

Analisis Kinerja Generator Sinkron Tiga Fasa pada Pembebanan Resistif

Arifin Wibisono¹, Giovanni Thorton Aaron², dan Slamet Riyadi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang

Jl. Pawiyatan Luhur Sel. IV No.1, Bendan Duwur, Kec. Gajahmungkur, Kota Semarang, Jawa Tengah 50234

e-mail: Arifin@unika.ac.id

Abstrak— Generator sinkron banyak digunakan pada pembangkit listrik konvensional. Generator ini mempunyai efisiensi yang tinggi terhadap berbagai beban. Generator sinkron seringkali mengalami pembebanan yang bervariasi, untuk menghasilkan tegangan keluaran dan frekuensi yang stabil, maka pengaturan putaran dan eksitasi perlu dijaga. Sistem eksitasi mempunyai peranan penting pada generator sinkron untuk menyuplai arus searah dan menghasilkan fluks magnet pada rotor. Penelitian ini akan mengkaji kinerja generator jika terjadi pembebanan resistif murni dari hasil simulasi dan pengujian skala laboratorium. Hasil yang diperoleh dengan variasi beban yang digunakan pada generator sinkron mempengaruhi kecepatan dan frekuensi generator sinkron yang berakibat pada penurunan tegangan keluaran. Tegangan keluaran generator sinkron sebelum perbaikan mengalami penurunan tegangan yang cukup signifikan, perbaikan kinerja generator sinkron dilakukan dengan menambahkan kecepatannya.

Kata kunci: Generator Sinkron, Sistem Eksitasi, Tiga Fasa, Beban Resistif, Perbaikan Tegangan Keluaran.

Abstract— Synchronous generators are widely used in conventional power plants. This generator has high efficiency for various loads. Synchronous generators often experience varying loads, to produce a stable output voltage and frequency, rotation and excitation settings need to be maintained. The excitation system has an important role in synchronous generators to supply direct current and produce magnetic flux to the rotor. This research will examine the performance of the generator if pure resistive loading occurs from the results of simulations and laboratory scale tests. The results obtained by varying the load used on the synchronous generator affect the speed and frequency of the synchronous generator which results in a decrease in the output voltage. The output voltage of the synchronous generator before the repair experienced a significant decrease in voltage. The performance of the synchronous generator was improved by increasing its speed.

Keywords: Synchronous Generator, Excitation System, Resistive Load, Output Voltage Repair.

I. PENDAHULUAN

Pada abad ke-21 ini kebutuhan energi listrik merupakan salah satu kebutuhan penting dalam kehidupan manusia. Perkembangan teknologi yang semakin kuat menyebabkan kebutuhan energi listrik semakin meningkat. Meningkatnya kebutuhan daya listrik memberikan dampak langsung yang signifikan terhadap beban generator sinkron [1]. Generator sinkron sendiri merupakan mesin listrik yang mengubah energi mekanik mesin yang berputar menjadi energi listrik [2]. Tenaga mekanik yang dihasilkan oleh mesin berputar berbentuk turbin, mesin diesel, dan baling-baling, serta berbagai mesin lainnya akan ditangkap oleh generator yang kemudian dikonversi untuk menghasilkan energi listrik yang keluar dari kumparan jangkar pada generator sinkron [3].

Pada banyak pembangkit listrik generator sinkron sering digunakan karena menghasilkan frekuensi dan kecepatan yang stabil terhadap berbagai perubahan pembebanan beban seimbang ataupun beban tidak seimbang baik keduanya

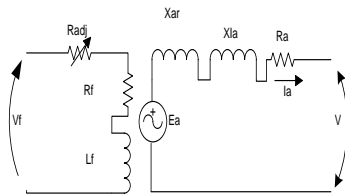
dapat berupa pembebanan resistif, kapasitif, induktif, ataupun beban campuran dari ketiga elemen ini. Pada generator sinkron putaran medan magnet pada kumparan stator akan serempak kecepatannya dengan putaran pada rotor [4]. Tegangan keluaran dan frekuensi keluaran pada generator sinkron akan berbanding lurus dengan tegangan sekaligus frekuensi masukannya. Pembebanan pada generator sinkron harus di sesuaikan dengan kapasitas dari generator itu sendiri agar keluarannya berada pada titik stabil [5]. Generator sinkron sendiri dapat bekerja jika terdapat sistem eksitasi [6]. Sistem eksitasi sendiri berfungsi untuk menghasilkan fluks magnet atau sebagai penyedia listrik searah pada generator [7]. Sistem eksitasi dapat mengendalikan sekaligus menjaga berbagai komponen penting pada generator sinkron.

