



***Analisis Pengaruh Sistem Auxiliary Winding
Excitation Terhadap Kinerja Generator Sinkron
Pada Non-Permanent Magnet Generator PLTMG
PT. Maxpower Indonesia***

Tugas Akhir

**Oleh:
Alvian Razaki Majid (4232201003)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2026**

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : “Analisis Pengaruh Sistem *Auxiliary Winding Excitation* Terhadap Kinerja Generator Sinkron Pada *Non-Permanent Magnet* Generator PLTMG PT. Maxpower Indonesia” adalah **hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan**, dan **bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri**. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 29 Juni 2026



Alvian Razaki Majid
NIM: 4232201003

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
Alvian Razaki Majid (4232201003)

Tanggal Sidang: 07 Juli, 2026

Disetujui oleh :



1. Hasnira, S.ST., M.Tr.T
NIK: 113112



1. Ir. Jhon Hericson Purba, S.Pd., M.pd
NIK: 119230



2. Jihan Zeinyuta Rosafira, S.T., M.Eng
NIK: 125349

Analisis Pengaruh Sistem *Auxiliary Winding Excitation* Terhadap Kinerja Generator Sinkron Pada *Non-Permanent* Magnet Generator PLTMG PT. Maxpower Indonesia

Abstrak

Generator sinkron merupakan komponen utama pada sistem pembangkitan tenaga listrik yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik. PLTMG PT. Maxpower Indonesia menggunakan sistem *Auxiliary Winding Excitation (Aux. Wdg. Excitation)* pada generator sinkron *Non-Permanent* Magnet Generator (*non-PMG*), sehingga keandalan sistem eksitasi berperan penting dalam menjaga kestabilan operasi generator. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap kinerja generator sinkron Unit 5 berdasarkan parameter daya reaktif (Q), daya semu (S), dan faktor daya ($\cos \phi$). Penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan data operasional harian sebanyak 16 titik pengamatan yang dianalisis menggunakan Korelasi Pearson, Regresi Linear, dan Paired Sample T-Test. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi normal arus eksitasi berada pada kisaran 3,2–3,3 A, sedangkan saat terjadi malfungsi akibat kerusakan komponen dioda arus eksitasi meningkat hingga 4,7 A sehingga generator mengalami kondisi over-excitation yang menyebabkan daya reaktif dan daya semu menurun, faktor daya meningkat hingga 0,99, serta mengakibatkan Engine Trip. Setelah dilakukan perbaikan, seluruh parameter operasi kembali mendekati kondisi normal. Analisis Korelasi Pearson menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara arus eksitasi dengan daya reaktif ($r = -0,9903$), faktor daya ($r = 0,9371$), dan daya semu ($r = -0,9813$). Analisis Regresi Linear dan Paired Sample T-Test juga menunjukkan bahwa perubahan arus eksitasi berpengaruh signifikan terhadap kinerja generator. Dengan demikian, sistem *Auxiliary Winding Excitation* memiliki peranan penting dalam menjaga kestabilan dan keandalan operasi generator sinkron non-PMG di PLTMG PT. Maxpower Indonesia.

Kata kunci: Generator Sinkron, Sistem Eksitasi, *Aux. Wdg. Excitation*, Arus Eksitasi, Faktor Daya, Daya Reaktif, PLTMG.

Analysis of the Influence of the Auxiliay Winding Excitation System on the Performance of a Synchronous Generator in A Non-Permanent Magnet Generator at PLTMG PT. Maxpower Indonesia

Abstract

A synchronous generator is the main component of a power generation system that converts mechanical energy into electrical energy through electromagnetic induction. PT. Maxpower Indonesia Power Plant employs an Auxiliary Winding Excitation (Aux. Wdg. Excitation) system in its non-Permanent Magnet Generator (non-PMG) synchronous generators, making the reliability of the excitation system essential for maintaining stable generator operation. This study aims to analyze the effect of excitation current variations on the performance of Unit 5 synchronous generator based on reactive power (Q), apparent power (S), and power factor ($\cos \phi$). A quantitative research method was employed using daily operational data consisting of 16 observation points collected from the control room of PT. Maxpower Indonesia Power Plant. The data were analyzed using Pearson Correlation, Linear Regression, and Paired Sample T-Test. The results indicate that under normal operating conditions, the excitation current ranged from 3.2 to 3.3 A. However, during excitation system malfunction caused by diode failure, the excitation current increased to 4.7 A, resulting in an over-excitation condition that significantly reduced reactive power and apparent power, increased the power factor to 0.99, and eventually caused an Engine Trip. Following the repair, all operating parameters returned to normal conditions. Pearson Correlation analysis revealed a very strong relationship between excitation current and generator performance parameters, while Linear Regression and Paired Sample T-Test confirmed that excitation current significantly affected generator performance. Therefore, the Auxiliary Winding Excitation system plays a crucial role in maintaining the stability and reliability of non-PMG synchronous generator operation at PT. Maxpower Indonesia Power Plant.

Keywords: Synchronous Generator, Excitation System, Aux. Wdg. Excitation, Excitation Current, Power Factor, Reactive Power, PLTMG.

Kata Pengantar

Bissmillahirrahmanirrahim.

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada ALLAH SWT atas ridho dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Pengaruh Sistem *Auxiliary Winding Excitation* Terhadap Kinerja Generator Sinkron Pada *Non-Permanent* Magnet Generator PLTMG PT. Maxpower Indonesia”. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik pada program studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, nasehat dari berbagai pihak yang telah terlibat. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Keluarga penulis, Ibu Jumalia Ratnasari, Ayah Dadang Sunardi, Kaka Aqlika Mana Nulkarim, Kaka Abdan Fauzan Nurtsani, Kaka Irna, Kaka Putri. Yang telah memberikan dukungan baik secara mental, finansial, dan semangat serta doa kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
2. Bapak Ir. Bambang Hendrawan, S.T., MSM., CIPMP., CISC. selaku Direktur Politeknik Negeri Batam.
3. Bapak Ir. Indra Hardian Mulyadi, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Batam.
4. Bapak Irwanto Zarma Putra, S.Pd., M.Eng. selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi.
5. Ibu Hasnira, S.ST., M.Tr.T selaku Koordinator magang Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Batam sekaligus dosen penguji yang telah memberikan masukan untuk kesempurnaan tugas akhir ini.
6. Bapak Ir. Muhammad Syafei Gozali, S.T, M.T. selaku Wali Dosen RPE A Angkatan 2022 program studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi Politeknik Negeri Batam.
7. Bapak Ir. Jhon Hericson Purba, S.pd., M.Pd, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan memberikan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Ibu Jihan Zeinyuta Rosafira, S.T., M.Eng. Dosen Penguji Tugas Akhir serta dosen penguji yang telah memberikan masukan untuk kesempurnaan tugas akhir ini.
9. Bapak Ragan Deta Ibrahim selaku *Plant Manager* yang sudah memberikan kesempatan bagi penulis untuk melakukan kegiatan magang di PT. Maxpower Batamindo.

10. Bapak Sumardi selaku *Supervisor Operation* yang telah membimbing penulis dalam proses magang dan menyusun tugas akhir di PT. Maxpower Batamindo.
11. Bapak Hadi Suprichadi yang saya hormati selaku ex Karyawan Maxpower Batamindo yang telah membimbing saya untuk menyelesaikan tugas akhir.
12. Bapak Agustinus Tomi yang saya hormati selaku team Maintenance Batamindo yang telah mengajari dan membantu saya untuk menyelesaikan tugas akhir.
13. Bapak Priyono selaku HSES di PT. Maxpower Batamindo yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
14. Bapak Miftaqlul Ulumadin, Bapak Aan Sugiarto, Bapak Agus Tri Surono, Bapak Erwin Ginting selaku leader Operation dan *Maintenance* di PT. Maxpower Batamindo yang telah membantu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
15. Bang Afif selaku partner and crime di tempat magang yang telah mendukung saya untuk menyelesaikan tugas akhir.
16. Bapak iis , Bapak Robert, Bapak Ramzy selaku karyawan Maxpower yang telah mengajarin saya tentang PLTMG untuk membantu saya menyelesaikan tugas akhir.
17. Seluruh karyawan operation dan *Maintenance* PT. Maxpower Batamindo yang telah memberikan ilmu serta bimbingan kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
18. Rekan-rekan kelas RPE A yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
19. Semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah membantu, mendukung, dan memberikan semangat serta doa kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan tepat waktu.
20. Sahabat – sahabat saya yang telah saya anggap keluarga sendiri Imam, Bilqis, Aya, Melan, Alfiana, Aidil, Abit, Cika tidak lupa juga saya sangat berterimakasih telah setia menemani dan mendukung penulis pada setiap langkah, dan yang selalu mendengarkan keluh kesah tanpa lelah, saya doakan kalian selalu sukses dan di berikan kelancaran di setiap permasalahan yang kalian hadapi semoga keluarga kecil yang berbeda darah ini selalu di berikan kesuksesan selalu, *See You On Top My Little Family*.
21. *Last but not least*, diri saya sendiri. Alvian Razaki Majid, atas komitmen dan tanggung jawab dalam menyelesaikan apa yang telah di mulai. Proses yang dijalani tidak selalu mudah, namun dengan keteguhan, keberanian, dan keyakinan, penulis mampu bertahan. Kepercayaan bahwa setiap usaha akan menghasilkan kebaikan menjadi penguat dalam setiap tahap yang dilalui, meskipun diwarnai dengan kelelahan dan berbagai hambatan. Seluruh perjuangan yang di tempuh membuahkan hasil yang nyata, doa – doa yang dipanjatkan terjawab secara bertahap. *“Fortis fortuna adiuvat dan karena*

cara terbaik untuk mengalahkan rasa takut adalah pengetahuan.” Sebagai motivasi bagi penulis untuk terus melangkah ke tahap berikutnya. Pengalaman ini menjadi pembelajaran berharga bahwa proses dan pertumbuhan diri merupakan hal yang patut disyukuri dan dihargai.

Batam, 29 Juni 2026

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, flowing letters that appear to be 'Alvian Razaki Majid'.

Alvian Razaki Majid

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	i
Lembar Pengesahan	ii
Abstrak	iii
<i>Abstract</i>	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xii
Daftar Grafik	xiii
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Batasan	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka	4
2.1. Penelitian Terdahulu	4
2.2. Generator Sinkron	5
2.3. Kontruksi Generator Sinkron	6
2.3.1. Rotor	6
2.3.2. Stator	9
2.4. Prinsip Kerja Generator Sinkron	10
2.5. Pengertian Daya	11
2.5.1. Daya Aktif (P)	11
2.5.2. Daya Reaktif (Q)	11
2.5.3. Daya Semu (S)	12
2.5.4. Faktor Daya	12
2.6. Sistem Eksitasi	13

2.6.1. Sistem Eksitasi Non- Permanent magnet dengan Aux.Wdg.Excitation.....	14
2.6.2. Standar Operasi Sistem Ekstasi Generator Sinkron	14
2.7. Perawatan Sistem Auxiliary Winding Excitation	14
2.8. AVR (<i>Automatic Voltage Regulator</i>).....	15
2.8.1. Prinsip kerja AVR.....	15
Bab 3. Metodologi Penelitian	16
3.1. Alur Penelitian	16
3.2. Pengumpulan Data	17
3.3. Waktu Dan Tempat Penelitian	17
3.4. Data Spesifikasi Peralatan	18
3.5. Pengambilan Data.....	18
3.6. Pengolahan Data dan Pembahasan.....	20
Bab 4. Hasil dan Pembahasan.....	24
4.1. Prinsip Kerja Sistem Eksitasi Generator Sinkron PLTMG PT. Maxpower Indonesia	24
4.2. Data Hasil Penelitian.....	24
4.3. Pembuktian Data Menggunakan Perhitungan Manual	25
4.4. Analisis Parameter pada sistem eksitasi yang terjadi malfungsi	27
4.5. Analisis Korelasi Pearson	32
4.4.1. Perhitungan Manual Korelas Pearson Unit 5 (I_{exc} vs Q)	33
4.4.2. Perhitungan Manual Korelas Pearson Unit 5 (I_{exc} vs $\cos\phi$)	35
4.4.3. Perhitungan Manual Korelas Pearson Unit 5 (I_{exc} vs S)	36
4.6. Analisis Regresi Linear	38
4.6.1. Model Regresi Arus Eksitasi terhadap Daya Reaktif	39
4.6.2. Model Regresi Arus Eksitasi terhadap Faktor Daya	40

4.6.3. Model Regresi Arus Eksitasi terhadap Daya Semu	41
4.6.4. Perhitungan Manual Regresi Linear Unit 5 (I_{exc} vs Q)	42
4.6.5. Perhitungan Manual Regresi Linear Unit 5 (I_{exc} vs $\cos\phi$)	43
4.6.6. Perhitungan Manual Regresi Linear Unit 5 (I_{exc} vs S)	44
4.7. Uji Beda Paired Sample T-Test.....	45
4.7.1. Perhitungan Manual T-Test Unit 5 (I_{exc} vs Q)	45
4.7.2. Perhitungan Manual T-Test Unit 5 (I_{exc} vs $\cos\phi$)	47
4.7.3. Perhitungan Manual T-Test Unit 5 (I_{exc} vs S)	48
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	51
5.1. Kesimpulan	51
5.2. Saran	51
Daftar Pustaka.....	52
Biodata.....	54
Lampiran	55

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Generator Mesin Gas Unit 5 PLTMG PT. Maxpower Indonesia	5
Gambar 2.2 Bentuk Generator Sinkron	6
Gambar 2.3 Kontruksi Rotor dengan Jumlah Kutub Silindir	7
Gambar 2.4 Kontruksi Rotor dengan Jumlah Kutub Silindir	8
Gambar 2.5 Kontruksi Rotor dengan Jumlah Kutub Menonjol.....	8
Gambar 2.6 Kontruksi Rotor dengan Jumlah Kutub Menonjol.....	9
Gambar 2.7 Inti Stator.....	10
Gambar 2.8 Prinsip Kerja Generator Sinkron.....	10
Gambar 2.9 Sistem eksitasi	13
Gambar 3.1 Diagram Alir	16
Gambar 3.2 Area PLTMG PT. Maxpower Indonesia	17

