

ANALISA PENGARUH TEGANGAN HARMONIK TERHADAP REGULASI TEGANGAN EKSITASI GENERATOR SATU FASA

Azhar¹

¹Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Email: azhar@pnl.ac.id¹

Abstrak – Esensinya setiap generator listrik satu fasa maupun tiga fasa telah dilengkapi dengan sistem eksitasi. Sistem eksitasi generator ada tiga, yaitu sistem eksitasi statis, dinamis, dan tanpa sikat arang (*brushless excitation*). Umumnya sistem eksitasi digunakan untuk mengatur suplai arus searah pada kumparan medan yang terdapat pada rotor generator agar tegangan keluaran generator tetap stabil. Sistem eksitasi harmonik merupakan suatu sistem eksitasi tegangan medan rotor generator yang diperoleh dari suplai tegangan kumparan harmonik pada stator. Tegangan keluaran dari kumparan harmonik merupakan sumber arus bolak balik atau tegangan harmonik yang akan diteruskan ke regulator tegangan arus searah untuk diatur agar tegangan tetap stabil dan menjadi sumber tegangan eksitasi medan rotor generator. Regulator tegangan eksitasi medan rotor generator ini bekerja berdasarkan perubahan nilai beban. Jika tegangan keluaran generator turun akibat kenaikan beban maka regulator tegangan akan meningkatkan tegangan eksitasi medan rotor generator dan jika tegangan keluaran generator naik akibat penurunan beban maka regulator pengatur tegangan akan menurunkan tegangan eksitasi medan rotor generator. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu besaran tegangan yang telah dilakukan oleh regulator tegangan arus searah untuk diteruskan pada kumparan medan guna membangkitkan medan magnet rotor sehingga menghasilkan tegangan keluaran generator tetap stabil. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode perbandingan tegangan keluaran kumparan harmonik arus bolak balik dan tegangan regulasi arus searah sebagai tegangan eksitasi medan rotor generator satu fasa. Generator arus bolak balik satu fasa 3 kVA diputar pada putaran nominal 1500 rpm dan dibebani pada kapasitas beban 0% (0 kW), 50% (1,82 kW) dan 80% (2,91 kW). Tegangan keluaran kumparan harmonik 60,8 - 70,9 VAC disearahkan dan diregulasi oleh regulator tegangan eksitasi menjadi 48,9 - 49,9 VDC. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan pada regulator tegangan eksitasi untuk beban 0 kW rata-rata tegangan eksitasi adalah 45,99 VDC, beban 1,82 kW rata-rata tegangan eksitasi 49,29 VDC dan tegangan eksitasi beban 2,91 kW yaitu 49,98 VDC. Dari hasil analisa perbandingan tegangan keluaran kumparan harmonik dengan tegangan eksitasi pada beban 0%, 50% dan 80% menunjukkan bahwa komponen daya, perubahan beban dari keadaan tanpa beban 0% sampai 80%, tegangan keluaran generator masih tetap stabil direntang tegangan 219,2 - 220,2 Volt. Sedangkan faktor daya berubah 0,1 yaitu dari 0,89 turun menjadi 0,87. Untuk frekuensi listrik masih tetap pada 49,99 - 50 Hz.

Kata-kata kunci: *Sistem eksitasi harmonik generator satu fasa, tegangan eksitasi, regulator tegangan eksitasi*

