

DAMPAK PEMBEBANAN KAPASITIF MURNI DAN RESISTIF KAPASITIF PADA PERUBAHAN VEKTOR GENERATOR SINKRON TIGA FASA

Arifin Wibisono¹⁾, Dionysius I. Widyasmara²⁾, dan Slamet Riyadi³⁾

^{1, 2)} Department of Electrical Engineering, Soegijapranata Catholic University

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

³⁾ Department of Electrical Engineering, Soegijapranata Catholic University

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

e-mail: Arifin@unika.ac.id¹⁾, dionisyusindrawidya@unika.ac.id²⁾, Riyadi@unika.ac.id³⁾

ABSTRACT

The development of electrical energy sources has been the primary focus in recent decades, driven by the increasing global demand for electricity. This phenomenon marks a global shift towards more sustainable and environmentally friendly energy sources. One key aspect of this development is related to various technologies in power generation, including synchronous generators. Synchronous generators play a crucial role in the electrical energy infrastructure due to their ability to produce power stably and efficiently, meeting the demand for reliable and high-quality electricity supply. In the context of the role of synchronous generators, it is important to understand how these generators react to variable capacitive loading. This capacitive loading can affect the overall efficiency and performance of the power generation system. In this situation, the influence of capacitive loading is particularly evident in the formation of reactive power. The reactive power generated can significantly affect the speed and frequency of synchronous generators. Furthermore, the effects of capacitive loading can also be felt in the voltage of the system. Voltage fluctuations may occur, often requiring compensation in the form of field current to maintain system stability. Therefore, a deep understanding of how synchronous generators respond to capacitive loading is crucial to ensuring optimal performance of the power generation system as a whole, as well as in formulating strategies to improve the efficiency and reliability of electrical energy in the future.

Keywords: Capacitive, Excitation System, Resistive, Synchronous Generator.

ABSTRAK

Perkembangan sumber energi listrik telah menjadi fokus utama dalam beberapa dekade terakhir seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik di seluruh dunia. Fenomena ini menandai pergeseran global menuju sumber energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu aspek utama dari perkembangan ini adalah terkait dengan berbagai teknologi dalam pembangkit listrik, di antaranya adalah generator sinkron. Generator sinkron memiliki peran penting dalam infrastruktur energi listrik karena kemampuannya untuk menghasilkan daya secara stabil dan efisien, memenuhi tuntutan masyarakat akan pasokan listrik yang andal dan berkualitas. Dalam konteks peran generator sinkron, penting untuk memahami bagaimana generator tersebut bereaksi terhadap beban kapasitif yang variatif. Beban kapasitif ini dapat memengaruhi efisiensi dan kinerja keseluruhan dari sistem pembangkit listrik. Dalam situasi ini, pengaruh dari beban kapasitif terutama terlihat dalam pembentukan daya reaktif. Daya reaktif yang dihasilkan dapat mempengaruhi putaran dan frekuensi generator sinkron secara signifikan. Selain itu, efek dari beban kapasitif juga dapat dirasakan pada tegangan dalam sistem. Fluktuasi tegangan dapat terjadi, yang sering kali memerlukan kompensasi dalam bentuk arus medan agar stabilitas sistem tetap terjaga. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang bagaimana generator sinkron dengan beban kapasitif menjadi sangat penting dalam memastikan kinerja yang optimal dari sistem pembangkit listrik secara keseluruhan, serta dalam merumuskan strategi untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan energi listrik di masa depan.

Kata Kunci: Generator Sinkron, Kapasitif, Resistif, Sistem Eksitasi

I. PENDAHULUAN

GENERATOR sinkron adalah yang sering juga disebut dengan alternator merupakan suatu alat listrik yang menghasilkan energi listrik arus bolak-balik (AC) dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui proses induksi medan magnet. Dalam konteks ini, operasi generator sinkron dalam sistem tenaga memiliki dampak yang sangat penting terhadap pengaruh dari beban generator sinkron [1]. Generator sinkron berupa perangkat listrik yang bertujuan untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik ini didapatkan dari gerakan rotasi rotor yang suplai oleh

penggerak utama, dan energi listrik dihasilkan melalui proses induksi elektromagnetik yang terjadi di dalam gulungan rotor dan stator [2]. Dalam menghasilkan tegangan induksi dalam generator sinkron, diperlukan aliran arus yang disebut eksitasi. Eksitasi ini berfungsi untuk mengatur kekuatan medan magnet pada kutub-kutub generator yang terletak pada rotor. Sistem eksitasi berperan dalam mengontrol keluaran seperti tegangan, arus, dan daya reaktif dari generator agar untuk menjaga stabilitas ketika sistem beban mengalami fluktuasi. Hal ini dicapai dengan mengatur parameter-parameter input sehingga mencapai titik keseimbangan baru yang diinginkan [3]. Generator induksi bertujuan untuk menghasilkan daya aktif ke jaringan distribusi. Namun

ketika terjadi pemadaman pasokan listrik dari jaringan listrik, generator akan berhenti menghasilkan daya. Hal ini disebabkan oleh absennya daya reaktif, yang mengakibatkan magnetisasi pada generator. Oleh karena itu, muncul gagasan untuk melakukan self-eksitasi, yang menjamin operasi generator induksi bahkan saat terjadi pemadaman listrik dari jaringan Listrik [4]. Pada Energi listrik yang dihasilkan dari generator sinkron akan terdistribusi ke rumah tangga maupun industri, elektronik yang digunakan sangat bermacam macam dengan memiliki beban yang berbeda beda. Beban listrik adalah sejumlah barang elektronik yang digunakan oleh penduduk. Beban listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yakni beban seimbang dan beban tidak seimbang.

