

Rancangan *electronic load control* 1 fasa pada simulator pembangkit listrik tenaga piko hidro

Wahyu Budi Mursanto¹, Muhammad Ardhyhan Putra Purnama^{2*}, Apip Pudin³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat, Indonesia

¹wahyu.mursanto@polban.ac.id, ^{2*}muhammad.ardhyhan.tptl19@polban.ac.id, ³apipp055@gmail.com

ABSTRAK

Pada sebuah pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTH) diperlukan kontrol beban konsumen supaya generator tidak mengalami kerusakan akibat tidak stabilnya tegangan dan arus keluaran generator. *Electronic load control* (ELC) merupakan pilihan untuk mengatur beban tersebut. Namun, ELC di pasaran menggunakan konfigurasi beban *ballast* dengan pengendalian yang memanipulasi gelombang masukannya untuk mengatur besarnya beban *ballast*, sehingga berakibat pada tingginya harmonisa. Harmonisa merupakan gangguan pada sistem ketenagalistrikan yang berdampak buruk bagi generator. Sehingga, dalam penelitian ini memiliki tujuan untuk merancang ELC pada simulator PLTH yang memiliki harmonisa lebih kecil dengan metode menggabungkan kombinasi beban *ballast* metode beban biner dengan metode *phase angle*. Dari pengujian generator didapatkan hasil bahwa maksimal beban generator adalah sebesar 210 W sehingga digunakan konfigurasi 3 buah lampu dengan metode beban biner dimana lampu 1 bernilai 25 W, lampu 2 bernilai 50 W, lampu 3 bernilai 100 W, 1 buah lampu beban utama bernilai 200 W, dan 1 buah lampu dengan metode *phase angle* bernilai 25 W. Dengan rancangan tersebut, ELC hasil rancangan dapat bekerja dengan baik dibuktikan dengan parameter tegangan generator yang stabil pada tegangan 215 V dan arus 1 A. Pengujian harmonisa menunjukkan bahwa ELC rancangan mampu mereduksi harmonisa tegangan sebesar 3% dan harmonisa arus tereduksi sebesar 13,1% dibandingkan dengan ELC pabrikan.

Kata kunci: ELC, harmonisa, *phase angle*, beban biner

ABSTRACT

In a pico-hydro power plant (PLTH) it is necessary to control the consumer's load so that the generator does not suffer damage due to the unstable voltage and output current of the generator. Electronic load control (ELC) is an option to manage the load. However, the ELC on the market uses a ballast load configuration with a control that manipulates the input waveform to adjust the amount of ballast load, resulting in high harmonics. Harmonics are disturbances in the electricity system which have a negative impact on generators. Thus, in this research the aim is to design an ELC in a PLTH simulator that has smaller harmonics by combining the combined ballast load method with the binary load method and the phase angle method. From testing the generator, it was found that the maximum generator load was 210 W, so a configuration of 3 lamps was used with the binary load method where lamp 1 was worth 25 W, lamp 2 was worth 50 W, lamp 3 was worth 100 W, 1 main load lamp was worth 200 W, and 1 lamp using the phase angle method with a value of 25 W. With this design, the designed ELC can work well as evidenced by the stable generator voltage parameters at a voltage of 215 V and a current of 1 A. Harmonic testing shows that the designed ELC is able to reduce voltage harmonics by 3% and reduced current harmonics by 13.1% compared to the factory ELC.

Keywords: ELC, harmonics, *phase angle*, biner load

1. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik yang memanfaatkan debit air sebagai penggerak utamanya merupakan salah satu potensi energi alternatif yang digemari terkhususnya di Indonesia yang memiliki potensi perairan yang banyak. Pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) dapat menghasilkan energi listrik dimulai dari potensi tenaga air yang dikonversi menjadi tenaga mekanik karena air memberikan gaya dorong pada sudu turbin. Kemudian turbin air tersebut dihubungkan dengan poros generator sehingga generator dapat membangkitkan tenaga listrik [1]. Salah satu permasalahan yang kerap dijumpai pada pembangkit listrik yang ditenagai oleh air ini ialah fluktuasi frekuensi dan tegangan akibat dari

fluktuasinya beban. Dari fluktuasinya frekuensi dan tegangan akan berdampak pada komponen kelistrikan, sebagai contoh generator yang akan mengalami *overheat* jika frekuensi terlalu tinggi, atau akan *burn out* pada saat *starting* jika tegangan berada dibawah spesifikasi [2]. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan tidak adanya pengontrolan pada debit air.