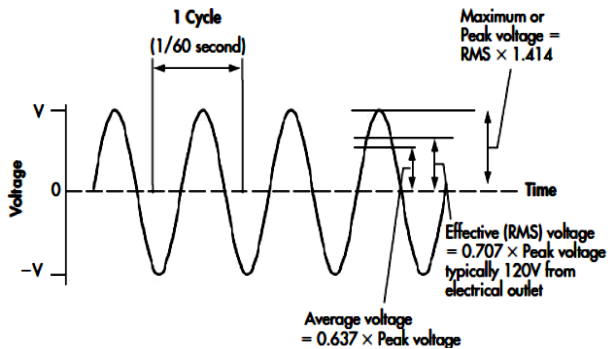
Abstract – The essence of each single-phase or three-phase electric generator has been equipped with an excitation system. The generator excitation system has three excitation systems, static, dynamic and brushless excitation systems. Generally, the excitation system is used to regulate the supply of direct current to the field coil the generator rotor so that the generator output voltage remains stable. Harmonic excitation system is a generator rotor field voltage excitation system which is obtained from the supply of harmonic coil voltage on the stator. The output voltage from the harmonic coil is a source of alternating current or harmonic voltage which will be forwarded to the direct current voltage regulator to be regulated so that the voltage remains stable and becomes a source of excitation voltage for the generator rotor field. The purpose of this study is to obtain a voltage magnitude that has been carried out by the direct current voltage regulator to be forwarded to the field coil in order to generate the rotor magnetic field so that the generator output voltage remains stable. In this study, the method used is the method of comparing the output voltage of the alternating current harmonic coil and the direct current regulation voltage as the field excitation voltage of a single phase generator rotor. The 3 kVA single phase alternating current generator is rotated at a nominal speed of 1500 rpm and is loaded at a load capacity of 0% (0 kW), 50% (1.82 kW) and 80% (2.91 kW). The harmonic coil output voltage of 60.8 - 70.9 VAC is rectified and regulated by the excitation voltage regulator to be 48.9 - 49.9 VDC. Based on the results of measurements made on the excitation voltage regulator for a load of 0 kW the average excitation voltage is 45.99 VDC, the load is 1.82 kW the average excitation voltage is 49.29 VDC and the load excitation voltage is 2.91 kW, which is 49.98 VDC. From the results of the analysis of the comparison of the harmonic coil output voltage with the excitation voltage at 0%, 50% and 80% loads, it shows that the power component, changes in load from a no-load state of 0% to 80%, the generator output voltage is still stable in the voltage range of 219.2 - 220.2 Volts.

Keywords: *the generator excitation system. harmonic excitation system, excitation voltage regulator*

I. PENDAHULUAN

Pada pembangkit listrik, perubahan beban dapat mengakibatkan berubahnya tegangan keluaran generator. Stabilitas tegangan keluaran generator dapat dipertahankan jika penggerak mula memiliki kemampuan mengimbangi putaran nominal generator.

Turunnya tegangan generator menjadikan unjuk kerja beban tidak maksimal. Tegangan yang dibangkitkan oleh generator berbentuk gelombang sinusoidal dengan frekuensi 50/60 Hz. Frekuensi ini disebut frekuensi fundamental[1]. Pada Gambar 1 menunjukkan bentuk gelombang sinusoidal.



Gbr. 1 Bentuk Gelombang Sinusoidal

Variasi bentuk gelombang tegangan atau frekuensi disebut deviasi daya. Dengan demikian tidak semua deviasi daya dapat menjadi gangguan yang dapat menyebabkan bermasalah pada operasional peralatan listrik. Oleh karena itu kualitas tegangan listrik merupakan hal yang sangat esensial dan ketidakseimbangan beban antar fasa, merupakan salah satu faktor penyebab turunnya kualitas tegangan listrik[2].

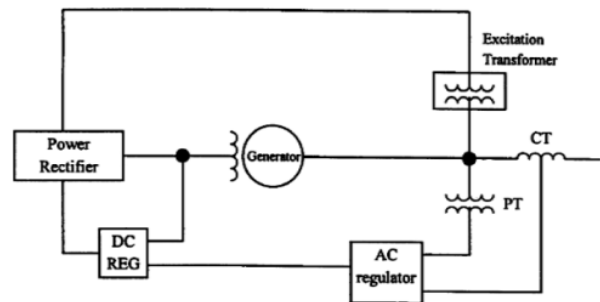
Fungsi sistem eksitasi generator memiliki kontribusi yang signifikan terhadap stabilitas operasi sistem tenaga listrik. Dalam hal ini terdapat tiga langkah utama, yaitu: i) menjaga tegangan generator pada nilai yang ditetapkan atau nilai referensinya. ii) mengendalikan daya reaktif yang wajar dari unit operasi paralel, dan iii) meningkatkan stabilitas daya sistem[3].

Setiap generator arus bolak balik satu fasa maupun tiga fasa, telah dilengkapi dengan sistem eksitasi tegangan medan rotor generator. Sistem eksitasi memegang peranan penting dalam mengendalikan kestabilan tegangan keluaran generator. Apabila terjadi fluktuasi beban maka sistem eksitasi sebagai pengendali akan berfungsi mengendalikan tegangan keluaran generator. Pada dasarnya ada empat jenis sistem eksitasi yaitu[4]:

1. Sistem Eksitasi Statik

Sistem eksitasi statik adalah sistem eksitasi generator yang sumber tegangan eksitasi disuplai dari sumber tegangan keluaran generator dan disearahkan menjadi sumber tegangan eksitasi medan rotor generator. Prinsip dasar sistem eksitasi statik bahwa suplai daya listrik

