

## **RANCANG BANGUN *ELECTRONIC LOAD CONTROLLER* MENGUNAKAN KONVERTER BUCK PADA GENERATOR INDUKSI 3 FASA**

**Okta Kinanda<sup>1\*</sup>, Krismadinata<sup>12</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro industri, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

<sup>2</sup>Centre 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: [oktakinanda21@gmail.com](mailto:oktakinanda21@gmail.com)<sup>1</sup>, [krisma@ft.unp.ac.id](mailto:krisma@ft.unp.ac.id)<sup>2</sup>

(Diajukan: 03 juni 2022, direvisi:14 Juli 2022, disetujui: 18 Juli 2022)

### **Abstrak**

*Self-Excitation Induction Generator (SEIG)* merupakan pembangkit listrik alternatif yang banyak diminati di area terpencil dengan potensi air yang cukup. SEIG beroperasi secara *stand-alone* yang memerlukan daya reaktif dipasok dari kapasitor bank dihubungkan di terminal generator. Pada mode operasi *stand-alone*, SEIG memiliki kelemahan yaitu pengaruh tegangan dan frekuensi yang buruk pada berbagai variasinya beban. Untuk mengatasi hal tersebut digunakanlah *Electronic Load Controlller (ELC)*. Pengaturan tegangan dengan ELC pada SEIG secara elektronik bekerja dengan metode deteksi frekuensi akibat perubahan beban pada beban utama dengan mengalihkan daya yang tidak terpakai oleh beban utama ke beban komplemen. Dengan demikian, beban total generator merupakan beban utama ditambah beban komplemen. Generator induksi 120W dengan ELC menggunakan kapasitor 2.5 $\mu$ F400VAC, beban utamanya berupa lampu pijar 15W, didapatkan hasil regulasi tegangan SEIG normal pada 220Volt dan frekuensi 49Hertz . Hasil pengujian dengan ELC didapatkan tegangan dan frekuensi cenderung stabil saat diberi beban maupun tidak diberi beban.

**Kata Kunci:** SEIG, ELC.

### **Abstract**

*Self-Excitation Induction Generator (SEIG)* is an alternative power plant that is in great demand in remote areas with sufficient water potential. SEIG operates on a *stand-alone* basis requiring reactive power to be supplied from a capacitor bank connected to the generator terminals. In *stand-alone* operating mode, SEIG has a weakness, namely the influence of voltage and frequency is bad on various load variations. To overcome this, an *Electronic Load Controller (ELC)* is used. Voltage regulation with ELC on SEIG electronically works with a frequency detection method due to changes in load on the main load by diverting power that is not used by the main load to a complementary load. Thus, the total load on the generator is the main load plus the complementary load. The 120W induction generator with ELC uses a 2.5 $\mu$ F400VAC capacitor, the main load is a 15W incandescent lamp, the results are normal SEIG voltage regulation at 220Volt and a frequency of 49Hertz. The results of the ELC test show that the voltage and frequency tend to be stable when it is loaded or not.

**Keywords:** SEIG, ELC.

## PENDAHULUAN

Ketersediaan listrik pada daerah pedesaan maupun daerah terpencil adalah kunci dari keseimbangan pembangunan di suatu negara karena listrik sudah menjadi kebutuhan yang paling penting sebagai penunjang kehidupan yang semakin maju [1]. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu alternatif penghasil listrik yang murah dan ramah lingkungan. Umumnya PLTMH dibangun untuk keperluan komunitas kecil dengan memanfaatkan laju aliran sungai [2]. PLTMH dengan skala kecil dapat menggunakan generator induksi karena harga yang lebih murah, konstruksinya kuat dan sederhana, mudah dalam pengoperasian, dan perawatan yang sangat mudah [3]. Motor induksi banyak digunakan sebagai pembangkit (generator) dan diaplikasikan pada sistem pembangkit alternatif atau sumber energi baru misalnya pembangkit tenaga mikrohidro/minihidro [4]. Generator induksi akhir-akhir ini semakin banyak digunakan karena memiliki fitur yang *relative* lebih menguntungkan dibandingkan jenis generator lain. Untuk operasinya, generator induksi memerlukan daya reaktif yang harus diumpankan secara eksternal [5].

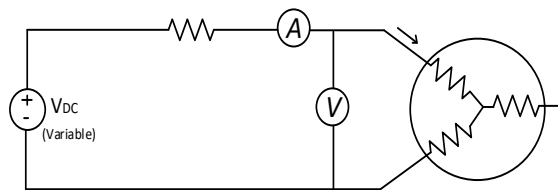
Mesin induksi yang beroperasi secara *stand-alone* mendapat pasokan daya reaktif melalui kapasitor bank dengan nilai dapat disesuaikan, dimana dihubungkan pada terminalnya setiap waktu untuk mendapatkan medan magnetik pada statornya, dengan demikian motor induksi dapat berfungsi sebagai generator sepanjang kapasitor mampu mencatu daya reaktif yang diperlukan generator dan beban yang dilayani generator digunakan pada generator. Sistem ini disebut dengan generator induksi penguatan sendiri atau *Self-Excited Induction Generator (SEIG)* [6]. Pembangkitan tegangan generator induksi, nilai kapasitor yang dipasang harus lebih besar dari nilai kapasitor minimum yang diperlukan untuk proses eksitasi. Jika kapasitor yang dipasang lebih kecil dari kapasitor minimum yang diperlukan, maka proses pembangkitan tegangan tidak akan berhasil. Agar eksitasi sendiri dapat terjadi maka harus diperhatikan hubungan antara nilai kapasitansi dan kecepatan minimum.