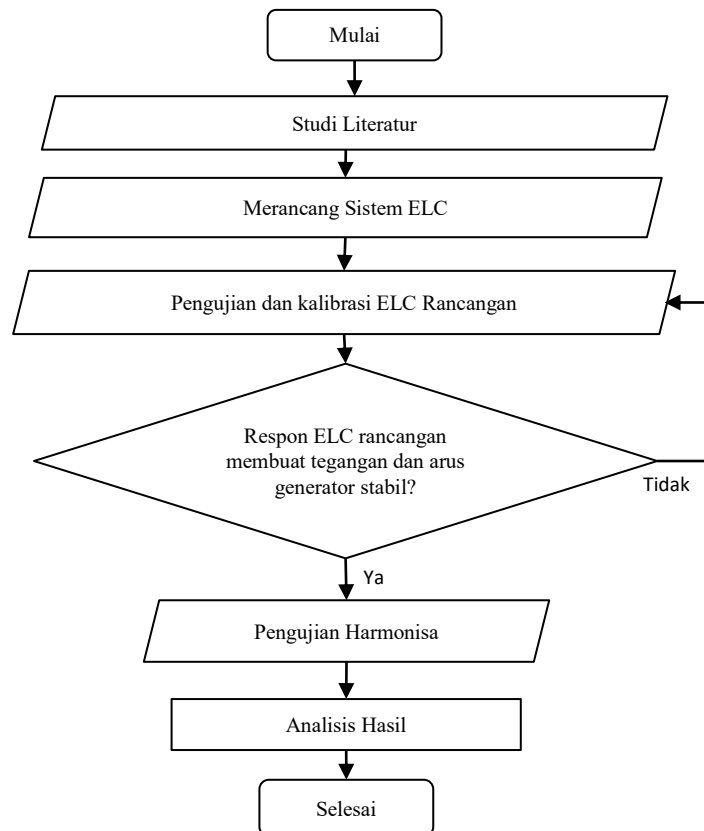
Sistem pengendalian frekuensi dan tegangan generator terbagi menjadi dua, yaitu pengendalian secara mekanik dan secara elektrik [2]. Pengendalian secara mekanik merupakan pengendalian dengan menggunakan *governor* sedangkan pengendalian secara elektrik ialah pengendalian dengan menggunakan *electronic load controller* (ELC). ELC sendiri merupakan alat elektronik untuk mengatur kestabilan beban generator dengan cara mengalihkan daya ke beban komplemen (*ballast load*) secara elektronik bila terjadi penurunan beban konsumen, sehingga putaran generator selalu konstan [3]. Dipasaran ELC dibuat dengan hanya menggunakan 2 buah jenis variasi beban, yaitu 1 buah beban variabel, dan 1 beban tetap. Kedua beban ini memiliki bobot pengontrolan yang sama yaitu 50% dari total daya yang dihasilkan generator. Dengan kombinasi sejenis harmonisa yang dibangkitkan akan tinggi, seperti pada penelitian [4], didapatkan hasil bahwa ELC yang menggunakan triac dalam pengaturan daya antara *ballast* dengan konsumennya memiliki kandungan harmonisa yang tinggi.