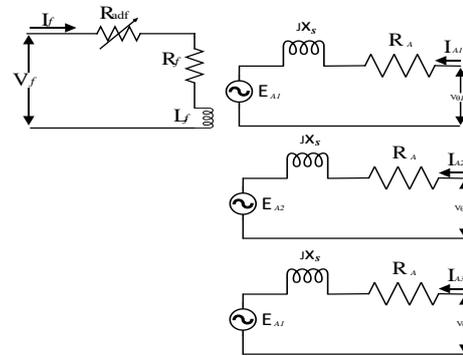
Beban seimbang memiliki daya total yang setara dengan tiga kali daya per fase, karena setiap fase memiliki daya yang sama. Sebaliknya, dalam sistem tidak seimbang, daya pada tiap fase memiliki nilai yang berbeda. Dalam rangkaian arus bolak-balik (AC), beban kapasitif dan induktif memiliki dampak pada rangkaian, sehingga komponen-komponen beban terdiri dari beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Beban resistif, kapasitif, dan induktif memiliki karakteristik yang berbeda. Beban kapasitif menyerap daya aktif dan menghasilkan daya reaktif, dan biasanya melibatkan komponen kapasitor sebagai komponen pasifnya [5]. Beban kapasitif. menyimpan muatan listrik sehingga munculnya ketidakstabilan yang terjadi pada generator sinkron akan dapat mempengaruhi arus beban yang dihasilkan. Maka dari itu perlunya kajian atau analisa untuk mengetahui bagaimana sebuah generator sinkron di beri beban kapasitif dan resistif kapasitif (RC) terhadap arus eksitasi maka akan memberikan dampak serta keluaran atau output dari generator sinkron tiga fasa. Beban yang digunakan pada penelitian ini menggunakan beban resistif kapasitif (RC) dihubung secara paralel dengan nilai resistif lebih besar dibandingkan dengan nilai kapasitif, dengan penelitian ini generator sinkron harus stabil di frekuensi 50Hz dengan tegangan 220 volt walaupun dibebani resistif, induktif, dan kapasitif harus bertahan di frekuensi 50Hz dan tegangan 220 volt

Berdasarkan latar belakang tersebut penelitian ini membahas pengaruh faktor daya pembebanan resistif kapasitif (RC) terhadap generator sinkron tiga fasa. Pembebanan resistif kapasitif dengan karakteristik "leading" merujuk pada bagaimana arus dan tegangan berinteraksi dalam rangkaian yang terdiri dari resistor (R) dan kapasitor (C) Beban kapasitif menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif [6]. Dalam konfigurasi paralel atau campuran. Dalam konteks ini, "Leading" mengacu pada fase tegangan yang unggul (berada di depan) terhadap fase arus dalam rangkaian. Untuk itu perlunya dilakukan penelitian serta pengujian terhadap pengaruh faktor daya pembebanan resistif kapasitif (RC), harapan penelitian ini diperoleh data yang dapat menggambarkan pengaruh

pembebanan terhadap generator sinkron tiga fasa dan menunjukkan vektor yang dibebankan secara balance dan pada generator yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang dimana sinyal dari generator itu sendiri tidak menunjukkan sinyal sinusoidal yang tidak sempurna, dikarenakan generator sinkron berada di titik jenuh sehingga menghasilkan sinyal tidak sempurna.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Generator Sinkron



Gambar. 1. Rangkaian Ekivalen Generator Sinkron

Generator sinkron, yang sering disebut juga sebagai alternator, merupakan sebuah perangkat listrik yang menghasilkan energi listrik berjenis bolak-balik (*alternating current/AC*) dengan cara mengubah energi mekanik menjadi energi listrik melalui proses induksi medan magnet. Energi mekanik ini diperoleh dari sumber daya penggerak utama, sementara energi listrik dihasilkan melalui induksi elektromagnetik yang terjadi di dalam gulungan rotor dan stator [7]. Prinsip kerja generator didasarkan pada hukum energi listrik dihasilkan melalui proses induksi elektromagnetik atau perubahan fluks. Seiring dengan pemberian energi mekanik ke generator, aliran listrik terjadi dalam penghantar sebagai akibat dari perubahan medan magnet di sekitar penghantar tersebut. Hukum Faraday menjelaskan bahwa ketika suatu penghantar listrik berada dalam medan magnet yang mengalami perubahan, itu akan menimbulkan gaya gerak listrik (GGL) dalam penghantar tersebut [8]. Pada penelitian yang dilakukan memiliki spesifikasi generator sinkron pada tabel 1 di bawah ini:

TABEL I
SPESIFIKASI GENERATOR SINKRON

Generator Sinkron			Motor DC		
Model	Value	Unit	Model	Value	Unit
Maximum Speed	1500	RPM	Maximum Speed	1500	RPM
Rated Current	10	A	Rated Current	12.5	A
Rated Voltage	220/380	V	Rated Voltage	220	V
Rated Power	5	kW	Rated Power	2.2	kW
Pole	4	Pole	Pole	4	Pole

Dalam generator, terdapat keterkaitan antara tegangan terminal VT dan daya reaktif Q. Ketika beban tambahan diterapkan pada generator sinkron, tegangan terminal akan mengalami penurunan. Sebaliknya, ketika beban utama ditambahkan pada generator sinkron, tegangan terminalnya akan meningkat[9]. Penggunaan istilah "generator sinkron" disebabkan oleh keselarasan atau kesejajaran antara kecepatan rotasi medan magnet dalam generator dengan kecepatan rotasi rotor generator. Rotor generator sinkron terdiri dari serangkaian elektromagnet yang diberi pasokan arus searah (DC) untuk membentuk medan magnet pada rotor. Kecepatan rotasi rotor generator secara langsung memengaruhi frekuensi listrik yang dihasilkan oleh generator tersebut [10]. Korelasi antara tingkat rotasi dengan frekuensi dapat dinyatakan dalam rumus berikut:

$$f = \frac{Nr \cdot p}{120} \quad (1)$$

Dimana:

F = Frekuensi (Hz)

Nr = Kecepatan Putar Rotor Sinkron (Rpm)

P = Jumlah Kutub Magnet Pada Rotor

B. Reaksi Jangkar

Ketika generator sinkron beroperasi tanpa beban, hanya fluks arus medan rotor yang mengalir melalui celah udara, sedangkan tidak ada arus yang mengalir melalui kumparan jangkar (stator). Namun, jika generator sinkron dikenai beban, arus jangkar Ia akan mengalir dan menciptakan fluks jangkar [11]. Fluks jangkar ini akan memengaruhi fluks arus medan, yang pada gilirannya mengubah nilai tegangan terminal generator sinkron. Ketika beban terhubung ke terminal generator, arus akan mengalir, menciptakan medan magnet pada kumparan stator. Persamaan GGL akibat fluks jangkar adalah sebagai berikut.