Pada pengoperasiannya selain memiliki beberapa kelebihan SEIG juga memiliki kelemahan dalam distribusi energi listriknya yaitu setiap perubahan pembebanan akan berpengaruh terhadap keluaran SEIG. Sesuai dengan regulasi tegangan normal 230V + 10%, -6%. Yaitu antara 216,2V dan 253V, frekuensi harus dipertahankan pada 50Hz  $\pm$  1%, yaitu Antara 49Hz dan 51Hz [7]. Maka diperlukan adanya sebuah sistem kontrol yang bertujuan untuk mengatur tegangan dan frekuensi hasil keluaran dari SEIG [8] [9]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dibuatlah *Electronic Load Controller (ELC)*. ELC merupakan sistem sederhana yang dapat menjaga tegangan agar tetap konstan [10]. Penelitian tentang ELC ini telah dilakukan sebelumnya, di antaranya oleh Asep Najmurokhman dan Kurnia Andryansyah pada tahun 2018 yang membuat ELC sebagai pengendali beban komplemen dengan Atmega8535 dan saklar elektronik menggunakan triac. Berdasarkan permasalahan diatas maka dalam tugas akhir ini akan membahas bagaimana mengatur tegangan dan frekuensi hasil keluaran dari generator induksi menggunakan rangkaian kontrol ELC dengan metode deteksi frekuensi yang berubah – ubah sesuai perubahan kondisi beban utama, dengan Arduino uno dan penyearah tak terkontrol dengan konverter buck sebagai saklar elektronik yang dirancang menggunakan *Matlab/Simulink*.

## Generator Induksi

Prinsip kerja generator induksi terjadi ketika rotor diputar dengan kecepatan yang lebih besar dari kecepatan medan magnet berputar atau sinkronnya, dapat dikatakan generator induksi bekerja pada slip negatif. Generator induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik, ketika arus magnetisasi yang dipasok oleh sumber daya reaktif kapasitif dari kapasitor bank dan rotor mesin diputar oleh penggerak mula (*prime mover*) melebihi kecepatan medan magnet dengan demikian kutub – kutub didalam rotor akan berputar. Jika kumparan kutub diberi arus maka pada permukaan kutub akan timbul medan magnet (garis – garis gaya fluks) yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan putaran kutub. Fenomenal ini disebut dengan generator induksi penguatan sendiri atau *Self-Excited Induction Generator (SEIG)*. Menjadikan mesin induksi sebagai generator, nilai parameter dari mesin induksi harus didapatkan untuk menganalisis operasi dan perilaku mesin, beberapa tahapan pengujian harus dilakukan.

### a. Pengujian DC Untuk Penentuan Tahanan Stator (*DC Test*)

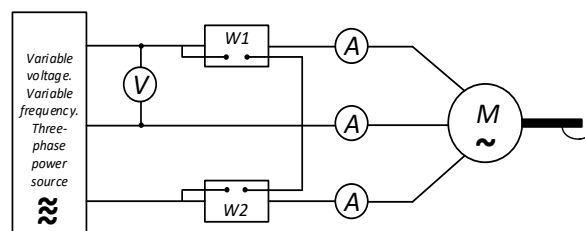


Gambar 1. Rangkaian Pengujian Tahanan DC.

Pengujian DC dilakukan dengan menghubungkan belitan stator dari mesin induksi dengan tegangan DC. Karena arusnya adalah arus DC, maka tidak ada tegangan yang diinduksikan pada rangkaian rotor, dengan demikian tidak ada arus yang mengalir pada rotor. Disamping itu, reaktansi stator akan bernilai nol. Dengan demikian, satu-satunya arus yang membatasi motor adalah tahanan stator ( $R_s$ ) dan karena itu besarnya tahanan dapat ditentukan.

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

### b. Pengujian Tanpa Beban (*No-Load Test*)

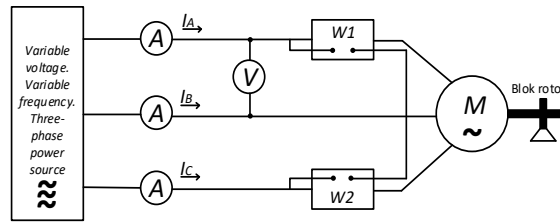


Gambar 2. Pengujian Tanpa Beban

Pengujian tanpa beban ditujukan untuk mengukur besarnya rugi-rugi putaran motor serta memberikan informasi tentang arus magnetisasi. beban motor adalah rugi-rugi gesek dan angin ( $P_{F\&W}$ ), sehingga seluruh daya listrik yang dikonversikan ( $P_{conv}$ ) diserap sebagai rugi - rugi mekanik, dan slip motor bernilai sangat kecil (kemungkinan sekitar 0,001 atau kurang).

$$X_S + X_m = \sqrt{\frac{|V_0|}{|I_0|}} - R_S \dots\dots\dots (2)$$

**c. Pengujian Rotor Ditahan Percobaan (Block Rotor Test)**



Gambar 3. Percobaan Rotor Ditahan

Pengujian rotor ditahan dilakukan dengan cara mengoperasikan mesin sebagai motor dengan keadaan rotor ditahan, sehingga tidak dapat berputar. Tegangan sumber dihubungkan ke motor bukan tegangan nominal, namun besarnya tergantung pada saat arus stator yang dibangkitkan tidak melebihi arus nominal. selanjutnya ukur tegangan  $V_{br}$ , arus  $I_{br}$ , dan daya. Sehingga didapatkan  $X_S$ ,  $X_m$ ,  $X_{r'}$  dan  $R_{r'}$  melalui persamaan (3), (4), dan (5).

$$R_{r'} = \frac{V_{br}}{3I_{br}} - R_S \dots\dots\dots (3)$$

$$X_S = X_{r'} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{|V_{br}|}{|I_{br}|}} - (R_S + R_{r'})^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$X_m = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{|V_0|}{|I_0|}}^2 - (R_S + R_{r'})^2 \dots\dots\dots (5)$$

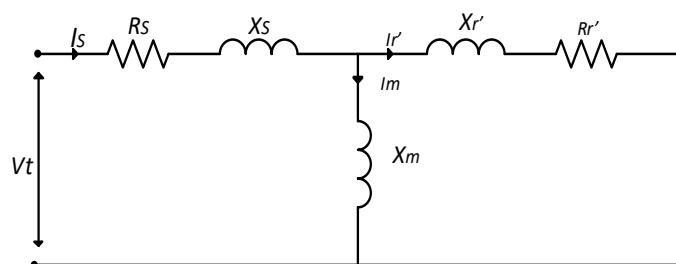
**Kurva Magnetisasi**

Mesin induksi sebagai generator , nilai reaktansi magnetisasi  $X_m$  tidak konstan tapi dipengaruhi oleh efek saturasi. Pengujian saturasi digunakan untuk mendapat kurva magnetisasi dan menentukan hubungan antara reaktansi magnetisasi  $X_m$  dengan tegangan magnetisasi atau tegangan celah udara  $E_g$  dan arus pada kumparan stator  $I_m$  sehingga nilai kapasitor eksitasi( $C$ ) minimum dapat diperoleh.

