,1	0,97
	16.00	651	23,02	16,87	358,6	155,8	3993,8	0,97
	18.00	651	22,8	17,98	374,3	165,3	4153,1	0,97
	20.00	651	22,24	18,26	365,1	136,9	4064,1	0,98
	22.00	651	22,21	17,55	349,0	124,7	3918,8	0,98

Berdasarkan Tabel 4.1 untuk analisa pengaruh arus eksitasi terhadap tegangan keluaran generator ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Hubungan Arus Eksitasi Terhadap Tegangan Keluaran

Sesuai dengan Tabel 4.1 dapat dihitung pengaruh arus eksitasi terhadap tegangan sebagai berikut:

Data ke-1

$$\text{Arus Eksitasi} = 3968,1 \text{ A}$$

$$R \text{ (hambatan)} = 0.0752 \Omega$$

$$V = I \cdot R$$

$$= 3968,1 \times 0.0752$$

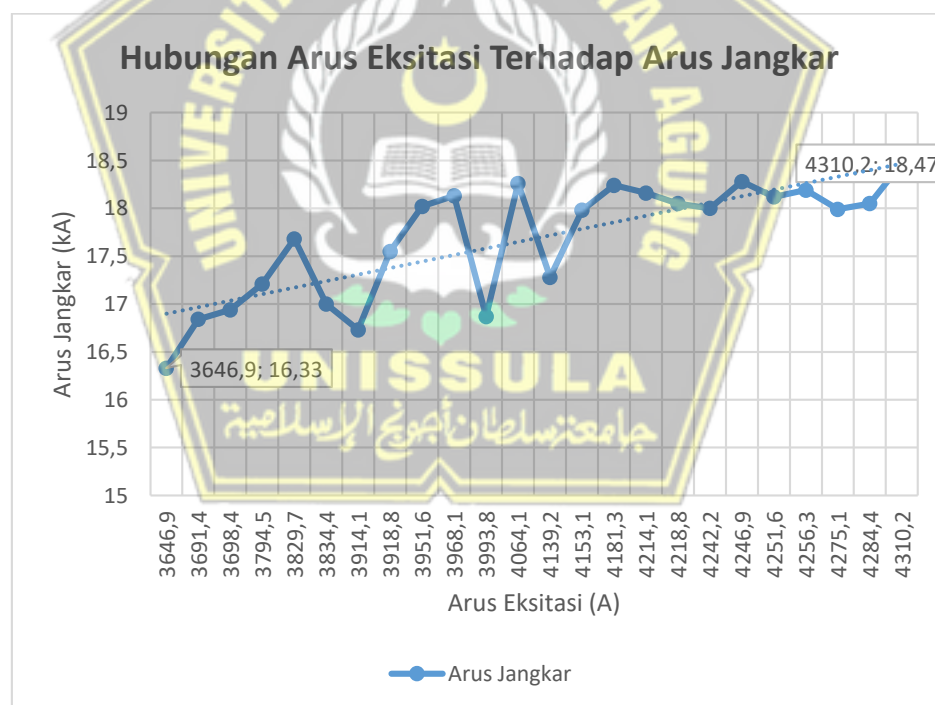
$$= 298,4 \text{ V}$$

Berdasarkan perhitungan dan Gambar 4.1 hubungan antara arus eksitasi dan tegangan keluaran generator menunjukkan bahwa arus eksitasi menunjukkan trend positif dengan tegangan keluaran generator, zona eksitasi yaitu Sumbu X= 11 dan

sumbu Y=4, hal ini sesuai dengan persamaan tegangan $V = I.R$ yang dimana I merupakan arus eksitasi dan R merupakan hambatan yang diambil dari *nameplate* generator yang nilainya tetap. Nilai tegangan keluaran terendah sebesar 21,9 kv dan arus eksitasi 3698,4 A, dan nilai tegangan keluaran tertinggi sebesar 23,07 kV dan nilai arus eksitasinya sebesar 4139,2 A, namun tegangan keluaran juga dipengaruhi oleh daya aktif sehingga terdapat simpangan rata-rata arus eksitasi sebesar 187,7368 A, dan simpangan rata-rata tegangan sebesar 0,310417 kV.

4.2 Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Arus Jangkar

Berdasarkan Tabel 4.1 dengan berubahnya nilai arus eksitasi pada generator, maka akan terlihat hubungan antara arus eksitasi (I_f) terhadap arus jangkar (I_a) yang di tunjukkan pada Gambar 4.2.