$$E_a = V + (jX_s \cdot I_a) \quad (2)$$

Dimana:

E_a = Ggl Induksi

V = Tegangan Terminal (V)

X_s = Reaktansi Sinkron

I_a = Arus Jangkar (A)

C. Reaksi Eksitasi

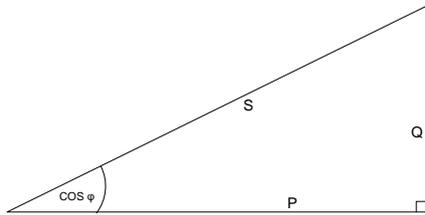
Sistem eksitasi adalah sebuah perangkat yang memiliki tanggung jawab untuk mengatur tegangan pada generator agar nilai kerjanya tetap konstan. Komponen eksitasi dalam generator memiliki peran kunci dalam membentuk profil tegangan terminal yang selalu stabil dan konsisten [12]. Sistem eksitasi adalah proses yang memperkuat medan magnet dengan mengalirkan arus searah (DC) ke belitan medan pada rotor generator sinkron. Secara umum, saat kumparan dialiri arus searah

(DC), itu akan menghasilkan medan magnet yang akan menghasilkan fluks magnet [13]. Fungsi utama sistem eksitasi adalah menjaga tegangan keluaran dan daya reaktif (MVAR) generator agar tetap pada nilai yang diinginkan. Jika ada peningkatan daya aktif (MW) pada sisi beban, ini dapat menyebabkan penurunan tegangan keluaran generator [14]. Penurunan tegangan terminal ini kemudian akan diatasi oleh Auto Voltage Generator (AVR) dimana tegangan terminal nantinya akan kembali ke dalam nilai nominalnya [11]. Eksitasi pada generator sinkron adalah proses yang memperkuat medan magnet dengan memberikan arus searah [10].

D. Daya Listrik Pada Generator

Daya, dalam konteks sistem tenaga listrik, mengacu pada konsep energi yang digunakan atau diserap per satuan waktu. Ini adalah ukuran dari seberapa banyak energi listrik yang diperlukan atau digunakan dalam melakukan kerja di dalam suatu sistem. Daya listrik diukur dalam satuan Watt (W) dalam Standar Internasional (SI), dan ini berfungsi sebagai besaran terukur yang sangat penting dalam menentukan produksi dan konsumsi energi listrik dalam suatu sistem tenaga listrik. Konsep daya dalam dunia listrik dapat dipecah menjadi tiga kategori utama dalam sistem tegangan bolak-balik (AC), yaitu daya aktif (juga dikenal sebagai daya nyata) dengan simbol (P) yang diukur dalam Watt (W). Selanjutnya, ada daya reaktif dengan simbol (Q) yang diukur dalam volt ampere reactive (VAR), dan yang terakhir adalah daya semu dengan simbol (S) yang diukur dalam volt ampere (VA) [15]. Daya aktif mewakili daya yang benar-benar digunakan untuk melakukan pekerjaan dalam sistem, sementara daya reaktif terlibat dalam menjaga aliran listrik dalam sistem dengan pembangkitan medan magnet dan elektromagnetik. Daya semu adalah jumlah total daya, menggabungkan daya aktif dan reaktif dalam bentuk besarnya.

Untuk lebih memahami hubungan antara ketiga jenis daya listrik ini, kita dapat menggambar sebuah segitiga daya. Segitiga daya adalah alat visual yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antara daya aktif, daya reaktif, dan daya semu dalam suatu generator [16]. Dengan memahami segitiga daya, kita dapat mengoptimalkan sistem tenaga listrik, mengukur efisiensi, dan menjaga kualitas aliran listrik yang stabil. Segitiga daya ini menjadi dasar untuk perencanaan dan efisien dalam mengelola sistem tenaga listrik adalah hal yang penting. Ilustrasi hubungan antara ketiga komponen daya listrik pada generator dapat diamati melalui representasi grafis yang disajikan dalam bentuk gambar segitiga daya di bawah ini.



Gambar. 2. Segitiga Daya

Berdasarkan Gambar. 2. diatas maka persamaan segitiga dayanya ialah:

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L - I_{L-L} \cdot \cos\phi \quad (3 \text{ Phasa}) \quad (3)$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_L - I_{L-L} \cdot \sin\phi \quad (3 \text{ Phasa}) \quad (4)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (5)$$

Dimana:

P = Daya Aktif (MW)

Q = Daya Reaktif (MVAR)

S = Daya Semu

V_{L-L} = Tegangan Line to line (V)

I_{L-L} = Arus Line to line (A)

E. Faktor Daya

Terkait dengan konsep faktor daya dalam dunia listrik, kita perlu memahami pada faktor daya adalah salah satu aspek yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Faktor daya merupakan sebuah perbandingan numerik yang mengukur hubungan antara daya nyata (P) dan daya semu (Q). dalam suatu sistem listrik. Pada dasarnya, faktor daya adalah parameter yang menunjukkan sejauh mana daya yang dihasilkan oleh suatu sumber listrik dapat dimanfaatkan secara efisien dalam sistem. Untuk memahami konsep ini lebih mendalam, mari kita lihat persamaan yang digunakan untuk menghitung faktor daya, yaitu P/Q [17]. Daya nyata (P) dalam konteks ini adalah daya aktif yang digunakan untuk melakukan pekerjaan di dalam sistem, seperti menggerakkan mesin atau menerangi lampu. Sedangkan daya semu (Q) adalah daya reaktif yang tidak digunakan untuk melakukan pekerjaan, tetapi diperlukan untuk menjaga aliran listrik dalam sistem. Pentingnya faktor daya terletak pada efisiensi penggunaan daya listrik. Ketika faktor daya rendah, artinya sebagian besar daya yang dihasilkan oleh sumber listrik menjadi pemborosan energi, dan ini dapat menyebabkan kerugian ekonomis dan teknis dalam sistem listrik. Oleh karena itu, dengan memahami dan memantau faktor daya, kita dapat mengidentifikasi masalah dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi dalam sistem tenaga listrik. Di bawah ini merupakan persamaan dari faktor daya.