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

$$C = \frac{1}{2\pi f X_m} \dots\dots\dots (7)$$

Dari pengujian yang dilakukan maka didapat nilai-nilai dari parameter ekivalen mesin induksi dari persamaan diatas, dapat dilihat parameter pada tabel 1 dan rangkaian ekivalen mesin induksi pada gambar 4.



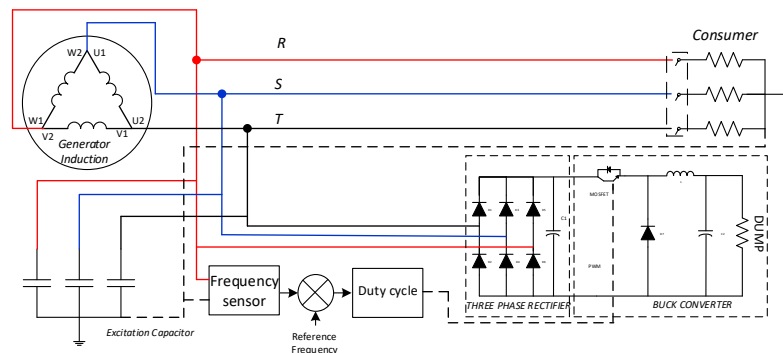
Gambar 4. Rangkaian Ekivalen

Tabel 1. Spesifikasi Mesin induksi

Nomor	Parameter	Keterangan
1	Tipe	DK71K2LH
2	Daya (W)	120 W
3	Tegangan ( <i>line-to-line</i> ) (V)	380 V
4	Frekuensi (Hz)	50 Hz
5	Stator resistansi (ohm)	21,8 $\Omega$
6	Rotor resistansi (ohm)	41,6 $\Omega$

### Electronic Load Controller

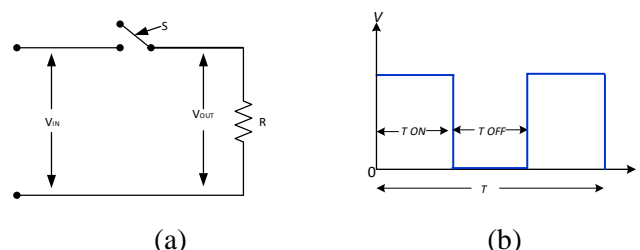
*Electronic Load Controller* merupakan suatu alat kontrol yang dipakai dengan tujuan untuk melepaskan sisa daya keluaran generator melalui sakelar elektronik seperti mosfet. Sistem ELC terdiri dari penyearah tak terkontrol, konverter buck, gate driver, sensor frekuensi, sensor tegangan, sensor arus dan beban komplemen berupa beban resistif. Mosfet dikendalikan oleh sinyal yang telah dikuatkan oleh gate driver dari ArduinoUno berdasarkan referensi dari sensor frekuensi. Fungsi utama pengontrol beban elektronik pada SEIG adalah untuk mempertahankan beban keluaran konstan pada generator induksi di bawah kondisi beban konsumen yang berbeda. SEIG mengumpulkan dua beban yang terhubung secara paralel. Beban utama adalah beban konsumen dan beban komplemen adalah beban dump atau beban tambahan. Pengontrol beban elektronik mengatur daya nyata & reaktif sehingga beban pada generator selalu konstan juga harus menjaga standar kualitas daya.



Gambar 5. Rangkaian ELC

### Dasar Pengontrol Beban

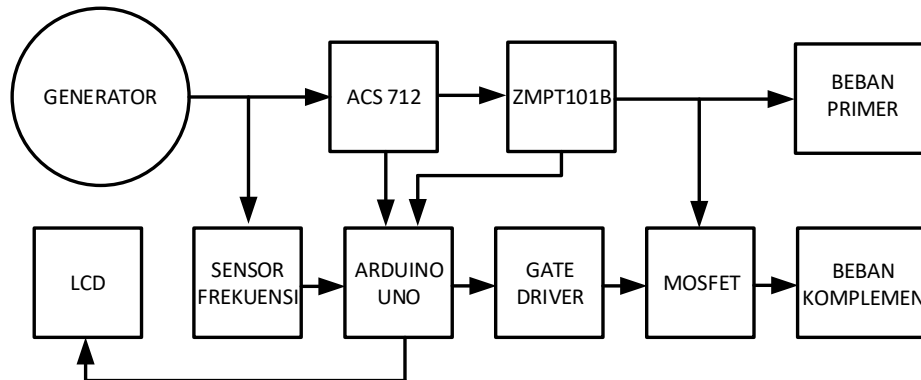
Pengontrol beban bekerja berdasarkan prinsip rangkaian konverter buck yang ditunjukkan pada gambar 6(a). konsep ini dapat dijelaskan berdasarkan bentuk gelombang keluaran dari rangkaian pemotong dc (waktu sakelar *ON* dan *OFF*) sebagai kendali pensaklaran yang diumpun pada rangkaian *gate driver* pada mosfet, ditunjukkan pada gambar 6(b).