Seiring dengan kemajuan teknologi, kebutuhan listrik harian juga meningkat. Jumlah kebutuhan listrik yang dibutuhkan konsumen setiap harinya tidak tetap. Hal ini akan menyebabkan perubahan beban yang diterima oleh

generator, yang selanjutnya mempengaruhi sistem kelistrikan itu sendiri. Mempertimbangkan permasalahan tersebut, penelitian ini akan membahasnya bagaimana cara menstabilkan frekuensi keluaran PLN 50 Hz dengan beban ganda tanpa mengurangi masukan sumber PLN 50 Hz dengan menggunakan pengaruh eksitasi arus dan tegangan pada generator sinkron dengan beban resistif [8].

II. STUDI PUSTAKA

A. Generator sinkron



Gambar 1. Rangkaian Ekuivalen Generator Sinkron

Generator sinkron (alternator) adalah mesin listrik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui induksi medan magnet. Generator dapat menghasilkan energi listrik karena adanya pergerakan relatif medan magnet seragam terhadap kumparan jangkar pada generator (magnet yang bergerak menjadikan kumparan jangkar tidak bergerak atau sebaliknya magnet diam pada generator) [9]. Medan magnet seragam ini dapat dihasilkan oleh kumparan berarus searah atau magnet tetap. Untuk memperoleh daya generator sinkron dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$E = Zs.I + jX.I \quad (1)$$

Dimana j adalah satuan imaginasi dan X adalah komponen reaktansi generator. Persamaan ini menggambarkan hubungan antara tegangan terminal generator, impedansi internal, dan reaktansi, serta arus yang mengalir melalui generator.

B. Sistem Eksitasi pada Generator Sinkron

Sistem eksitasi merupakan sistem kelistrikan DC yang mempunyai efek siklik yang menggerakkan generator untuk menghasilkan arus dan tegangan keluaran tergantung besarnya arus eksitasi [10]. Mengontrol sistem eksitasi menghasilkan tegangan yang menciptakan EMF (gaya gerak listrik). Oleh karena itu, tujuan pengendalian tidak hanya untuk mengendalikan faktor daya, penyearah arus dan variabel lainnya. Fungsi dasar dari setiap sistem eksitasi adalah untuk menghasilkan arus searah (DC) untuk belitan medan generator sinkron. Meskipun sistem simulasi arus searah masih digunakan, sistem eksitasi biasanya berjenis arus bolak-balik (AC). Oleh karena itu, perlu dilakukan konversi Keluaran sistem eksitasi adalah dari AC ke DC sehingga dapat digunakan sebagai arus medan generator utama. Selain itu, sistem eksitasi juga memiliki fungsi

mengatur arus eksitasi DC secara otomatis untuk mengontrol tingkat eksitasi. generator alat pacu jantung [11]. Persamaan eksitasi generator sinkron yang mengontrol besar kecilnya medan eksitasi yang diterapkan pada medan generator sebagai berikut:

$$f = \frac{np}{120} \quad (2)$$

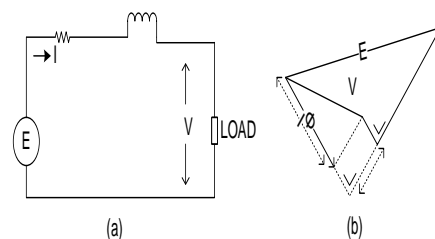
dimana: f = frekuensi (Hz)

p = jumlah kutub

n = kecepatan putaran rotor (RPM)

C. Pembebanan pada Generator Sinkron

Jika Generator menerima beban atau menyuplai daya ke beban, kemudian arus beban (I_a) mengalir melalui kumparan stator dengan impedansi $Z = (R + jX_s) \Omega$. Arus beban menyebabkan hilangnya tegangan pada belitan stator sehingga menurunkan tegangan keluaran generator (V). Hubungan antara arus beban (I_a) dan tegangan keluaran generator [12]. Semakin tinggi arus beban maka semakin besar rugi-rugi tegangan pada belitan stator generator, yang selanjutnya akan menurunkan tegangan keluaran generator (V) [13]. Untuk mengembalikan tegangan keluaran generator ke nilai nominalnya, tegangan induksi (E) dinaikkan dengan menaikkan arus eksitasi (I_f). Fungsi penyesuaian arus eksitasi adalah untuk menjaga tegangan keluaran pada nilai pengenalan. Bahkan ketika arus beban berubah, AVR tetap bertindak sebagai pengontrol tegangan [14]. Alat kendali ini beroperasi berdasarkan sinyal tegangan keluaran yang diterima dari sensor tegangan, seperti pada Gambar 1. [15].