$$\cos\phi = \frac{P}{S} \quad (6)$$

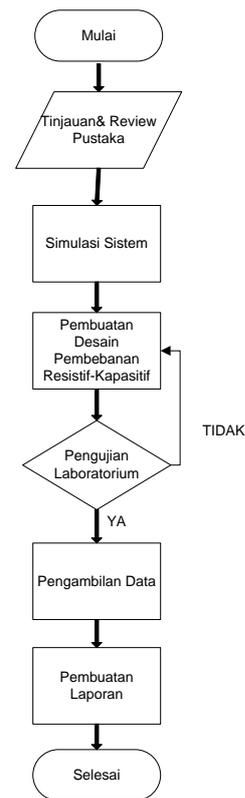
Dimana:

$\cos\phi$ = Faktor Daya

P = Daya Aktif (Watt)

S = Daya Semu (VA)

III. METODE PENELITIAN



Gambar. 3. Flowchart Alur Kerja

A. Tinjauan dan Review Pustaka

Proses pemeriksaan dan analisis sumber-sumber pustaka merupakan tahap yang sangat penting dalam rangkaian penelitian yang kompleks. Tahap ini melibatkan pencarian, penemuan, dan perolehan beragam sumber informasi yang relevan dan dapat mendukung studi yang sedang dilaksanakan. Kegiatan pengumpulan referensi tidak hanya terbatas pada literatur ilmiah, tetapi juga mencakup berbagai jenis sumber, termasuk buku, artikel jurnal, laporan riset, sumber online, dan sumber lainnya. Tahap awal dalam proses pengumpulan referensi adalah merumuskan pertanyaan penelitian atau tujuan penelitian yang jelas. Dengan pemahaman yang kuat tentang apa yang dicari, peneliti dapat lebih mudah mengidentifikasi sumber-sumber referensi yang relevan.

B. Simulasi Sistem

Simulasi sistem adalah pendekatan yang sangat berguna dalam dunia teknik dan ilmu pengetahuan yang memungkinkan kita untuk membuat model matematis yang merepresentasikan sistem nyata atau konsep abstrak. Dalam konteks ini, simulasi digunakan untuk mensimulasikan atau mensintesis perilaku dari sistem tersebut tanpa harus melakukan implementasi fisik yang sebenarnya. Hal ini memungkinkan para peneliti, insinyur, dan ilmuwan untuk menguji berbagai skenario, menganalisis dampak berbagai parameter, dan mengembangkan pemahaman mendalam tentang

bagaimana sistem tersebut akan berperilaku dalam berbagai kondisi, termasuk dalam situasi yang mungkin sulit atau berbahaya secara fisik. Dengan menggunakan perangkat lunak khusus, permodelan matematika, dan komputer, simulasi sistem dapat membantu dalam merancang, memperbaiki, dan mengoptimalkan sistem yang ada atau yang akan dibuat di masa depan. Ini adalah alat yang sangat berharga dalam berbagai bidang, termasuk teknik, ilmu pengetahuan, manajemen, dan banyak lagi.

C. Pembuatan Desain Pembebanan Kapasitif Murni Dan Resistif Kapasitif

Proses pembuatan desain pembebanan kapasitif murni dan resistif kapasitif memerlukan analisis yang mendalam dan perencanaan yang cermat. Penelitian ini harus mempertimbangkan berbagai faktor seperti karakteristik listrik, kestabilan sistem, dan efisiensi energi untuk memastikan bahwa desain ini dapat beroperasi secara optimal dalam berbagai situasi. Selain itu, penelitian ini juga melakukan serangkaian uji simulasi untuk memastikan bahwa desain ini akan berfungsi sesuai harapan ketika diimplementasikan dalam sistem energi yang sesungguhnya.

D. Pengujian Laboratorium

Uji coba dan evaluasi adalah dua tahapan yang tidak hanya penting tetapi juga integral dalam proses pengembangan, pengujian, dan sistem. Proses ini merupakan langkah kritis yang memungkinkan untuk mengukur kinerja, keefektifan, dan kualitas suatu produk atau proses, serta memungkinkan identifikasi masalah, perbaikan yang diperlukan, dan pengambilan keputusan yang lebih baik dalam rangka meningkatkan hasil akhir.

E. Pengambilan Data

Tujuan utama dari pengambilan data adalah agar mendapatkan data yang akan diolah menjadi data yang gampang di pahami, dan pemahaman yang lebih mendalam tentang karakteristik, perilaku, atau atribut yang ada dalam populasi yang lebih besar. Proses pengumpulan data sample melibatkan beberapa tahapan yang hati-hati dan metodis. Pertama, peneliti harus merancang rencana sampel yang baik, yang mencakup pemilihan kriteria pemilihan sampel, metode sampling yang akan digunakan (*seperti random sampling, stratified sampling, atau convenience sampling*), dan jumlah sampel yang dibutuhkan. Rencana sampel ini harus memastikan representativitas yang memadai sehingga data yang dikumpulkan dapat menggambarkan karakteristik dengan akurat.

F. Pembuatan Laporan

Penyusunan laporan merupakan tahapan akhir dari rangkaian proses yang melibatkan pengumpulan, analisis, dan penyajian hasil penelitian atau proyek yang telah dilakukan. Dalam tahap ini, semua informasi yang telah dikumpulkan dari berbagai sumber diorganisasi

secara sistematis dan terstruktur untuk menghasilkan dokumen yang komprehensif dan informatif yang dapat memberikan wawasan mendalam tentang temuan atau hasil dari penelitian atau proyek tersebut kepada audiens yang dituju.