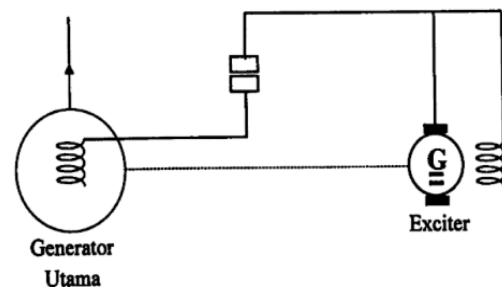
untuk eksitasi, mengambil dari tegangan keluaran generator melalui transformator, kemudian disearahkan dengan menggunakan penyearah dan tegangan arus searah disebut sebagai tegangan eksitasi dan disuplai ke kumparan medan rotor generator untuk menghasilkan medan magnet rotor yang kuat, sehingga induksi elektromagnetik pada kumparan stator mampu menghasilkan tegangan keluaran generator yang tetap. Untuk pengaturan besaran tegangan keluaran generator dapat diatur melalui DC regulator dan AC regulator, sehingga besarnya arus eksitasi sesuai dengan kebutuhan[5]. Pada Gambar 2 menunjukkan blok diagram sistem eksitasi statik.



Gbr. 2 Sistem Eksitasi Statik

2. Sistem Eksitasi Dinamik

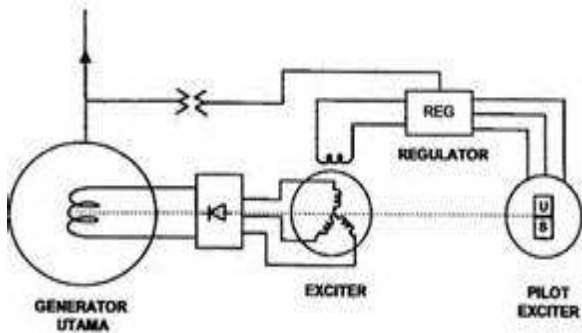
Sistem eksitasi dinamik adalah sistem eksitasi yang sumber suplai arus eksitasi diambil dari generator arus searah yang terpasang pada rotor generator. Prinsip sistem eksitasi dengan menggunakan eksiter generator arus searah digunakan untuk mensuplai arus eksitasi generator utama melalui sikat arang dan slip ring. Pada Gambar 3 menunjukkan sistem eksitasi dinamik.



Gbr. 3 Sistem Eksitasi Dinamik

3. Sistem Eksitasi Tanpa Sikat.

Pengembangan sistem eksitasi dinamik yaitu sistem eksitasi tanpa sikat atau disebut *brushless excitation*. Prinsip dasar sistem eksitasi tanpa sikat yaitu sumber tegangan arus searah yang disuplai ke kumparan medan rotor generator menggunakan eksiter yang ditempatkan pada rotor generator. Perbedaan mendasar dengan sistem eksitasi dinamik adalah pada suplai arus eksitasi dengan menggunakan sikat arang. Pada Gambar 4 memperlihatkan sistem eksitasi tanpa sikat.



Gbr. 4 Sistem Eksitasi tanpa Sikat

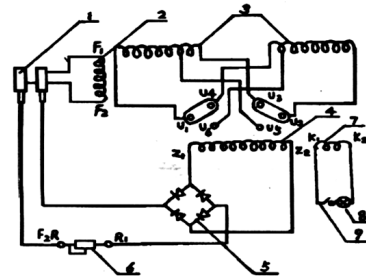
Pada sistem eksitasi generator, arus eksitasi sama dengan arus generator yang disuplai ke beban. Jika beban memiliki resistansi tinggi, hanya akan menarik sejumlah arus kecil maka arus eksitasi juga kecil. Oleh karena itu, medan magnet belitan rotor generator melemah, sehingga tegangan generator yang dihasilkan rendah. Jika beban generator menarik arus yang besar, arus eksitasi generator menjadi tinggi, maka medan magnet belitan rotor generator menjadi kuat dan tegangan generator yang dihasilkan tinggi[6].

4. Sistem Eksitasi Harmonik

Sistem eksitasi harmonik pada generator satu fasa 3 kVA 1500 rpm merupakan suatu sistem eksitasi yang sumber tegangan eksitasi diperoleh dari kumparan harmonik pada stator. Disebut kumparan harmonik oleh karena kumparan ini menghasilkan sumber tegangan harmonik yang tidak dipengaruhi oleh perubahan beban. Kumparan harmonik ini ditempatkan pada satu kesatuan dengan kumparan stator dan secara elektrik tidak memiliki hubungan atau tersambung dengan kumparan stator.

