

Regulasi Tegangan dan Frekuensi GIPS Menggunakan ELC Topologi AC-AC Konverter 3 fasa

Derry Fiandri^{1*}, Krismadinata¹²

¹Teknik Elektro Industri, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik. Universitas Negeri Padang

²Centre for Energy and Power Electronics Research, Universitas Negeri Padang

Jl.Prof. Dr Hamka, Kampus UNP Air Tawar Padang 25131.Telp/Fax(0751)7055644,445998

*e-mail: 99derryfiandri@gmail.com, krisma@ft.unp.ac.id

(Diajukan: 03 Juni 2022, direvisi: 04 Juli 2022, disetujui: 18 Juli 2022)

Abstrak

Tegangan dan frekuensi yang dihasilkan oleh Generator Induksi Penguatan Sendiri (GIPS) dipengaruhi oleh fluktuasi beban. Penelitian ini bertujuan untuk melihat karakteristik keluaran GIPS yang dipengaruhi oleh berbagai kondisi beban kemudian mengatur tegangan dan frekuensi yang dihasilkan. Metode yang digunakan adalah simulasi karakteristik keluaran GIPS dengan beberapa tahapan pengujian serta melihat regulasi keluaran GIPS yang dikendalikan menggunakan *Electronic Load Controller* (ELC) topologi AC-AC konverter 3 fasa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keluaran GIPS yang dipengaruhi oleh berbagai kondisi beban dapat dikontrol dengan menggunakan ELC sehingga keluaran GIPS dapat dipertahankan pada regulasi yang diinginkan.

Kata Kunci: GIPS, tegangan, frekuensi, ELC.

Abstract

The voltage and frequency generated by Self-Excited Induction Generator (SEIG) are affected by load fluctuations. This study aims to see the characteristics of the GIPS output which are influenced by various load conditions and then adjust the resulting voltage and frequency. The method used is a simulation of GIPS output characteristics with several stages of testing and seeing the GIPS output regulation which is controlled using an Electronic Load Controller (ELC) topology 3-phase AC-AC converter. The results show that the GIPS output which is affected by various load conditions can be controlled by adjusting the voltage and frequency using ELC so that the GIPS output can be maintained in the desired setting range.

Keywords: SEIG, voltage, frequency, ELC.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi air mencapai 75.091 MW namun pemanfaatannya baru sekitar 7,2%. Dengan peluang yang sangat besar ini, pemerintah berupaya untuk membuat pemerataan akses energi listrik terutama pada daerah terluar, terdepan, dan terbelakang (3T). Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dapat dijadikan sebagai pembangkit listrik alternatif karena biaya murah dan memiliki kapasitas pembangkit hingga 100 kW [1][2]. Agar lebih efisien, PLTMH yang dibangun di kawasan 3T disarankan menggunakan mesin induksi sebagai generator dengan keunggulan biaya murah, tidak memerlukan perawatan khusus, dan tersedia berbagai kecepatan sehingga mudah untuk menentukan jenis penggerakannya. Untuk dapat beroperasi sebagai generator, mesin induksi membutuhkan sistem penguatan sendiri untuk meningkatkan fluksi pada rotor yang bisa didapatkan dengan memasang kapasitor pada terminal kumparan stator [3][4].

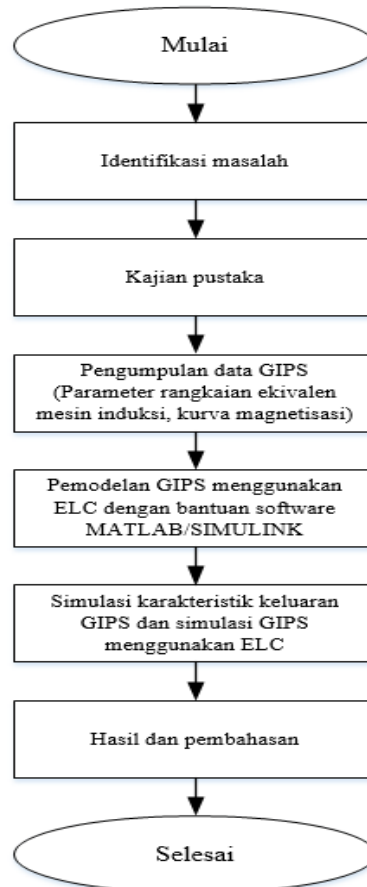
Generator Induksi Penguatan Sendiri (GIPS) memiliki kelemahan dimana tegangan dan frekuensi yang dihasilkan dipengaruhi oleh fluktuasi beban. Pada saat nilai beban sangat rendah maka akan terjadi *overspeed* pada generator sehingga keluaran yang dihasilkan melebihi batas toleransi dan dapat merusak peralatan listrik. Perlu diperhatikan bahwa pembangkit harus senantiasa mampu memenuhi kebutuhan beban serta menjaga tegangan dan frekuensi dalam batasan-batasan toleransi [5]. Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka GIPS membutuhkan sistem kontrol yang dapat menjaga keluaran GIPS diberbagai kondisi beban. Pada penelitian ini *Electronic Load Controller* (ELC) digunakan sebagai alat regulasi keluaran GIPS [6][7].

Penelitian [8] melakukan desain ELC sebagai penstabil frekuensi dengan metode deteksi frekuensi diberbagai kondisi beban utama. Sedangkan penelitian ini dirancang sebagai alat regulasi tegangan dan frekuensi dengan metode deteksi tegangan dan deteksi frekuensi diberbagai kondisi beban sehingga didapatkan keluaran GIPS pada regulasi yang diinginkan. Untuk mendapatkan keseimbangan antara daya aktif GIPS dengan daya beban konsumen yang bervariasi, maka ELC beroperasi dengan cara menambah atau mengurangi daya aktif GIPS yang disalurkan ke *dump load* setiap saat [9]. Untuk mengatur tegangan *input dump load* maka ELC dapat menggunakan sistem AC-AC konverter 3 fasa. Konverter ini memiliki saklar elektronik berupa *thyristor* yang dioperasikan dengan cara mengatur sudut penyalan agar menghasilkan tegangan AC dengan nilai bervariasi [10].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan karakteristik dasar dari perancangan GIPS menggunakan ELC topologi AC-AC konverter 3 fasa menggunakan simulasi *software* MATLAB/SIMULINK. Dengan kesimpulan bahwa ELC dapat dijadikan sebagai pengontrol keluaran GIPS serta dapat memperbaiki kinerja GIPS dalam memenuhi kebutuhan beban konsumen [11][12].