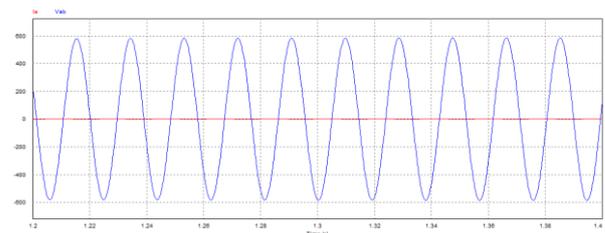
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini akan mengulas secara komprehensif mengenai dua jenis pembebanan, yakni pembebanan kapasitif murni dan pembebanan resistif kapasitif yang dihubungkan secara paralel dengan generator sinkron. Penelitian ini akan menyajikan hasil penelitian dan pembahasan yang sangat mendalam dalam bagian ini, yang akan membahas secara terperinci tentang faktor daya dalam konteks pembebanan pada generator sinkron. Penelitian ini akan menyajikan data dan analisis yang komprehensif tentang pengaruh faktor daya terhadap kinerja generator sinkron dalam situasi pembebanan. Dengan membahas perbedaan antara pembebanan kapasitif murni dan pembebanan resistif kapasitif, Penelitian ini akan memberikan wawasan yang mendalam tentang bagaimana faktor daya dapat memengaruhi efisiensi dan stabilitas generator sinkron

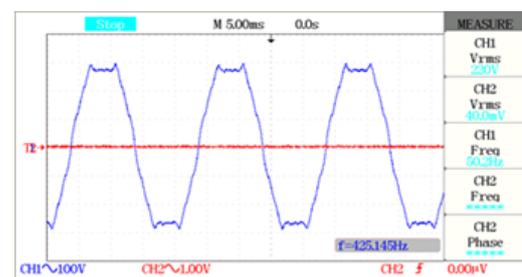


Gambar. 4. Implementasi Generator Sinkron

A. Generator Sinkron Tanpa Beban



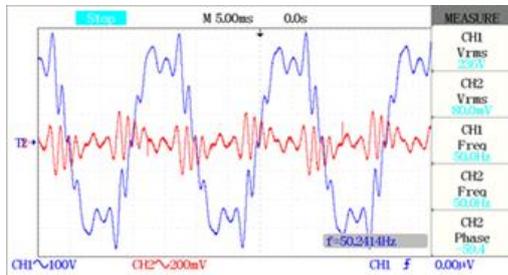
Gambar. 5. Simulasi Generator Sinkron Tanpa Beban



Gambar. 6. Generator Sinkron Tanpa Beban

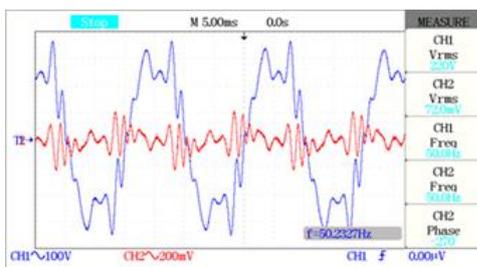
Hasil Simulasi dan alat yang ada pada laboratorium dengan percobaan tanpa beban dan hasil pada simulasi dan hasil yang ada pada laboratorium ini dengan tegangan 220 Volt dengan arus generator 0 Ampere dikarenakan tanpa beban. Dengan kecepatan pada generator yaitu dengan kecepatan 1500 rpm.

B. Generator Sinkron Dengan Nilai Kapasitor 30 uF



Gambar. 7. Generator Sinkron Dengan Beban Kapasitor 30uF

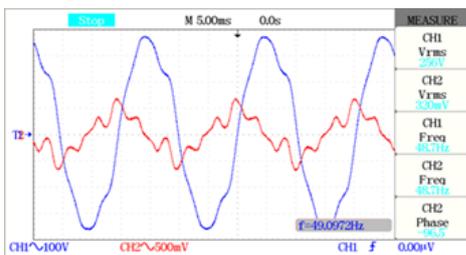
Pembebanan pada generator sinkron dengan menggunakan kapasitor murni dengan tegangan 236 volt kecepatan 1510 rpm, arus keluaran 0,6 ampere yang dimana pada pengujian ini menggunakan yaitu menggunakan kapasitor yang bernilai 30 uF dan pada pengujian selanjutnya dengan perbaikan yang dimana kecepatan tetap pada 1500 rpm dan dapat dilihat pada Gambar. 8.



Gambar. 8. Generator Sinkron Dengan Perbaikan Nilai Beban Kapasitor 30uF

Pengujian selanjutnya tetap menggunakan nilai kapasitor yang sama dengan pembebanan pada generator sinkron dengan menggunakan kapasitor murni dengan tegangan 220 volt kecepatan 1500 rpm, arus keluaran 0,58 ampere.

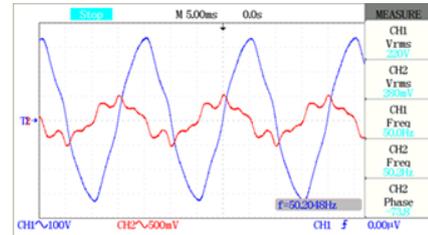
C. Generator Sinkron Dengan Nilai Kapasitor 60 uF



Gambar. 9. Generator Sinkron Dengan Beban Kapasitor 60uF

Pembebanan pada generator sinkron dengan menggunakan kapasitor murni dengan tegangan 256

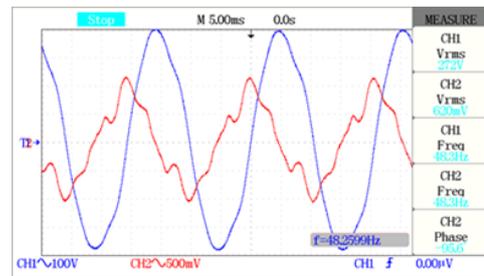
volt kecepatan 1472 rpm, arus keluaran 2,77 ampere, frekuensi percobaan ini 48,7 Hz yang dimana pada pengujian ini menggunakan yaitu menggunakan kapasitor yang bernilai 60 uF dan pada pengujian selanjutnya dengan perbaikan yang dimana kecepatan tetap pada 1500 rpm dan dengan frekuensi 50 Hz. Dapat dilihat pada Gambar. 10.



Gambar. 10. Generator Sinkron Dengan Dengan Perbaikan Nilai Beban Kapasitor 60uF

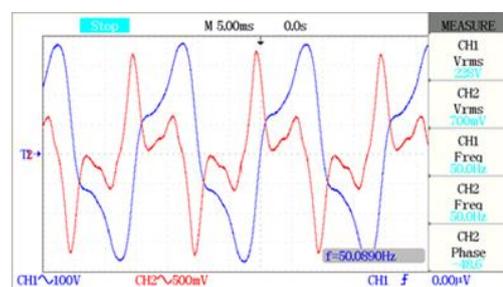
Pengujian selanjutnya tetap menggunakan nilai kapasitor yang sama dengan pembebanan pada generator sinkron dengan menggunakan kapasitor murni dengan tegangan 220 volt kecepatan 1500 rpm, arus keluaran 2,37 ampere dan pada percobaan tersebut dengan mendapatkan frekuensi 50 Hz.