Gambar 2. Hubungan Arus dan Tegangan luaran Generator (a) Gambar Rangkaian Ekuivalen dengan Beban (b) Gambar Diagram Vektor Tegangan

Berdasarkan hukum ke-2 Kirchhoff yang menyatakan “Nilai $\sum V$ akan sama dengan nol pada loop tertutup”, maka persamaan tegangannya sebagai berikut:

$$E = V + I_a (R_a + jX_s) = V + \Delta V \quad (3)$$

Dimana:

E = Tegangan induksi pada kumparan stator (Volt)

V = Tegangan terminal generator (Volt)

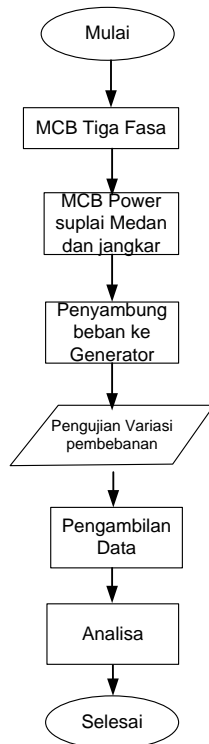
I_a = Arus beban pada kumparan stator (Amper)

R_a = Resistansi kawat kumparan stator (Ω)

X_s = Reaktansi sinkron ($= X_m + X_a$) (Ω)

ΔV = Drop tegangan pada kumparan stator (Volt)

III. METODE

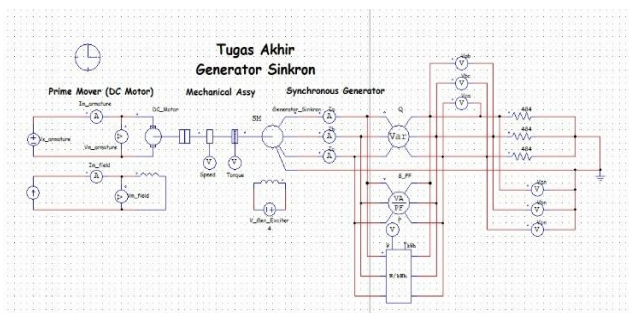


Gambar 3. Flowchart Kerja Alat

Dalam penelitian untuk pembuatan alat penelitian terdapat diagram alir sebagai pedoman acuan penerapan alat terapi ini. *Flowchart* pada Gambar 3. menampilkan proses alat ini bekerja.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

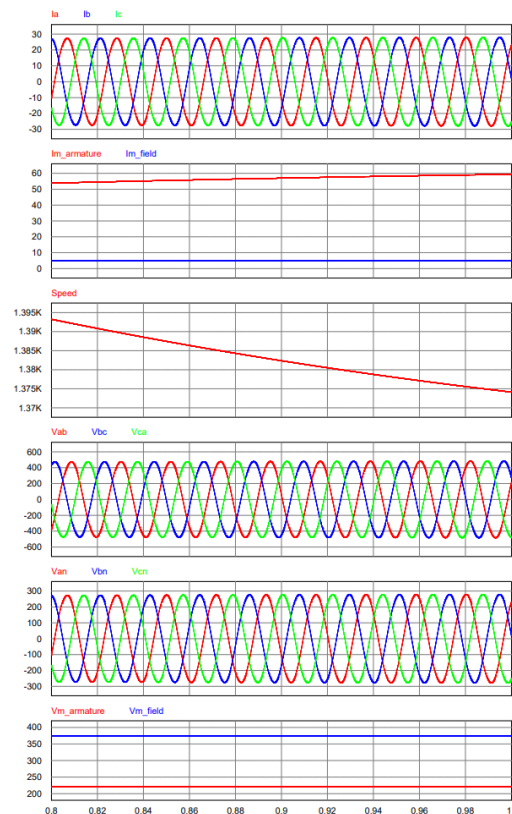
Berdasarkan metodologi penelitian, dilakukan uji laboratorium. Dalam uji laboratorium ini dilakukan beberapa pengujian generator sinkron yang jika dihubungkan beban yang berlebih akan mengalami perubahan tegangan keluaran, kecepatan motor, serta frekuensi yang sesuai standar dari PLN yaitu 50 Hz. Sebelum melakukan pengujian laboratorium dilakukan simulasi menggunakan aplikasi PSIM sebagai dasar acuan dalam pembuatan alat ini.



Gambar 4. Rangkaian Simulasi Generator Sinkron

Hasil dari simulasi yang dijalankan dijabarkan pada Gambar 4. terlihat bahwa tegangan masukan pertama kali

setelah generator dinyalakan berada pada nilai 200 Volt stabil hingga pada titik maksimumnya berada pada nilai tegangan masukan 300 Volt stabil. Sedangkan pada tegangan keluaran pada awal berada di nilai tegangan 400 Volt stabil hingga perlahan naik dan mencapai titik maksimumnya di 600 Volt stabil hingga akhir. Sedangkan kecepatannya tetap stabil di 1500 RPM setelah mengalami perbaikan. Arus eksitasi yang terukur juga menunjukkan nilai yang konstan di 0,5 Ampere setelah generator mencapai titik maksimumnya dengan bentuk gelombang sinus. Dapat dilihat baik gelombang tegangan masukan dan keluaran atau pun arus eksitasi tidak didapati pergerakan atau perubahan fasa yang terjadi.