Prinsip kerja sistem eksitasi harmonik yaitu kumparan harmonik membangkitkan sumber arus bolak balik tegangan 60,8–70,9 VAC. Sumber arus bolak balik ini disearahkan menggunakan rangkaian penyearah gelombang penuh menjadi sumber arus searah 55 VDC. Tegangan 55 VDC merupakan tegangan eksitasi kumparan medan rotor generator agar fluks magnetik medan stator dapat dipertahankan pada tegangan keluaran generator 220 VAC. Pada Gambar 5 menunjukkan rangkaian kumparan harmonik generator satu fasa 3 kVA 1500 rpm yang terdiri dari (1) slip ring dan sikat arang, (2) kumparan medan rotor generator, (3) kumparan stator generator, (4) kumparan harmonik, (5) rangkaian penyearah gelombang penuh, (6) fuse, (7) kumparan sumber tegangan pilot lamp, (8) pilot lamp dan (9) fuse pilot lamp.

Menurut [7], Sistem eksitasi harmonik dipergunakan untuk sumber daya eksitasi belitan medan rotor generator yang menggunakan belitan stator generator. Sistem eksitasi ini terdiri dari pengatur tegangan otomatis, eksiter tanpa sikat yang disuplai dari sumber arus searah magnet permanen dan sumber tegangan untuk suplai daya eksitasi[8].



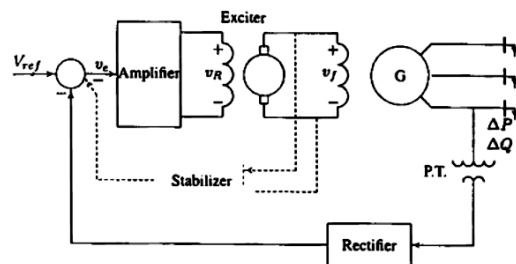
Gbr. 5 Rangkaian Eksitasi Tegangan Medan Generator

Fungsi dasar dari sistem eksitasi adalah untuk memberikan arus searah ke kumparan medan mesin sinkron. Sistem eksitasi juga melakukan fungsi kontrol dan perlindungan kinerja sistem tenaga yang diperuntukkan dalam mengendalikan tegangan medan dan arus medan. Fungsi kontrol termasuk: kontrol atas tegangan dan aliran daya reaktif dan peningkatan stabilitas sistem[9].

Suatu eksiter elektronik pada dasarnya terdiri dari penyearah, regulator arus bolak balik dan kontrol tegangan otomatis. Elemen-elemen ini bekerja dalam rangka memenuhi tegangan eksitasi medan rotor generator[10]. Menurut [11], Sistem eksitasi dari generator sinkron tergantung pada unjuk kerja dari desain sistem eksitasi yang meliputi kumparan medan rotor, penyearah dan regulator tegangan[12].

Dalam pembangkitan tenaga listrik, kestabilan tegangan merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan karena dapat mempengaruhi sistem tegangan. Ketidakstabilan tegangan akan menyebabkan ketidakstabilan sistem tenaga secara keseluruhan, terutama kualitas dan kemampuan pengiriman daya dari pembangkit ke pusat-pusat beban. Kestabilan tegangan generator, secara praktis ditentukan oleh kestabilan sistem regulasi tegangan yang dilakukan oleh sistem eksitasi yang terdapat dalam generator.

Regulator tegangan merupakan suatu peralatan yang berfungsi mengatur tegangan eksitasi medan rotor generator agar tetap stabil. Prinsip kerja regulator tegangan yaitu sumber tegangan terminal generator disearahkan oleh penyearah untuk menjadi sumber tegangan searah dan diatur pada tegangan tetap yang kemudian disuplai ke kumparan medan rotor generator. Parameter-parameter penting pada suatu regulator tegangan generator adalah *Gain amplifier*, *Gain Eksiter*, *Gain Generator*, dan *Gain Stabilizer*[8]. Pada Gambar 6 memperlihatkan blok diagram regulator tegangan generator.



Gbr. 6 Regulator Tegangan Generator

Perubahan beban pada generator sinkron sangat mempengaruhi sistem eksitasi generator. Jika terjadi kenaikan beban maka tegangan keluaran generator akan turun sehingga diperlukan arus eksitasi yang besar untuk dapat meningkatkan fluks magnetik kumparan medan rotor untuk meningkatkan kembali tegangan keluaran generator. Sebaliknya jika perubahan beban tiba-tiba turun maka tegangan keluaran generator menjadi lebih besar, sehingga arus eksitasi kumparan medan rotor perlu segera diturunkan agar tegangan keluaran generator kembali normal. Perubahan kenaikan dan turunnya beban yang tiba-tiba dapat menyebabkan *under excitation* dan *over excitation*[13].