D. Generator Sinkron Dengan Perbaikan Nilai Kapasitor 90 uF



Gambar. 11. Generator Sinkron Dengan Beban Kapasitor 90uF

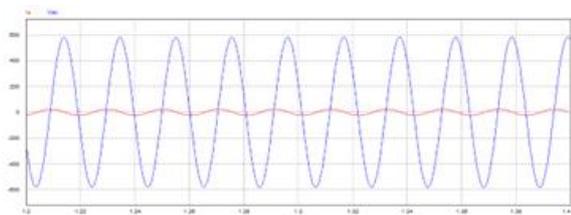
Pembebanan pada generator sinkron dengan menggunakan kapasitor murni dengan tegangan 272 volt kecepatan 1450 rpm, arus keluaran 5,4 ampere, frekuensi percobaan ini 48,3 Hz yang dimana pada pengujian ini menggunakan yaitu menggunakan kapasitor yang bernilai 90 uF dan pada pengujian selanjutnya dengan perbaikan yang dimana kecepatan tetap pada 1500 rpm dan dengan frekuensi 50 Hz dapat dilihat pada Gambar. 12.



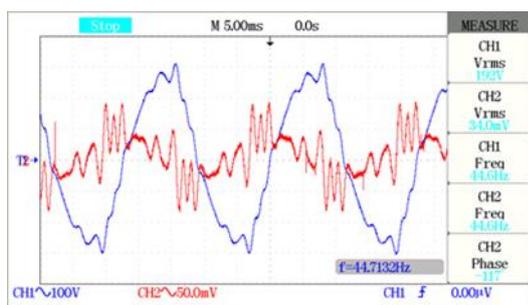
Gambar. 12. Generator Sinkron Dengan Beban Kapasitor 90uF

Pengujian selanjutnya tetap menggunakan nilai kapasitor yang sama dengan pembebanan pada generator sinkron dengan menggunakan kapasitor murni dengan tegangan 220 volt kecepatan 1500 rpm, arus keluaran 6,2 ampere dan pada percobaan tersebut dengan mendapatkan frekuensi 50 Hz.

E. Generator Sinkron Dengan Pembebanan Nilai Resistif Kapasitif 96,8 Ω & 30 uF

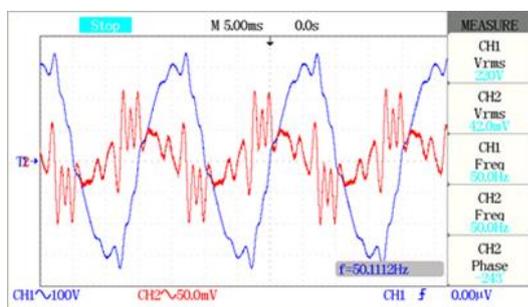


Gambar. 13. Generator Sinkron Dengan Beban Kapasitor 30 uF



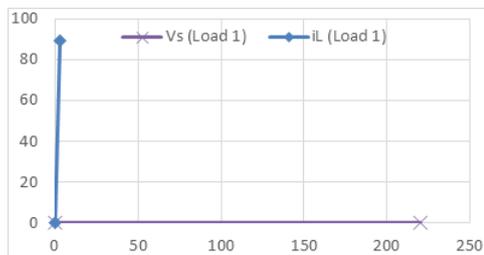
Gambar. 14. Generator Sinkron Dengan Beban Nilai Resistif Kapasitif 96,8 Ω & 30 uF

Gambar. 14. yang terlihat di atas pengujian tetap menggunakan nilai resistif-kapasitor 96,8Ω dan 30uF dengan pembebanan pada generator sinkron dengan menggunakan kapasitor murni dengan tegangan 192 volt kecepatan 1339 rpm, arus keluaran 0,2 ampere dan pada percobaan tersebut dengan mendapatkan frekuensi 44,6 Hz. Dapat dilihat pada perbaikan pada Gambar. 15.



Gambar. 15. Generator Sinkron Dengan Perbaikan Nilai Beban Resistif Kapasitif 96,8 Ω & 30 uF

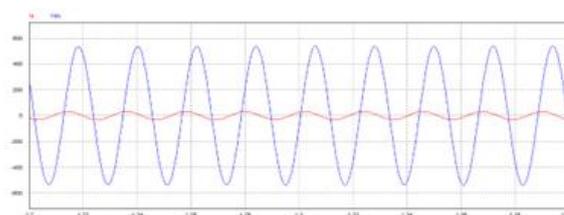
Pengujian selanjutnya yaitu perbaikan nilai resistif kapasitor yang sama dengan pembebanan pada generator sinkron dengan menggunakan resistif-kapasitor dengan tegangan 220 volt kecepatan 1500 rpm, arus keluaran 0,3 ampere dan pada percobaan tersebut dengan mendapatkan frekuensi 50 Hz. Dapat dilihat fasor resistif-kapasitor pada Gambar. 16.



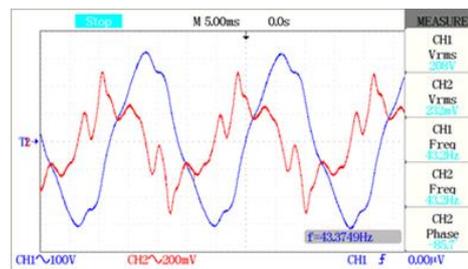
Gambar. 16. Vektor Generator Sinkron Dengan Beban Nilai Resistif Kapasitif 96,8 Ω & 30 uF

Pada Gambar. 16. dapat dilihat bahwa vektor dengan pembebanan resistif-kapasitif 89° dengan nilai fasor pada percobaan pada generator sinkron yang dibebankan dengan resistif-kapasitif dengan mendekati nilai fasor 90°.