METODE

Pada penelitian ini menggunakan *software* MATLAB/SIMULINK untuk melakukan pemodelan GIPS serta melakukan simulasi untuk mendapatkan karakteristik keluaran GIPS. Beberapa tahapan penelitian yang dilakukan dapat dilihat diagram alir pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Dari Alur Penelitian yang Dilakukan

Pada gambar 1 dapat dilihat bahwa pemodelan GIPS dilakukan dengan cara mendapatkan data parameter rangkaian ekivalen mesin induksi sebagai konfigurasi generator induksi, kemudian data kurva magnetisasi digunakan sebagai konfigurasi nilai kapasitor eksitasi. Untuk mendapatkan karakteristik keluaran GIPS dilakukan simulasi dengan berbagai kondisi beban, kemudian dilakukan simulasi regulasi keluaran GIPS menggunakan ELC topologi AC-AC konverter 3 fasa.

Parameter Rangkaian Ekivalen Mesin Induksi

Parameter rangkaian ekivalen merupakan besaran mesin yang digunakan untuk melakukan pendekatan operasi dan perilaku mesin induksi. Untuk mendapatkan nilai dilakukan tahapan pengujian dengan spesifikasi mesin induksi sebagai acuan.

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Induksi Berdasarkan *Name Plate*

Nomor	Data <i>Name Plate</i>	Keterangan
1	TYPE Y100L1-4	Type pabrikan
2	2.2 kW	Daya
3	3 HP	Horse Power 3x745 Watt
4	50 Hz	Frekuensi
5	220/380 V	Tegangan
6	8.7/5.0 A	Arus
7	CONN Δ / Y	Type rangkaian Δ / Y
8	NO.B013	Nomor
9	34 kg	Berat

Bedasarkan spesifikasi mesin induksi yang akan digunakan, maka dilakukan beberapa tahapan pengujian dengan tujuan mendapatkan nilai parameter ekivalen mesin induksi sebagai acuan konfigurasi pada simulasi. Tahapan pengujian sebagai berikut:

1. Pengukuran Resistansi Stator

Dilakukan pengujian menggunakan sumber tegangan DC V_{DC} untuk mengalirkan arus I_{DC} pada kumparan stator. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai resistansi kumparan stator R_s yang dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$R_s = \frac{1}{2} \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \dots\dots\dots (1)$$

2. Pengujian Beban Nol

Pengujian dilakukan dengan cara mengoperasikan mesin induksi sebagai motor pada kondisi tegangan dan frekuensi nominal berdasarkan spesifikasi mesin. Setelah dilakukan pengujian ini maka akan didapatkan nilai pengukuran tegangan V_0 , arus I_0 parameter $X_s + X_m$ yang dapat dihitung menggunakan persamaan (2).

$$X_s + X_m = \sqrt{\left| \frac{V_0}{I_0} \right|^2 - R_s^2} \dots\dots\dots (2)$$

3. Pengujian Rotor Ditahan

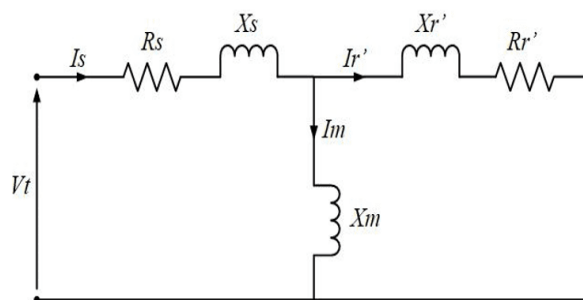
Pada pengujian ini mesin induksi dioperasikan sebagai motor pada keadaan rotor ditahan. Pada kondisi ini tegangan yang diukur V_{br} adalah ketika arus stator I_{br} tidak melebihi arus nominal. Sasaran yang ingin dicapai pada pengujian ini adalah untuk mendapatkan nilai X_s , X_m , X_r' , dan R_r' melalui persamaan (3), (4), dan (5).

$$R_r' = \frac{P_{br}}{3I_{br}^2} - R_s \dots\dots\dots (3)$$

$$X_s = X_r' = \frac{1}{2} \sqrt{\left| \frac{V_{br}}{I_{br}} \right|^2 - (R_s + R_r')^2} \dots\dots\dots (4)$$

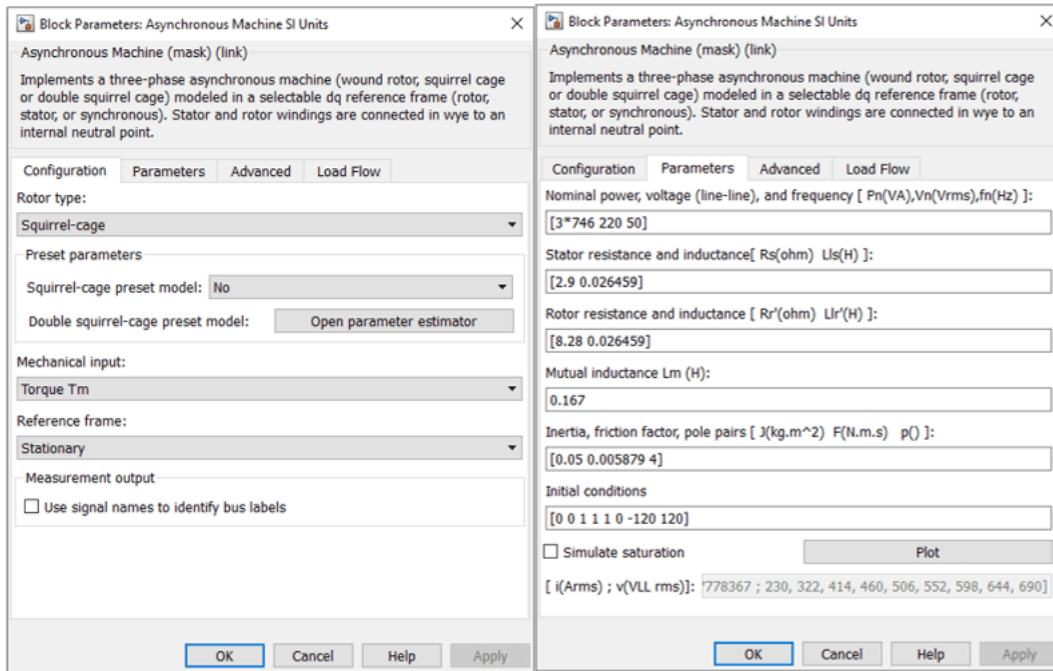
$$X_m = \sqrt{\left| \frac{V_0}{I_0} \right|^2 - (R_s + R_r')^2} \dots\dots\dots (5)$$