Daftar Tabel

Tabel 3.1 Data Spesifikasi Generator Unit 5	18
Tabel 3.2 Data Tabel Generator unit 5	19
Tabel 4.1 Data Tabel Generator unit 5	24
Tabel 4.2 Perbandingan Parameter Operasional pada Sistem eksitasi yang mengalami Malfungtion	28
Tabel 4.3 Hasil Analisis Korelasi Pearson	32
Tabel 4.4 Tabel Perhitungan korelasi pearson Arus ekstasi vs Daya Reaktif	33
Tabel 4.5 Tabel Perhitungan Korelasi Pearson Arus eksitasi vs Faktor Daya	35
Tabel 4.6 Tabel Perhitungan Korelasi Pearson Arus eksitasi vs Daya Semu	36
Tabel 4.7 Hasil Analisis Regresi Linear	38
Tabel 4.8 Perhitungan Regresi Linear Unit 5 (I_{exc} vs Q)	42
Tabel 4.9 Perhitungan Regresi Linear Unit 5 (I_{exc} vs $\cos\phi$)	43
Tabel 4.10 Perhitungan Regresi Linear Unit 5 (I_{exc} vs S)	44
Tabel 4.11 Perhitungan T-Test Unit 5 (I_{exc} vs Q)	46
Tabel 4.12 Perhitungan T-Test Unit 5 (I_{exc} vs Q)	47
Tabel 4.13 Perhitungan T-Test Unit 5 (I_{exc} vs S)	49

Daftar Grafik

Grafik 4.1 Perbandingan Arus Eksitasi Dan Daya Semu	29
Grafik 4.2 Perbandingan Arus Ekstasi Dan Faktor Daya	30
Grafik 4.3 Perbandingan Arus Eksitasi Dan Daya Reaktif	31
Grafik 4.4 Hubungan Daya Reaktif Dengan Arus Eksitasi	39
Grafik 4.5 Hubungan Faktor Daya Dengan Arus Eksitasi	40
Grafik 4.6 Hubungan Daya Semu Dengan Arus Eksitasi	41

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Seiring meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan jumlah populasi di Indonesia, kebutuhan terhadap energi listrik juga terus mengalami peningkatan. Untuk memenuhi tuntutan tersebut, pemerintah melakukan berbagai upaya guna memastikan ketersediaan listrik yang andal bagi masyarakat. Selain untuk kebutuhan rumah tangga, pasokan listrik juga menjadi faktor penting bagi sektor industri. Salah satu penyedia energi listrik yang turut mendukung kebutuhan tersebut adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) PT. Maxpower Indonesia.

PLTMG PT. Maxpower Indonesia merupakan perusahaan swasta yang berperan signifikan dalam penyediaan energi listrik di berbagai wilayah Indonesia, termasuk di Batam. Keberadaan pembangkit ini membantu memperkuat sistem kelistrikan regional serta menjaga keandalan pasokan energi di kawasan industri maupun permukiman. Pada lokasi PLTMG PT. Maxpower Indonesia di Batamindo, terdapat sembilan unit mesin pembangkit dengan kapasitas masing-masing 3.349 kW, sehingga total kapasitas terpasang mencapai 9×3.349 kW. Pembangkit ini menggunakan generator Stamford yang menghasilkan tegangan keluaran sebesar 11 kV.

Dalam sistem pembangkitan, sistem eksitasi merupakan komponen Penting yang berfungsi mengatur tegangan generator agar daya keluaran tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan operasi.[1] Fungsi utama sistem eksitasi adalah mengendalikan tegangan terminal generator melalui pengaturan tegangan medan, yang dipengaruhi oleh perubahan tegangan terminal. Generator memperoleh suplai mekanik dari prime mover, sedangkan arus eksitasi disediakan oleh sistem eksitasi. Tegangan eksitasi dihasilkan melalui exciter dan dikontrol oleh Automatic Voltage Regulator (AVR) untuk memastikan tegangan terminal (V_t) tetap berada pada nilai referensi (V_{ref}).[2]

Namun, sistem eksitasi sering menghadapi berbagai tantangan, seperti fluktuasi akibat perubahan beban mendadak dan respon pengaturan yang kurang cepat.[3] Kondisi tersebut dapat menyebabkan ketidakstabilan tegangan keluaran, memengaruhi faktor daya, serta menurunkan efisiensi operasional generator. Selain itu, sistem eksitasi konvensional yang sepenuhnya bergantung pada tegangan terminal cenderung menjadi kurang responsif ketika terjadi perubahan beban yang signifikan, karena suplai daya untuk AVR turut menurun seiring turunnya tegangan terminal.[1]

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis pengaruh sistem eksitasi terhadap kinerja generator sinkron di PLTMG PT. Maxpower Indonesia. Pemahaman yang lebih mendalam mengenai hubungan antara arus eksitasi dan parameter operasional generator diharapkan

dapat menghasilkan strategi pengelolaan yang lebih optimal serta meningkatkan keandalan sistem kelistrikan di perusahaan tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Maka rumusan masalah pada tugas akhir ini yaitu :

1. Bagaimana sistem eksitasi Aux. Wdg. Excitation mempengaruhi faktor daya , daya reaktif, dan daya semu pada generator?
2. Bagaimana besar perubahan arus eksitasi dalam mempengaruhi kinerja generator sinkron Unit 5 di PLTMG PT. Maxpower Indonesia ?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini yaitu :

1. Menganalisis sistem Aux. Wdg. Excitation yang mempengaruhi faktor daya, daya reaktif, dan daya semu yang penting untuk pengolahan daya dan listrik.
2. Menganalisis besar perubahan arus eksitasi dalam mempengaruhi kinerja generator sinkron Unit 5 di PLTMG PT. Maxpower Indonesia.

1.4. Manfaat

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini yaitu :

1. Dengan memahami pengaruh eksitasi terhadap stabilitas tegangan, dan daya reaktif, dapat mengimplementasikan strategi yang lebih baik untuk menjaga stabilitas sistem kelistrikan, mengurangi resiko gangguan dan kerusakan peralatan.
2. Melalui penelitian ini, mahasiswa akan mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang teori dan aplikasi praktis dari sistem kerja eksitasi pada generator sinkron non PMG.
3. dapat dipergunakan sebagai arsip yang menambah acuan literatur untuk mahasiswa magang selanjutnya.

1.5. Batasan

Batasan masalah yang akan di bahas selama penyusunan tugas akhir ini yaitu:

1. Tidak membahas PLTMG secara menyeluruh.
2. Tidak membahas mengenai penyaluran jaringan distribusi pada PLTMG PT. Maxpower Indonesia.
3. Hanya membahas parameter yang mempengaruhi sistem eksitasi terhadap kinerja generator seperti Arus eksitasi, daya reaktif, daya semu, faktor daya dan untuk parameter-parameter lain tidak akan di bahas pada penyusunan Tugas Akhir ini.

4. Penelitian ini hanya mencakup tentang sistem Aux. Wdg. Excitation pada generator unit 5 PLTMG PT. Maxpower Indonesia.
5. Analisis difokuskan pada daya semu, daya reaktif dan faktor daya.
6. Karena faktor dilapangan yang terjadi hanya bisa mendapatkan 16 data dan data yang akan di analisis itu 4 data pengamatan karena kemunculan pada data kerusakan ini sangat jarang dan ini sangat berdampak pada kinerja generator.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Penelitian Terdahulu

Dalam penulisan penelitian tugas akhir ini, penulisan berpedoman pada penelitian yang pernah analisis sebelumnya, beberapa referensinya antara lain:

Pertama, dalam penelitian yang berjudul “Auxiliary windings, supplying the AVR of a brushless synchronous generator” yang di lakukan oleh Ahmad Darabi dari *Shahrood University of Technology, Iran*, disimpulkan bawa penggunaan dua kumparan bantuan yang ditempatkan pada slot stator mampu menyediakan suplai tegangan yang stabil untuk Automatic Voltage Regulator (AVR) pada generator sinkron tanpa menggunakan *Permanent Magnet Generator (PMG)*. [1]

Kedua, dalam penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Sistem Eksitasi Terhadap Tegangan Keluaran Generator Sinkron Mini Hydro Curug” yang di lakukan oleh Dede Furqon Nurjaman Dari Universitas Jenderal Acmad Yani (UNJANI), disimpulkan bahwa semakin besar arus eksitasi yang diberikan, maka tegangan keluaran generator juga akan meningkat secara proporsional pada saat arus eksitasi sebesar 2,2 A, tegangan keluaran generator tercatat 6,133 kV, sedangkan pada arus eksitasi sebesar 4,6 A, tegangan keluaran meningkat menjadi 6,479 kV. Selain itu kenaikan arus eksitasi juga menyebabkan arus jangkar meningkat, dimana arus jangkar tertinggi sebesar 283,6 A terjadi pada arus eksitasi 4,6 A, sehingga performa generator tetap optimal meskipun tetap terjadi perubahan beban. [2]

Ketiga, dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Sistem Eksitasi Terhadap Generator Sinkron Tiga Fasa di Unit 1 PT. PLN Indonesia Power ULPL TA Musi” yang dilakukan oleh Aziz Zuhakim, Yanolanda Suzantry Handayani, dan Irnanda Priyadi dari *Universitas Bengkulu*, disimpulkan bahwa sistem eksitasi memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan tegangan dan faktor daya generator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar arus eksitasi yang diberikan, maka tegangan keluaran generator juga akan meningkat secara proporsional. Pada arus eksitasi sebesar 700 A hingga 900 A, tegangan keluaran generator berada pada kisaran 10,9 kV hingga 11 kV. Selain itu, peningkatan arus eksitasi juga berpengaruh terhadap nilai faktor daya dan daya reaktif. Nilai faktor daya tertinggi diperoleh sebesar $0,999 \cos \phi$ pada daya reaktif 0,5 Mvar, sedangkan nilai terendah sebesar $0,975 \cos \phi$ pada daya reaktif 6,2 Mvar. Dengan demikian, semakin besar arus eksitasi yang diberikan, maka semakin baik pula kestabilan tegangan dan faktor daya generator. [3]

Keempat, dalam penelitian yang berjudul “Studi Analisis Eksitasi Untuk Mengatur Tegangan Keluaran Generator dan Governor Untuk Mengatur Beban Pada Unit 3 di ULPTA Tes PT PLN Indonesia Power” yang dilakukan oleh Andre Febrian, Yanolanda Suzantry Handayani, dan Irnanda Priyadi dari Universitas Bengkulu, disimpulkan bahwa arus eksitasi memiliki pengaruh yang signifikan

terhadap kestabilan tegangan keluaran generator sinkron. Dalam penelitian ini diperoleh hasil bahwa tegangan keluaran generator dapat dipertahankan stabil di sekitar 11 kV dengan bantuan sistem Automatic Voltage Regulator (AVR) yang bekerja dengan cara menaikkan atau menurunkan arus eksitasi secara otomatis. Selain itu, hubungan antara arus eksitasi dan tegangan keluaran bersifat berbanding lurus, di mana peningkatan arus eksitasi menghasilkan kestabilan tegangan yang lebih baik, serta menjaga performa daya aktif tetap optimal meskipun terjadi perubahan beban pada sistem.[4]

2.2. Generator Sinkron



Gambar 2.1 Generator Mesin Gas Unit 5 PLTMG PT. Maxpower Indonesia
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Pada pembangkit listrik tenaga mesin gas, generator merupakan salah satu komponen utama yang berperan dalam proses konversi energi. Secara umum, generator berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui mekanisme elektromagnetik di dalam sistem generator, yang selanjutnya disalurkan kepada konsumen sebagai energi listrik siap pakai.

Generator sinkron merupakan mesin listrik yang bekerja berdasarkan prinsip konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Sumber energi mekanik yang menggerakkan generator dapat berasal dari berbagai jenis prime mover. Pada pembangkit listrik berbasis mesin gas, generator digerakkan oleh mesin gas yang berputar akibat proses pembakaran di dalam cylinder head, yang menghasilkan dorongan pada piston. Dorongan tersebut kemudian menggerakkan crankshaft yang terhubung langsung dengan poros rotor generator.

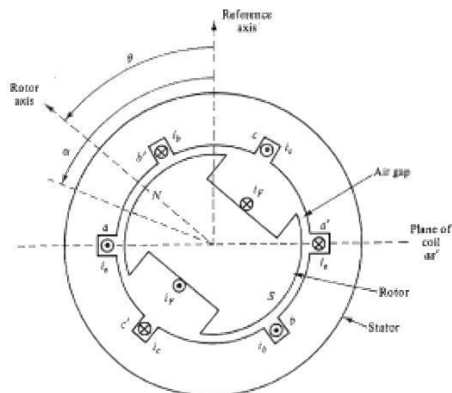
Prinsip kerja generator mengikuti hukum Faraday, yaitu ketika medan magnet berputar di dalam suatu kumparan, maka akan diinduksikan gaya gerak listrik (GGL) atau tegangan pada terminal kumparan tersebut. Besarnya tegangan

induksi bergantung pada kecepatan putaran rotor, intensitas medan magnet, serta panjang penghantar dalam kumparan medan.[4]

Dinamakan sebagai generator sinkron karena putaran dari rotor sama dengan kecepatan putaran rotor generator, oleh karena itu menyebabkan kecepatan sinkron generator di dihasilkan dari kecepatan putaran rotor dengan kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama. Yang mana kecepatannya sama dengan medan putar pada stator. Bagian rotor generator yang terdiri dari belitan magnet akan mendapatkan arus searah (DC) yang berasal dari sistem eksitasi yang mana ini akan menyebabkan timbulnya fluktuasi magnet pada kumparan medan yang ada di rotor yang memiliki putaran medan magnet sama dengan putaran rotornya, karena putarannya sama maka akan timbul arus bolak-balik (AC).

2.3. Kontruksi Generator Sinkron

Pada kontruksi generator sinkron sama dengan motor sinkron, dimana kontruksi generator sinkron terdiri dari rotor, stator, dan celah udara.