Gambar 5. Hasil Rangkain Simulasi

Dari hasil simulasi pada *software* akan di implementasikan pada pembuatan *hardware* dan melakukan pengujian pada alat serta menganalisa hasil dari pengujian *hardware*.



Gambar 6. Rangkaian Hardware

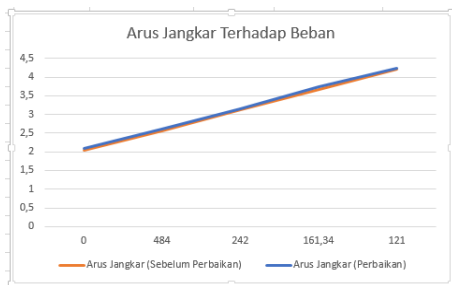


Gambar 7. Pengukuran Kecepatan Motor

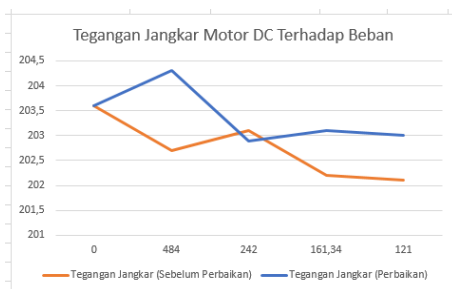


Gambar 8. Pengukuran Arus Jangkar

Gambar 6. merupakan rangkaian hardware hasil implementasi dari simulasi pada Gambar 4. yang terhubung pada beberapa komponen yang telah di satukan. Setelah perangkat keras terhubung ke beban, pengujian ditunjukkan pada Gambar 7. dan Gambar 8. Selain pengujian pada Gambar 7. dan Gambar 8. dilakukan pengujian lainnya dengan hasil berupa grafik data. Berikut merupakan grafik yang di tunjukan pada kondisi pengujian sebelum dan sesudah mengalami perbaikan



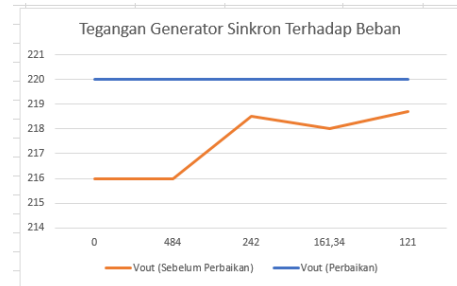
Gambar 9. Grafik Arus Jangkar pada Beban



Gambar 10. Grafik Tegangan Jangkar pada Beban

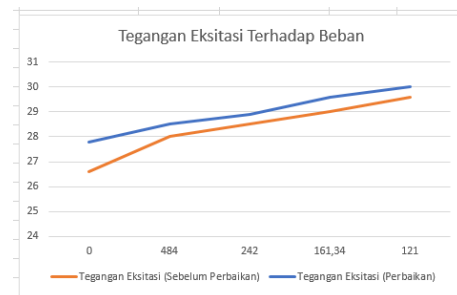
Pada Gambar 9. dan Gambar 10. setelah mengalami perbaikan, perubahan beban yang berbanding lurus akan mempengaruhi arus jangkar dan tegangan jangkar terhadap generator sinkron pada saat diberi beban resistif. Sebelum

perbaikan arus jangkar berada di nilai 2 Ampere dan terus naik hingga ± 4 Ampere. Setelah perbaikan nilai arus jangkar terdapat sedikit kenaikan di nilai ± 2 Ampere hingga ± 4 Ampere. Sedangkan pada tegangan jangkar sebelum perbaikan nilai tegangan awal berada di 203,5 Volt terus turun hingga 202 Volt. Sedangkan setelah perbaikan nilai tegangan jangkar pada beban memang turun namun terus konstan setelahnya di nilai 203 Volt.

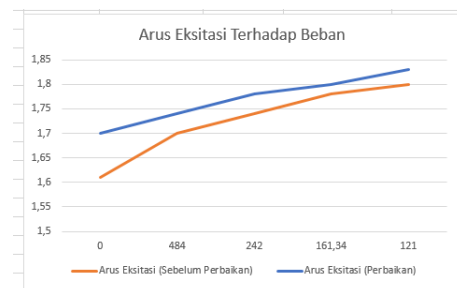


Gambar 11. Grafik Tegangan Generator Sinkron terhadap Beban

Grafik pada Gambar 11. hasil tegangan keluaran setelah mengalami perbaikan selalu stabil pada standar dari PLN yaitu 220 V, walaupun mengalami perubahan beban maka hasil tegangannya akan tetap berapa pada 220 V. Berbeda dengan tegangan keluaran sebelum perbaikan dimana grafik tegangannya tidak konstan. Efek dari tegangan keluaran yang tidak konstan dapat menyebabkan kualitas dari listrik yang dihasilkan buruk.