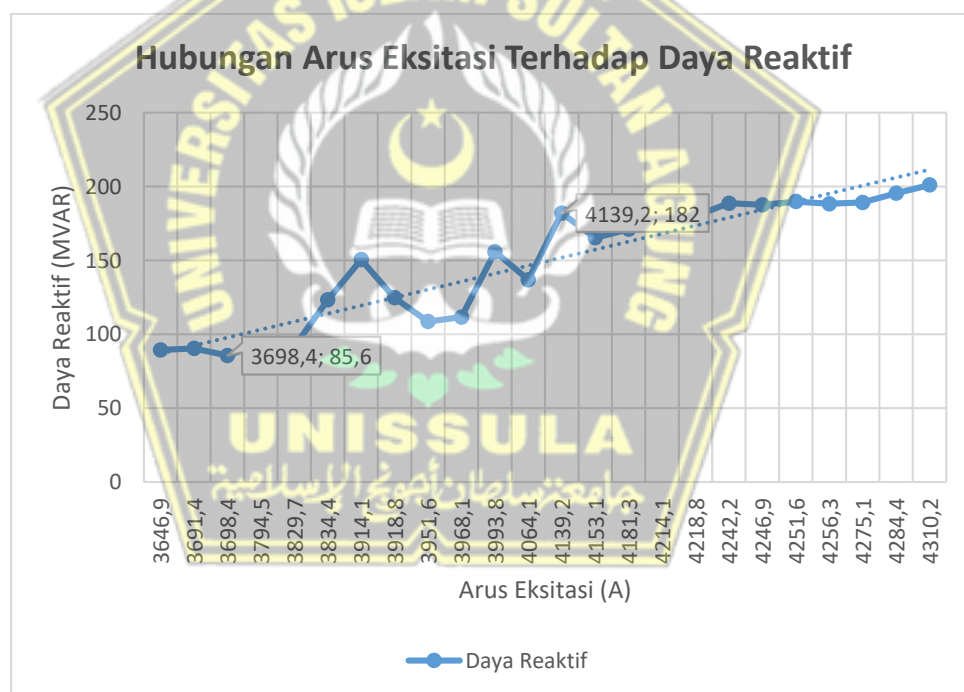
Gambar 4. 2 Hubungan Arus Eksitasi Dengan Arus Jangkar

Gambar 4.2 hubungan antara arus eksitasi dengan arus jangkar menunjukkan bahwa arus jangkar tertinggi sebesar 18,47 kA pada nilai arus eksitasi 4310,2 A dan nilai arus

jangkar terendah sebesar 16,33 kA pada nilai arus eksitasi 3646,9. Data ini menunjukkan bahwa arus magnetisasi berbanding lurus dengan arus jangkar generator sinkron. Pada grafik menunjukkan adanya ketidakstabilan (fluktuasi) arus jangkar keluaran generator, hal ini disebabkan karena adanya perubahan nilai pembebanan secara tiba-tiba terhadap waktu dan pemakaian oleh beban sehingga terdapat simpangan rata-rata arus jangkar sebesar 187,7368 A, dan simpangan rata-rata tegangan sebesar 0,532569 kA.

4.3 Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif

Berdasarkan Tabel 4.1 Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara arus eksitasi (I_f) dan daya reaktif (MVar) ketika nilai arus eksitasi generator diubah.



Gambar 4. 3 Hubungan Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif

Pada Gambar 4.3 hubungan antara arus eksitasi terhadap daya reaktif generator, di mana daya reaktif berbanding lurus dengan arus eksitasi, maka besarnya daya reaktif generator sangat dipengaruhi oleh besarnya arus eksitasi. Hal ini bisa dilihat ketika

daya reaktif bernilai 85,6 MVAR dengan eksitasi bernilai 3698,4 A, dan ketika daya reaktif dinaikan menjadi 182 MVAR maka nilai arus eksitasi ikut meningkat menjadi 4139,2 A Hal ini dikarenakan untuk mengatur daya reaktif maka dilakukan dengan cara mengatur arus eksitasinya.

Pada grafik menunjukkan adanya ketidakstabilan (fluktuasi) daya reaktif generator, hal ini disebabkan karena adanya perubahan nilai pembebanan secara tiba-tiba terhadap waktu dan pemakaian oleh beban sehingga terdapat simpangan rata-rata arus eksitasi sebesar 187,7368 A, dan simpangan rata-rata daya reaktif sebesar 36,37361 MVAR.

4.4 Perhitungan Pengaruh Perubahan Beban Daya Reaktif Terhadap Faktor

Daya

Pengaruh beban daya reaktif terhadap nilai faktor daya pada penelitian ini dilakukan dengan menganalisa perubahan nilai faktor daya yang disebabkan oleh perubahan penggunaan beban daya reaktif. Data yang digunakan merupakan data generator pada saat kondisi berbeban.