Pada penelitian terkait perancangan ELC dengan menggunakan mikrokontroler pada sistem pembangkit mikrohidro [5] menjelaskan bahwa ELC dapat dirancang dengan memanfaatkan mikrokontroler untuk menekan biaya pembuatan suatu ELC, dan ELC hasil rancangan akan memiliki bentuk yang lebih ringkas dibandingkan dengan ELC pada umumnya. Berdasarkan penelitian terkait simulasi perancangan ELC menggunakan mikrokontroler dengan kombinasi beban biner dan *pulse width regulator* [6] menghasilkan rancangan ELC yang ringkas, murah, dan dapat diandalkan. Hasil rancangan pun dapat bekerja sesuai dengan kondisi beban konsumen yang digunakan. Pada penelitian tersebut menjelaskan bahwa dengan pengaturan beban biner sebagai kendali beban *ballast* dapat menghasilkan harmonisa yang kecil, namun tidak ada data yang diberikan untuk membuktikan bahwa harmonisa dapat tereduksi dengan pengaturan beban *ballast* tersebut. Pada penelitian [7] dikemukakan rancangan ELC yang menggunakan mikrokontroler untuk komputasi data dan menggunakan saklar semi konduktor untuk mengatur beban *ballast* nya dengan metode pengendalian berupa *proportional integrative* (PI). Dengan pengendalian tersebut dapat menghasilkan pengendalian yang responsif namun masih menghasilkan harmonisa yang besar karena masih digunakannya saklar semikonduktor dengan beban yang besar karena prinsip kerja dari saklar semikonduktor ini adalah membentuk gelombang dengan frekuensi tinggi yang merupakan perkalian dari integer dengan frekuensi fundamental, sehingga akan timbul harmonisa pada keluaran generator tersebut [8].

Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan rancangan ELC yang dapat mereduksi harmonisa yang terjadi jika digunakan ELC pabrikan dengan cara menggunakan pengaturan beban *ballast* yang berbeda, yaitu dengan mengkombinasikan pengaturan beban *ballast* biner dan sudut fasa atau *phase angle*. Kombinasi ini dapat mengurangi terjadinya harmonisa dikarenakan digunakan beban penyaklaran semikonduktor yang kecil sehingga akan menghasilkan harmonisa yang kecil. Beban biner memiliki nilai beban yang lebih besar dibandingkan dengan beban penyaklaran semikonduktor karena beban ini berperan untuk menambah kekurangan beban *ballast* jika beban biner telah menyala namun belum dapat menyeimbangkan beban konsumen yang hilang. Tahapan penelitian ini dilakukan dari pengujian generator sinkron satu fasa yang digunakan, setelah didapat karakteristik generator selanjutnya merancang komponen yang cocok dengan spesifikasi generator yang digunakan, dilanjutkan dengan pengujian ELC hasil rancangan dengan pemrogramannya dan bandingkan dengan alat ukur. Jika semua pengujian dan kalibrasi tersebut telah dilakukan maka dilanjutkan dengan pengujian harmonisa pada generator antara ELC hasil perancangan dengan ELC pabrikan yang tersedia.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dibuat diagram alir perancangan sebagai dasar penelitian ini. Diagram alir yang digunakan tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir perancangan

2.1 Spesifikasi ELC Rancangan

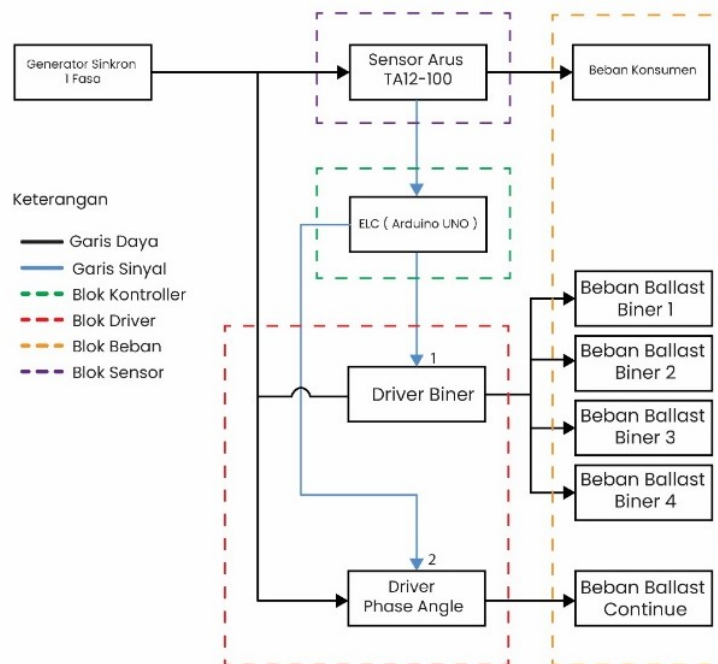
ELC pada dasarnya terdiri dari 3 buah bagian utama yaitu sensor, sakelar elektronik, dan beban komplemen. ELC yang tersebar dipasaran rata-rata menggunakan 2 variasi beban komplemen yaitu 1 buah beban variable, dan 1 buah beban tetap dengan bobot pengendalian yang sama sebesar 50%. Untuk mengendalikan beban variabel ini seringkali digunakan TRIAC untuk mengendalikan beban tersebut. Namun dengan digunakannya beban yang tinggi pada pengendali TRIAC tersebut akan mengakibatkan besarnya harmonisa yang terjadi.