F. Generator Sinkron Dengan Perbaikan Nilai Kapasitor 96,8 Ω & 60 uF

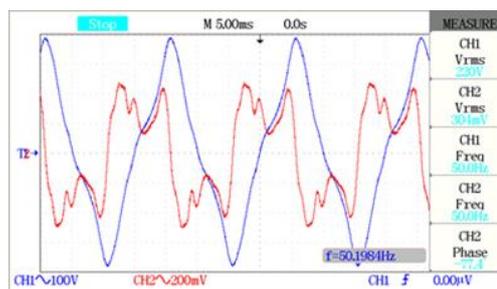


Gambar. 17. Simulasi Generator Sinkron Dengan Beban Resistif 96,8 ΩKapasitif 60 uF



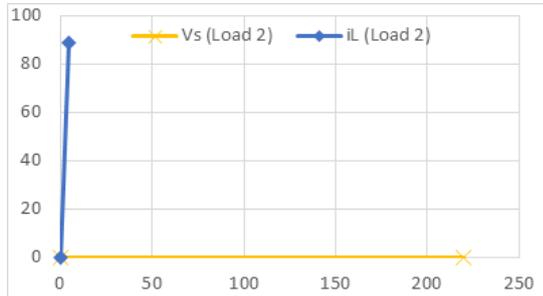
Gambar. 18. Generator Sinkron Dengan Beban Resistif 96,8 Ω Kapasitif 60 uF

Gambar. 18. yang terlihat di atas pengujian tetap menggunakan nilai resistif-kapasitor 96,8Ω dan 60 uF dengan pembebanan pada generator sinkron dengan menggunakan kapasitor murni dengan tegangan 208 volt kecepatan 1305 rpm, arus keluaran 2 ampere dan pada percobaan tersebut dengan mendapatkan frekuensi 43,2 Hz. Dapat dilihat pada perbaikan pada Gambar. 19.



Gambar. 19. Generator Sinkron Dengan Perbaikan Nilai Beban Resistif 96,8 Ω Kapasitif 60 uF

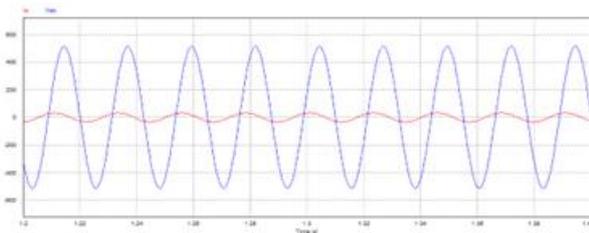
Pengujian selanjutnya yaitu perbaikan nilai resistif kapasitor yang sama dengan pembebanan pada generator sinkron dengan menggunakan resistif-kapasitor dengan tegangan 220 volt kecepatan 1500 rpm, arus keluaran 2,63 ampere dan pada percobaan tersebut dengan mendapatkan frekuensi 50 Hz. Dapat dilihat fasor resistif-kapasitor pada Gambar. 20.



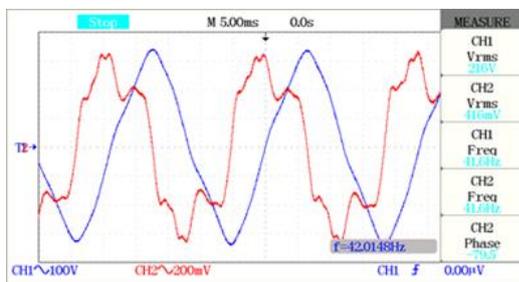
Gambar. 20. Vektor Generator Sinkron Dengan Beban Nilai Resistif Kapasitif 96,8 Ω & 60 μF

Pada Gambar. 20. dapat dilihat bahwa vektor dengan pembebanan resistif-kapasitif 88° dengan nilai fasor pada percobaan pada generator sinkron yang dibebankan dengan resistif-kapasitif dengan mendekati nilai fasor 90° .

G. Sinkron Dengan Perbaikan Nilai Kapasitor 96,8 Ω & 90 μF

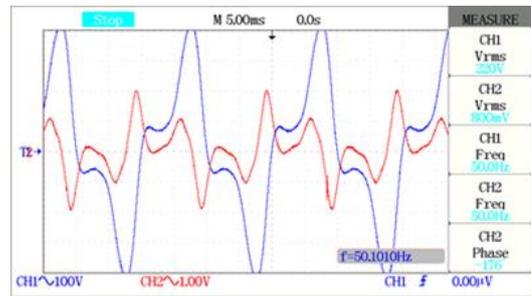


Gambar. 21. Simulasi Generator Sinkron Dengan Beban Resistif Resistif 96,8 Ω Kapasitif 90 μF



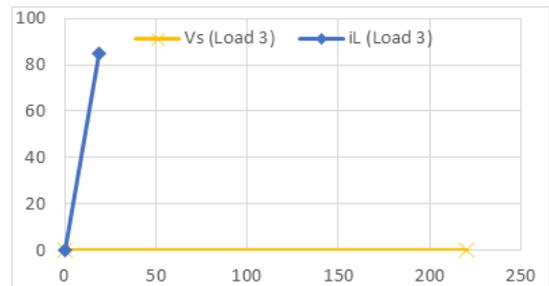
Gambar. 22. Generator Sinkron Dengan Nilai Beban Resistif 96,8 Ω Kapasitif 90 μF

Gambar. 22. yang terlihat di atas pengujian tetap menggunakan nilai resistif-kapasitor 96,8 Ω dan 90 μF dengan pembebanan pada generator sinkron dengan menggunakan kapasitor murni dengan tegangan 216 volt kecepatan 1260 rpm, arus keluaran 3,6 ampere dan pada percobaan tersebut dengan mendapatkan frekuensi 41,6 Hz. Dapat dilihat pada perbaikan pada Gambar. 23.



Gambar. 23. Generator Sinkron Dengan Perbaikan Nilai Beban Resistif 96,8 Ω Kapasitif 90 μF

Pengujian selanjutnya yaitu perbaikan nilai resistif kapasitor yang sama dengan pembebanan pada generator sinkron dengan menggunakan resistif-kapasitor dengan tegangan 220 volt kecepatan 1500 rpm, arus keluaran 7,4 ampere dan pada percobaan tersebut dengan mendapatkan frekuensi 50 Hz. Dapat dilihat fasor resistif-kapasitor pada Gambar. 24.



Gambar. 24. Vektor Generator Sinkron Dengan Beban Nilai Resistif Kapasitif 96,8 Ω & 90 μF

Pada Gambar. 24. dapat dilihat bahwa vektor dengan pembebanan resistif-kapasitif 85° dengan nilai fasor pada percobaan pada generator sinkron yang dibebankan dengan resistif-kapasitif dengan mendekati nilai fasor 90° .