Perhitungan pengaruh beban daya reaktif sesuai dengan persamaan (2.13) dengan data Tabel 4.1 pada data pukul 00.00 WIB Tanggal 31/08/2019 sebagai berikut:

1. Data Ke-1

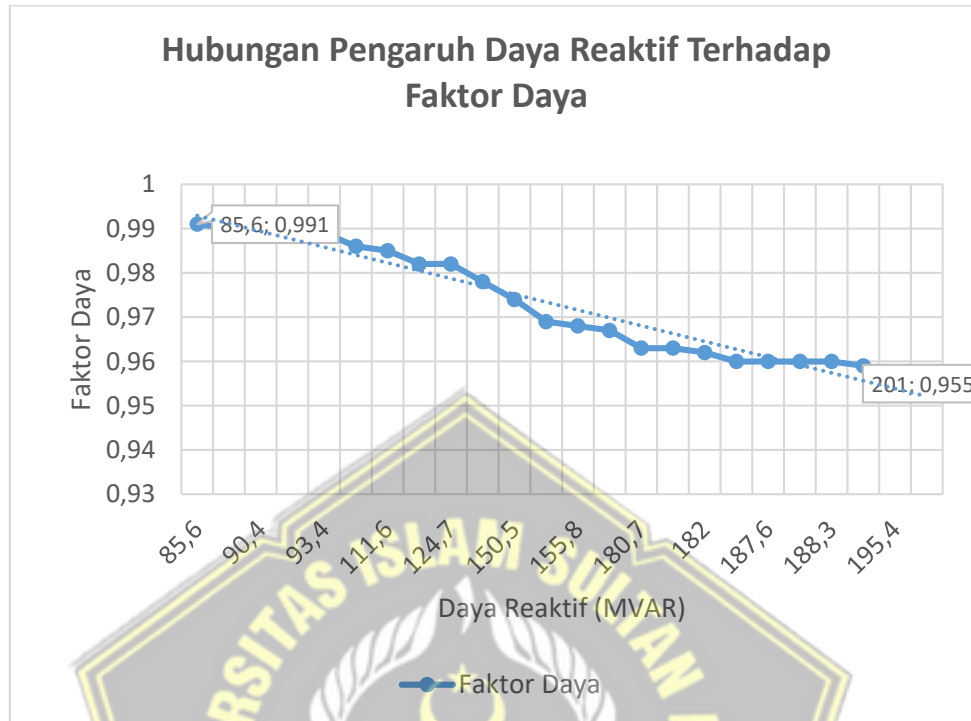
$$\begin{aligned}
 P_{operasi} &= 650 \text{ MW} \\
 Q_{operasi} &= 85,6 \text{ MVar} \\
 \tan \varphi &= \frac{Q}{P} \\
 &= \frac{85,6}{650} = 0,1317 \\
 \varphi &= \tan^{-1} 0,1317 \\
 &= 7,50^\circ \\
 \cos \varphi &= 0,991
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan pengaruh beban daya reaktif terhadap factor daya pada tanggal 31/08/ sampai tanggal 31/08/2019 maka dapat dibuat tabel sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Perhitungan Pengaruh Perubahan Daya Reaktif Terhadap Factor Daya

Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Q/P	Sudut Phi	Cos Phi
650	85,6	0,1317	7,5	0,991
650	89,4	0,1375	7,82	0,990
651	90,4	0,1389	7,9	0,990
651	91,7	0,1409	8,02	0,990
650	93,4	0,1437	8,17	0,989
651	108,6	0,1668	9,46	0,986
653	111,6	0,1709	9,69	0,985
651	123,3	0,1894	10,72	0,982
651	124,7	0,1916	10,84	0,982
651	136,9	0,2103	11,87	0,978
651	150,5	0,2313	13,01	0,974
651	165,3	0,2539	14,24	0,969
651	155,8	0,2393	14,45	0,968
649	171,1	0,2636	14,76	0,967
650	180	0,2769	15,47	0,963
650	180,7	0,278	15,53	0,963
650	182	0,280	15,64	0,962
651	187,6	0,2882	16,07	0,960
650	188,3	0,2897	16,15	0,960
651	188,7	0,2899	16,16	0,960
651	189,2	0,2906	16,2	0,960
650	189,8	0,292	16,27	0,959
651	195,4	0,3002	16,7	0,957
650	201	0,3092	17,18	0,955

Berdasarkan Tabel 4.1 untuk analisa pengaruh perubahan daya reaktif terhadap faktor daya ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Hubungan Perubahan Beban Daya Reaktif Terhadap Faktor Daya

Gambar 4.4 hubungan perubahan daya reaktif dan faktor daya adalah ketika perubahan beban daya reaktif dalam sistem meningkat, nilai faktor daya menurun ketika daya reaktif mencapai 201 MVAR, yang mengakibatkan penurunan faktor daya. ini sebesar 0,955 dan faktor daya meningkat sebesar 0,991 ketika daya reaktif beban mencapai nilai terendah sebesar 85,6 MVAR.