Gambar 2.2 Bentuk Generator Sinkron

(Sumber : <https://home.engineering.iastate.edu/~jdm/EE456/SynchMachines.pdf>)

2.3.1. Rotor

Rotor merupakan bagian generator yang bergerak atau berputar. Pada desainnya antara rotor dan stator di pisahkan oleh celah udara. Terdapat dua bagian rotor dalam generator sinkron, yaitu :

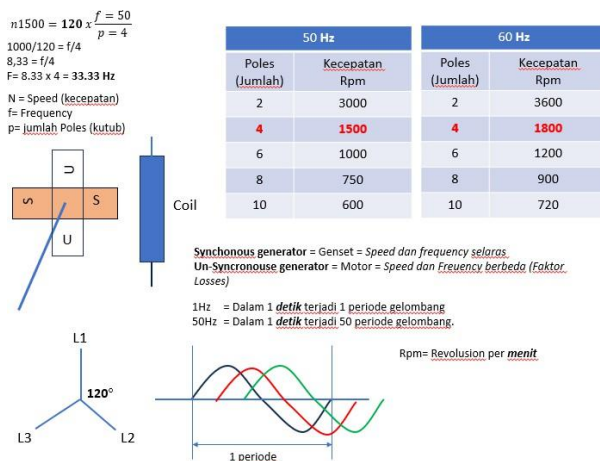
2.3.1.1 Inti Kutub

Inti kutub terdapat poros, inti rotor yang memiliki fungsi sebagai jalan atau jalur fluks magnet yang dibangkitkan oleh kumparan medan.

2.3.1.2 Kumparan Medan

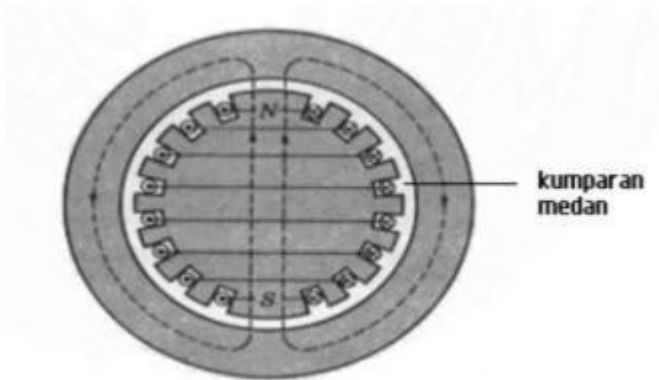
Kumparan medan terdapat dua bagian, yaitu bagian penghantar sebagai jalur untuk arus pemacu dan bagian yang diisolasi. Pada bagian isolasi harus benar-benar baik dalam kekuatan ketahanan akan suhu yang tinggi dan ketahanan terhadap gaya sentrifugal yang besar.

Konstruksi rotor untuk generator yang memiliki nilai RPM relatif tinggi biasanya menggunakan konstruksi rotor dengan kutub silindris dan jumlah relatif sedikit (2,4,6).



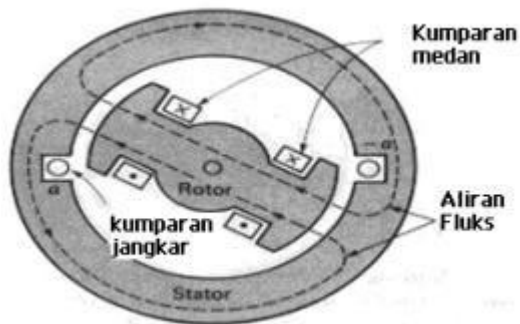
Gambar 2.3 Konstruksi Rotor dengan Jumlah Kutub Silindris
(Sumber : PLTMG PT. Maxpower Indonesia)

Konstruksi ini di rancang tahan terhadap gaya gaya yang lebih besar akibat putaran yang tinggi. Biasanya di terapkan pada pembangkit thermal atau mesin gas, dengan silinder katup magnet yang memiliki dua atau empat katup.



Gambar 2.4 Kontruksi Rotor dengan Jumlah Kutub Silindir
 (Sumber : <https://eprints.polsri.ac.id/4469/3/FILE%20III.pdf>)

Dan untuk Kontruksi dengan putaran relatif rendah atau sedang yang kurang dari 1000 Rpm, dipakai konstruksi rotor dengan kutub menonjol dengan jumlah kutub yang lebih banyak.



Gambar 2.5 Kontruksi Rotor dengan Jumlah Kutub Menonjol
 (Sumber : <https://eprints.polsri.ac.id/4469/3/FILE%20III.pdf>)

2.3.2. Stator

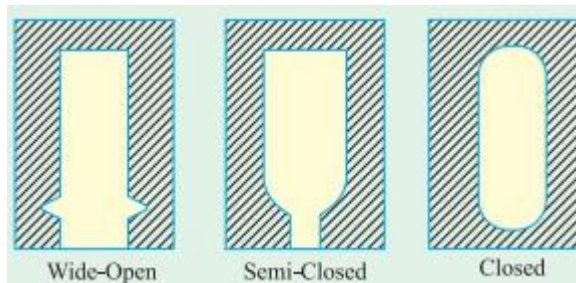
Stator merupakan sebagai tempat untuk menerima induksi medan magnet dari rotor dan merupakan bagian yang diam pada generator. Arus AC yang menuju ke beban di salurkan melalui stator, yang berbentuk silinder dengan banyak lilitan kawat konduktor. Stator juga memiliki beberapa komponen utama yaitu :

2.3.2.1. Rumah Stator

Merupakan bagian yang umum pada stator, terbuat dari besi tuang yang berbentuk silinder. Bagian ini berfungsi untuk rumah bagi komponen-komponen lain yang berada di stator.

2.3.2.2. Alur Stator

Alur stator berfungsi sebagai tempat untuk memasang kumparan stator. Terdapat tiga jenis bentuk alur stator, yaitu terbuka, setengah terbuka, dan tertutup. Bentuk-bentuk alur ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.6 Kontruksi Rotor dengan Jumlah Kutub Menonjol

(Sumber : <https://nit-edu.org/wp-content/uploads/2021/09/Ch-37-Alternators.pdf>)

2.3.2.3. Inti Stator

Inti Stator terdiri dari lapisan-lapisan baja campuran atau besi magnetik khusus yang dipasang pada rangka stator.



Stator core

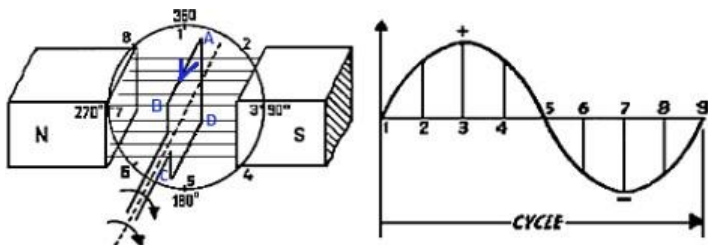
Gambar 2.7 Inti Stator

(Sumber : <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/iet-epa.2019.0736>)

2.3.2.4. Kumparan Jangkar

Kumparan jangkar umumnya terbuat dari tembaga. Kumparan ini adalah tempat terjadinya gaya gerak listrik (ggl) induksi.

2.4. Prinsip Kerja Generator Sinkron



Gambar 2.8 Prinsip Kerja Generator Sinkron

(Sumber : <http://repository.uki.ac.id/17945/1/BukuAjarDasarKonversiEnergiListrik.pdf>)

Generator dapat menghasilkan energi listrik karena adanya pergerakan relatif antara medan magnet terhadap kumparan jangkar pada generator (magnet yang

bergerak dan kumparan jangkar bergerak.) jadi, jika sebuah kumparan diputar pada kecepatan konstan pada medan magnet, maka akan terjadinya induksi tegangan ketika kumparan berputar di dalam medan magnet.

Apabila kumparan di putar dengan kecepatan yang konstan di dalam medan magnet, maka tegangan bolak-balik (AC) yang berbentuk gelombang sinusoidal akan di hasilkan pada kumpadan tersebut.

GGL yang dihasilkan pada kumparan stator bersifat bolak-balik dan berputar sinkron dengan kecepatan rotor. Frekuensi listrik yang di hasilkan juga sinkron dengan kecepatan putaran rotor. Karena kecepatan rotor sama dengan kecepatan medan magnet, frekuensi listrik yang dihasilkan berbanding lurus dengan kecepatan putaran rotor. Agar frekuensi listrik tetap pada 50 Hz atau 60 Hz, generator harus berputar dengan kecepatan tetap sesuai dengan jumlah kutub mesin tersebut.[4]

2.5. Pengertian Daya

Secara umum, daya listrik merupakan laju aliran energi listrik melalui jaringan listrik menuju beban dalam setiap satuan waktu. Daya listrik pada sebuah pembangkit di bagi menjadi tiga jenis daya, yaitu:

2.5.1. Daya Aktif (P)

Daya aktif adalah daya yang diperlukan oleh beban resistif, yang menunjukkan adanya aliran energi listrik dari pembangkit menuju beban. Rumus daya aktif (P) untuk sistem tiga fasa yaitu:

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

Ket :
P : Daya Aktif (Watt)
V : Tegangan (Volt)
I : Arus (Ampere)
 $\cos \phi$: Faktor Daya

2.5.2. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang tidak digunakan oleh konsumen, namun berperan dalam proses pembangkitan. Rumus daya reaktif (Q) untuk sistem tiga fasa yaitu:

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi \quad (2)$$

Ket :
Q : Daya reaktif (Var)
V : Tegangan (Volt)

I : Arus (Ampere)
Sin ϕ : Faktor Daya

2.5.3. Daya Semu (S)

Daya semu adalah daya total yang disuplai oleh PLTMG, yang merupakan hasil perpaduan antara daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Rumus daya semu (S) untuk sistem tiga fasa yaitu:

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

Ket :
S : Daya aktif (VA)
V : Tegangan (Volt)
I : Arus (Ampere)

2.5.4. Faktor Daya

Faktor daya adalah rasio antara daya nyata (P) dan daya semu (Q). Faktor daya menggambarkan seberapa besar proporsi daya nyata yang dapat dimanfaatkan dibandingkan dengan daya semu yang dihasilkan oleh sumber. Rumus ini didasarkan pada persamaan berikut:

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \quad (4)$$

Ket :
Cos ϕ : Faktor daya
P : Daya aktif (Watt)
S : Daya semu (VA)

2.6. Sistem Eksitasi



Gambar 2.9 Sistem eksitasi
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Sistem eksitasi pada generator sinkron adalah suatu proses menguatkan medan magnet dengan memberikan arus searah ke belitan medan pada rotor. Pada prinsip elektomagnetik, dimana konduktor berupa kumparan yang dialiri oleh arus searah, pada kumparan tersebut akan berubah menjadi medan magnet yang menghasilkan fluks magnetik. Dimana ketika kumparan medan yang telah diberikan arus eksitasi diputar pada kecepatan tertentu, fluks magnet yang dihasilkan akan menginduksikan kumparan jangkar pada stator, sehingga dapat menghasilkan tegangan AC. Besarnya tegangan yang dihasilkan bergantung pada tegangan eksitasi dan kecepatan putaran pada rotor, yang mana semakin besar arus eksitasi dan kecepatannya, maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan oleh generator.[3]

Berdasarkan cara menyalurkan tegangan searah ke rotor generator sinkron, sistem eksitasi yang digunakan pada PLTMG PT.Maxpower Indonesia dengan menggunakan sistem Aux.Wdg. Excitation Non-Permanent Magnet Generator sebagai berikut :

2.6.1. Sistem Eksitasi Non- Permanent magnet dengan Aux.Wdg.Excitation

Pada sistem ekstiasi Aux.Wdg Excitation, sumber tegangan eksitasi tidak berasal dari generator langsung akan tetapi berasal dari kumparan bantu (Auxiliary winding) yang berada pada main stator generator. Kumparan bantu ini merupakan lilitan-lilitan tambahan yang di pasang bersama lilitan main stator, ketika generator sinkron berputar dan menghasilkan tegangan pada lilitan main stator, kumparan bantu juga tidak ikut menghasilkan tegangan bolak-balik. Tegangan pada kumparan bantu di ubah menjadi tegangan DC dengan memanfaatkan rangkaian rectifier sebelum mengalirkan ke kumparan medan rotor. Fungsi khusus dari sistem ini untuk menghasilkan tegangan suplai untuk bering eksitasi dan di manfaatkan lagi untuk membantu membuat medan magnet pada kumparan main stator.[1]

2.6.2. Standar Operasi Sistem Eksitasi Generator Sinkron

Standar operasi sistem eksitasi generator sinkron bertujuan untuk menjaga arus ekstiasi berada dalam batas yang direkomendasikan oleh pabrik generator. Pengoperasian sistem eksitasi harus menghindari kondisi underexcitation dan over-excitation karena dapat menyebabkan penurunan faktor daya serta ketidakstabilan kinerja generator.

Oleh karena itu, pemantauan arus eksitasi dan faktor daya secara berkala menjadi bagian penting dalam standar pengoperasian generator sinkron, khususnya pada sistem Auxiliary Winding Excitation yang sensitif terhadap perubahan beban.

2.7. Perawatan Sistem Auxiliary Winding Excitation

Sistem auxiliary winding excitation memerlukan perawatan yang bertujuan untuk menjaga kestabilan suplai arus eksitasi pada rotor generator. Perawatan sistem eksitasi difokuskan pada kondisi kumparan bantu (auxiliary winding), sistem penyearah, serta sambungan listrik yang berperan dalam pembentukan medan magnet rotor.[13]

Perawatan yang dilakukan bersifat preventif, meliputi pemeriksaan visual kondisi kumparan, pengecekan koneksi listrik, serta pemantauan nilai arus dan tegangan eksitasi selama operasi. Perawatan yang baik diharapkan dapat mencegah terjadinya gangguan ekstasi yang dapat mempengaruhi kinerja generator sinkron.