Sistem eksitasi generator merupakan suatu sistem penguatan arus eksitasi yang terdapat pada generator sinkron. Tegangan keluaran generator muncul akibat adanya suplai arus searah pada kumparan medan rotor generator. Medan magnet ini akan mempengaruhi besar kecilnya fluks yang dibangkitkan oleh medan magnet rotor generator. Perubahan fluks magnet ini menyebabkan berubahnya tegangan keluaran generator.

Menurut [14], elemen-elemen utama sistem eksitasi generator yaitu sistem tenaga, regulator tegangan, stabilisator tegangan eksitasi, sensing tegangan, kompensator beban, pembatas tegangan eksitasi kurang dan lebih, pembatas tegangan dan frekuensi. Regulator tegangan arus bolak balik digunakan untuk menjaga tegangan stator generator guna membantu untuk mengendalikan tegangan eksitasi generator. Regulator tegangan arus searah digunakan untuk memastikan tegangan eksitasi generator tetap konstan.

Dalam penelitian ini generator satu fasa 3 kVA digerakkan dengan menggunakan motor bakar dan diputar pada putaran nominal 1500 rpm. Sistem eksitasi yang digunakan adalah sistem eksitasi harmonik, dimana tegangan eksitasi diperoleh dari hasil pembangkitan tegangan pada kumparan harmonik yang kemudian disearahkan melalui suatu rangkaian penyearah gelombang penuh dan diatur dengan menggunakan regulator arus searah untuk diteruskan ke kumparan medan rotor generator sebagai tegangan eksitasi generator. Pada Gambar 7 memperlihatkan bentuk fisik generator satu fasa 3 kVA 1500 rpm.



Gbr. 7 Bentuk Fisik Generator Satu Fasa 3 kVA 1500 rpm

II. METODE PENELITIAN

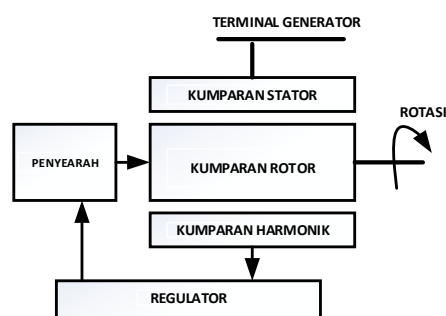
Pada penelitian ini generator satu fasa 3 kVA 1500 rpm diuji pada kapasitas beban 0 kW, 1,82 kW dan 2,91 kW. Masing-masing kapasitas beban tersebut setara 0%, 50% dan 80% dari kapasitas beban terpasang, yaitu 3,61 kW

faktor daya 1. Regulator tegangan eksitasi berfungsi untuk meregulasi tegangan eksitasi pada setiap perubahan beban dari 0%, 50% dan 80%.

Penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk menganalisa sejauh mana pengaruh tegangan harmonik terhadap tegangan eksitasi medan rotor generator satu fasa. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan besaran tegangan eksitasi medan rotor untuk menghasilkan tegangan keluaran generator pada rentang tegangan 219,2-220,2 Volt.

Konsep dasar regulasi tegangan eksitasi pada sistem eksitasi harmonik generator satu fasa ini merupakan bagian dari upaya memperbaiki tegangan keluaran generator berdasarkan perubahan beban. Beban-beban tersebut disambungkan pada terminal generator dan diatur pada kapasitas beban 0 kW (0%), 50% (1,82 kW) dan 80% (2,91 kW). Kapasitas terpasang generator adalah 3 kVA. Generator satu fasa tersebut diputar pada putaran sinkron 1500 rpm.

Tegangan harmonik diperoleh dari terminal kumparan harmonik. Kumparan harmonik ditempatkan pada kumparan stator dan menjadi satu kesatuan kumparan stator. Kumparan harmonik ini tidak disambungkan dengan kumparan stator generator melainkan berdiri sendiri. Besar tegangan harmonik yaitu 60,8-70,9 VAC. Tegangan harmonik tidak dapat berubah-ubah oleh karena tidak disambungkan ke beban. Pada Gambar 8 memperlihatkan blok diagram sistem eksitasi generator satu fasa 3 kVA 1500 rpm.



Gbr. 8 Blok Diagram Sistem Eksitasi Generator

Regulator tegangan arus searah terdiri dari rangkaian penyearah dan pengatur tegangan otomatis. Rangkaian penyearah gelombang penuh berfungsi melakukan perubahan tegangan dari tegangan bolak balik menjadi tegangan arus searah. Rangkaian pengatur tegangan berfungsi untuk melakukan regulasi tegangan eksitasi agar tetap stabil pada rentang tegangan 45-49 VDC. Pada Gambar 9 memperlihatkan modul regulator tegangan eksitasi medan rotor generator.