Gambar 6. (a) Rangkaian Dasar Pemotong DC (b) Bentuk Gelombang Pulsa

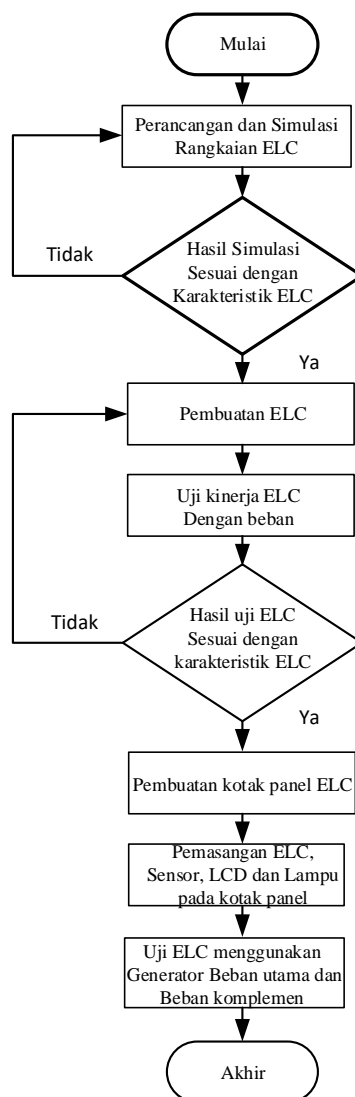
## METODA

Metode penelitian ini berupa blok diagram, yaitu pernyataan gambar yang ringkas, dari gabungan sebab dan akibat antara masukan dan keluaran dari suatu sistem dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Blok Diagram Perancangan Rangkaian Keseluruhan Metode

Langkah-langkah penelitian dalam pembuatan alat kontrol beban elektronik (ELC) dapat dilihat pada gambar 8.

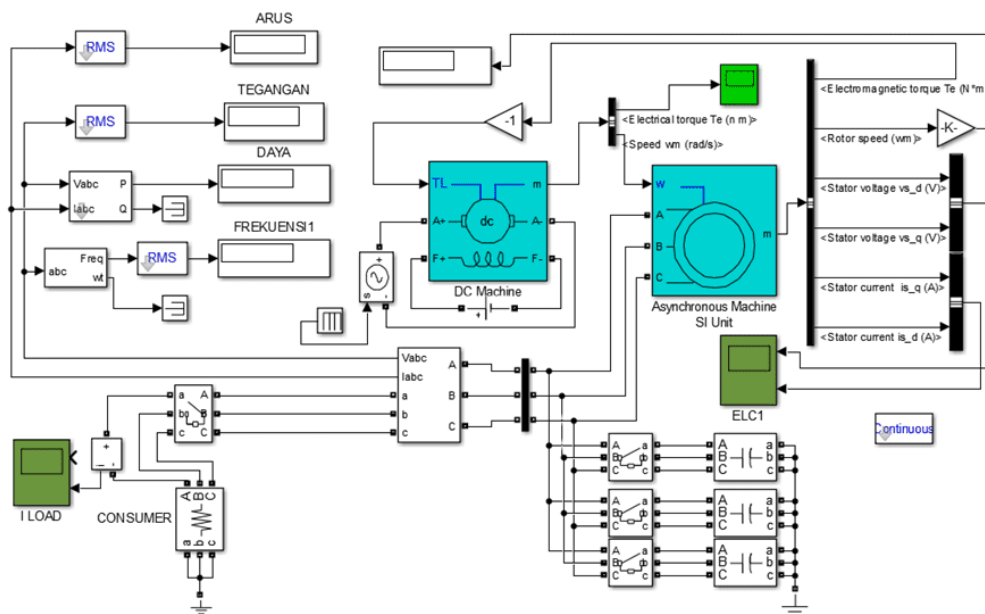


Gambar 8. Diagram alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

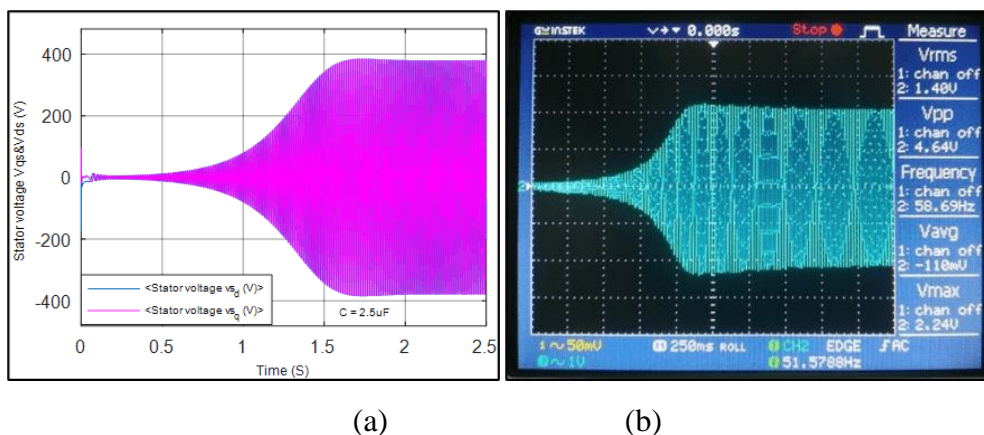
Model simulasi berbasis MATLAB/Simulink, dilakukan pengujian dengan beberapa hasil simulasi dan hasil pengujian nyata seperti perkembangan tegangan dan frekuensi terhadap perubahan beban serta nilai kapasitor eksitasi pada SEIG dengan mengamati respon dari sistem.

### Pengaruh Nilai Kapasitor Eksitasi



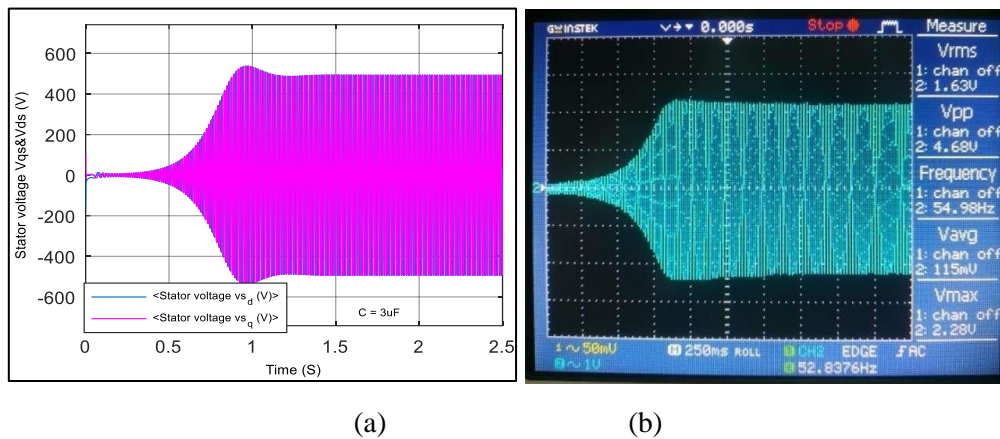
Gambar 9. Pemodelan dengan Nilai Kapasitor Eksitasi Berbeda

Berdasarkan persamaan 7 dari pengujian kurva magnetisasi didapat nilai kapasitor eksitasi ( $C$ ) minimum yaitu  $2.5\mu\text{F}$ . Pengujian dilakukan pada sistem SEIG bervariasi nilai kapasitor eksitasi  $C$  yaitu  $2.5\mu\text{F}$ ,  $3\mu\text{F}$  dan  $5\mu\text{F}$  dengan mengamati *stator voltage*  $V_{qd}$  (tegangan stator). Tegangan pada kumparan stator dengan nilai kapasitor eksitasi yang berbeda juga menghasilkan tegangan yang berbeda, hal ini disebabkan karena fluks pada penguatan medan dipengaruhi oleh nilai dari kapasitor eksitasi yang diberikan.