2.8. AVR (*Automatic Voltage Regulator*)

Untuk menghasilkan kualitas daya listrik yang baik, salah satu faktor yang harus dipenuhi adalah tegangan yang dihasilkan generator harus konstan, oleh karena itu membutuhkan suatu alat untuk penstabil tegangan dinamakan Automatic Voltage Regulator merupakan sebuah alat yang digunakan untuk menyetabilkan tegangan keluaran yang dihasilkan. AVR juga menjaga agar tegangan generator tetap konstan yang mana generator akan selalu stabil tidak terpengaruh pada perubahan beban yang selalu berubah-ubah dikarenakan beban sangat mempengaruhi terhadap tegangan output generator.[3]

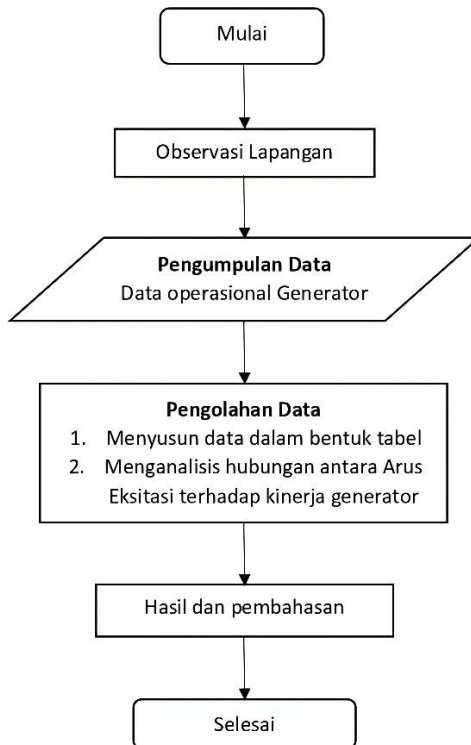
2.8.1. Prinsip kerja AVR

Prinsip kerja AVR (*Automatic Voltage Regulator*) Yaitu menjaga tegangan keluaran generator tetap stabil pada nilai yang ditetapkan, dimulai dari pengukuran tegangan output generator dan Tegangan ini dibandingkan dengan setpoint, selisih antara kedua nilai tersebut menghasilkan sinyal error yang digunakan untuk emenentukan besar kecilnya arus eksitasi yang harus diberikan kepada rotor. Dengan demikian, AVR berperan penting dalam menjaga kualitas daya dan keandalan operasi sistem pembangkit listrik.[3]

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Alur Penelitian

Berdasarkan permasalahan dan tujuan bab 1 maka penelitian pada tugas akhir ini adalah jenis penelitian langsung yaitu untuk mengumpulkan data-data dan informasi yang relevan dengan cara observasi di PT. Maxpower Indonesia. Secara umum langkah-langkah yang dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir ini di perlihatkan pada gambar



Gambar 3.1 Diagram Alir

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Kuantitatif, metode Kuantitatif bertujuan untuk melakukan pengumpulan data berdasarkan pengukuran dalam yang dilakukan dalam penelitian ini yang dihasilkan dari pengukuran itu diselesaikan dalam bentuk matematis.

3.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data juga dilakukan dengan cara pengamatan dan pencatatan langsung di control room (*Ruangang Control Oprator*) kemudian mencatat data-data yang diperlukan. Adapun parameter-parameter yang diperlukan pada saat penelitian sebagai berikut :

- 1) Tegangan Generator (V)
- 2) Arus Generator (A)
- 3) Daya Aktif (P)
- 4) Faktor Daya
- 5) Daya Reaktif (Q)
- 6) Tegangan Eksitasi (V)
- 7) Arus Eksitasi (A)

3.3. Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan 23 Februari 2026. Penelitian ini dilaksanakan di PT. Maxpower Indonesia, yang bertempat pada area Pashe 1 dan control room PLTMG. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung pada bulan Februari.



Gambar 3.2 Area PLTMG PT. Maxpower Indonesia
(Sumber: PLTMG PT. Maxpower Indonesia Site Batamindo)

3.4. Data Spesifikasi Peralatan

Dalam penelitian ini data yang digunakan penelitian ini adalah data spesifikasi generator yang diperoleh dari Name Plate pada generator Unit 5.

Tabel 3.1 Data Spesifikasi Generator Unit 5

NO	ITEM	SPESIFIKASI NILAI	NO	ITEM	SPESIFIKASI NILAI
1	Model	DIG142 e/4	10	Level Insulasi	F/F
2	Rated Capacity	4450 kVA	11	Nilai Power Faktor	0.80
3	Nilai Daya	4450 kVA	12	Frekuensi	50 Hz
4	Tegangan Stator	10500 V AC	13	Kecepatan Putar	1500 rpm
5	Arus Stator	245 A	14	Metode Sambungan	Y
6	Tegangan Rotor	48.4 V	15	Jumlah Fasa	3
7	Arus Rotor	4.97 A	16	Metode Pendingin	Pedinginan udara
8	Tegangan Eksitasi Exciter	48.4 V	17	Pabrikan	AvK
9	Arus Eksitasi Exciter	4.97 A			

3.5. Pengambilan Data

Pengambilan data yang dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi arus eksitasi terhadap kinerja generator sinkron pada unit 5 PLTMG PT. Maxpower Indonesia dengan menggunakan parameter daya semu dan faktor daya. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan anatara perubahan arus eksitasi dan karakteristik pembebanan generator.

Tabel 3. 2 Data Tabel Generator unit 5

NO	JAM	EXCITATION		MAIN ALTERNATOR					Cosφ
		Vexc	Iexc	P	Q	V	I	S	
		V	A	MW	MVAR	KV	A	KVA	
1	04:00	25.6	3.3	2.807	0.917	11.266	150	2971	0.95
2	05:00	25.6	3.3	2.832	0.925	11.306	151	2977	0.95
3	06:00	25.6	3.3	2.848	0.903	11.289	153	2981	0.95
4	07:00	25.6	3.3	2.816	0.906	11.294	151	2953	0.95
5	08:00	25.6	3.3	2.813	0.939	11.299	150	2975	0.95
6	09:00	29.5	3.8	2.82	0.7	11.3	148	2905	0.97
7	10:00	32.6	4.2	2.829	0.45	11.28	146	2855	0.99
8	11:00	36.5	4.7	2.82	0.2	11.25	145	2827	0.99
ENGINE MAINTENANCE									
9	15:00	25.6	3.3	2.82	0.957	11.303	152	3015	0.95
10	16:00	25.6	3.3	2.816	0.906	11.294	151	2953	0.95
11	17:00	25.5	3.2	2.788	0.875	11.366	149	2961	0.95
12	18:00	25.5	3.2	2.773	0.947	11.296	151	2928	0.95
13	19:00	25.6	3.3	2.807	0.917	11.266	150	2971	0.95
14	20:00	25.6	3.3	2.832	0.925	11.306	151	2977	0.95
15	21:00	25.6	3.3	2.848	0.903	11.289	153	2981	0.95
16	22:00	25.6	3.3	2.816	0.906	11.294	151	2953	0.95

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap data operasi generator, terlihat adanya perubahan kondisi operasi yang dibedakan menjadi tiga fase. Pada 4 jam pertama 04.00 - 08.00 WIB. Generator beroperasi dalam kondisi normal dengan nilai arus eksitasi yang stabil pada kisaran 3.3 A, daya reaktif sebesar 0.90 – 0.94 MVAR, serta faktor daya sekitar 0.95. kondisi ini menunjukkan bahwa sistem

eksitasi dan AVR bekerja dengan baik sehingga dapat dijadikan sebagai kondisi acuan operasional generator.

Memasuki 4 jam setelah nya 09.00 – 11.00 WIB, terjadi penyimpangan pada sistem eksitasi yang ditandai dengan peningkatan arus eksitasi secara bertahap dari 3,8 A – 4.2 A, kemudian mencapai 4.7 A. Namun, kenaikan arus eksitasi tersebut tidak diikuti oleh peningkatan daya reaktif sebagaimana karakteristik operasi generator yang normal. Sebaliknya, daya reaktif mengalami penurunan yang signifikan dari 0.9 MVAR menjadi 0.2 MVAR, sementara nilai faktor daya meningkat hingga mencapai 0.99. kondisi ini mengindikasikan bahwa AVR tidak mampu mengatur arus eksitasi secara optimal sehingga generator mengalami kondisi Over-Excitation akibat malfungsi sistem eksitasi. Gangguan tersebut berlanjut hingga menyebabkan Engine Trip, yang tercatat pada jam 12.00 – 14.00 WIB.

Setelah dilakukan tindakan perbaikan, pada periode 15.00 – 22.00 WIB seluruh parameter operasi kembali berada pada kondisi normal. Arus eksitasi stabil pada kisaran 3,2–3,3 A, daya reaktif kembali meningkat ke rentang 0,875–0,957 MVAR, dan faktor daya kembali berada pada kisaran 0,95. Pemulihan seluruh parameter tersebut menunjukkan bahwa perbaikan pada sistem eksitasi berhasil mengembalikan fungsi AVR dalam mengatur arus eksitasi sehingga generator dapat kembali beroperasi secara stabil sesuai karakteristik operasi yang diharapkan.

3.6. Pengolahan Data dan Pembahasan

Pada tahap ini, data hasil pengamatan generator sinkron unit 5 di PLTMG PT. Maxpower Indonesia diolah untuk mengkaji hubungan antara variasi arus eksitasi dan kinerja keluaran generator. Data yang dianalisis meliputi parameter arus eksitasi (I_{exc}), daya reaktif (Q), daya semu (S), daya faktor daya ($\cos\phi$), yang seluruhnya diperoleh dari pencatatan harian di ruang kontrol (Control Room) PLTMG.

Proses pengolahan data dilakukan dengan mengelompokkan nilai masing-masing parameter berdasarkan waktu pengamatan selama 16 jam operasi. Data yang digunakan pada tanggal 23 Februari 2026. Nilai parameter yang diperoleh kemudian dibandingkan antara kedua unit untuk mengidentifikasi pola hubungan antara arus eksitasi dan kinerja generator.

Selanjutnya hasil pengolahan data disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan perhitungan statistik agar analisis hubungan antara arus eksitasi, daya reaktif, daya semu, dan faktor daya menjadi lebih terstruktur. Pembahasan dilakukan dengan meninjau perubahan nilai parameter terhadap kestabilan kinerja generator, sebagaimana telah diuraikan dalam tinjauan pustaka pada Bab II.

A. Analisis Korelasi Pearson

Analisis korelasi linier pearson digunakan untuk mengetahui kecenderungan dan kekuatan hubungan antara variasi arus eksitasi dan kinerja keluaran generator sinkron analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana perubahan nilai arus eksitasi (I_{exc}) berkaitan dengan perubahan daya reaktif (Q), Daya semu (S), dan faktor daya ($\cos\phi$) selama operasi pada unit 5.

Koefisien korelasi Pearson dirumuskan sebagai berikut

$$r = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (7)$$

Dengan keterangan :

x = Nilai arus eksitasi (I_{exc})

y = Nilai daya reaktif (Q) , faktor daya ($\cos\phi$) atau Daya semu (S)

n = jumlah data pengamatan

Klasifikasi kekuatan korelasi yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada tabel berikut.

Table 3.1 Klasifikasi Koefisien Korelasi Pearson

Nilai r	Interpretasi
0,00 – 0,199	Sangat lemah
0,20 – 0,399	Lemah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,00	Sangat Kuat

Nilai koefisien korelasi (r) digunakan untuk menentukan kekuatan hubungan antar parameter. Jika nilai r mendekati +1, maka terdapat hubungan positif yang kuat, artinya semakin besar arus eksitasi yang diberikan maka semakin besar pula nilai daya reaktif yang dihasilkan sebaliknya, jika r mendekati 0, maka hubungan antara kedua parameter tersebut lemah atau tidak signifikan.

Analisis korelasi pearson digunakan bukan untuk membuktikan hubungan sebab akibat secara langsung, melainkan untuk mengidentifikasi kecenderungan dan kekuatan hubungan antara arus eksitasi dan parameter kinerja generator sinkron pada sistem Aux. Wdg. Excitation di PLTMG PT. Maxpower Indonesia.

B. Analisis Regresi Linier

Untuk mengetahui besarnya pengaruh variasi arus eksitasi terhadap kinerja keluaran generator sinkron, dilakukan analisis regresi linier. Analisis ini digunakan untuk mengkuantifikasi perubahan daya reaktif (Q), daya semu (S) dan faktor daya ($\cos\phi$) akibat perubahan nilai arus eksitasi (I_{exc}) pada unit 5.

Model regresi linier yang digunakan dalam penelitian ini dinyatakan sebagai berikut:

$$Y = a + bX \quad (8)$$

Dengan keterangan :

Y = daya reaktif (Q) dalam MVAR, daya semu (S) dalam KVA atau faktor daya

X = nilai arus eksitasi (I_{exc})

a = konstanta (intercept) persamaan regresi

b = koefisien regresi yang menyatakan besarnya perubahan parameter kinerja generator akibat perubahan arus eksitasi.

Nilai koefisien regresi (b) digunakan untuk menunjukkan arah dan besarnya pengaruh arus eksitasi. Apabila nilai b positif, maka peningkatan arus eksitasi menyebabkan peningkatan daya reaktif maupun daya semu yang dihasilkan generator hal ini selaras dengan teroris bahwa kondisi over excited pada generator sinkron akan mendorong generator untuk menyuplai daya reaktif lebih besar ke sistem jaringan.

Analisis regresi linier ini melengkapi hasil analisis korelasi pearson dengan memberikan interpretasi kuantitatif terhadap pengaruh variasi arus eksitasi terhadap kinerja generator sinkron pada sistem Aux. Wdg. Excitation PLTMG PT. Maxpower Indonesia.

C. Uji Beda (Independent sample T-Test)

Sebagai analisis pendukung, dilakukan uji beda menggunakan Paired Sample T-Test untuk membandingkan nilai rata-rata kinerja generator sebelum perbaikan dan setelah perbaikan pada unit 5. Uji ini bertujuan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara kondisi kinerja unit generator pada periode setelah perbaikan sistem eksitasi unit 5.

Paired Sample T-Test dipilih karena data yang dibandingkan berasal dari mesin yang sama, namun di ambil pada dua kondisi operasi yang berbeda.

Rumus *Paired Sample T-test* dinyatakan sebagai berikut:

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d/\sqrt{n}} \quad (3)$$

dengan keterangan :

$\bar{d}$ = rata-rata selisih nilai pada unit 5

s_d = simpangan baku selisih data

n = jumlah pasangan data

Hasil uji T-test digunakan untuk memperkuat hasil analisis regresi dan korelasi dengan menunjukkan bahwa perubahan kinerja generator setelah perawatan bersifat signifikan, sehingga mendukung kesimpulan mengenai pengaruh fenomena *sistem eksitasi* terhadap kinerja Generator.

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Prinsip Kerja Sistem Eksitasi Generator Sinkron PLTMG PT. Maxpower Indonesia

Pada data operasional generator Unit 5 PLTMG PT. Maxpower Indonesia yang diperoleh dari pencatatan harian di ruang kontrol pada tanggal 23 Februari 2026. Data mencakup parameter arus eksitasi, daya reaktif, daya semu, dan faktor daya yang diambil pada dua kondisi operasi berbeda, yaitu kondisi saat terjadinya malfungsi sistem eksitasi dan kondisi sesudah dilakukannya perbaikan atau maintenance sistem eksitasi.