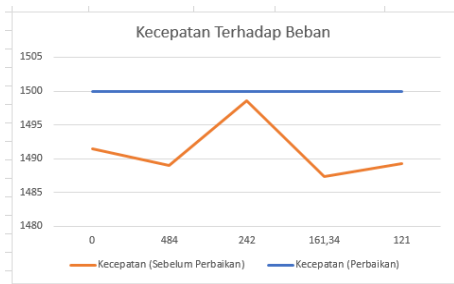
Gambar 12. Grafik Tegangan Eksitasi



Gambar 13. Grafik Arus Eksitasi

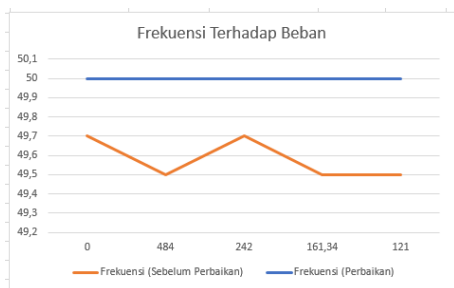
Pada grafik Gambar 12. dan Gambar 13. hasil dari arus serta tegangan eksitasi setelah mengalami perbaikan menunjukkan bagaimana perubahan beban akan mempengaruhi arus dan tegangan eksitasi. Arus serta tegangan eksitasi akan otomatis meningkat agar kecepatan

putar penggerak mula akan tetap stabil serta frekuensi tidak berubah.



Gambar 14. Grafik Kecepatan Putor Motor Terhadap Beban

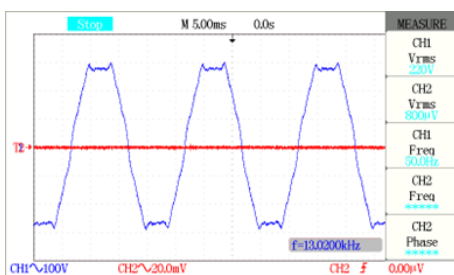
Pada grafik Gambar 14. menunjukan setelah mengalami perbaikan kecepatan putar motor stabil pada kecepatan 1500 RPM karena perubahan arus serta tegangan eksitasi yang meningkat otomatis seiring penambahan beban yang membuat kecepatan akan selalu stabil.



Gambar 15. Grafik Frekuensi terhadap Beban

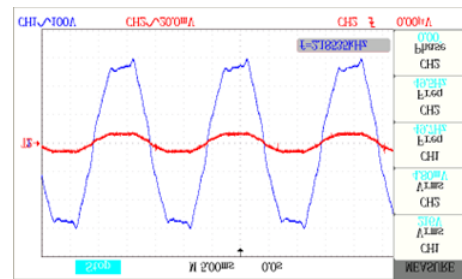
Pada Gambar 15. menunjukan setelah mengalami perbaikan frekuensi yang dihasilkan selalu stabil pada 50 Hz walaupun dengan penambahan beban.

Hasil data pengujian dilaboratorim selain menggunakan grafik didapatkan pula dengan cara melalui perhitungan menggunakan fasor resistif untuk mendapatkan hasil dari nilai beban resistif dan pergeseran fasa. Selain itu hasil dari perhitungan menggunakan persamaan didukung dengan menggunakan hasil gelombang sinyal dengan menggunakan osiloskop. Berikut merupakan hasil perhitungan fasor resistif serta gambar gelombang sinyal dengan menggunakan osiloskop

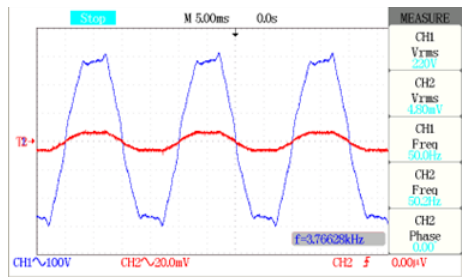


Gambar 16. Hasil Gelombang Tanpa Beban Resistif

Pada percobaan pertama, memutar generator sinkron untuk mencapai tegangan keluaran 220 Volt dan Frekuensi 50 Hz. Selanjutnya, generator sinkron tersebut akan dibebani oleh 5 lampu pijar (beban resistif) yang terpasang paralel masing-masing memiliki daya 100 Watt.