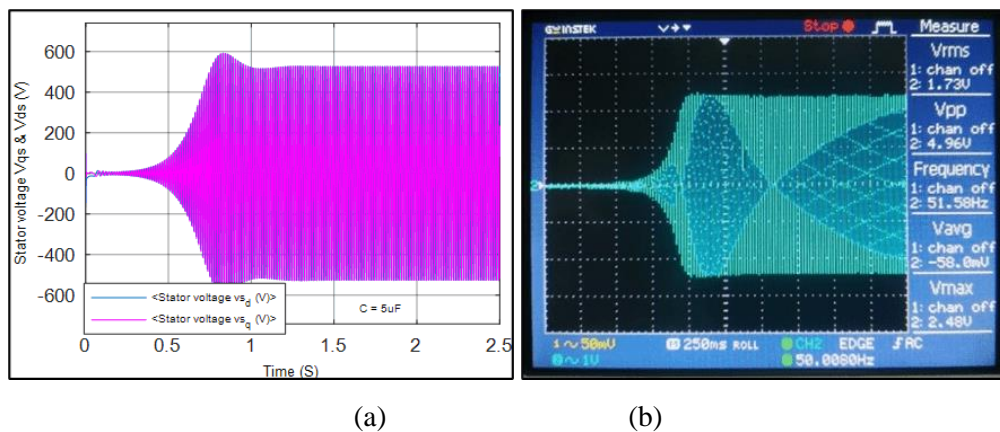
Gambar 10. (a) *Stator Voltage*  $2.5\mu\text{f}$  pada Simulasi (b) *Stator Voltage* Pada Osiloskop  $2.5\mu\text{F}$   
 Gambar 10(a) merupakan hasil gelombang keluaran generator pada simulasi dengan eksitasi  $2.5\mu\text{F}$ , sedangkan gambar 10(b) merupakan hasil gelombang keluaran generator

yang terukur pada osiloskop dengan eksitasi 2.5  $\mu\text{F}$ . Tegangan efektif yang terukur adalah 268 Volt dengan frekuensi 51 Hz.



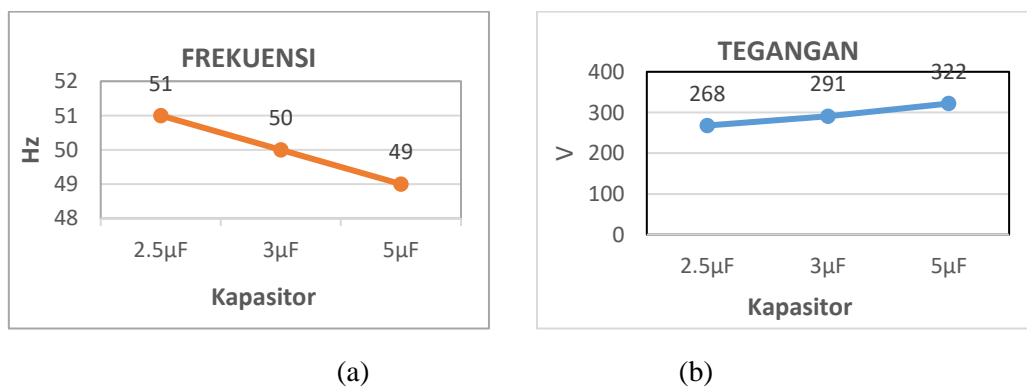
Gambar 11. (A) *Stator Voltage* 3 $\mu\text{f}$  pada Simulasi (B) *Stator Voltage* 3 $\mu\text{f}$  pada Osiloskop

Pada gambar 11(a) merupakan hasil gelombang keluaran generator pada simulasi dengan eksitasi 3 $\mu\text{F}$ , sedangkan gambar 11(b) merupakan hasil gelombang keluaran generator nyata pada osiloskop dengan eksitasi 3 $\mu\text{F}$ . Tegangan  $V_{(efektife)}$  terukur adalah 291 V dengan frekuensi 50Hz.



Gambar 12. (a) *Stator Voltage* 5 $\mu\text{f}$  pada Simulasi (b) *Stator Voltage* 5 $\mu\text{f}$  pada Osiloskop

Pada gambar 12(a) merupakan hasil gelombang keluaran generator pada simulasi dengan eksitasi 5 $\mu\text{F}$ , sedangkan gambar 12(b) merupakan hasil gelombang keluaran generator nyata pada osiloskop dengan eksitasi 5 $\mu\text{F}$ . Tegangan  $V_{(efektife)}$  terukur adalah 323 V dengan frekuensi 49Hz.