Setelah dilakukan pengujian maka didapatkan nilai-nilai parameter ekivalen mesin induksi dari persamaan yang ada. Untuk rangkaian ekivalen mesin induksi dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Paramater Rangkaian Ekivalen Mesin Induksi

Parameter ekivalen mesin induksi yang didapatkan selanjutnya digunakan pada konfigurasi generator pada simulasi MATLAB/SIMULINK menggunakan komponen *asynchronous machine*, yang dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Parameter yang Digunakan Pada Generator *Type Asynchronous Machine*

Kurva Magnetisasi

Dalam menganalisis operasi mesin induksi sebagai generator dibutuhkan kurva magnetisasi yang menunjukkan hubungan antara reaktansi magnetisasi X_m dengan tegangan magnetisasi atau tegangan celah udara E_g . Dilakukan pengujian saturasi dengan cara memutar poros mesin induksi dengan motor pada putaran sinkron lalu besar tegangan E_g dan arus mengalir pada kumparan stator I_m diamati. Reaktansi magnetisasi X_m bisa didapatkan menggunakan persamaan (6).

$$E_g = X_m I_m \dots\dots\dots (6)$$

Nilai X_m yang didapat dari efek saturasi ini selanjutnya dapat digunakan untuk mengetahui nilai reaktansi kapasitansi X_c yang dibutuhkan agar generator dapat membangkitkan tegangan. Besarnya kapasitor C yang dibutuhkan didapat dari persamaan (8).

$$X_m = X_c \dots\dots\dots (7)$$

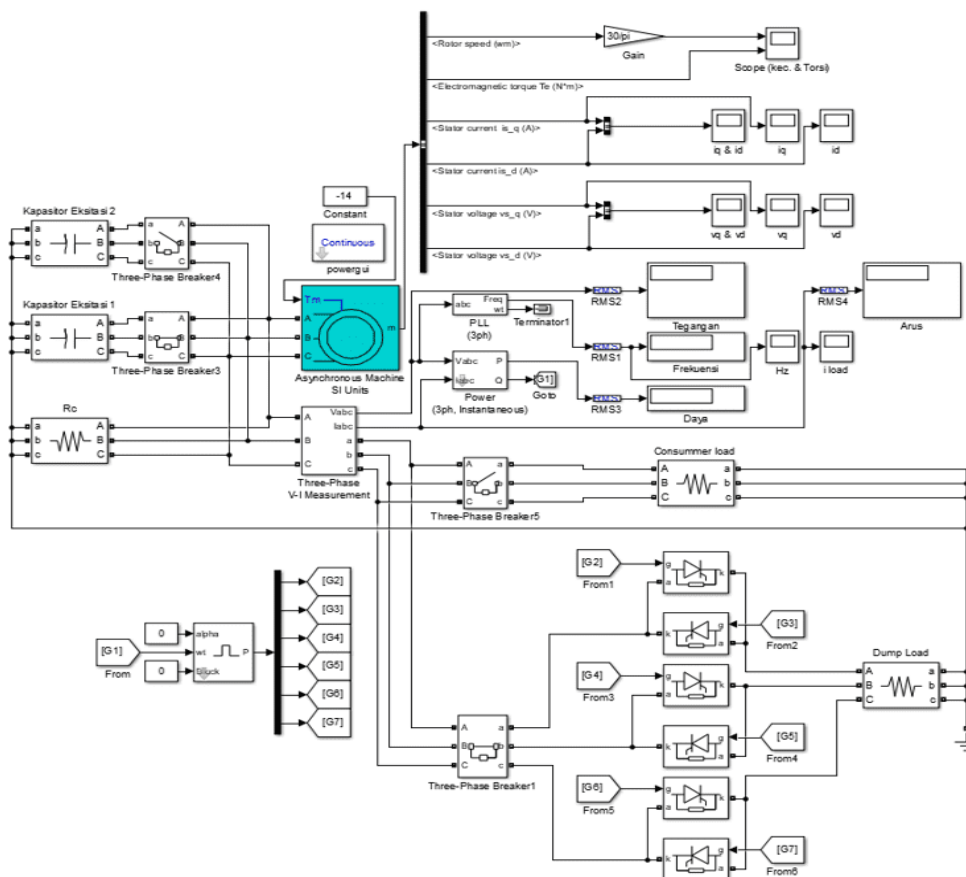
$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \dots\dots\dots (8)$$

Pemodelan ELC

ELC dirancang menggunakan topologi AC-AC konverter 3 fasa agar dapat menghasilkan *output* berupa tegangan AC dengan nilai bervariasi. Konverter ini menggunakan thyristor yang terhubung *back to back* pada setiap fasa generator, yang dioperasikan dengan mengatur sudut penyalan dalam rentang 0° hingga 180° . Besarnya daya yang dapat disalurkan ELC ke *dump load* dapat diketahui menggunakan persamaan (9).

$$P_t = P_c + P_d \dots\dots\dots (9)$$

Dimana daya terbangkit P_t sama dengan daya *consumer load* P_c ditambah daya *dump load* P_d .