Karenanya dilakukan penelitian ini bertujuan untuk mengetahui reduksi harmonisa yang terjadi jika menggunakan pendekatan pengaturan beban *ballast* biner dan *phase angle*. Beban *ballast* biner bekerja dengan prinsip pengendalian ON-OFF dan *phase angle* dengan prinsip pengendalian *feedforward*. ELC yang dirancang berfokus untuk menstabilkan parameter tegangan dan arus generator. Rancangan ELC ini berlandaskan dari kondisi generator yang digunakan. Setelah mendapatkan data generator selanjutnya dilakukan pemilihan komponen yang sesuai dengan kondisi generator tersebut. Spesifikasi ELC yang dirancang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi ELC rancangan

No.	Spesifikasi	Keterangan
1	Pemodelan generator	Generator sinkron 1 fasa
2	Sensor arus	AC current transformer TA12-100
3	Metode pengendalian	
	a. Metode biner	Pengendalian ON-OFF
	b. Metode <i>phase angle</i>	Pengendalian <i>feedforward</i>
4	Bahasa pemrograman	Bahasa C (Arduino IDE)
5	Tegangan kerja generator	220 Volt
6	Arus maksimal generator	1 Ampere

Komponen pada Tabel 1 tersebut kemudian dirancang sesuai dengan diagram blok yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema kerja ELC rancangan