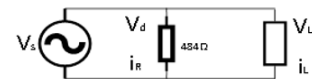


Gambar 17. Gelombang Sebelum Perbaikan Beban Resistif 484 Ω



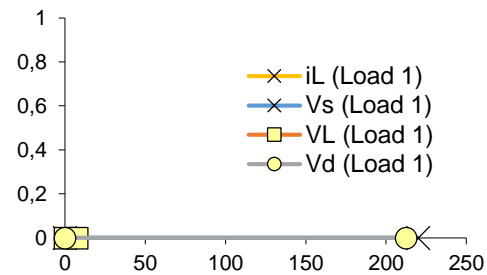
Gambar 18. Gelombang Sesudah Perbaikan Beban Resistif 484 Ω

Pada pengujian pertama dibebani oleh beban resistif 484 Ω, setelah diperbaiki tegangan keluaran menjadi 220 Volt serta Frekuensi 50 Hz.



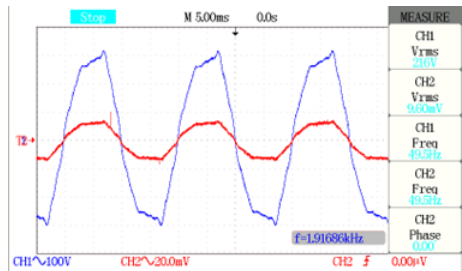
Gambar 19. Rangkaian Beban 484 Ω

Sehingga, Fasor pertama dengan beban 484 Ω sebagai berikut: (Pergeseran Fasa = 0°)



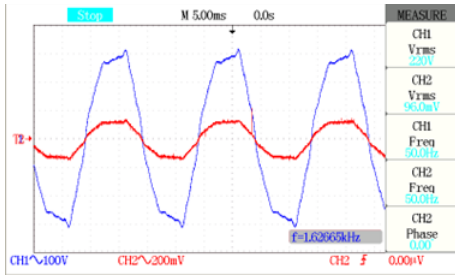
Gambar 20. Gambar Pergeseran Fasor Pertama

Pada pengujian kedua menggunakan beban 242 Ω sebelum terjadi perbaikan sebagai berikut:



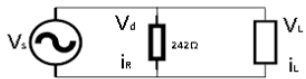
Gambar 21. Gelombang Sebelum Perbaikan Beban Resistif 242 Ω

Setelah dibebani oleh beban resistif 242 Ω maka terjadi perubahan nilai pada generator sinkron yaitu sebagai berikut:



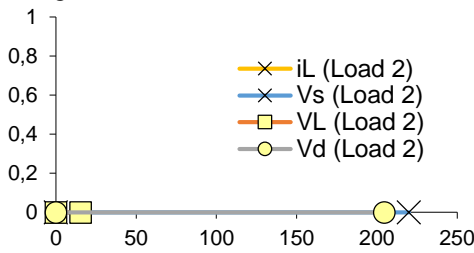
Gambar 22. Gelombang Sesudah Perbaikan Beban Resistif 242 Ω

Pada pengujian kedua dibebani oleh beban resistif 242 Ω , setelah diperbaiki tegangan keluaran menjadi 220 Volt serta Frekuensi 50 Hz.



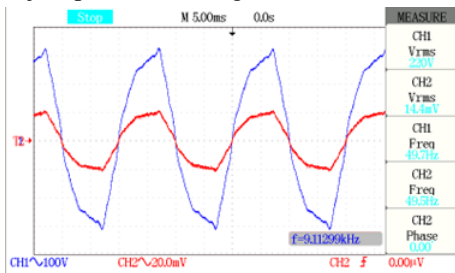
Gambar 23. Rangkaian Beban 242 Ω

Sehingga, fasor kedua dengan beban 242 Ω sebagai berikut: (Pergeseran Fasa = 0°)



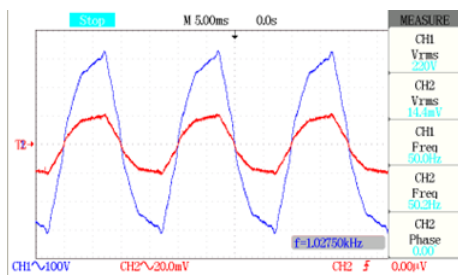
Gambar 24. Gambar Pergeseran Fasor Kedua

Pada pengujian ketiga menggunakan beban 161,34 Ω sebelum terjadi perbaikan sebagai berikut:



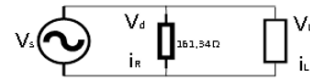
Gambar 25. Gelombang Sebelum Perbaikan Beban Resistif 161,34 Ω

Setelah dibebani oleh beban resistif 161,34 Ω maka terjadi perubahan nilai pada generator sinkron yaitu sebagai berikut:



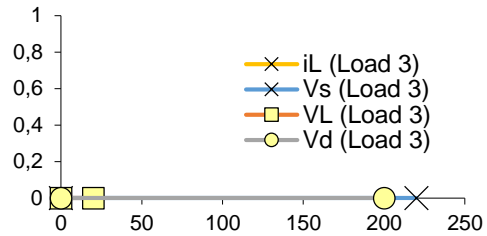
Gambar 26. Gelombang Sesudah Perbaikan Beban Resistif 161,34 Ω

Pengujian ketiga dibebani oleh beban resistif 161,34 Ω , selanjutnya setelah perbaikan tegangan keluaran menjadi 220 Volt serta Frekuensi 50 Hz.