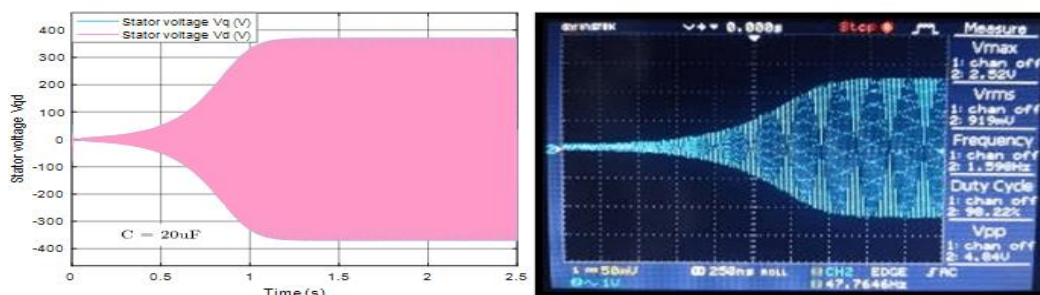
Gambar 4. Rangkaian Keseluruhan GIPS Menggunakan ELC Topologi AC-AC Konverter 3 Fasa

HASIL DAN PEMBAHASAN

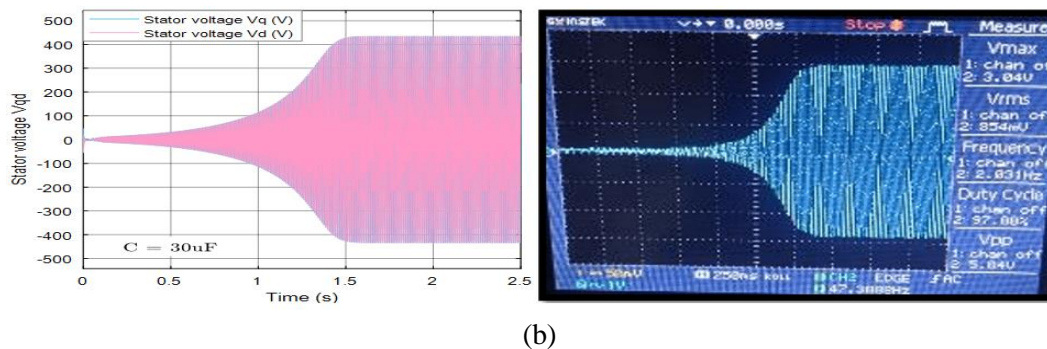
Pada penelitian ini dilakukan pengujian simulasi pada GIPS yang telah dimodelkan. GIPS disimulasikan dengan tahapan pengujian menggunakan variasi nilai kapasitor eksitasi, beban resistif, dan menggunakan ELC. Setiap parameter seperti tegangan, arus, dan frekuensi diamati.

Pengaruh Nilai Kapasitor Eksitasi

Untuk mengetahui pengaruh nilai kapasitor eksitasi terhadap keluaran yang dihasilkan GIPS, dilakukan simulasi dan pengujian pembangkitan tegangan GIPS menggunakan nilai kapasitor eksitasi dengan nilai yang berbeda. Pada simulasi pertama 5(a) menggunakan nilai kapasitor eksitasi sebesar 20µF, dan simulasi kedua 5(b) menggunakan nilai kapsitor eksitasi 30µF.

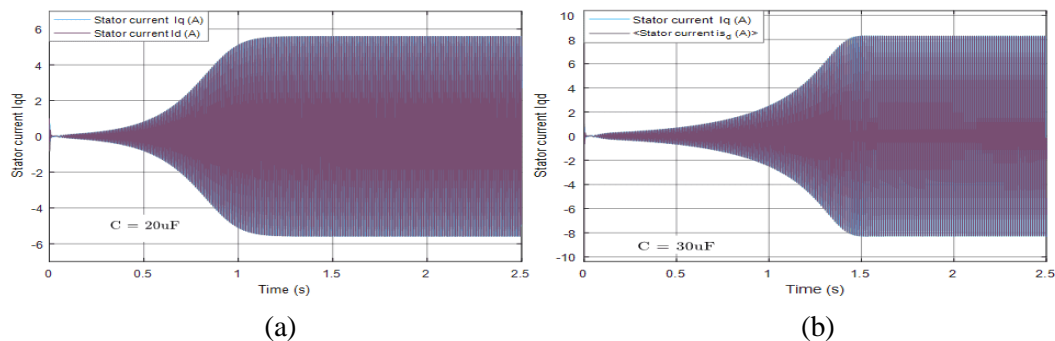


(a)



Gambar 5. Tegangan Stator GIPS dengan Nilai Kapasitor yang Berbeda (a). Tegangan Stator dengan Kapasitor Eksitasi $20\mu\text{F}$, (b). Tegangan Stator dengan Kapasitor Eksitasi $30\mu\text{F}$

Pada gambar 5(a) dan gambar 5(b) dapat dilihat bahwa nilai kapasitor eksitasi mempengaruhi besarnya tegangan yang dapat dibangkitkan oleh GIPS. Tegangan GIPS terhubung kapasitor eksitasi bernilai $30\mu\text{F}$ lebih besar dari tegangan GIPS kapasitor eksitasi bernilai $20\mu\text{F}$. Tetapi frekuensi yang dihasilkan oleh GIPS terhubung kapasitor eksitasi $20\mu\text{F}$ lebih besar dari frekuensi GIPS terhubung $30\mu\text{F}$.