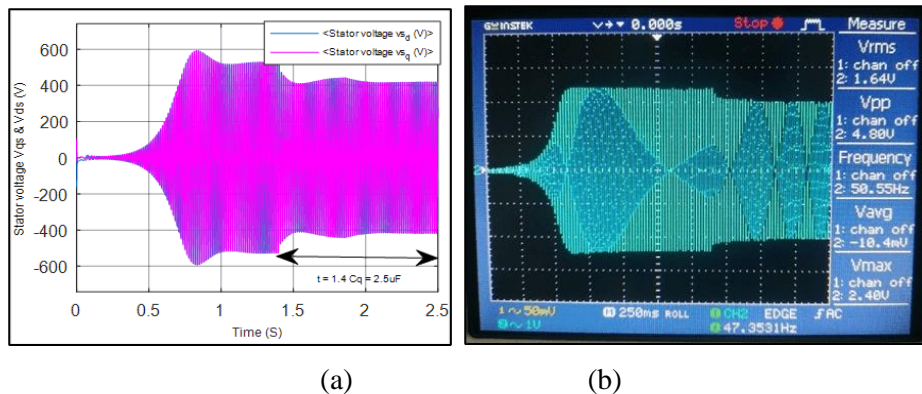


Gambar 13. (a) Kurva Frekuensi (b) Kurva Tegangan

Berdasarkan pengujian, pengaruh nilai eksitasi terhadap generator ketika nilai kapasitor bertambah frekuensi generator menjadi turun sebalik dengan tegangan akan naik.

### Karakteristik Perubahan Nilai Kapasitor Saat Generator Beroperasi

Pengujian dilakukan pada saat generator beroperasi dengan mengubah nilai kapasitor eksitasi pada waktu 1.4 detik dari 5 $\mu$ F menjadi 2.5 $\mu$ F. Dengan mengganti nilai kapasitor eksitasi ke nilai yang berbeda, sehingga dapat mengetahui bagaimana karakteristik dari generator ketika beroperasi terjadi perubahan arus eksitasi tergantung dari nilai kapasitor eksitasi yang diberikan, yang mengakibatkan perubahan fluksi pada penguatan medan dalam membangkitkan tegangan.



Gambar 14. (a) Stator Voltage,  $t = 1.4$  s = 2.5 $\mu$ F (b) Stator Voltage pada Osiloskop  $t = 1.4$  s = 2.5 $\mu$ F

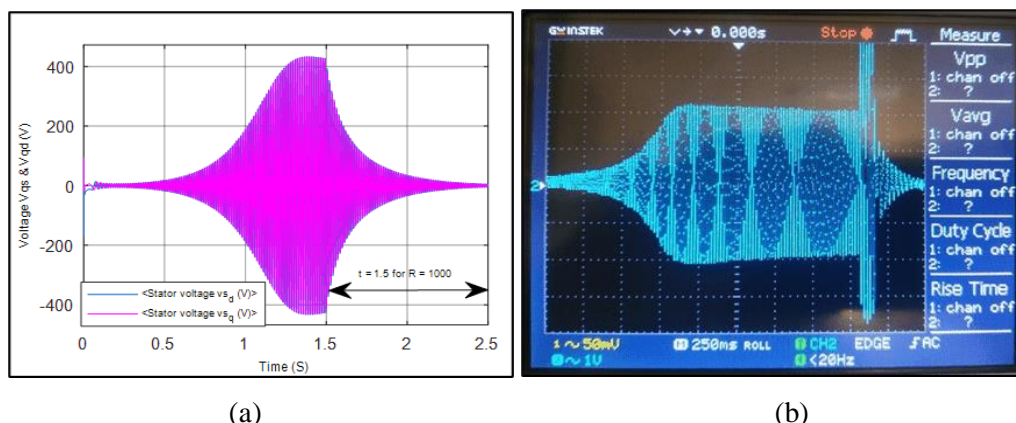
Pada gambar 14(a) merupakan hasil gelombang keluaran generator pada simulasi dengan eksitasi 5 $\mu$ F diubah menjadi 2.5 $\mu$ F pada waktu 1.4 detik, sedangkan gambar 14(b) merupakan hasil gelombang keluaran generator nyata pada osiloskop dengan eksitasi 5 $\mu$ F diubah menjadi 2.5 $\mu$ F pada waktu 1.4 detik. Tegangan  $V_{(efektife)}$  terukur adalah 323 V dengan Frekuensi 49Hz berubah menjadi 268V frekuensi 51Hz, terjadi penurunan tegangan dan kenaikan frekuensi.

### Karakteristik Generator dengan Beban Resistif

Pengujian dilakukan dengan memberikan beban berupa beban resistif pada saat generator beroperasi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana karakteristik kesanggupan daya generator ketika diberi beban.

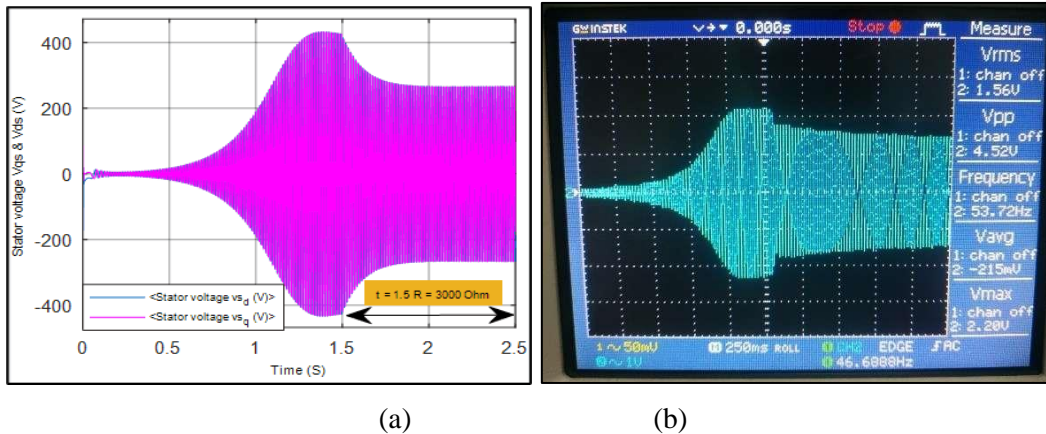
$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (8)$$

$$P = V \times I \dots\dots\dots (9)$$



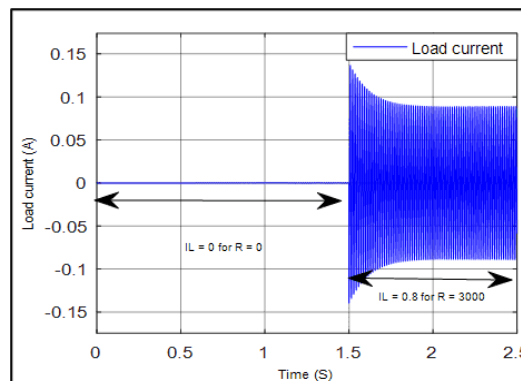
Gambar 15. Tegangan Drop pada R = 1000  $\Omega$ , (a) Simulasi (b) Osiloskop

Pada waktu 1.5 detik beban resistif 1000  $\Omega$  diberikan, Pada gambar 15 beban resistif terhadap generator diberikan sebesar 1000  $\Omega$  yang mengakibatkan terjadi *drop* tegangan, dikarenakan terlalu besar beban yang diberikan. Dengan hal ini dapat diketahui bahwa karakteristik dari generator memiliki daya batasan dan beban maksimum yang digunakan agar tidak terjadinya *drop* tegangan.