Kondisi malfungsi sistem eksitasi terdeteksi pada periode pukul 09:00–11:00 WIB, ditandai dengan kenaikan arus eksitasi secara bertahap yang melebihi nilai operasi normal (3,2–3,4 A), yaitu mencapai 3,8 A (pukul 09:00), 4,2 A (pukul 10:00), hingga 4,7 A (pukul 11:00). Kondisi kelebihan arus eksitasi ini diidentifikasi sebagai kondisi over-excited, di mana generator menyerap daya reaktif dari sistem jaringan sehingga nilai Q keluaran turun drastis. Akibat kondisi tersebut, generator Unit 5 mengalami Engine Trip pada periode pukul 12:00–14:00 WIB dan dilakukan identifikasi serta perbaikan terhadap sistem eksitasi. Setelah perbaikan selesai, Unit 5 kembali beroperasi mulai pukul 15:00 WIB dengan seluruh parameter yang berangsur kembali ke kondisi normal.

4.2 Data Hasil Penelitian

Berikut adalah data operasional harian generator Unit 5 pada tanggal 23 Februari 2026. Data Unit 5 mencakup periode sebelum terjadinya malfungsi sistem eksitasi pukul 04:00–08:00, kondisi saat malfungsi berlangsung pukul 09:00–11:00, serta kondisi setelah dilakukannya perbaikan pukul 15:00–22:00.

Tabel 4.1 Data Tabel Generator unit 5

NO	JAM	EXCITATION		MAIN ALTERNATOR					Cos ϕ
		Vexc	lexc	P	Q	V	I	S	
		V	A	MW	MVAR	KV	A	KVA	
1	04:00	25.6	3.3	2.807	0.917	11.266	150	2971	0.95
2	05:00	25.6	3.3	2.832	0.925	11.306	151	2977	0.95
3	06:00	25.6	3.3	2.848	0.903	11.289	153	2981	0.95
4	07:00	25.6	3.3	2.816	0.906	11.294	151	2953	0.95

5	08:00	25.6	3.3	2.813	0.939	11.299	150	2975	0.95
6	09:00	29.5	3.8	2.82	0.7	11.3	148	2905	0.97
7	10:00	32.6	4.2	2.829	0.45	11.28	146	2855	0.99
8	11:00	36.5	4.7	2.82	0.2	11.25	145	2827	0.99
ENGINE MAINTENANCE									
9	15:00	25.6	3.3	2.82	0.957	11.303	152	3015	0.95
10	16:00	25.6	3.3	2.816	0.906	11.294	151	2953	0.95
11	17:00	25.5	3.2	2.788	0.875	11.366	149	2961	0.95
12	18:00	25.5	3.2	2.773	0.947	11.296	151	2928	0.95
13	19:00	25.6	3.3	2.807	0.917	11.266	150	2971	0.95
14	20:00	25.6	3.3	2.832	0.925	11.306	151	2977	0.95
15	21:00	25.6	3.3	2.848	0.903	11.289	153	2981	0.95
16	22:00	25.6	3.3	2.816	0.906	11.294	151	2953	0.95

4.3 Pembuktian Data Menggunakan Perhitungan Manual

Pembuktian data operasional generator unit 5 menggunakan perhitungan manual berdasarkan rumus yang telah di uraikan pada bab 2. Data yang di verifikasi meliputi daya semu, daya reaktif dan faktor daya. Pembuktian ini di lakukan dengan menghitung manual kemudian hasilnya dibandingkan dengan nilai yang tercatat pada data pengamatan apakah sama atau berbeda.

Pada pukul 09.00 WIB :

- Daya Semu $= \sqrt{3} \times V \times I$
 $S = \sqrt{3} \times 1130 \times 148$
 $S = 1.7321 \times 1130 \times 148$
 $S = 2896.68 \text{ KVA}$
- Faktor daya $= P/S$
 $\text{Cos}\phi = 2820 / 2896.68$

$$\begin{aligned} \cos\phi &= 0.9735 \\ \bullet \text{ Daya Reaktif} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \sin\phi \\ Q &= \sqrt{3} \times 1130 \times 148 \times 0.2431 \\ Q &= 704200 \text{ VAR} \\ Q &= 0.7042 \text{ MVAR} \end{aligned}$$

Pada pukul 10.00 WIB :

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Daya Semu} &= \sqrt{3} \times V \times I \\ S &= \sqrt{3} \times 11280 \times 146 \\ S &= 1.7321 \times 11280 \times 146 \\ S &= 2852.48 \text{ KVA} \\ \bullet \text{ Faktor daya} &= P/S \\ \cos\phi &= 2829 / 2852.48 \\ \cos\phi &= 0.99 \\ \bullet \text{ Daya Reaktif} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \sin\phi \\ Q &= \sqrt{3} \times 11280 \times 146 \times 0.1411 \\ Q &= 402500 \text{ VAR} \\ Q &= 0.4025 \text{ MVAR} \end{aligned}$$

Pada pukul 11.00 WIB :

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Daya Semu} &= \sqrt{3} \times V \times I \\ S &= \sqrt{3} \times 11250 \times 145 \\ S &= 1.7321 \times 11250 \times 145 \\ S &= 2825.41 \text{ KVA} \\ \bullet \text{ Faktor daya} &= P/S \\ \cos\phi &= 2820 / 2825.41 \\ \cos\phi &= 0.99 \\ \bullet \text{ Daya Reaktif} &= \sqrt{3} \times V \times I \times \sin\phi \\ Q &= \sqrt{3} \times 11250 \times 145 \times 0.1411 \\ Q &= 402500 \text{ VAR} \\ Q &= 0.4025 \text{ MVAR} \end{aligned}$$

Dari ketiga perhitungan di atas dapat diamati bahwa semakin tinggi arus eksitas nilai daya reaktif dihitung secara manual semakin menurun hal ini selaras dengan data monitoring yang menunjukkan penurunan dari 0.700 - > 0.200 MVAR. Terdapat selisih kecil antara nilai hitung dan data monitoring karena perbedaan pembulatan dan akurasi pada alat di lapangan.

Pada pukul 15.00 WIB :

- Daya Semu $= \sqrt{3} \times V \times I$
S $= \sqrt{3} \times 11303 \times 152$
S $= 1.7321 \times 11303 \times 152$
S $= 2975.76 \text{ KVA}$
- Faktor daya $= P/S$
Cos ϕ $= 2820 / 2975.76$
Cos ϕ $= 0.95$
- Daya Reaktif $= \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi$
Q $= \sqrt{3} \times 11303 \times 152 \times 0.3122$
Q $= 929000 \text{ VAR}$
Q $= 0.9290 \text{ MVAR}$

Pada pukul 17.00 WIB :

- Daya Semu $= \sqrt{3} \times V \times I$
S $= \sqrt{3} \times 11366 \times 149$
S $= 1.7321 \times 11366 \times 149$
S $= 2933.29 \text{ KVA}$
- Faktor daya $= P/S$
Cos ϕ $= 2788 / 2933.29$
Cos ϕ $= 0.95$
- Daya Reaktif $= \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \phi$
Q $= \sqrt{3} \times 11366 \times 149 \times 0.3122$
Q $= 9158000 \text{ VAR}$
Q $= 0.9158 \text{ MVAR}$

Dari perhitungan sesudah perbaikan, nilai daya reaktif di hitung kembali menjadi normal dan nilai faktor daya juga kemabli menjadi 0.95. hal ini membuktikan bahwa setelah perbaikan, sistem eksitasi kembali beroperasi dalam kondisi normal dan data monitoring dapat dipertanggungjawabkan sesuai dengan perhitungan manual.

4.4 Analisis Parameter pada sistem eksitasi yang terjadi malfungsi

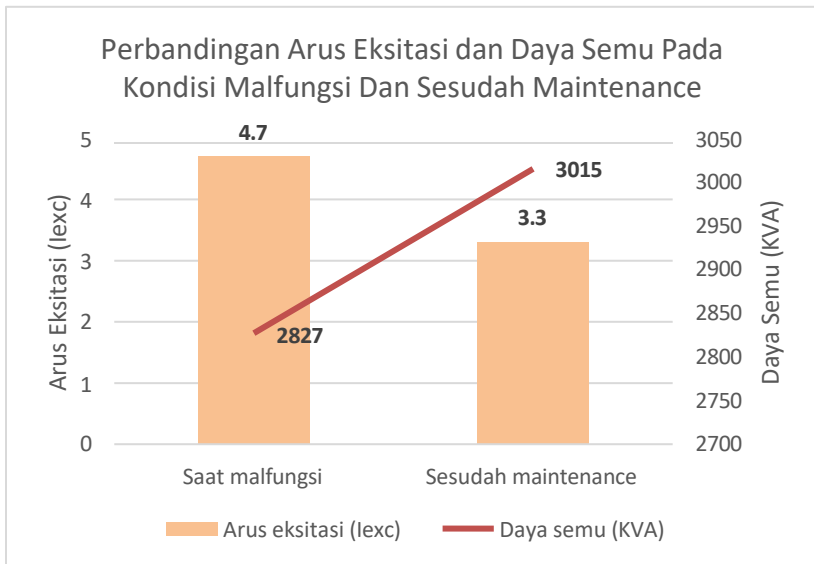
Analisis dilakukan terhadap unit engine 5 yang menunjukkan perubahan niali parameter yang terjadi sebelum dan sesudah perbaikan pada sistem eksitasi, yaitu dimulai perubahan pada jam 09:00 – 13:00. Fenomena ini diidentifikasi sebagai

kondisi over-excited, yaitu kondisi dimana arus eksitasi yang disuplai ke kumparan medan melebihi nilai nominal operasi ditetapkan.

Tabel 4.2 Perbandingan Parameter Operasional pada Sistem eksitasi yang mengalami Malfungtion

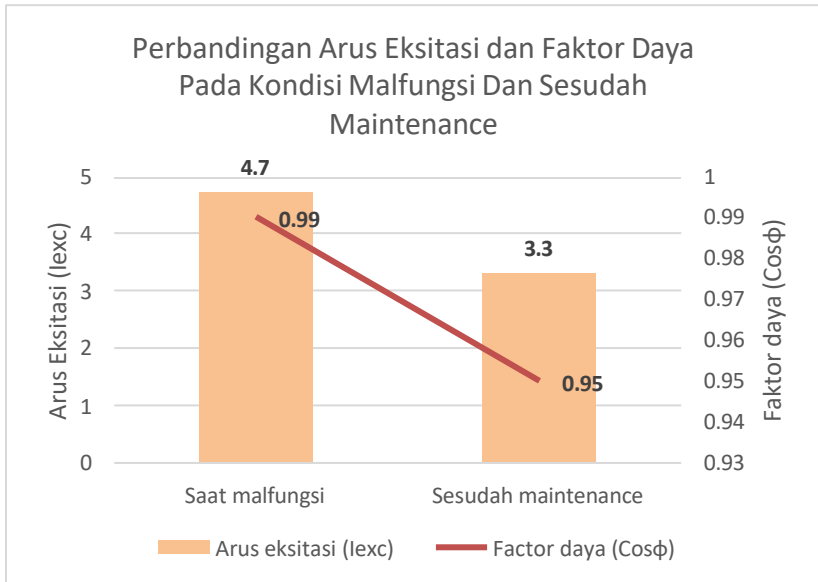
Parameter	Kondisi	Unit 5
Daya Semu (KVA)	Saat ada nya Malfungsi	2827
	Sesudah <i>Maintenance</i>	3015
	Δ Perubahan	+188
Factor daya (Cosp)	Saat ada nya Malfungsi	0.99
	Sesudah <i>Maintenance</i>	0.95
	Δ Perubahan	-0.4
Arus Eksitasi (I_{exc})	Saat ada nya Malfungsi	4.7
	Sesudah <i>Maintenance</i>	3.3
	Δ Perubahan	-1,4
Daya Reaktif (Q)	Saat ada nya Malfungsi	0.200
	Sesudah <i>Maintenance</i>	0.957
	Δ Perubahan	+0.757

Berdasarkan tabel 4.3 di atas, dapat diamati pola perubahan yang konsisten pada seluruh parameter kinerja generator unit 5 antara kondisi saat terjadi malfungsi sistem eksitasi dan kondisi setelah dilakukannya perbaikan . Pada saat terjadi malfungsi, arus eksitasi tercatat meningkat secara signifikan hingga mencapai 4,7 A, jauh melampaui operasi normal yang berada dikisaran 3,2 – 3,4 A. Kenaikan arus eksitasi yang tidak terkendali ini merupakan indikasi bahwa AVR tidak bekerja secara optimal dalam meregulasi suplai arus ke kumparan medan rotor, sehingga eksitasi berada dalam kondisi over-excited.



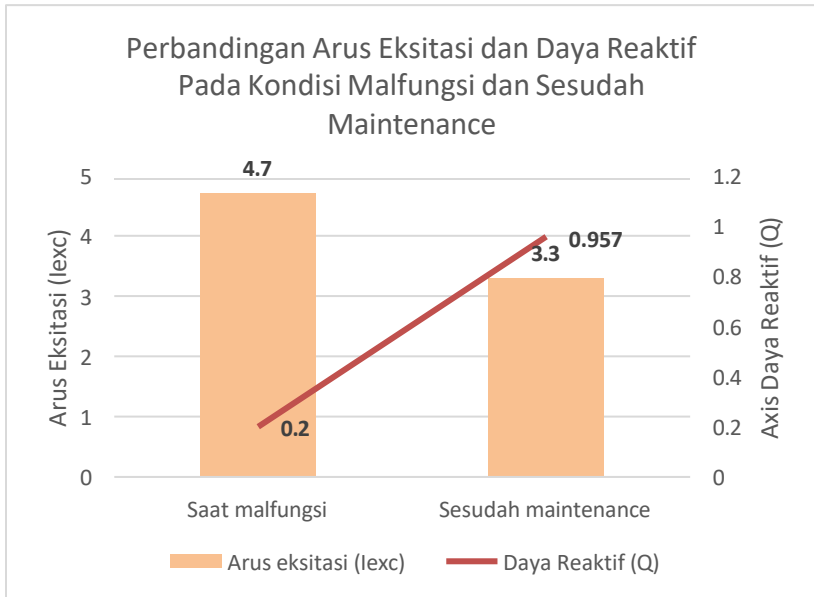
Grafik 4.1 Perbandingan Arus Eksitasi Dan Daya Semu

Daya semu (S) mengalami penurunan dari nilai 3.015 KVA pada kondisi normal menjadi 2.827 KVA pada saat terjadinya malfungsi, dengan selisih perubahan sebesar 188 KVA. Penurunan daya semu ini merupakan konsekuensi langsung dari menurunnya komponen daya reaktif dalam segitiga daya. Pada kondisi *over-excited*, meskipun daya aktif (P) relatif tidak berubah di kisaran 2,820 MW, pengurangan komponen Q menyebabkan daya semu total ($S = \sqrt{P^2 + Q^2}$) ikut menurun. Setelah perbaikan dilakukan, daya semu kembali naik ke nilai 3.015 KVA seiring pulihnya nilai daya reaktif ke kondisi normal.