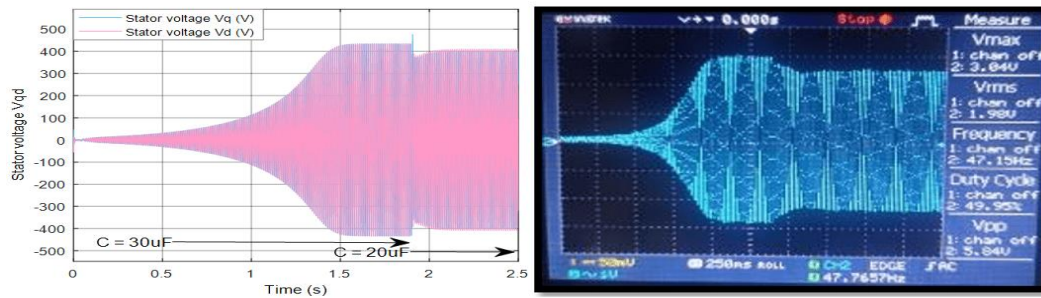


Gambar 6. Arus Stator GIPS dengan Nilai Kapasitor yang Berbeda (a). Arus Stator dengan Kapasitor Eksitasi $20\mu\text{F}$, (b). Arus Stator dengan Kapasitor Eksitasi $30\mu\text{F}$

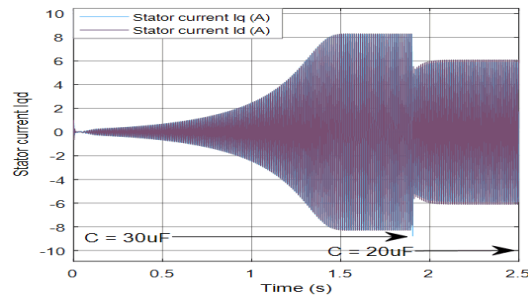
Nilai arus stator GIPS yang terhubung dengan kapasitor eksitasi $30\mu\text{F}$ gambar 6(a) lebih besar dari kapasitor eksitasi $20\mu\text{F}$ gambar 6(b). Pada simulasi ini, kapasitor eksitasi yang terhubung dengan kumparan eksitasi berperan sebagai penyimpan tegangan induksi (*charge*) yang dihasilkan GIPS saat rotor diputar oleh penggerak mula, kemudian tegangan dibuang ke kumparan stator (*discharge*) sehingga terjadi aliran arus stator yang diinduksikan ke kumparan rotor. Pada kumparan rotor terjadi gaya gerak listrik atau fluksi medan yang semakin besar, sehingga GIPS dapat menghasilkan tegangan karena induksi tegangan di kumparan daya stator. Karakteristik keluaran GIPS pada simulasi ini adalah nilai kapasitor eksitasi mempengaruhi nilai tegangan terbangkit karena nilai arus stator yang dihasilkan bergantung dengan nilai kapasitor eksitasi yang digunakan.

Pengaruh Perubahan Nilai Kapasitor Saat GIPS Beroperasi

Pada saat GIPS beroperasi dilakukan pengujian dengan mengubah nilai kapasitor eksitasi dari $30\mu\text{F}$ menjadi $20\mu\text{F}$ pada waktu 1.4 detik. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik keluaran GIPS ketika kapasitas dari kapasitor eksitasi diubah sehingga tegangan dan arus dapat diamati.



(a)



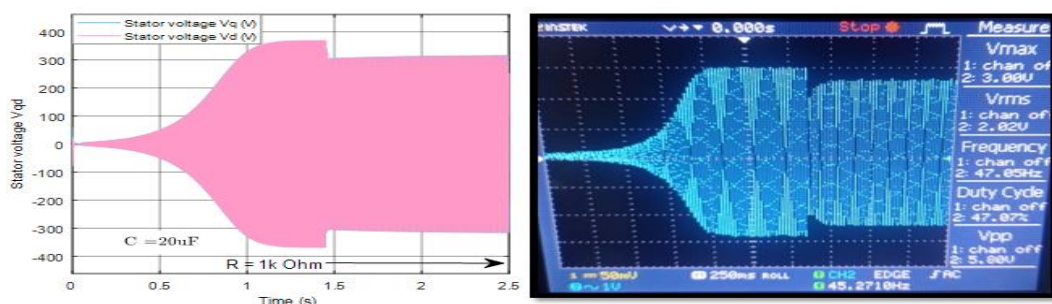
(b)

Gambar 7. Keluaran GIPS Saat Terjadi Perubahan Kapasitor Eksitasi (a). Tegangan Stator GIPS (b). Arus Stator GIPS.

Pada gambar 7(a) dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tegangan stator GIPS karena nilai kapasitor dikurangi dari 30uF menjadi 20uF. Pengurangan kapasitas kapasitor ini mempengaruhi kecepatan pengisian dan pembuangan tegangan ke kumparan stator, sehingga arus stator pada gambar 7(b) yang dihasilkan menurun, kemudian menyebabkan fluksi medan pembangkitan tegangan berkurang.

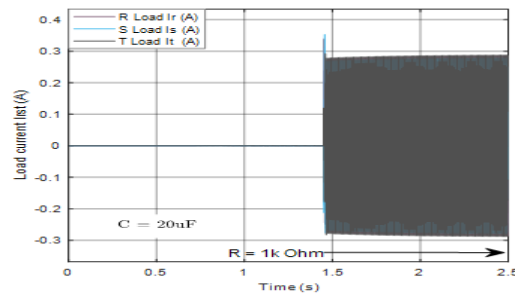
Simulasi GIPS Menggunakan Beban Resitif

Dilakukan simulasi GIPS berbeban resistif sebesar 1k Ω pada waktu 1.4 detik lalu parameter keluaran GIPS seperti tegangan, arus dan frekuensi diamati. Beban resistif ini menyerap daya aktif yang dihasilkan oleh generator dan tidak menyerap daya reaktif yang dihasilkan kapasitor.



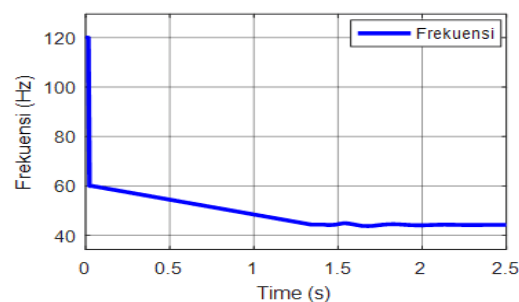
Gambar 8. Tegangan GIPS Berbeban Resistif

Gambar 8 menunjukkan tegangan stator GIPS ketika terhubung beban resistif. Daya aktif yang diserap oleh beban resistif menyebabkan berkurangnya fluksi medan sehingga terjadi penurunan tegangan stator.



Gambar 9. Arus pada Beban Resitif yang Terhubung dengan GIPS

Gambar 9 menunjukkan arus yang dihasilkan oleh beban resistif ketika menyerap daya aktif yang dihasilkan oleh GIPS. Besarnya arus yang dihasilkan dipengaruhi oleh nilai beban serta fluktuasi tegangan saat terhubung beban.