Gambar 16. *Stator Voltage*,  $t=1.5s$ ,  $R=3000\Omega$ , (a) Simulasi (b) Osiloskop

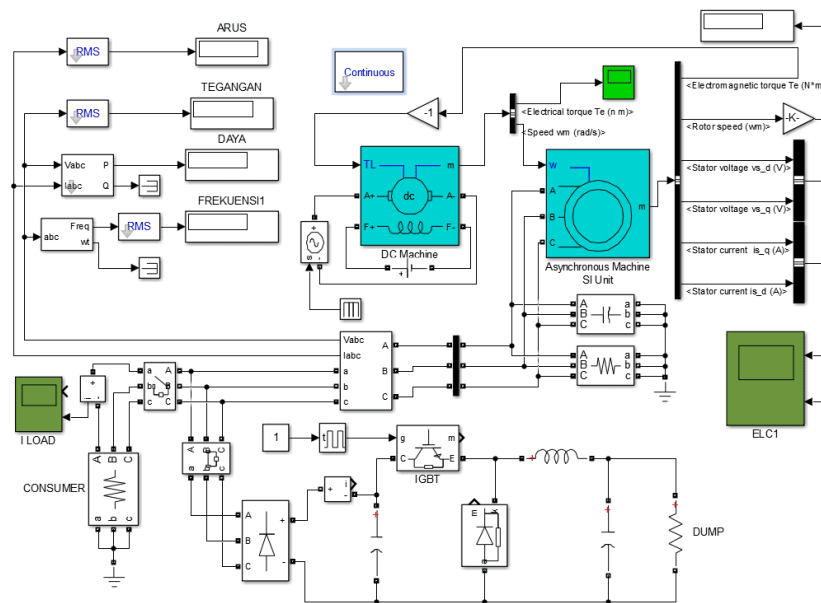
Pada gambar 16 beban resistif 3000  $\Omega$  diberikan pada waktu 1.5 detik, terjadi pengurangan tegangan pada gambar 16 dalam rentang regulasi normal dan kenaikan arus pada gambar 17 karena diberikan beban pada detik 1.5.



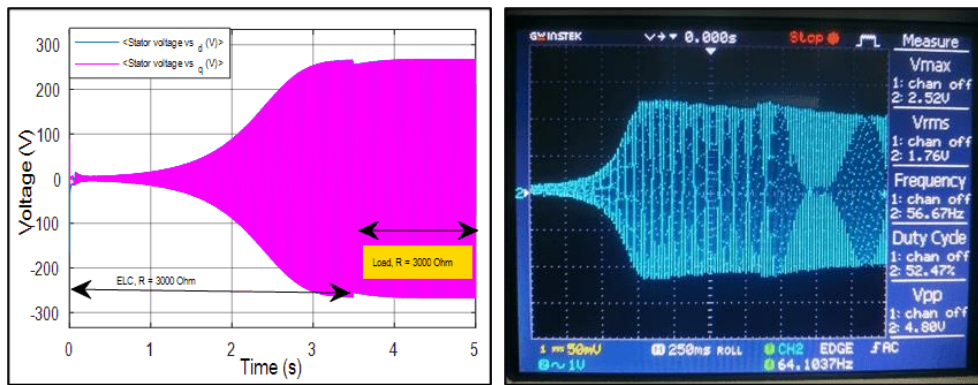
Gambar 17. Arus Beban pada  $R = 3000\Omega$

### Simulasi SEIG Menggunakan ELC

SEIG yang diusulkan bersama dengan pengatur tegangan berbasis penyeimbang beban telah dikonfigurasi pada Matlab / Simulink ditunjukkan pada gambar 18. Sistem yang diusulkan disimulasikan dengan menggunakan toolbox sistem tenaga dari *Matlab/Simulink* dalam waktu 2.5 detik. Pada pengujian sebelumnya didapatkan nilai kapasitor eksitasi adalah 2.5 $\mu$ F. Beban resistif 3000  $\Omega$  akan terhubung di terminal generator masing-masing dalam 1.4 detik. Dari pengujian beban resistif didapatkan dari kesanggupan generator menghasilkan daya dalam batas regulasi normal yaitu pada beban 3000  $\Omega$ , oleh karena itu beban efektif hambatan 3000  $\Omega$  dianggap sebagai beban buangan. Rangkaian penyearah jembatan 3- $\emptyset$  telah dibangun oleh blok dioda di *Matlab / Simulink*. Rangkaian *chopper dc* atau konverter buck dengan beban resistif dan mosfet sebagai rangkaian penyeimbang beban generator.



Gambar 18. Pemodelan dengan menggunakan ELC

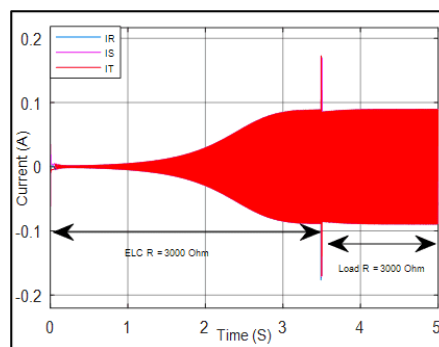


(a)

(b)