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data simulasi dan pengujian di laboratorium, pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pada generator sinkron tiga fasa dengan pembebanan resistif-kapasitif, terdapat perbaikan yang signifikan dalam karakteristik gelombang tegangan keluaran. Beban resistif memiliki pengaruh penting terhadap pembentukan gelombang tegangan di terminal generator sinkron, sementara beban kapasitif cenderung menghasilkan perbedaan fase antara arus dan tegangan. Selain itu, pada penelitian ini juga mengamati bahwa beban resistif berpengaruh terhadap penurunan kecepatan generator, sehingga perlu dilakukan pengaturan arus jangkar pada *prime mover*. Pada saat penambahan beban resistif, tegangan pada beban kapasitif mengalami peningkatan dari 220 Volt menjadi 236 Volt dan 272 Volt. Setelah penambahan beban resistif-kapasitif, tegangan menjadi lebih bervariasi dari 196,7 Volt dan 220 Volt dan mencapai di frekuensi 50 Hz. Vektor yang dihasilkan pembebanan dengan hasil vektor 89° , 88° , dan 85° . Dari hasil itu memperlihatkan semakin jauh

dari hasil fasor yang seharusnya mendekati nilai fasor 90° .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. M. Toufighian, J. Faiz, dan A. Erfani-Nik, "Static Eccentricity Fault Detection in Salient and Non-Salient Synchronous Generators Using Harmonic Components," in *2021 12th Power Electronics, Drive Systems, and Technologies Conference, PEDSTC 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, Feb. 2021. doi:10.1109/PEDSTC52094.2021.9405971
- [2] Institute of Electrical and Electronics Engineers. Indonesia Section and Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019 International Conference on Information and Communications Technology. [Online]. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8938560>
- [3] Annisa, Winarso, dan W. Dwianto, "Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron." *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*. vol. 1, no.1, hal. 37-53, 2019.
- [4] W. E. Vanco, F. B. Silva, C. M. R. De Oliveira, J. R. B. A. Monteiro, dan J. M. M. De Oliveira, "A Proposal of Expansion and Implementation in Isolated Generation Systems Using Self-Excited Induction Generator with Synchronous Generator," *IEEE Access*, vol. 7, hal.117188–117195, 2019.
- [5] "58125-469-143600-1-10-20200307".
- [6] A. Dan Simulasi Pengaruh Pemasangan dan A. Uli Ulya, "Menggunakan Simulink pada Sistem Tenaga Listrik di PT. Bogowonto Primalaras," *Media ElektriKa*, vol. 12, no. 1, 2019, [Online]. Tersedia: <http://jurnal.unimus.ac.id>
- [7] D. Yaman, T. Hasanuddin, R. Tri Fahlevi, J. Teknik Elektro, dan P. Negeri Lhokseumawe, "Pengujian Daya Balik Pada Sinkronisasi Generator Dengan Sumber Daya Sangat Besar (Infinite Bus) Secara Otomatis Menggunakan Multifunction Relay Tipe GCP-30 di Laboratorium Sistem Proteksi," *DISTRIBUSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO*, 2022, [Online]. Tersedia: <https://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=3408124&val=29910&title=Pen-gujian%20Daya%20Balik%20pada%20Sinkronisasi%20Generator%20dengan%20Sumber%20Daya%20Sangat%20Besar%20Infinite%20Bus%20secara%20Otomatis%20Menggunakan%20Multifunction%20Relay%20Tipe%20GCP-30%20di%20Laboratorium%20Sistem%20Proteksi%20dan%20Distribusi%20Jurusan%20Teknik%20Elektro>
- [8] M. H. Basri, *ELEMEN : JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 7, no. 1, Jun. 2020, doi: 10.34128/je.v7i1.119. [Online]. Tersedia: <https://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1732131&val=14206&title=PERANCANGAN%20GENERATOR%203-PHASE%20PADA%20GRAVITATION%20WATER%20VORTEX%20POWER%20PLANT%20GWVPP>
- [9] M. Harahap, dkk., "Pengaruh Perubahan Variasi Eksitasi Tegangan Terhadap Daya Reaktif Pada Generator," *RELE*, vol. 3, no. 2, hal. 71-76, 2021, doi: 10.30596/rele.v3i2.6485.
- [10] A. R. Lubis, A. Sutopo, dan M. Affandi, "Analisis Harmonisa Pada Trainer Lab Generator Sinkron Tiga Fasa NV7017," *JTEIN*, vol. 4, no. 2, 2023, doi: 10.24036/jtein.v4i2.452.
- [11] K. C. Sindang, B. Mukhlis, dan Y. Arifin, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Sistem Eksitasi Generator Sinkron Sf 33.065 Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Poso 1 Energy," dalam *SNTEI*, 2022, hal. 393-397.
- [12] D. F. Nurjaman, "Analisis Pengaruh Sistem Eksitasi Terhadap Tegangan Keluaran Generator Sinkron Mini Hydro." *EPSILON*, vol. 19, no. 3, hal. 85-88, 2021. doi: 10.55893/epsilon.v19i3.71
- [13] A. Zuhakim, Y. S. Handayani, dan I. Priyadi, "Pengaruh Sistem Eksitasi Terhadap Generator Sinkron Tiga Fasa di Unit 1 PT. PLN Indonesia Power ULPL TA Musi," *Teknosia*, vol. 17, no. 1, hal. 1–12, Jul. 2023.
- [14] P. E. Pambudi, M. Suyanto, dan D. S. Yogaswara, "Pengaruh Tegangan Eksitasi Terhadap output Tegangan Generator Sinkron 3 Fasa 6,3kV", *Jurnal Teknologi*, vol. 15, no. 2, hal.152–158, 2021.
- [15] F. Sari, dan A. Darwanto, "Analisis Sistem Eksitasi Pada Generator Pararel Terhadap Daya Reaktif", *Jurnal Teknologi*, vol. 14, no. 1, hal.10–19, 2021.
- [16] Y. Esye, dan S. Lesmana, "Analisa Perbaikan Faktor Daya Sistem Kelistrikan" *JST*, vol. 11, no. 1, hal.103–113, 2021.
- [17] F. Baskoro, A. Nizar, and B. Suprianto, "Analisis Rugi Daya Menggunakan ETAP pada Jaringan Distribusi 20kV Penyulang Bagong", *JTE*, vol. 10, no. 1, hal. 195-201, 2020.