Perubahan nilai daya reaktif disebabkan oleh perubahan arus eksitasi yang meningkat, Oleh karena itu, ketika nilai arus eksitasi meningkat, daya reaktif yang diberikan sebanding dan faktor daya berbanding terbalik, menghasilkan faktor daya yang lebih rendah untuk sistem.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap tegangan keluaran dan daya reaktif generator sinkron dapat diperoleh kesimpulan:

1. Arus eksitasi menunjukkan trend positif dengan tegangan keluaran generator, zona eksitasi yaitu Sumbu $X= 11$ dan sumbu $Y=4$, hal ini sesuai dengan persamaan tegangan $V = I.R$ yang dimana I merupakan arus eskitasi dan R merupakan hambatan yang diambil dari *nameplate* generator yang nilainya tetap. Nilai tegangan keluaran terendah sebesar 21,9 kv dan arus eksitasi 3698,4 A, dan nilai tegangan keluaran tertinggi sebesar 23,07 kV dan nilai arus eksitasinya sebesar 4139,2 A, namun tegangan keluaran juga dipengaruhi oleh daya aktif sehingga terdapat simpangan rata-rata arus eksitasi sebesar 187,7368 A, dan simpangan rata-rata tegangan sebesar 0,310417 kV.
2. Perubahan besarnya arus eksitasi mempengaruhi nilai daya reaktif yang dihasilkan, semakin besar arus eksitasi, maka semakin besar daya reaktif generator, perubahan arus eksitasi sebesar 4139,2 A, mengakibatkan daya reaktif meningkat menjadi 182 MVAR.
3. Pengaruh perubahan beban daya reaktif terhadap faktor daya menunjukkan adanya penurunan pada nilai faktor daya. Ketika daya reaktif mencapai 201 MVAR mengakibatkan penurunan pada nilai faktor daya yang diperoleh yaitu sebesar 0,955, dan ketika beban daya reaktif mencapai nilai terendah 85,6 MVAR diperoleh nilai faktor daya yang meningkat sebesar 0,991.

5.2 Saran

1. Pada penelitian lebih lanjut harus selalu mempertimbangkan sifat-sifat sistem eksitasi, karena ini adalah salah satu sistem terpenting dalam prosesnya.

2. Penelitian ini masih terbatas pada satu jenis sistem eksitasi yaitu dengan menggunakan sistem eksitasi statis menggunakan sikat. Dan penelitian ini masih dapat dikembangkan dengan membandingkan dengan sistem eksitasi jenis lain sehingga dapat dibandingkan parameter antara sistem eksitasi tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- Agus, S. (2017) *Mesin Listrik*. Edited by Yudi P Desain. Yogyakarta: Relasi Inti Media.
- Anthony, Z. (2018) *Mesin listrik dasar*. Padang: ITP PRESS.
- Hana, N. (2017) 'Pemodelan Pengaruh Perubahan Beban Daya Reaktif terhadap Arus Eksitasi dan Tegangan Keluaran Generator Sinkron'.
- Juhari, D. (2013) *Generator Semester 3*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Kundur, P. (1993) 'Power System Stability And Control'. New York: McGraw-Hill Companies.
- Kurniawan, Y. (2018) 'Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator Sinkron Plta Sengguruh', p. 368571.
- Markoni (2014) *Teori Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Marsoaly, W. (2020) 'Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator Di Unit 3 Pt . Indonesia Power Suralaya Pgu'.
- Nurjaman, D.F. (2021) 'Analisis Pengaruh Sistem Eksitasi Terhadap Tegangan Keluaran Generator Sinkron Mini Hydro', *EPSILON: Journal of Electrical Engineering and ...*, pp. 85–88.
- Ramadhanti, S. (2020) 'Analisis Pengaruh Arus Eksitasi Terhadap Daya Reaktif dan Tegangan Terminal Generator Unit 3 PLTP Gunung Salak'.
- Yusniati and Matondang NNS (2020) 'Analisis Sistem Pembebanan Pada Generator

Di PT.PLN (Persero) Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Titi Kuning’,
Semnastek Uisu, pp. 59–64.