Gambar 19. Tegangan SEIG dengan ELC, (a) Simulasi (b) Osiloskop

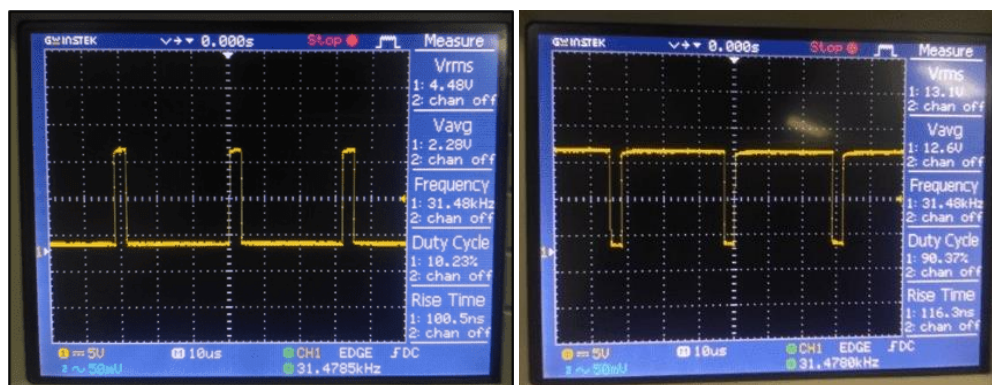
Gambar 19 adalah hasil keluaran SEIG dengan ELC. Pada 1 sampai 2.5 detik ELC aktif membuang daya ke dump, regulasi tegangan stabil 230V dan frekuensi 50Hz, detik 2.5 sampai 5 beban konsumen aktif dan ELC mengurangi daya buang regulasi tegangan 220V dengan frekuensi 49Hz. Dari pengujian dapat dilihat bahwa gelombang tegangan terlihat stabil pada regulasi normal. Pada gambar 20 dapat dilihat arus keluaran generator terlihat sama ketika ELC membuang daya dan ketika konsumen aktif.



Gambar 20. Arus SEIG dengan ELC dan Konsumen

## Pengujian Rangkaian Gate Driver

Sebagai penguat sinyal pada gelombang pulsa dan pemacu aktifnya mosfet, pengujian rangkaian gate driver ini dilakukan dengan cara menghubungkan rangkaian gate driver dengan suplai tegangan dari adaptor 5 Vdc, dan menghubungkan sinyal PWM dari pin Arduino Uno ke bagian input sinyal pada gate driver. Hasil gelombang keluaran PWM dilihat menggunakan osiloskop. Titik pengujian ini terletak pada keluaran pada rangkaian gate driver.



(a)

(b)

Gambar 21. (a) *Duty Cycle* Sebesar 10%, (b) *Duty Cycle* Sebesar 90%.

Gambar 21 menunjukkan bentuk gelombang output sinyal PWM dari *gate driver*. Pengujian yang dilakukan dengan cara memberikan *duty cycle* sebesar 10% dan 90% ke input sinyal gate driver, menghubungkan probe osiloskop ke pin positif keluaran gate driver, dan *ground clip* osiloskop dihubungkan ke pin negatif keluaran gate driver.

## KESIMPULAN

Pada penelitian yang dilakukan dengan memodelkan SEIG menggunakan *Software Matlab/Simulink* agar dapat mengetahui karakteristik dari SEIG. Dapat diketahui dari perubahan nilai dari kapasitor ekstiasi mempengaruhi dari tegangan output SEIG, dan pengujian beban resistif untuk mendapatkan maksimal daya yang dapat digunakan sehingga dapat diolah dengan ELC. Pada SEIG, ELC berperan sebagai penyalur daya sisa pada generator kepada beban komplemen berupa beban resistif ketika tidak ada beban yang digunakan konsumen. Dengan demikian, beban total generator merupakan beban utama ditambah beban komplemen sehingga tegangan dan frekuensi pada SEIG dapat dipertahankan dalam rentang regulasi tegangan dan frekuensi yang normal. Dengan penambahan ELC, daya *output* dari generator cenderung tetap stabil.

## REFERENSI

- [1] 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.
- [2] D. Kairupan, Michele, "Kata kunci ,," *Kinabalu*, vol. 11, no. 2, pp. 50–57, 2019.
- [3] N. D. Pratiwi and I. Isdiyato, "Analisis Ketidakstabilan Tegangan dan Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Soko Kembang," *Energi & Kelistrikan*, vol. 11, no. 2, pp. 129–137, 2019, doi: 10.33322/energi.v11i2.864.
- [4] Suprihardi, Yaman, and Radhiah, "Pengaturan Kapasitor Pada Generator Induksi

- Untuk Mendapatkan Tegangan dan Frekuensi Tetap,” *Proceeding Semin. Nas. Politek. Negeri Lhokseumawe*, vol. 2, no. 1, pp. 106–109, 2018.
- [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] R. Berlianti, A. Multi, and B. A. P, “Motor Induksi Fasa Tiga Tipe Rotor Sangkar Sebagai Generator Induksi Dengan Variasi Hubungan Kapasitor Untuk Eksitasi,” *Sainstech J. Penelit. dan Pengkaj. Sains dan Teknol.*, vol. 26, no. 2, pp. 33–41, 2020, doi: 10.37277/stch.v26i2.508.
- [7] S. A. Sofyan, M. Eriyadi, D. Winarso, and A. Sukarno, “PROTOTIPE FREKUENSI METER DIGITAL DENGAN RENTANG UKUR 1 Hz-100 kHz BERBASIS MIKROKONTROLER,” *Elektra*, vol. 4, no. 1, pp. 25–34, 2019, [Online]. Available: <http://elektroku.com>.
- [8] A. Najmurrokhman and K. Andryansyah, “Perancangan Electronic Load Controller Berbasis Mikrokontroler Sebagai Stabilizer Tegangan Dan Frekuensi,” no. February, 2018, doi: 10.31227/osf.io/9hb6z.
- [9] M. Irfan, M. Effendy, N. Alif, S. Lailis, I. Pakaya, and A. Faruq, “Performance comparison of fuzzy logic and proportional-integral for an electronic load controller,” *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 8, no. 3, pp. 1176–1183, 2017, doi: 10.11591/ijpeds.v8i3.pp1176-1183.
- [10] M. Firdaus, K. B. Adam, F. T. Elektro, U. Telkom, P. Listrik, and T. Mikro, “Perancangan Dan Implementasi Electronic Load Controller Dengan Menggunakan Proportional Integratif Kontroler,” *e-Proceeding Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 4200–4210, 2016.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**