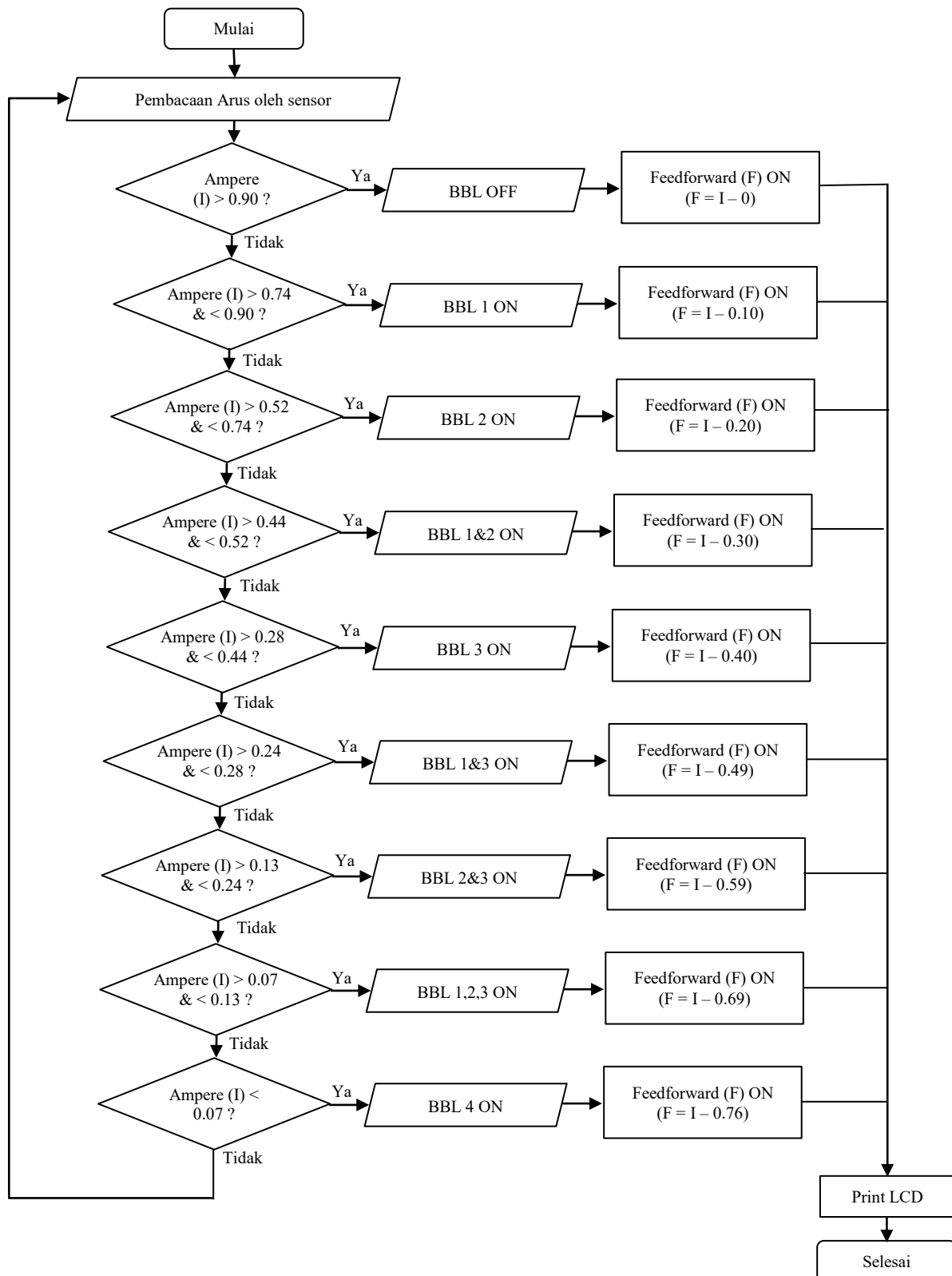
Generator akan membangkitkan tegangan, ketika beban konsumen belum terhubung dengan sumber maka beban akan dialirkan sepenuhnya ke beban *ballast*. Beban *ballast* akan hidup sesuai dengan kebutuhan yang terdeteksi oleh kondisi arus *ballast*. Kemudian ketika beban konsumen sudah terpasang tetapi arus konsumen nilainya tidak sama dengan arus nominal generator maka pada kondisi ini arus *ballast* akan mengaktifkan beban *ballast* sesuai dengan kebutuhan. Penentuan arus *ballast* ini dapat diketahui dengan cara menghitung selisih antara arus nominal generator dengan arus konsumen yang digunakan.

Blok komponen ELC terdiri dari garis daya yang digunakan sebagai catu daya beban, garis sinyal yang digunakan untuk mengirim sinyal dari sensor arus ke Arduino dan mengirim sinyal dari Arduino ke ELC, blok kontroler yang di dalamnya terdapat Arduino Uno sebagai mikrokontroler, blok *driver* yang di dalamnya terdapat *driver* untuk metode biner dan metode *phase angle*, blok sensor yang di dalamnya terdapat sensor arus TA12-100 sebagai sensor pada sisi konsumen, dan blok beban yang di dalamnya berisi beberapa beban yang digunakan pada sistem ini.

Dalam blok *driver* terdapat nomor 1 dan 2 pada bagian metodenya, nomor ini menunjukkan urutan metode yang bekerja. Metode yang pertama kali bekerja adalah metode biner dengan tujuan agar pemenuhan beban *ballast* cepat mendekati nilai yang dibutuhkan, setelah metode biner bekerja metode *phase angle* akan bekerja jika masih ada kekurangan beban *ballast*. Sehingga kedua metode ini akan bekerja secara berurutan.

2.2 Algoritma Kontrol ELC Rancangan

ELC yang dirancang ini menggunakan metode pengendalian *feedforward* dan biner yang mana ketika arus dibaca maka Arduino akan memberikan sinyal untuk menyalakan beban biner tertentu sesuai dengan kebutuhan. Setelah beban biner menyala maka *feedforward* akan membaca nilai arus yang terbaca dan mengurangi hasilnya sesuai dengan *set point* yang telah ditetapkan pada program. *Set point* tersebut merupakan selisih dari batas maksimal arus dari setiap kondisi, sehingga jika ada beban yang berada di dalam *range* arus yang ditetapkan, maka *driver phase angle* yang menggunakan pengendali *feedforward* tersebut akan menyesuaikan arus yang akan digunakan. Hasil selisih tersebut akan dikonversi menjadi nilai analog Arduino supaya *driver phase angle* dapat bekerja. Algoritma kontrol ELC rancangan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Algoritma rancangan ELC