Gbr. 9 Modul Regulator Tegangan Eksitasi Medan Rotor Generator

A. Data Kapasitas Beban Terpasang

Komposisi beban terpasang pada generator satu fasa 3 kVA 1500 rpm, terdiri dari beban bersifat resistif, kapasitif, dan induktif. Beban-beban tersebut dikombinasi operasionalnya untuk mendapatkan hasil uji coba pembebanan, sehingga mendapatkan gambaran yang menyeluruh tentang karakteristik beban generator. Pada Tabel 1 menunjukkan rekapitulasi beban yang disambungkan dengan generator.

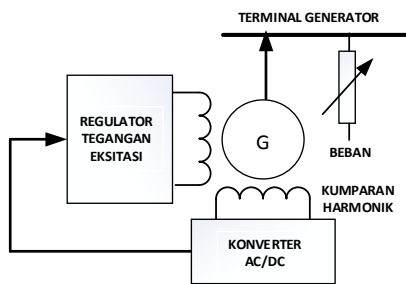
TABEL I
Rekapitulasi Beban Generator

No	Beban	Spesifikasi	Jumlah	Daya (Watt)
1	Lampu penerangan	SL 26 Watt	6 Buah	156
2	Lampu penerangan	SL 32 Watt	1 Buah	32
3	Lampu penerangan	SL 8 Watt	1 Buah	8
4	Lampu penerangan	LED 5 W	2 Buah	10
5	Lemari es	350 W	1 Unit	350
6	Mesin cuci	450 W	1 Unit	450
7	Mesin pompa air	250 Watt	1 Unit	250
8	Mesin pompa air	600 Watt	1 Unit	600
9	Seterika listrik	450 Watt	1 Unit	450
10	Televisi warna	175 Watt	1 Unit	175
11	Komputer	375 Watt	1 Unit	375
12	Penanak nasi	325 Watt	1 Unit	325
13	Pemanas air	450 Watt	1 Unit	450
Total kapasitas beban terpasang:				3631

Beban-beban tersebut disambungkan seperti pada Gambar 10. Pengukuran tegangan keluaran generator dilakukan dengan metode:

1. Pengukuran tanpa beban 0% dari kapasitas beban terpasang yaitu 0 kW.
2. Pengukuran beban 50% dari kapasitas beban terpasang yaitu 1,82 kW.
3. Pengukuran berbeban 80% dari kapasitas beban terpasang yaitu 2,91 kW.

Penentuan metode pengukuran 0%, 50%, dan 80% dilakukan berdasarkan metode kurva pembebanan generator.



Gbr. 10 Diagram Satu Garis Sistem Hubungan Generator dengan Beban

B. Pengukuran Tanpa Beban 0%

Pada pengukuran tanpa beban, 0% dari kapasitas beban terpasang yaitu 0 Watt, generator tidak disambungkan sama sekali ke beban dan generator diputar pada putaran

nominal 1500 rpm. Pada Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran tegangan harmonik, tegangan eksitasi dan tegangan keluaran generator tanpa beban.

TABEL II
Hasil Pengukuran Tanpa Beban

Hasil Pengukuran	Tegangan Harmonik (VAC)	Tegangan Eksitasi (VDC)	Tegangan Generator (VAC)
1	60,3	55,3	220,1
2	60,4	55,3	220,1
3	60,3	55,4	220,2
4	60,6	55,3	220,1
5	60,5	55,3	220,2
Rata-rata	60,42	55,32	220,14

C. Pengukuran Beban 50%

Komposisi beban yang bersifat resistif, kapasitif dan induktif, diatur pada kapasitas beban 50% yaitu sebesar 1,82 kW. Hasil pengukuran beban 80% tersebut, dilakukan pengukuran tegangan harmonik, tegangan eksitasi, dan tegangan keluaran generator. Pada Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran tegangan harmonik, tegangan eksitasi, dan tegangan keluaran generator berbeban 50%.