Grafik 4.2 Perbandingan Arus Ekstasi Dan Faktor Daya

Faktor daya pada kondisi malfungsi tercatat meningkat ke nilai 0,99, mendekati unity power factor. Secara sepintas nilai ini tampak lebih baik, namun dalam konteks operasi sistem pembangkitan yang terhubung ke jaringan, kondisi ini justru tidak ideal. Faktor daya yang terlalu tinggi akibat over-excitation menunjukkan bahwa generator tidak lagi menyuplai daya reaktif induktif yang diperlukan oleh beban-beban induktif pada jaringan distribusi. Setelah sistem eksitasi diperbaiki dan arus eksitasi kembali ke nilai normal 3,3 A, faktor daya kembali ke nilai 0,95, mengalami penurunan sebesar 0,04 yang mengindikasikan sistem telah kembali ke kondisi operasi normal sesuai standar operasional generator.



Grafik 4.3 Perbandingan Arus Eksitasi Dan Daya Reaktif

Kondisi *over-excited* yang terjadi pada Unit 5 memberikan dampak langsung terhadap seluruh parameter keluaran generator. Daya reaktif (Q) mengalami penurunan drastis dari nilai normal sebesar 0,957 MVAR menjadi hanya 0,200 MVAR, dengan selisih perubahan sebesar +0,757 MVAR setelah perbaikan dilakukan. Penurunan daya reaktif ini terjadi karena pada kondisi *over-excited*, generator sinkron berubah peran dari *penyuplai* daya reaktif menjadi *penyerap* daya reaktif dari sistem jaringan. Fluks magnet yang berlebihan akibat arus eksitasi yang terlalu tinggi menyebabkan generator tidak lagi menyalurkan daya reaktif secara optimal ke beban, melainkan menariknya dari jaringan, sehingga nilai Q keluaran turun ke angka yang sangat rendah.

Kondisi *over-excited* pada Unit 5 yang menyebabkan Engine Trip pada rentang pukul 12.00–14.00 WIB merupakan bukti nyata dampak malfungsi sistem eksitasi terhadap keberlangsungan operasi generator. Sistem proteksi generator mendeteksi kondisi abnormal tersebut dan secara otomatis mematikan unit untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada komponen-komponen generator, terutama pada kumparan medan dan sistem penyearah eksitasi. Setelah dilakukan identifikasi dan perbaikan terhadap sistem eksitasi, Unit 5 berhasil dioperasikan kembali mulai pukul 15.00 WIB dengan seluruh parameter yang kembali ke kondisi normal dan stabil.

Secara keseluruhan, perbandingan parameter antara kondisi malfungsi dan setelah perbaikan pada Unit 5 menunjukkan bahwa sistem *Aux. Wdg. Excitation* sangat sensitif terhadap gangguan pada rangkaian kendali eksitasi. Ketidaknormalan pada suplai arus eksitasi, baik berupa kelebihan (*over-excitation*) maupun kekurangan (*under-excitation*), dapat menyebabkan pergeseran signifikan pada seluruh parameter kinerja generator meliputi daya reaktif, faktor daya, dan daya semu, serta berpotensi memicu kondisi trip yang mengganggu keandalan pasokan energi listrik dari PLTMG PT. Maxpower Indonesia.

4.5 Analisis Korelasi Pearson

Analisis korelasi linier person dilakukan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan antara arus eksitasi dan parameter kinerja generator sinkron Unit 5. Data yang digunakan adalah 4 titik pengamatan yang mencakup kondisi saat malfungsi berlangsung Pukul 08:00-11:00, yaitu ketika terjadi variasi arus eksitasi yang paling signifikan berdasarkan hasil perhitungan manual diperoleh rekapitulasi korelasi pearson sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.3 Hasil Analisis Korelasi Pearson

Parameter Y	Jumlah data yang di analisis (N)	r (pearson)	Kekuatan Korelasi	p-value	Kesimpulan
lexc vs Q	4	-0.9988	Sangat Kuat (negatif)	<0.001	Signifikan
lexc vs S	4	-0.9813	Sangat Kuat (negatif)	0.019	Signifikan
lexc vs $\cos\phi$	4	+0.9371	Kuat (positif)	0.063	Mendekati Signifikan

Berdasarkan Tabel 4.4, ketiga parameter menunjukkan korelasi yang sangat kuat dengan arus eksitasi. Nilai $r = -0.9988$ untuk hubungan $lexc$ dengan daya reaktif Q menunjukkan korelasi negatif yang sangat kuat ini merupakan korelasi paling kuat di antara ketiga parameter. Artinya, setiap kenaikan arus eksitasi secara hampir sempurna diikuti oleh penurunan daya reaktif. Hal ini selaras dengan teori generator sinkron bahwa pada saat kondisi *over-excited*, generator menyerap daya reaktif dari sistem jaringan sehingga Q keluaran menurun drastis dari 0.939 MVAR menjadi 0.200 MVAR.

Nilai $r = -0.9813$ untuk hubungan I_{exc} dengan daya semu S juga menunjukkan korelasi negatif sangat kuat dan signifikan. Penurunan daya semu terjadi karena berkurangnya daya reaktif dalam segitiga daya akibat over-excitation. Nilai $r = +0.9371$ untuk hubungan arus eksitasi dengan faktor daya menunjukkan korelasi positif sangat kuat kondisi over-excited mendorong faktor daya mendekati 0.99 meskipun nilai $p = 0.063$ sedikit di atas $\alpha = 0.05$ karena keterbatasan data, kekuatan korelasi ini tetap menunjukkan hubungan yang konsisten.

Secara keseluruhan, hasil analisis korelasi pearson membuktikan bahwa variasi arus eksitasi pada sistem Aux. Wdg. Excitation memiliki pengaruh yang sangat kuat dan konsisten terhadap seluruh parameter kinerja keluaran generator unit 5.

4.4.1. Perhitungan Manual Korelas Pearson Unit 5 (I_{exc} vs Q)

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan manual korelasi pearson untuk unit 5 dengan variabel $X = I_{exc}$ dan $Y = \text{Daya Reaktif}$.
Diketahui : $n = 12$, $X = I_{exc}$ dan $Y = \text{Daya reaktif}$

Tabel 4.4 Tabel Perhitungan korelasi pearson Arus ekstasi vs Daya Reaktif

No	Jam	X (I_{exc})	Y (Q (MVAR))	XY	X^2	Y^2
1	8:00	3.3	0.939	3.0987	10.89	0.881721
2	9:00	3.8	0.7	2.66	14.44	0.49
3	10:00	4.2	0.45	1.89	17.64	0.2025
4	11:00	4.7	0.2	0.94	22.09	0.04
Σ		16	2.289	8.5887	65.06	1.614221

Berdasarkan tabel 4.5 di atas diperoleh nilai sebagai berikut :

$$n = 4$$

$$\Sigma X = 16$$

$$\Sigma Y = 2.289$$

$$\Sigma X^2 = 65.06$$

$$\Sigma Y^2 = 1.614221$$

$$\Sigma XY = 8.5887$$

Nilai-nilai tersebut kemudian disubsitusikan ke dalam persamaan (7) Korelasi Person:

$$r = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

Langkah 1, menghitung pembilang = $n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)$

$$\text{Pembilang} = 4 \times 8.5887 - 16 \times 2.289$$

$$\text{Pembilang} = 34.3548 - 36.624$$

$$\text{Pembilang} = -2.2692$$

Langkah 2 menghitung penyebut

$$n\sum X^2 - (\sum X)^2 = 4 \times 65.06 - 16^2$$

$$= 260.24 - 256$$

$$= 4.24$$

$$n\sum Y^2 - (\sum Y)^2 = 4 \times 1.614221 - 2.289^2$$

$$= 6.456884 - 5.239521$$

$$= 1.217363$$

$$\text{Penyebut} = \sqrt{(4.24 \times 1.217363)}$$

$$= 2.27192$$

Langkah 3 menghitung koefisien korelasi (r) :

$$r = \text{pembilang} / \text{penyebut}$$

$$= -2.2692 / 2.27192$$

$$= -0.9988$$

Nilai $r = -0.9988$ menunjukkan korelasi negatif yang sangat kuat antara I_{exc} dan Q pada unit 5. Artinya setiap kenaikan arus eksitasi secara konsisten diikuti oleh penurunan daya reaktif. $P < 0,001$ menunjukkan hubungan ini signifikan secara statistik.

4.4.2. Perhitungan Manual Korelas Pearson Unit 5 (Iexc vs Cos ϕ)

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan manual korelasi person untuk variabel X = Iexc dan Y = Faktor Daya pada unit 5.

Tabel 4.5 Tabel Perhitungan Korelasi Pearson Arus eksitasi vs Faktor Daya

No	Jam	X (Iexc)	Y (cos ϕ)	XY	X ²	Y ²
1	8:00	3.3	0.95	3.135	10.89	0.9025
2	9:00	3.8	0.97	3.686	14.44	0.9409
3	10:00	4.2	0.99	4.158	17.64	0.9801
4	11:00	4.7	0.99	4.653	22.09	0.9801
Σ		16	3.9	15.632	65.06	3.8036

Berdasarkan tabel 4.5 di atas diperoleh nilai sebagai berikut :

$$n = 4$$

$$\Sigma X = 16$$

$$\Sigma Y = 3.9$$

$$\Sigma X^2 = 65.06$$

$$\Sigma Y^2 = 3.8036$$

$$\Sigma XY = 15.632$$

Nilai-nilai tersebut kemudian disubsitusikan ke dalam persamaan (7) Korelasi Person:

$$r = \frac{n \Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{\sqrt{(n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2)(n \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2)}}$$

Langkah 1, menghitung pembilang = $n \Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)$

$$\text{Pembilang} = 4 \times 15.632 - 16 \times 3.9$$

$$\text{Pembilang} = 0.128$$

Langkah 2 menghitung penyebut

$$n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2 = 4 \times 65.06 - 16^2$$

$$= 4.24$$

$$n \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2 = 4 \times 3.8036 - 3.9^2$$

$$= 0.0044$$

$$\begin{aligned}\text{Penyebut} &= \sqrt{(4.24 \times 0.0044)} \\ &= 0.136587\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Langkah 3 menghitung koefisien korelasi (r) :} \\ r &= \text{pembilang} / \text{penyebut} \\ &= 0.128 / 0.136587 \\ &= 0.937132\end{aligned}$$

Nilai $r = +0.937132$ menunjukkan korelasi positif sangat kuat. Saat arus eksitasi meningkat (kondisi over-excited), faktor daya $\cos\phi$ ikut meningkat dari 0.95 menuju 0.99. hal ini selaras dengan teori generator sinkron bahwa kondisi over-excited menghasilkan perbaikan faktor daya.

4.4.3. Perhitungan Manual Korelas Pearson Unit 5 (I_{exc} vs S)

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan manual korelasi pearson untuk unit 5 dengan variabel X = I_{exc} dan Y = Daya Semu .

Diketahui : $n = 12$, X = I_{exc} dan Y = Daya Semu

Tabel 4.6 Tabel Perhitungan Korelasi Pearson Arus eksitasi vs Daya Semu

No	Jam	X (I _{exc})	Y (S (KVA))	XY	X ²	Y ²
1	8:00	3.3	2975	9817.5	10.89	8850625
2	9:00	3.8	2905	11039	14.44	8439025
3	10:00	4.2	2855	11991	17.64	8151025
4	11:00	4.7	2827	13286.9	22.09	7991929
Σ		16	11562	46134.4	65.06	33432604

Berdasarkan tabel 4.5 di atas diperoleh nilai sebagai berikut :

$$n = 4$$

$$\Sigma X = 16$$

$$\Sigma Y = 11562$$

$$\Sigma X^2 = 65.06$$

$$\Sigma Y^2 = 33432604$$

$$\Sigma XY = 46134.4$$

Nilai-nilai tersebut kemudian disubsitusikan ke dalam persamaan (7) Korelasi Person:

$$r = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n\sum X^2 - (\sum X)^2)(n\sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

Langkah 1, menghitung pembilang = $n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)$

$$\text{Pembilang} = 4 \times 46134.4 - 16 \times 11562$$

$$\text{Pembilang} = -454.4$$

Langkah 2 menghitung penyebut

$$n\sum X^2 - (\sum X)^2 = 4 \times 65.06 - 16^2$$

$$= 4.24$$

$$n\sum Y^2 - (\sum Y)^2 = 4 \times 33432604 - 11562^2$$

$$= 50572$$

$$\text{Penyebut} = \sqrt{(4.24 \times 50572)}$$

$$= 463.0608$$

Langkah 3 menghitung koefisien korelasi (r) :

$$r = \text{pembilang} / \text{penyebut}$$

$$= -454.4 / 463.0608$$

$$= -0.9813$$

Saat arus eksitasi naik, daya semu S mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya faktor daya sehingga komponen reaktif mengecil dan daya semu total yang diperlukan berkurang.

4.6 Analisis Regresi Linear

Analisis regresi linear dilakukan untuk memodelkan besarnya pengaruh arus eksitasi terhadap parameter kinerja generator. Model regresi $Y = a + b.X$ digunakan pada unit 5 yang memiliki variasi I_{exc} memadai untuk analisis. Hasil rekapitulasi regresi di tunjukan pada tabel 4.8.