2.3 Perancangan ELC

Dalam perancangan ELC sebagai sistem kontrol utama digunakan Arduino UNO yang merupakan papan mikrokontroler yang bersifat *open source*. Mikrokontroler pada suatu rangkaian berfungsi untuk pengendali yang mengatur jalannya proses kerja dari rangkaian elektronik. Arduino memiliki bahasa pemrograman yaitu bahasa C++ yang telah dimodifikasi sehingga dapat kompatibel dengan perangkat lainnya [9]. Komponen peralatan yang digunakan selama penelitian ini ialah:

a. Sensor Arus

Dalam perancangan sensor ini digunakan sensor TA12-100 yang memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik dengan cara melewati kawat penghantar di tengah-tengah kumparan sensor TA12-100 [10]. Sensor arus TA12-100 ini memiliki *range* pembacaan dengan nilai 0A – 5A dan efektif jika digunakan untuk pembacaan arus AC.

b. *Driver* Biner

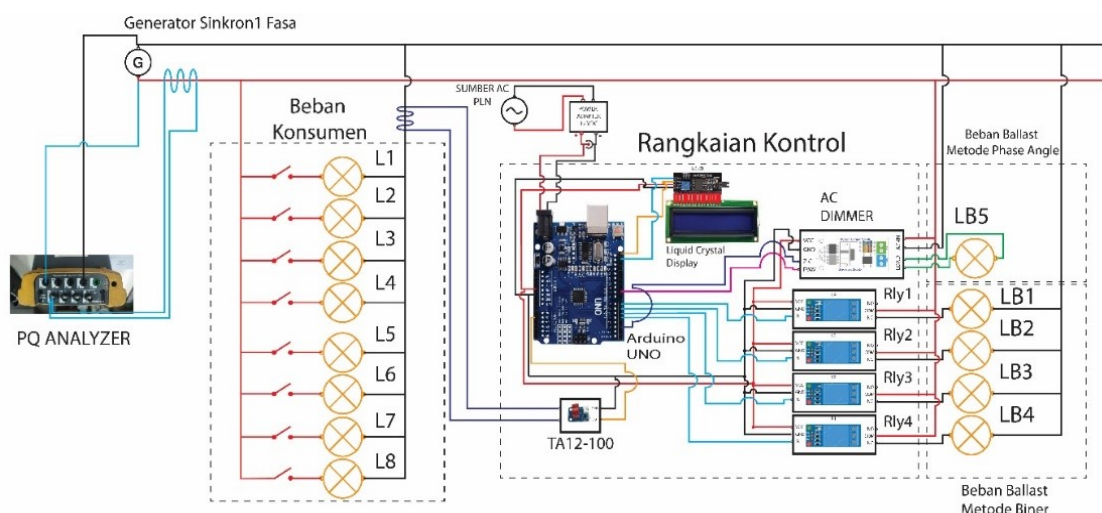
Perancangan *Driver* Biner digunakan relai yang memiliki prinsip kerja ON-OFF yang dapat dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino [11]. Relai yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 4 buah dimana 3 buah beban berperan sebagai beban biner utama dan 1 buah beban yang berperan sebagai penyeimbang beban nominal generator.

c. *Driver Phase Angle*

Driver metode *phase angle* pada penelitian ini merupakan sebuah *driver* kontinu yang akan aktif setelah *driver* biner bekerja. Dalam pengaturan sudut fasa, beban *ballast* terdiri dari sirkuit beban resistif tunggal yang besarnya sama dengan (atau sedikit lebih besar dari) nilai beban penuh keluaran dari generator [5]. *Driver* kontinu akan berfungsi untuk menambahkan beban *ballast* ketika masih terdapat kekurangan beban pada metode biner. *Driver* metode *phase angle* terdiri dari beberapa komponen diantaranya terdapat dioda *bridge*, 4N25 yang merupakan *optocoupler* yang digunakan sebagai *zero crossing detector*, MOC3031M yang merupakan bagian dari rangkaian switching TRIAC, dan TRIAC yang digunakan untuk mentrigger tegangan juga digunakan sebagai pengaturan nyala sudut pada gelombang AC. Untuk perancangan *driver* metode *phase angle* ini digunakan komponen yaitu AC *dimmer* dari Robotdyn yang dapat langsung dikendalikan oleh mikroprosesor Arduino secara langsung.