TABEL III
Hasil Pengukuran Beban 50%

Hasil Pengukuran	Tegangan Harmonik (VAC)	Tegangan Eksitasi (VDC)	Tegangan Generator (VAC)
1	60,2	49,8	220,2
2	60,2	49,8	220,2
3	60,1	49,7	220,1
4	60,2	49,8	220,2
5	60,3	49,9	220,3
Rata-rata	60,2	49,8	220,2

D. Pengukuran Beban 80%

Generator, berdasarkan standar prosedur operasional diizinkan dibebani pada kapasitas beban maksimum 80% dari kapasitas terpasang 3 kVA. Pada pengukuran beban 80% dari kapasitas beban terpasang yaitu 2,91 kW, menunjukkan bahwa generator masih mampu mengimbangi beban tersebut. Pada Tabel 4 menunjukkan hasil pengukuran tegangan harmonik, tegangan eksitasi dan tegangan keluaran generator berbeban 80%.

TABEL IV
Hasil Pengukuran Beban 80%

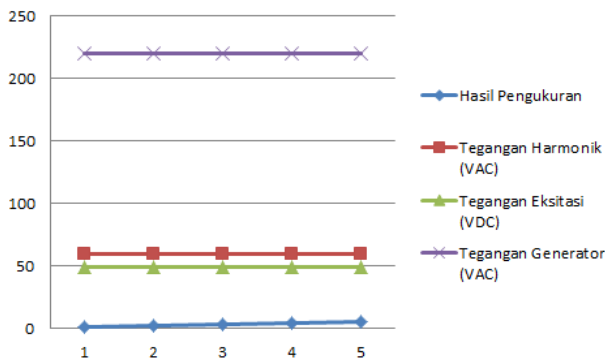
Hasil Pengukuran	Tegangan Harmonik (VAC)	Tegangan Eksitasi (VDC)	Tegangan Generator (VAC)
1	59,9	49,6	220,1
2	59,9	49,6	220,1
3	59,8	49,5	220,0
4	59,8	49,5	220,0
5	59,8	49,5	220,0
Rata-rata	59,2	49,54	220,4

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan pada terminal tegangan keluaran generator maka dapat dianalisa unjuk kerja sistem eksitasi medan rotor generator pada keadaan tanpa beban 0%, berbeban 50% dan berbeban 80%.

A. Analisis Kualitas Tegangan

Analisis kuantitas tegangan sangat diperlukan untuk diketahui, oleh karena erat hubungannya dengan unjuk kerja sistem eksitasi generator. Analisis ini dilakukan pada beban 80%. Pada Gambar 11 menunjukkan kurva kualitas tegangan generator berdasarkan tegangan eksitasi pada medan rotor generator. Berdasarkan kurva kualitas tegangan memperlihatkan bahwa regulasi tegangan eksitasi bekerja pada tegangan harmonik rata-rata 59,2 VAC menghasilkan tegangan eksitasi medan rotor generator rata-rata sebesar 49,54 VDC dan tegangan keluaran generator stabil pada rentang tegangan 220,0–220,4 VAC.



Gbr. 11 Kurva kualitas tegangan keluaran generator

B. Analisis Daya Listrik

Untuk mendapatkan beberapa besaran listrik, analisis segitiga daya diperlukan agar parameter daya semu, daya nyata, daya reaktif, dan faktor daya dapat diketahui dengan pasti. Dalam penelitian ini komponen-komponen daya listrik seperti daya semu, daya nyata, daya reaktif, dan faktor daya diukur dengan Power Analyzer pada beban 0%, 50% dan 80%. Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 5 menunjukkan bahwa pada beban 80% atau pada kapasitas beban 2,92 kWatt, daya nyata yang terukur adalah 2,89 kWatt. Sedangkan daya reaktif yang dihasilkan dapat dikendalikan pada nilai 2,31 kVAR. Kualitas faktor daya atau cos phi masih dapat dipertahankan pada batas-batas standar yaitu 0,88-0,89.

TABEL V
Hasil Pengukuran Komponen Daya Listrik

Beban (Watt)	Daya Semu (kVA)	Daya Nyata (Watt)	Daya Reaktif (VAR)	Faktor Daya (Cos phi)
0%	0	0	0	1,0
50%	2,03	1,81	927,8	0,89
80%	2,39	2,89	2,31	0,88