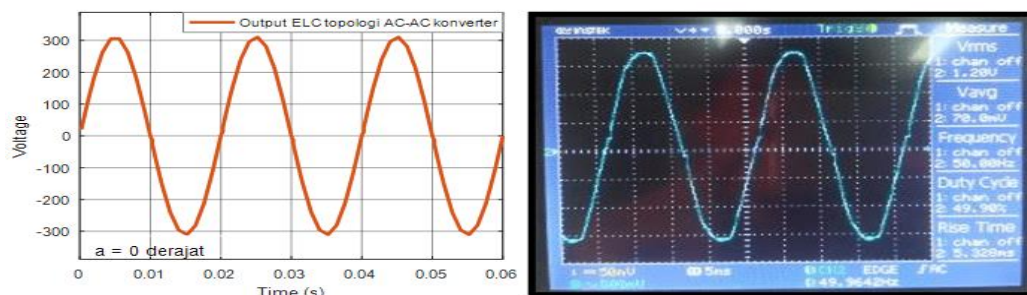


Gambar 10. Frekuensi GIPS Ketika Terhubung Beban Resistif

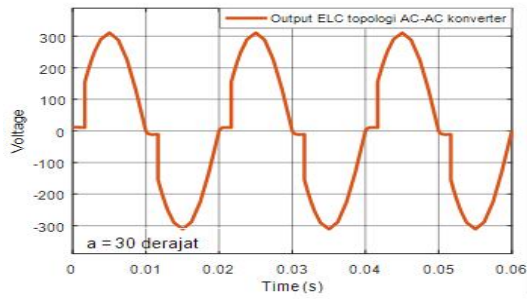
Pembebanan pada GIPS menyebabkan putaran rotor terpengaruh oleh perubahan fluksi medan magnet, sehingga terjadi penurunan kecepatan kemudian terjadi penurunan frekuensi.

ELC topologi AC-AC konverter 3 fasa

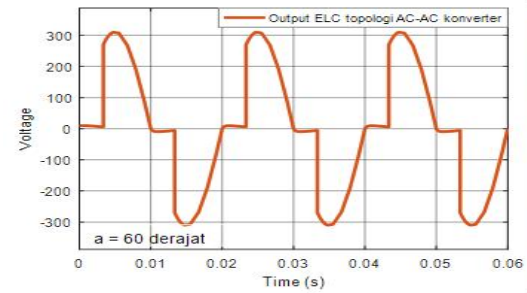
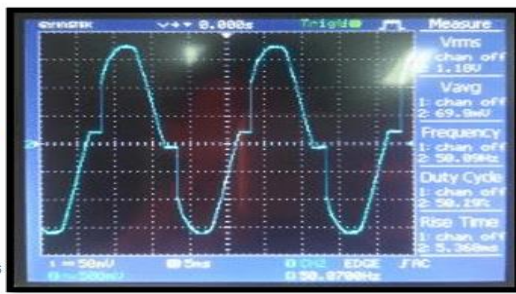
ELC di desain untuk dapat melakukan regulasi pada keluaran GIPS dengan cara mengontrol besarnya penyaluran daya aktif yang dihasilkan GIPS ke *dump load* saat terjadi fluktuasi beban. Dengan adanya topologi AC-AC konverter 3 fasa pada ELC, maka daya *input dump load* dapat diatur dengan cara mengatur nilai sudut penyalan thyristor pada konverter agar dapat menghasilkan tegangan AC dengan nilai bervariasi. Berikut merupakan gambar keluaran ELC dengan pengaturan sudut penyalan dari 0° hingga 180° .



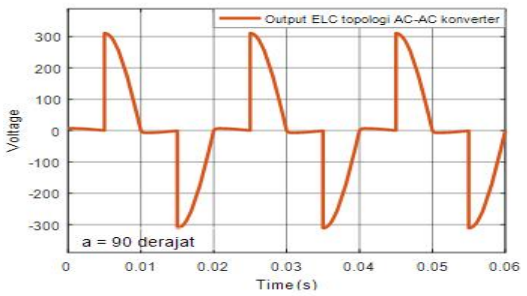
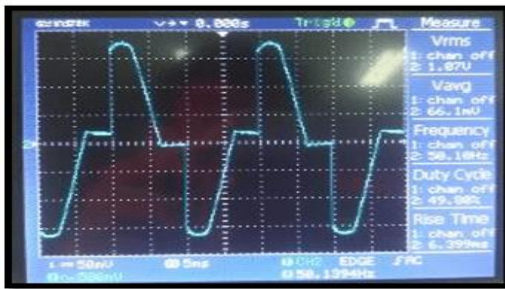
(a)



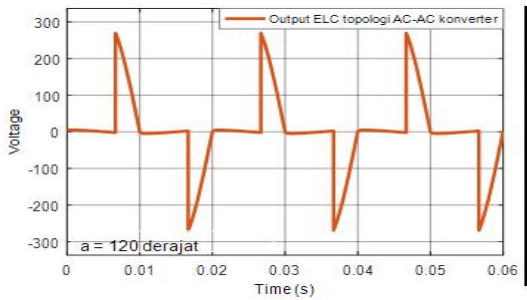
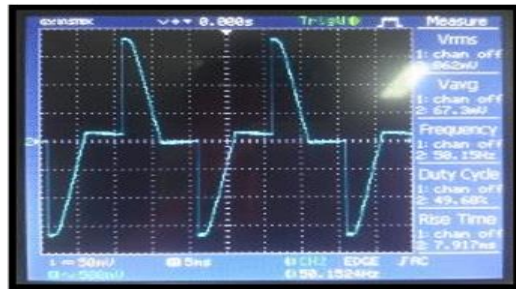
(b)