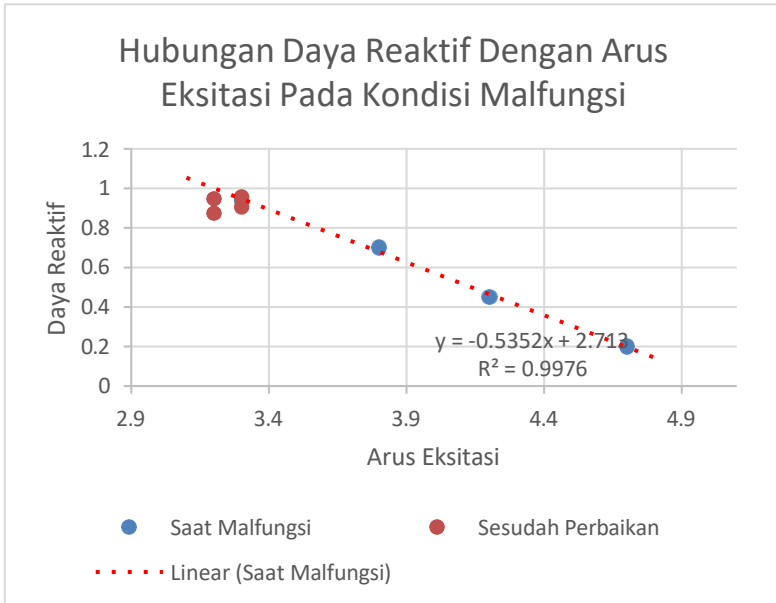
Tabel 4.7 Hasil Analisis Regresi Linear

Model	Persamaan Regresi	R^2	Signifikan - f	Kesimpulan
$I_{exc}-Q$	$Q = 2.7131 - 0.5352 \cdot I_{exc}$	0.9977	0.0011	Tren Negatif
$I_{exc}-S$	$S = 3319.179 - 107.17 \cdot I_{exc}$	0.9629	0.018	Tren Negatif
$I_{exc}-\cos\phi$	$\cos\phi = 0.8542 + 0.0302 \cdot I_{exc}$	0.8782	0.062	Tren Positif

4.6.1. Model Regresi Arus Eksitasi terhadap Daya Reaktif

Berdasarkan hasil analisis regresi Linier pada model 1 $I_{exc} - Q$, di peroleh persamaan regresi linear menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Y = 2.71305 - 0.5352 X$$



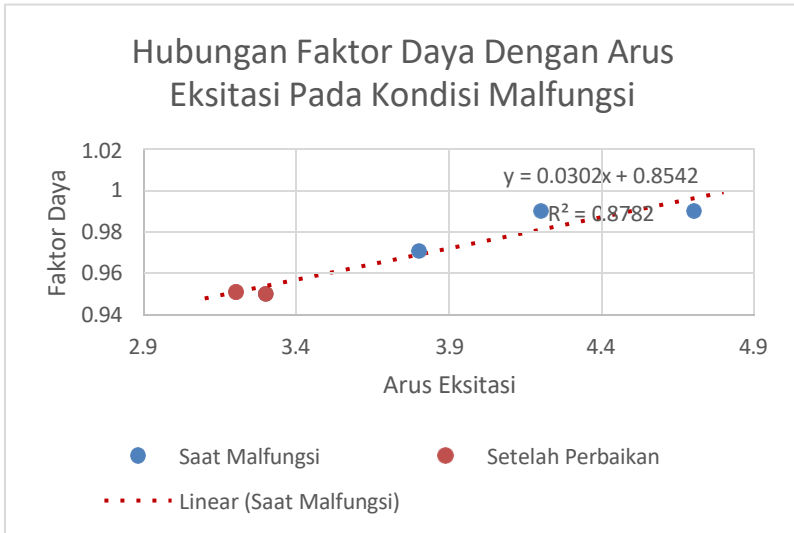
Grafik 4.4 Hubungan Daya Reaktif Dengan Arus Eksitasi

Pada persamaan di atas terdapa hubungan I_{exc} - Q sangat kuat negatif $R^2 = 0.9977$ atau 97.77%. setiap kenaikan 1 A arus eksitasi menyebabkan penurunan daya reaktif sebesar ± 0.535 MVAR. Sig-F = 0.0011 < 0.05 menunjukkan regresi ini sangat signifikan secara statistik. Pada kondisi normal sesudah perbaikan ($I_{exc} = 3.2 - 3.3$ A, $Q = 0.875 - 0.957$ MVAR, ketika saat malfungsi terjadi pada arus nya sebesar 4.7 A, Daya reaktif turun menuju 0.200 MVAR. Yang mengakibatkan generator mengalami over-excited.

4.6.2. Model Regresi Arus Eksitasi terhadap Faktor Daya

hasil analisis regresi Linier pada model $2 I_{exc} - \cos\phi$, di peroleh persamaan regresi linear menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Y = 0.854245 + 0.0302 X$$



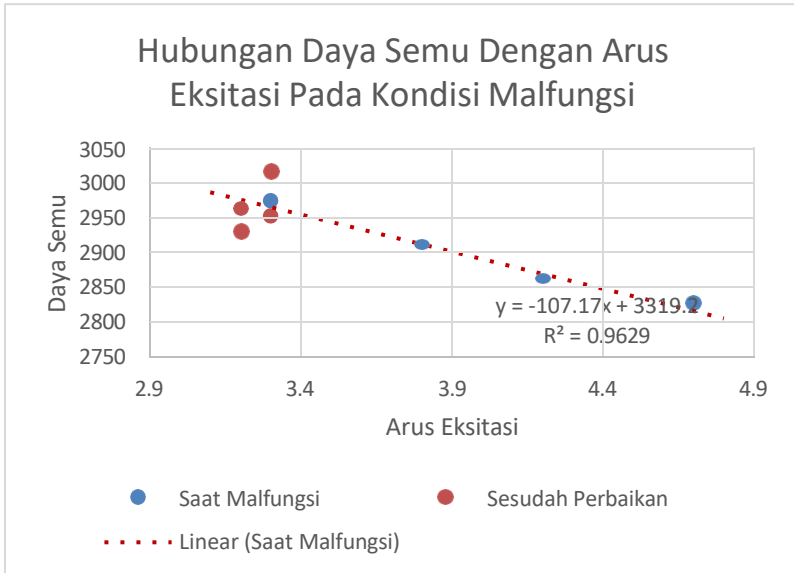
Grafik 4.5 Hubungan Faktor Daya Dengan Arus Eksitasi

Pada persamaan ini terdapat hubungan $I_{exc} - \cos\phi$ positif $R^2 = 0.8782$ atau 87.82%. setiap 1 A arus eksitasi meningkatkan faktor daya ± 0.030 . $\text{Sig-F} = 0.062 > 0.05$ tidak signifikan secara statistik pada $\alpha = 5\%$, namun mendekati signifikan. Namun ketika faktor daya naik dari 0.95 sesudah perbaikan ke 0.99 saat malfungsi. Meski tampak lebih baik pada saat malfungsi tetapi kondisinya ini justru menunjukkan generator tidak lagi menyuplai daya reaktif untuk membuat medan magnet untuk menstabilkan kelistrikan.

4.6.3. Model Regresi Arus Eksitasi terhadap Daya Semu

hasil analisis regresi Linier pada model $I_{exc} - S$, di peroleh persamaan regresi linear menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Y = 3319.179 - 10711698 X$$



Grafik 4.6 Hubungan Daya Semu Dengan Arus Eksitasi

pada persamaan ini hubungan I_{exc} - S kuat negatif $R^2 = 0.9629$ atau 96.29%. setiap kenaikan 1 A arus eksitasi menurunkan daya semu ± 107.17 KVA. Sig-F = $0.018 < 0.05$ menunjukkan regresi signifikan. Penurunan daya semu terjadi seharusnya sangat signifikan karena arus dan $\cos\phi$ sedang tinggi akan tetapi karena ada masalah di komponen generator yaitu dioda maka datanya jadi seperti ini.

4.6.4. Perhitungan Manual Regresi Linear Unit 5 (lexc vs Q)

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan manual regresi linear untuk unit 5 dengan variabel X = lexc dan Y = Daya Reaktif
Diketahui : X = lexc dan Y = Daya Reaktif

Tabel 4.8 Perhitungan Regresi Linear Unit 5 (lexc vs Q)

No	Jam	X (lexc)	Y (Q (MVAR))	XY	X ²	Y ²
1	8:00	3.3	0.939	3.0987	10.89	0.881721
2	9:00	3.8	0.7	2.66	14.44	0.49
3	10:00	4.2	0.45	1.89	17.64	0.2025
4	11:00	4.7	0.2	0.94	22.09	0.04
Σ		16	2.289	8.5887	65.06	1.614221

Berdasarkan tabel 4.5 di atas diperoleh nilai sebagai berikut :

$$n = 4$$

$$\sum X = 16$$

$$\sum Y = 2.289$$

$$\sum X^2 = 65.06$$

$$\sum Y^2 = 1.614221$$

$$\sum XY = 8.5887$$

Langkah 1, menghitung koefisien b (kemiringan garis regresi):

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = 4 \times (8.5887) - (16) (2.289) / 4 \times (65.06) - (16)^2$$

$$b = 34.3548 - 36.624 / 260.24 - 256$$

$$b = -2.2682 / 4.24$$

$$b = -0.5352$$

Langkah 2, menghitung konstanta a (intersep):

$$a = \frac{(\sum Y - b \cdot \sum X)}{n}$$

$$a = 2.289 - (-0.5352) \times 16 / 4$$

$$a = 10.8522 / 4$$

$$a = 2.71305$$

Langkah 3, Menyusun persamaan regresi menggunakan rumus persamaan (2):

$$Y = 2.71305 - 0.5352 X$$

4.6.5. Perhitungan Manual Regresi Linear Unit 5 (lexc vs Cosφ)

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan manual regresi linear untuk unit 5 dengan variabel X = lexc dan Y = Faktor Daya

Diketahui : X = lexc dan Y = Faktor Daya

Tabel 4.9 Perhitungan Regresi Linear Unit 5 (lexc vs Cosφ)

No	Jam	X (lexc)	Y (cos φ)	XY	X ²	Y ²
1	8:00	3.3	0.95	3.135	10.89	0.9025
2	9:00	3.8	0.97	3.686	14.44	0.9409
3	10:00	4.2	0.99	4.158	17.64	0.9801
4	11:00	4.7	0.99	4.653	22.09	0.9801
Σ		16	3.9	15.632	65.06	3.8036

Berdasarkan tabel 4.5 di atas diperoleh nilai sebagai berikut :

$$n = 4$$

$$\sum X = 16$$

$$\sum Y = 3.9$$

$$\sum X^2 = 65.06$$

$$\sum Y^2 = 3.8036$$

$$\sum XY = 15.632$$

Langkah 1, menghitung koefisien b (kemiringan garis regresi):

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = 4 \times (15.632) - (16) (3.9) / 4 \times (65.06) - (16)^2$$

$$b = 0.0302$$

Langkah 2, menghitung konstanta a (intersep):

$$a = \frac{(\sum Y - b \cdot \sum X)}{n}$$

$$a = 3.9 - 0.2386 \times 16 / 4$$

$$a = 0.854245$$

Langkah 3, Menyusun persamaan regresi menggunakan rumus persamaan (2):

$$Y = 0.854245 + 0.0302 X$$

4.6.6. Perhitungan Manual Regresi Linear Unit 5 (Iexc vs S)

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan manual regresi linear untuk unit 5 dengan variabel X = Iexc dan Y = Daya Semu

Diketahui : X = Iexc dan Y = Daya Semu

Tabel 4.10 Perhitungan Regresi Linear Unit 5 (Iexc vs S)

No	Jam	X (Iexc)	Y (S (KVA))	XY	X ²	Y ²
1	8:00	3.3	2975	9817.5	10.89	8850625
2	9:00	3.8	2905	11039	14.44	8439025
3	10:00	4.2	2855	11991	17.64	8151025
4	11:00	4.7	2827	13286.9	22.09	7991929
Σ		16	11562	46134.4	65.06	33432604

Berdasarkan tabel 4.5 di atas diperoleh nilai sebagai berikut :

$$n = 4$$

$$\sum X = 16$$

$$\sum Y = 11562$$

$$\sum X^2 = 65.06$$

$$\sum Y^2 = 33432604$$

$$\sum XY = 46134.4$$

Langkah 1, menghitung koefisien b (kemiringan garis regresi):

$$b = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2}$$

$$b = 4 \times (46134.4) - (16)(11562) / 4 \times (65.06) - (16)^2$$
$$b = -1071698$$

Langkah 2, menghitung konstanta a (intersep):

$$a = \frac{(\sum Y - b \cdot \sum X)}{n}$$

$$a = 11562 - 702.5095 \times 16 / 4$$
$$a = 3319.179$$

Langkah 3, Menyusun persamaan regresi menggunakan rumus persamaan (2):

$$Y = 3319.179 - 10711698 X$$

4.7 Uji Beda Paired Sample T-Test

Uji beda Paired Sample T-Test dilakukan untuk membandingkan nilai rata-rata kinerja generator unit 5 data di pasangkan berdasarkan urutan pengamatan ke 1 – ke 4 penguji.

4.7.1. Perhitungan Manual T-Test Unit 5 (lexc vs Q)

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan manual regresi linear untuk unit 5 dengan variabel X = lexc dan Y = Daya Reaktif
Diketahui : X = lexc dan Y = Daya Reaktif

Tabel 4.11 Perhitungan T-Test Unit 5 (lexc vs Q)

Data	Daya Reaktif Sesudah Maintenance (Q2)	Daya Reaktif sebelum Maintenance (Q1)	d=Q2- Q1	d ²
1	0.957	0.939	0.018	0.000324
2	0.906	0.7	0.206	0.042436
3	0.875	0.45	0.425	0.180625
4	0.947	0.2	0.747	0.558009
Σ	3.685	2.289	1.396	0.781394

Berdasarkan Tabel 4.8, Diketahui:

$$\sum d = 1.396$$

$$\sum d^2 = 0.781394$$

$$N = 4$$

Langkah 1, menghitung rata-rata selisih (d):

$$\bar{d} = \frac{\sum d}{n}$$

$$\bar{d} = 1.396 / 4$$

$$\bar{d} = 0.349$$

Langkah 2, menghitung simpangan baku selisih (sd):

$$sd = \frac{\sqrt{\sum d^2 - (\sum \bar{d})^2 / n}}{n - 1}$$

$$sd = \sqrt{(0.781394 - (1.396)^2 / 4) / (4 - 1)}$$

$$sd = \sqrt{0.2941/3}$$

$$sd = 0.313$$

Langkah 3, menghitung nilai t statistik menggunakan persamaan (3):

$$t = \frac{\bar{d}}{sd\sqrt{n}}$$

$$t = 0.349 / (0.313 / \sqrt{4})$$

$$t = 2.230$$

Langkah 4 pengambilan keputusan :

$$\text{Nilai } t \text{ hitungan} = 2.230$$

$$T \text{ critical two-tail (df = 3, } \alpha = 0.05) = 3.182$$

$$\text{Nilai P-value} = 0.112$$

Secara statistik, memang uji t terbatas oleh jumlah data yang hanya 4. Sehingga p-value belum mencapai batas signifikan. Namun, secara operasional di lapangan, kami mengamati peningkatan daya reaktif yang nyata, dari 0.57 MVAR menjadi 0.92 MVAR. Hal ini menunjukkan bahwa perbaikan sistem eksitasi di lapangan efektif dalam meningkatkan kemampuan generator untuk menyuplai daya reaktif.