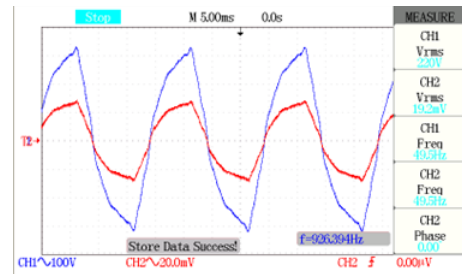
Gambar 27. Rangkaian Beban 161,34 Ω

Sehingga, Fasor ketiga dengan beban 161,34 Ω sebagai berikut: (Pergeseran Fasa = 0°)



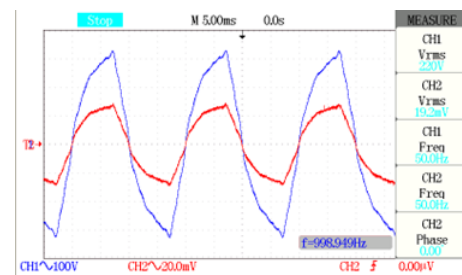
Gambar 28. Gambar Pergeseran Fasor Ketiga

Pada pengujian keempat menggunakan beban 121 Ω sebelum terjadi perbaikan sebagai berikut:



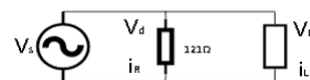
Gambar 29. Gelombang Sebelum Perbaikan Beban Resistif 121 Ω

Setelah dibebani oleh beban resistif 121 Ω maka terjadi perubahan nilai pada generator sinkron.



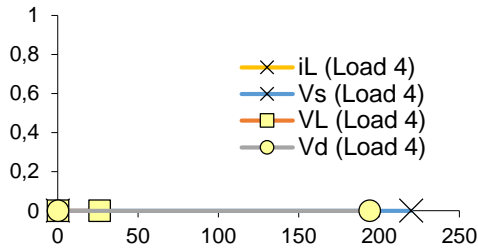
Gambar 30. Gelombang Sesudah Perbaikan Beban Resistif 121 Ω

Pengujian keempat dibebani oleh beban resistif 121 Ω , setelah diperbaiki tegangan keluaran menjadi 220 Volt serta Frekuensi 50 Hz.



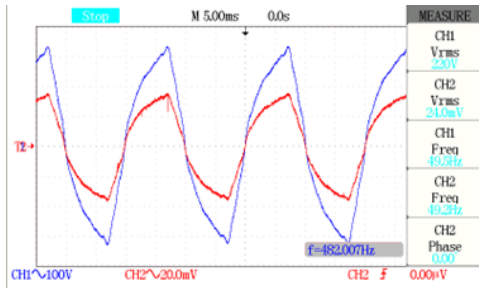
Gambar 31. Rangkaian Beban 121 Ω

Sehingga, Fasor pertama dengan beban 121 Ω sebagai berikut: (Pergeseran Fasa = 0°)



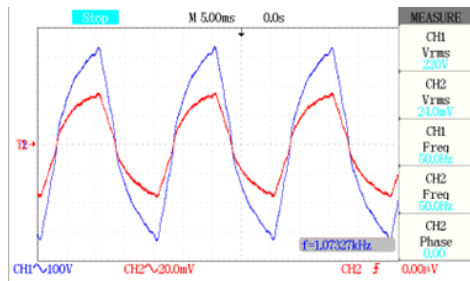
Gambar 32. Gambar Pergeseran Fasor Keempat

Pada pengujian kelima menggunakan beban $96,8 \Omega$ sebelum terjadi perbaikan sebagai berikut:



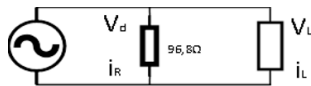
Gambar 33. Gelombang Sebelum perbaikan beban resistif $96,8 \Omega$

Setelah dibebani oleh beban resistif $96,8 \Omega$ maka terjadi perubahan nilai pada generator sinkron yaitu sebagai berikut:



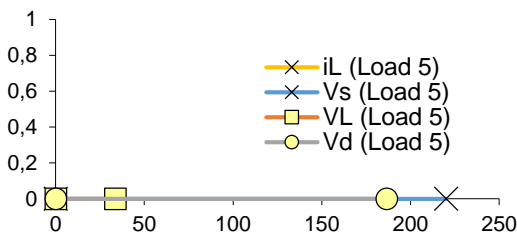
Gambar 34. Gelombang Sesudah Perbaikan Beban Resistif $96,8 \Omega$

Pengujian 5 dibebani oleh beban resistif $96,8 \Omega$, se setelah diperbaiki Tegangan Keluaran menjadi 220 Volt serta Frekuensi 50 Hz.