C. Analisis Unjuk Kerja Regulator Tegangan Eksitasi

Regulator tegangan berfungsi untuk mengatur perubahan tegangan eksitasi kumparan medan rotor generator. Kumparan medan rotor menghasilkan tegangan induksi elektromagnetik ke kumparan stator. Besar perubahan tegangan induksi elektromagnetik mengakibatkan berubahnya tegangan keluaran generator. Ketika terminal keluaran generator disambungkan ke beban, maka akan mengakibatkan tegangan keluaran generator berubah-ubah sesuai perubahan beban. Berdasarkan Tabel 4, hasil pengukuran perubahan tegangan harmonik terhadap tegangan eksitasi medan rotor generator pada beban 80% menunjukkan bahwa rata-rata tegangan harmonik 59,2 VAC akan menghasilkan tegangan eksitasi medan rotor generator sebesar 49,54 VDC dan tegangan output generator 220,4 VAC.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini dilakukan yaitu untuk mendapatkan suatu besaran tegangan eksitasi yang dilakukan oleh regulator tegangan eksitasi guna menghasilkan tegangan induksi elektromagnetik untuk kumparan medan stator generator pada beban 0-80% atau 0–2,89 kW. Tegangan eksitasi 49,54 VDC mampu mempertahankan tegangan keluaran generator yaitu 220,4 VAC. Kualitas tegangan tegangan harmonik rata-rata 59,2 VAC menghasilkan tegangan eksitasi medan rotor generator rata-rata sebesar 49,54 VDC dan tegangan keluaran generator stabil pada rentang tegangan 220–220,4 VAC. Kualitas daya listrik seperti daya semu, daya nyata, daya reaktif dan faktor daya diukur dengan Power Analyzer pada beban 0%, 50% dan 80%. adalah 2,89 kW. Sedangkan daya reaktif yang dihasilkan yaitu 2,31 kVAR. Kualitas faktor daya, cos phi masih dapat dipertahankan pada batas-batas standar yaitu 0,88–0,89.

REFERENSI

- [1] Azhar, A., Kamal, M., & Subhan, S. (2017). Penerapan Automatic Voltage Regulator pada Sistem Eksitasi Harmonik Generator Satu Fasa. *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro* (pp. 1-7). Banda Aceh: Unsyiah.
- [2] Noland, J. K., Nuzzo, S., Tessarolo, A., & Alves, E. F. (2019). Excitation System Technologies for Wound-Field Synchronous Machines: Survey of Solutions and Evolving Trends. *IEEE Access*, 7, 109699-109718.
- [3] Mustafayev, R. I., Hasanova, L. H., Aliyev, Q. M., & Musayev, M. M. (2014). The Excitation Control and Stability of Small Hydroelectric Power Stations Synchronous Generators when Operation in Power System. *Reliability: Theory & Applications*, 9(4 (35)).
- [4] Nurdin, A., Azis, A., & Rozal, R. A. (2018). Peranan Automatic Voltage Regulator Sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron. *Jurnal Ampere*, 3(1), 163-176.

- [5] Saini, T., Kumar, S., & Khanna, S. (2014). Excitation of D.C. Generator. *IJIRT*, 1(7), 191–194.
- [6] Attikas, R., & Tammoja, H. (2007). Excitation System Models of Generators of Balti and Eesti Power Plants. *Oil Shale*, 24(2), 285-295.
- [7] ABB. (2010). *Technical Note Excitation Type: Harmonic Excitation System Auxiliary Winding + PMI (Permanent Magnet Insertion)*. Diakses 2021, dari ABB: https://library.e.abb.com/public/bb68fe7fb844f74ac125784f00380261/Tech%20Note_Excitation%20Type%20-%20PMI%20EN.pdf.
- [8] Jonaitis, A. (2013). Impact of increased frequency excitation system on stability of synchronous generator. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 19(4), 29-32.
- [9] Vedrana, J., Kresimir, M., & Zeljko, S. (2016). Excitation system models of synchronous generator. *Faculty of Electrical Engineering Osijek, Croatia*.
- [10] Oboh, M. E., & Braimah, J. (2014). Single Phase Automatic Voltage Regulator Design for Synchronous Generator. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(12), 1020–1028.
- [11] Geng, H., Zhang, X., Zhang, Y., Hu, W., Lei, Y., Xu, X., Wang, A., Wang, S., & Shi, L. (2020). Development of brushless claw Pole electrical excitation and combined permanent magnet hybrid excitation generator for vehicles. *Energies*, 13(18), 4723.
- [12] Zaleskis, G., Rankis, I., & Prieditis, M. (2013). Self-Excitation System for Synchronous Generator. *The Scientific Journal of Riga Technical University-Electrical, Control and Communication Engineering*, 4(1), 32-37.
- [13] Tsegaye, S., & Fante, K. A. (2016). Analysis of Synchronous Machine Excitation Systems: Comparative Study. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Energy and Power Engineering*, 10(12), 1492-1496.
- [14] Azhar, A., Kamal, M., & Subhan, S. (2018). The Effect of Loading on The Generator Voltage on The Pico-Hydro Power Plant: Experimental Study. *Proceedings of the 1st Workshop on Multidisciplinary and Its Applications*. Aceh: EAI.