4.7.2. Perhitungan Manual T-Test Unit 5 (I_{exc} vs Cosφ)

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan manual regresi linear untuk unit 5 dengan variabel X = I_{exc} dan Y = Faktor Daya

Diketahui : X = I_{exc} dan Y = Faktor Daya

Tabel 4.12 Perhitungan T-Test Unit 5 (I_{exc} vs Q)

Data	Faktor Daya Sesudah Maintenance (Q2)	Faktor Daya sebelum Maintenance (Q1)	d=Q2- Q1	d ²
1	0.95	0.95	0	0
2	0.95	0.97	-0.02	0.0004
3	0.95	0.99	-0.04	0.0016
4	0.95	0.99	-0.04	0.0016
Σ	3.8	3.9	-0.1	0.0036

Berdasarkan Tabel 4.8, diketahui:

$$\sum d = -0.1$$

$$\sum d^2 = 0.0036$$

$$n = 4$$

Langkah 1, menghitung rata-rata selisih (d):

$$\bar{d} = \frac{\sum d}{n}$$

$$\bar{d} = -0.1 / 4$$

$$\bar{d} = -0.025$$

Langkah 2, menghitung simpangan baku selisih (sd):

$$sd = \frac{\sqrt{\sum d^2 - (\sum \bar{d})^2 / n}}{n - 1}$$

$$sd = \sqrt{(0.0036 - (-0.1)^2 / 4)} / (4 - 1)$$

$$sd = \sqrt{0.0011} / 3$$

$$sd = 0.0191$$

Langkah 3, menghitung nilai t statistik menggunakan persamaan (3):

$$t = \frac{\bar{d}}{sd\sqrt{n}}$$

$$t = -0.025 / (0.0191 / \sqrt{4})$$

$$t = -2.617$$

Langkah 4 pengambilan keputusan :

$$\text{Nilai } t \text{ hitungan} = -2.617$$

$$T \text{ critical two-tail } (df = 3, \alpha = 0.1) = 2.353$$

$$\text{Nilai P-value} = 0.79$$

Analisis pada T-Test menunjukkan adanya perbedaan, meskipun secara statistik belum signifikan. Namun, berdasarkan pengamatan di lapangan, setelah perbaikan sistem eksitasi, faktor daya yang sebelumnya tidak stabil kembali menjadi baik ke nilai 0.95. Dengan demikian, perbaikan eksitasi di lapangan telah berhasil mengembalikan faktor daya ke titik stabil yang diharapkan.

4.7.3. Perhitungan Manual T-Test Unit 5 (Iexc vs S)

Berikut adalah langkah-langkah perhitungan manual regresi linear untuk unit 5 dengan variabel X = Iexc dan Y = Daya Semu

Diketahui : X = Iexc dan Y = Daya Semu

Tabel 4.13 Perhitungan T-Test Unit 5 (Iexc vs S)

Data	Daya Semu Sesudah Maintenance (Q2)	Daya Semu sebelum Maintenance (Q1)	d=Q2- Q1	d ²
1	3015	2975	40	1600
2	2953	2905	48	2304
3	2961	2855	106	11236
4	2928	2827	101	10201
Σ	11857	11562	295	25341

Berdasarkan Tabel 4.8, diperoleh:

$$\sum d = 295$$

$$\sum d^2 = 25341$$

$$n = 4$$

Langkah 1, menghitung rata-rata selisih (d):

$$\bar{d} = \frac{\sum d}{n}$$

$$\bar{d} = 295 / 4$$

$$\bar{d} = 73.75$$

Langkah 2, menghitung simpangan baku selisih (sd):

$$sd = \frac{\sqrt{\sum d^2 - (\sum d)^2 / n}}{n - 1}$$

$$sd = \sqrt{(25341 - (295)^2 / 4) / (4 - 1)}$$

$$sd = 34.57$$

Langkah 3, menghitung nilai t statistik menggunakan persamaan (3):

$$t = \frac{\bar{d}}{sd\sqrt{n}}$$

$$t = 73.75 / (34.57 / \sqrt{4})$$

$$t = 17.07$$

Langkah 4 pengambilan keputusan :

$$\text{Nilai } t \text{ hitungan} = 17.07$$

$$T \text{ critical two-tail (df = 3, } \alpha = 0.05) = 3.182$$

$$\text{Nilai P-value} = 0.023$$

Analisis yang diperoleh meskipun ada tren peningkatan, secara statistik P-valuenya belum signifikan. Namun, dilapangan, peningkatan daya semu memang nyata, sehingga ini menunjukkan bahwa kapasitas generator kembali ke kondisi optimal.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

1. Sistem Aux. Wdg. Excitation menunjukkan korelasi yang kuat dengan faktor daya, daya reaktif, dan daya semu pada generator sinkron Unit 5. Hasil korelasi Pearson menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara arus eksitasi dengan daya reaktif ($r = -0,9988$; $p < 0,001$) dan daya semu ($r = -0,9813$; $p = 0,019$), serta hubungan kuat dengan faktor daya ($r = +0,9371$). Saat arus eksitasi meningkat secara berlebihan, generator beralih dari penyuplai menjadi penyerap daya reaktif, sehingga Q turun drastis dari 0,957 MVAR menjadi 0,200 MVAR, dan daya semu menurun dari 3.015 KVA menjadi 2.827 KVA, sementara faktor daya justru naik mendekati (0,99), yang menunjukkan kondisi operasi yang tidak ideal.
2. Pengaruh perubahan arus eksitasi terhadap kinerja generator dimodelkan melalui regresi linear: setiap kenaikan 1 A arus eksitasi berpengaruh pada penurunan daya reaktif sebesar $\pm 0,535$ MVAR ($R^2 = 0,9977$) dan penurunan daya semu sebesar $\pm 107,17$ KVA ($R^2 = 0,9629$), serta kenaikan faktor daya sebesar $\pm 0,030$ ($R^2 = 0,8782$). Hasil uji Paired Sample T-Test menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan, meskipun ada korelasi yang kuat, jumlah data yang terbatas membatasi untuk menyimpulkan perbedaan yang signifikan secara statistik.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan preventive maintenance secara berkala pada sisi electrical generator, khususnya pada komponen sistem eksitasi seperti auxiliary winding, dioda, dan AVR, guna mencegah terjadi kerusakan pada komponen agar menekan risiko engine trip akibat malfungsi pada sistem eksitasi.
2. Perlu ditambahkan sistem HMI (*Human Machine Interface*) untuk memonitor parameter sistem eksitasi secara real time, sehingga proses pengambilan data dan pengamatan kondisi generator dapat dilakukan secara lebih aman, akurat, dan efisien, sekaligus memungkinkan deteksi dini terhadap abnormal pada parameter sebelum berkembang menjadi kondisi abnormal yang membahayakan.

Daftar Pustaka

- [1] Darabi, A. Auxiliary windings, supplying the AVR of a brushless synchronous generator. In Proceedings of the 2005 International Conference on Electrical Machines and Systems (Vol. 1, pp. 81-85). IEEE, Oct. 2005
- [2] Nurjaman, D. F. Analisis pengaruh sistem eksitasi terhadap tegangan keluaran generator sinkron Mini Hydro Curug. EPSILON: Journal of Electrical Engineering and Information Technology, 19(3), 85-88, Jan. 2022
- [3] Suhartati, L., Arlina, F., Husmaini, & Pradana, K. K. PENGARUH SISTEM EKSITASI TERHADAP GENERATOR SINKRON TIGA FASA DI UNIT 1 PT. PLN INDONESIA POWER ULPL TA MUSI. Teknosia, 17(1), 1–12, July. 2023
- [4] Febrian, A. ., Handayani, Y. S., & Priyadi, I. (2023). Studi Analisis Eksitasi Untuk Mengatur Tegangan Keluaran Generator Dan Governor Untuk Mengatur Beban Pada Unit 3 Di ULPTA Tes PT PLN Indonesia Power. Jurnal Andalas: Rekayasa Dan Penerapan Teknologi, 3(2), 8–13
- [5] Marjuki, M., Hidayat, A., & Goeritno, A. (2018). Rekondisi rumah dan inti stator bekas dan rekonstruksi koil untuk keterbentukan struktur belitan stator alternator fase-tunggal. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer (JuTEKS)*, 5(1), 9–17. Universitas Ibn Khaldun Bogor. ISSN 2549-4848, e-ISSN 2580-7749.
- [6] E.E. Rebecca. "Alternating current fed power supply." U.S. Patent 7 897 777, Nov. 3, 1987.
- [7] Universitas Kristen Indonesia. (n.d.). *Dasar Konversi Energi Listrik* [Buku ajar]. Repository Universitas Kristen Indonesia. Retrieved October 27, 2025, pp. 227-331.
- [8] Suprih Kundartono. Training Internship Online, Topic: "Synchounous Generator.", PT. Maxpower Indonesia, Indonesia, Jakarta, Aug. 27, 2025Indonesia. Retrieved October 27, 2025, pp. 227-331.
- [9] ATO.com. (2025, June 03). *How does a synchronous motor work?* Retrieved October 27, 2025, from [https://www.ato.com/how-does-a-synchronous-motor work](https://www.ato.com/how-does-a-synchronous-motor-work)

- [10] Quora. (n.d.). What is the difference between voltage generated by cylindrical rotor and salient pole rotor synchronous machines? Retrieved October 27, 2025, from <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-voltage-generated-by-cylindrical-rotor-and-salient-pole-rotor-synchronous-machines>.
- [11] Never Say Give Up To Learn. (2014, 9 Februari). Prinsip kerja generator sinkron. Retrieved October 27, 2025, from <https://usmanlakkase.blogspot.com/2014/02/prinsip-kerja-generator-sinkron.html>.
- [12] DIG 142E/4 50 11000: Technical Data Sheet, Rev. B., Cummins Gen. Tech., Stamford, UK, 2013, pp. 1–12.
- [13] Putri, N. D., Ginting, M. P. B., & Tarigan, B. (2023). *Menganalisis pemeliharaan exciter di PLTD Titi Kuning*. Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP) 2022. Politeknik Negeri Medan.

Biodata



Nama : Alvian Razaki Majid
TTL : Bandung, 22-04-2004
Agama : Islam
Alamat : Perum Puri Buana Indah, Buliang, Batu Aji, Kota Batam
Email : Alvianmazid9@gmail.com
Riwayat Pendidikan : SMK Negeri 1 Batam
SMP Negeri 26 Batam

Lampiran

**Data Operasi Generator Stempfrod Non-Permanent Magnet Type Dig142 e/4
unit 5 pada kondisi Sebelum dan Sesudah Maintenance**

NO	JAM	EXCITATION		MAIN ALTERNATOR					Cos ϕ
		Vexc	Iexc	P	Q	V	I	S	
		V	A	MW	MVAR	KV	A	KVA	
1	04:00	25.6	3.3	2.807	0.917	11.266	150	2971	0.95
2	05:00	25.6	3.3	2.832	0.925	11.306	151	2977	0.95
3	06:00	25.6	3.3	2.848	0.903	11.289	153	2981	0.95
4	07:00	25.6	3.3	2.816	0.906	11.294	151	2953	0.95
5	08:00	25.6	3.3	2.813	0.939	11.299	150	2975	0.95
6	09:00	29.5	3.8	2.82	0.7	11.3	148	2905	0.97
7	10:00	32.6	4.2	2.829	0.45	11.28	146	2855	0.99
8	11:00	36.5	4.7	2.82	0.2	11.25	145	2827	0.99
ENGINE MAINTENANCE									
9	15:00	25.6	3.3	2.82	0.957	11.303	152	3015	0.95
10	16:00	25.6	3.3	2.816	0.906	11.294	151	2953	0.95
11	17:00	25.5	3.2	2.788	0.875	11.366	149	2961	0.95
12	18:00	25.5	3.2	2.773	0.947	11.296	151	2928	0.95
13	19:00	25.6	3.3	2.807	0.917	11.266	150	2971	0.95
14	20:00	25.6	3.3	2.832	0.925	11.306	151	2977	0.95
15	21:00	25.6	3.3	2.848	0.903	11.289	153	2981	0.95
16	22:00	25.6	3.3	2.816	0.906	11.294	151	2953	0.95

Hasil Perhitungan Korelasi Pearson Arus Eksitasi Terhadap Kinerja Generator Pada Unit 5

NO	JAM	ENGINE 5								Sebelum Maintenance			Sesudah Maintenance		
		EXCITATION		MAIN ALTERNATOR						KORELASI			Korelasi		
		V _{exc}	I _{exc}	P	Q	V	I	S	Co ϕ	I _{exc} -S	I _{exc} -Co ϕ	I _{exc} -Q	I _{exc} -S	I _{exc} -Co ϕ	I _{exc} -Q
		V	A	MW	MVAR	KV	A	KVA							
1	4.00.00	25.6	3.3	2.807	0.917	11.266	150	2371	0.95						
2	5.00.00	25.6	3.3	2.832	0.925	11.306	151	2377	0.95						
3	6.00.00	25.6	3.3	2.848	0.903	11.289	153	2361	0.95						
4	7.00.00	25.6	3.3	2.816	0.906	11.234	151	2353	0.95						
5	8.00.00	25.6	3.3	2.813	0.939	11.239	150	2375	0.95						
6	9.00.00	23.5	3.8	2.82	0.7	11.3	148	2305	0.97						
7	10.00.00	32.6	4.2	2.829	0.45	11.28	146	2855	0.99						
8	11.00.00	36.5	4.7	2.82	0.2	11.25	145	2827	0.99						
9	15.00.00	25.6	3.3	2.82	0.957	11.303	152	3015	0.95						
10	16.00.00	25.6	3.3	2.816	0.906	11.234	151	2353	0.95						
11	17.00.00	25.5	3.2	2.788	0.875	11.366	149	2361	0.95						
12	18.00.00	25.5	3.2	2.773	0.947	11.236	151	2328	0.95						
13	19.00.00	25.6	3.3	2.807	0.917	11.266	150	2371	0.95						
14	20.00.00	25.6	3.3	2.832	0.925	11.306	151	2377	0.95						
15	21.00.00	25.6	3.3	2.849	0.903	11.289	153	2361	0.95						
16	22.00.00	25.6	3.3	2.816	0.906	11.234	151	2353	0.95						

-0.98129668 0.937132 -0.9988 0.622472 #DIV/0! 0.31216