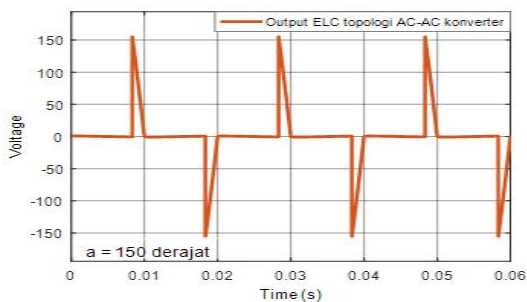
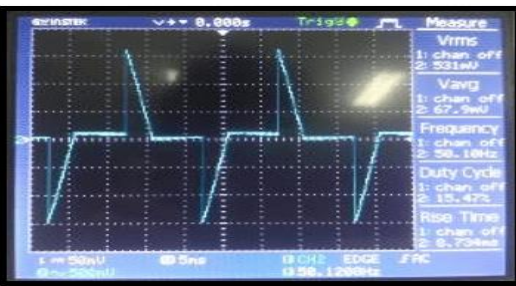
(c)



(d)

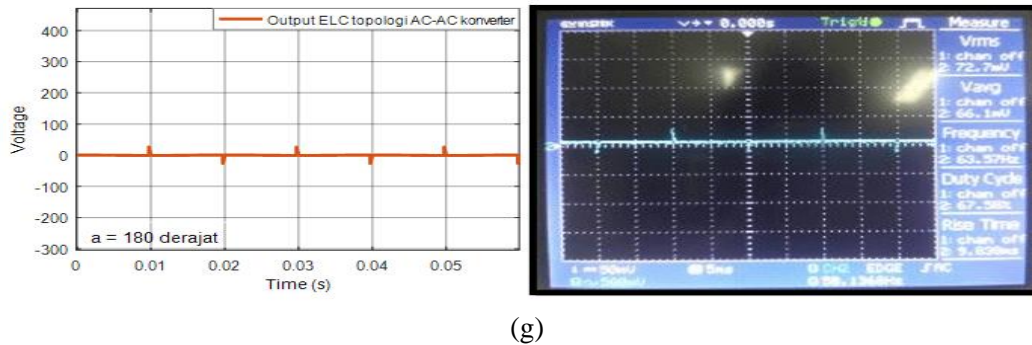


(e)



(f)



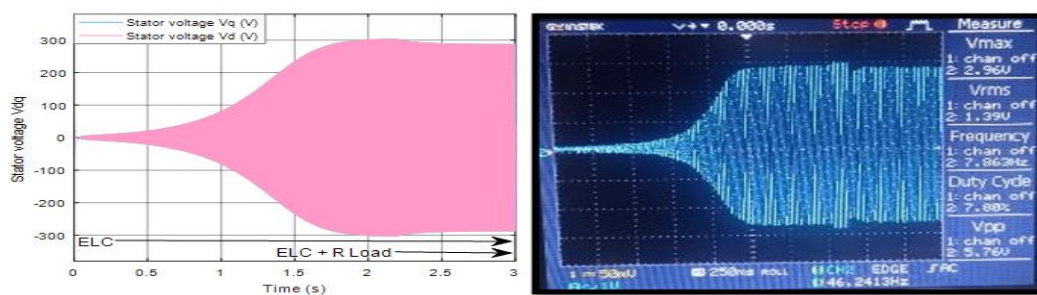


Gambar 11. *Output* ELC Topologi AC-AC Konverter 3 Fasa dengan Pengaturan Sudut Penyalaan (a). Sudut Penyalaan 0° (b). Sudut Penyalaan 30° (c). Sudut Penyalaan 60° (d). Sudut Penyalaan 90° (e). Sudut Penyalaan 120° (f) Sudut Penyalaan 150° (g). Sudut Penyalaan 180°

Gambar 11 merupakan keluaran dari ELC topologi AC-AC konverter 3 fasa berupa gelombang tegangan AC dengan sudut penyalaan dimulai dari 0° sampai dengan 180° . Sudut penyalaan ini merupakan teknik penundaan penyalaan *thyristor* sebagai saklar elektronik untuk dapat menghasilkan tegangan AC dengan nilai bervariasi. Ketika nilai sudut penyalaan bertambah, maka gelombang tegangan AC akan terpotong sehingga nilai tegangan keluaran akan berkurang, dan sebaliknya ketika nilai sudut penyalaan dikurangi maka gelombang tegangan AC akan kembali mendekati atau membentuk sinus tanpa potongan sehingga nilai tegangan akan bertambah hingga mencapai tegangan nominal input.

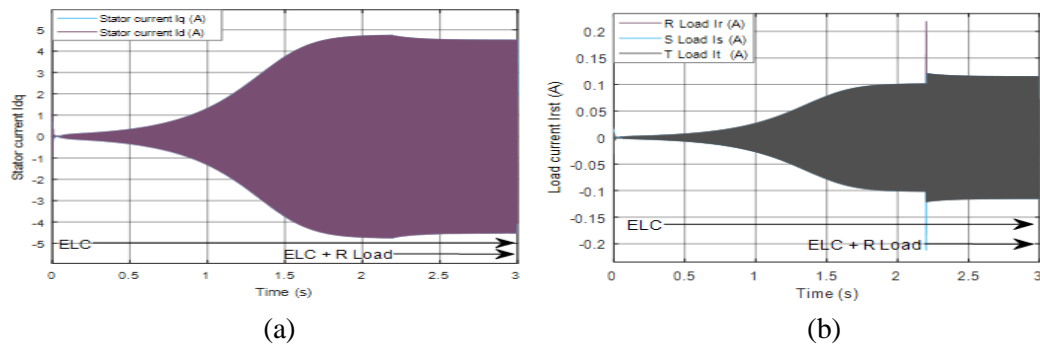
Simulasi GIPS Menggunakan ELC

Simulasi ini bertujuan untuk melihat karakteristik keluaran GIPS yang dikontrol menggunakan ELC. Tegangan dan frekuensi yang dihasilkan oleh GIPS akan dijaga dalam regulasi yang telah ditentukan yaitu 10% dari tegangan nominal PLN dan 2% dari frekuensi nominal PLN. Pada simulasi ini ELC dioperasikan dengan cara menyalurkan daya aktif yang masih tersisa ke *dump load* setiap saat, kemudian pada waktu 2.25 detik diaktifkan *consumer load* sebagai beban utama.