Gambar 35. Rangkaian Beban $96,8 \Omega$

Sehingga, Fasor pertama dengan beban $96,8 \Omega$ sebagai berikut: (Pergeseran Fasa = 0°)



Gambar 36. Gambar Pergeseran Fasor Kelima

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dengan metode pembebanan resistif, dapat diambil kesimpulan hasil penelitian terdapat perubahan yang maksimal setelah mengalami perbaikan, dengan menggunakan beban resistif pada generator sinkron dapat mempengaruhi perubahan tegangan keluaran yang di dihasilkan. Perbaikan tegangan keluaran dilakukan dengan menambahkan kecepatan generator sinkron dan mengatur arus eksitasinya. Keluaran pada generator sinkron tidak terjadi pergeseran fasa yang ditimbulkan pada setiap pengujian pada setiap perubahan beban resistif.

REFERENSI

- [1] M. Muharrir and I. Hajar, "Analisis Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Generator Unit 2 PLTP PT. Indonesia Power UPJP Kamojang," Kilat, vol. 8, no. 2, pp. 93–102, 2019.
- [2] H. Hendry, H. Eteruddin, and A. Atmam, "Analysis of Voltage Sag Due to Short Circuit on the Sub System in Central Sumatera," International Journal of Electrical, Energy an Power System Engineering, vol. 1, no. 2, pp. 1–5, 2018.
- [3] A. Annisa, W. Winarso, and W. Dwiono, "Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron," J. Ris. Rekayasa Elektro, vol. 1, no. 1, 2019, doi: 10.30595/jrre.v1i1.4928.
- [4] D. Ahmad Wahid, "Analisis Kapasitas Dan Kebutuhan Daya Listrik Untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik Di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura," J. Tek. Elektro UNTAN, vol. 2, no. 1, p. 10, 2014.
- [5] T. H. Syahrizal, "Teknik Elektro," Studi Pengaruh Arus Eksitasi untuk Mengatur Tegangan Keluaran Generator di PT. Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2, pp. 1-12, 2016.
- [6] A. Alatas, Simulasi Pemodelan Sistem_Eksitasi Statis Pada Generator Sinkron Terhadap Perubahan Beban, Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia, 2018.
- [7] Yudistira Heri Istanto. (2019). Analisis Pengaruh Arus Eksitasi Pada Generator Sinkron Terhadap Pembebanan Di PLTA Wlingi PT PJB UP Brantas. Jurnal Qua Teknika, 9(1), 43–55.
- [8] P. Motor, S. Tiga, P. Tipe, S. Pole, and G. Sinkron, "PENGUNAAN MOTOR SINKRON TIGA PHASA TIPE SALIENT POLE SEBAGAI GENERATOR SINKRON," vol. 9, no. 2, pp. 197– 207, 2019.
- [9] Hidayat, Taufik. 2021. Studi Pengaruh Penggunaan Automatic Voltage Regulator Terhadap Sistem Eksitasi Generator Sinkron Di PLTMG SUMBAGUT 2 PEAKER. (Skripsi Mahasiswa Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro).
- [10] T. H. Syahrizal, "Teknik Elektro," Studi Pengaruh Arus Eksitasi untuk Mengatur Tegangan Keluaran Generator di PT. Indonesia Power UBP Kamojang Unit 2, pp. 1-12, 2016.
- [11] Nurdin,A.,Azis,A.,& Rozal R.A.(2018).Peranan Automatic Voltage Regulator SebagaiPengendali Tegangan Generator Sinkron. Jurnal Ampere,3(1),163
- [12] H. Herudin and W. D. Prasetyo, "Rancang Bangun Generator Sinkron 1 Fasa Magnet Permanen Kecepatan Rendah 750 RPM," Setrum Sist Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasikomputer, vol. 5, no. 1, p. 11, 2016, doi: 10.36055/setrum.v5i1.886.
- [13] S. Armansyah, "Pengaruh Penguatan Medan Generator Sinkron Terhadap Tegangan Terminal," J. Tek. Elektro UISU, vol. 1, no. 3, pp. 48–55, 2016
- [14] Mufrizon, E (2016).Pemeriksaan dan Pengujian Kelaikan Operasi Instalasi Pembangkit Tenaga Listrik(Vol.7)Pekanbaru: UniversitasLancang Kuning.
- [15] Atmam, A., Zondra, E., & Monice, M. (2020). Analisis Pengaruh Perubahan Tegangan Dan Frekuensi Sumber Terhadap Tegangan Keluaran Rectifier. Prosiding Seminar Pakar Ke 3 Tahun 2020, Buku 1: Sainas Dan Teknologi, 1–6. Pekanbaru.