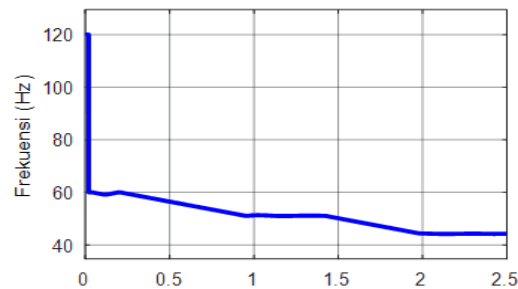
Gambar 12. Regulasi Tegangan GIPS Menggunakan ELC Topologi AC-AC Konverter 3 Fasa

Pada gambar 12 dapat dilihat bahwa ketika GIPS menghasilkan tegangan, ELC akan menyalurkan daya aktif yang tersisa ke *dump load* dengan cara mendeteksi nilai tegangan dan frekuensi GIPS lalu dibandingkan dengan referensi regulasi keluaran yang telah ditentukan, sehingga tegangan keluaran GIPS akan berada di rentang regulasi sebelum diteruskan ke beban utama. Pada saat beban utama diaktifkan pada waktu 2.25 detik, ELC akan mengurangi daya yang disalurkan ke *dump load* agar tegangan dan frekuensi tetap dalam rentang regulasi.



Gambar 13. Arus GIPS Saat Dikontrol Menggunakan ELC (a). Arus Stator (b). Arus *Consumer Load* Dan Arus *Dump Load*

Regulasi keluaran GIPS menggunakan ELC menghasilkan arus *consumer load* yaitu arus beban utama dan arus *dump load* sebagai beban buangan daya sisa. Saat beban utama diaktifkan terjadi penambahan nilai arus pada waktu 2.25 detik pada gambar 13(b) sedangkan nilai arus stator berkurang pada gambar 13(a).



Gambar 14. Frekuensi yang dihasilkan oleh GIPS saat menggunakan ELC

Gambar diatas merupakan regulasi frekuensi GIPS diberbagai kondisi beban. Dengan adanya pengontrolan daya aktif maka fluksi medan magnet dapat diatur agar putaran rotor selalu menghasilkan frekuensi didalam rentang regulasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini dilakukan regulasi tegangan dan frekuensi GIPS menggunakan ELC topologi AC-AC konverter 3 fasa. Ketika GIPS dioperasikan dengan berbagai kondisi beban, ELC akan menyalurkan daya aktif yang masih tersisa ke *dump load*. Dari hasil penelitian didapatkan karakteristik keluaran GIPS yang mana nilai kapasitor berfungsi sebagai penyedia daya reaktif, lalu besarnya nilai arus stator mempengaruhi besarnya fluksi medan dalam membangkitkan tegangan dan juga mempengaruhi frekuensi yang dihasilkan. Penggunaan *dump load* sebagai beban resistif dapat mempengaruhi nilai arus stator, sehingga dengan adanya ELC topologi AC-AC konverter 3 fasa yang dapat menyalurkan daya sisa dengan nilai bervariasi maka arus stator dapat dikontrol, sehingga besarnya fluksi medan dalam mengasilkan tegangan dan frekuensi dapat diatur untuk menghasilkan keluaran didalam rentang regulasi yang diinginkan.

REFERENSI

- [1] A. Taufiqurrahman and J. Windarta, "OVERVIEW POTENSI DAN PERKEMBANGAN PEMANFAATAN ENERGI AIR DI INDONESIA," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 3, pp. 70–78, Nov. 2021, doi: 10.14710/jebt.2020.10036.
- [2] M. Ardianto, J. Pratilastiarso, and ..., "Electric Load Controller Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro," ... *dan Infrastruktur*, vol. 2, pp. 1–6, 2019, [Online]. Available: <https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin/article/download/139/107>.
- [3] P. G. Chamdareno and E. Dermawan, "Peningkatan Efisiensi Generator Induksi Dengan Beban Kapasitif," pp. 1–5, 2018.
- [4] M. Saleh and A. Amin, "PERANAN KAPASITOR PADA PEMBANGKITAN TEGANGAN GENERATOR INDUKSI SATU FASA," vol. 4, no. 1, 2019.
- [5] E. A. Hakim, R. Pandunengsih, D. Suhardi, and N. Setyawan, "Kontrol Tegangan Self-Excited Induction Generator dengan Electronic Load Controller Terkontrol PID-GA," *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst.*, vol. 10, no. 1, p. 41, 2020, doi: 10.22146/ijeis.54197.
- [6] I. Martati and D. Kusrihandayani, "Prosiding 4," *Identifikasi Potensi Kemandirian UMKM di Kota Samarinda Melalui Pelatih. Manaj. Usaha*, pp. 124–129, 2020.
- [7] M. Suhada, D. Ramdan, and U. Harahap, "(Journal of Electrical and System Control Engineering)," *JESCE (Journal Electr. Syst. Control Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 53–64, 2019.
- [8] M. Erdyan Setyo W, Mochammad Rif'an, ST., MT., , Teguh Utomo, Ir., "Perancangan electronic load controller (elc) sebagai penstabil frekuensi pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro (pltmh)," vol. 4, no. 2, pp. 0–5, 2018.
- [9] N. Win Aung, "Microcontroller Based Electrical Parameter Monitoring System of Electronic Load Controller Used in Micro Hydro Power Plant," *J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, no. 5, p. 97, 2015, doi: 10.11648/j.jeee.20150305.11.
- [10] S. L. Luthfiani and K. Krismadinata, "Rancang Bangun AC to AC Converter Tiga Fasa dengan Visual Basic," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 2, p. 152, 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i2.108705.
- [11] K. Kunek, "Pemodelan Electronic Load Controller Pada Beban Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Merasap," *J. ELKHA*, vol. 7, no. 2, pp. 32–36, 2015.
- [12] I. N. Hakim, A. L. Amdrian, A. B. Pradana, and A. N. I. Wardana, "Pengembangan Electronic Load Controller untuk Self-Excited Induction Generator Berbasis Penyearah Tiga Fase Menggunakan Raspberry Pi," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 3, 2020, doi: 10.25077/jnte.v9n3.802.2020.