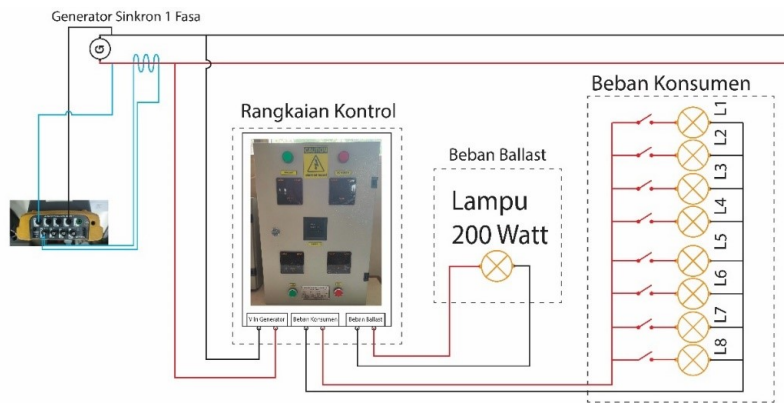
2.4 Perancangan Sistem Kontrol dan Pengukuran Harmonisa

Perancangan sistem kontrol terdiri dari rangkaian metode biner dengan metode *phase angle* yang terhubung dalam satu sumber yang sama. Sistem *driver* gabungan dirancang seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Sistem kontrol ELC rancangan

Pengukuran harmonisa dilakukan dengan cara menentukan nilai THD baik itu THD arus maupun THD tegangan. Pengukuran harmonisa pada generator dengan nilai beban kontinyu 25 Watt menggunakan alat ukur *Power Quality Analyzer Fluke*. Pengukuran harmonisa pada ELC pabrikan ini dengan tujuan supaya ELC hasil rancangan mempunyai pembandingan dari segi harmonisa yang dihasilkan. ELC pabrikan yang digunakan ini memiliki konfigurasi pengaturan beban ballast dengan hanya menggunakan metode beban kontinyu. Peralatan pengujian harmonisa yang digunakan ialah *Power Quality Analyzer Fluke*. Sistem ELC pabrikan dirangkai seperti pada Gambar 5.

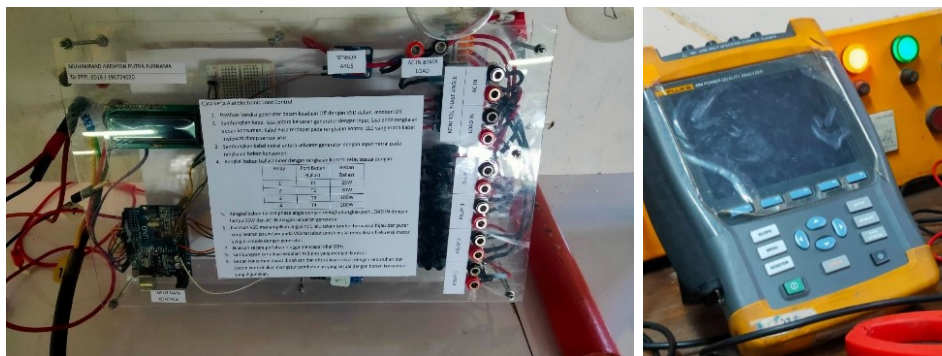


Gambar 5. Pengukuran harmonisa pada ELC pabrikan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Realisasi Alat

Hasil rancangan selanjutnya diaplikasikan dengan membuat ELC dalam kondisi sebenarnya. Hasil pengaplikasian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaplikasian ELC rancangan (kiri) dan PQ analyzer (kanan)

Pengujian dilakukan dengan kondisi beban konsumen yang berbeda-beda, dimulai dari kondisi beban nol hingga beban 210 Watt. Didapatkan hasil seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian dengan digunakannya ELC Rancangan

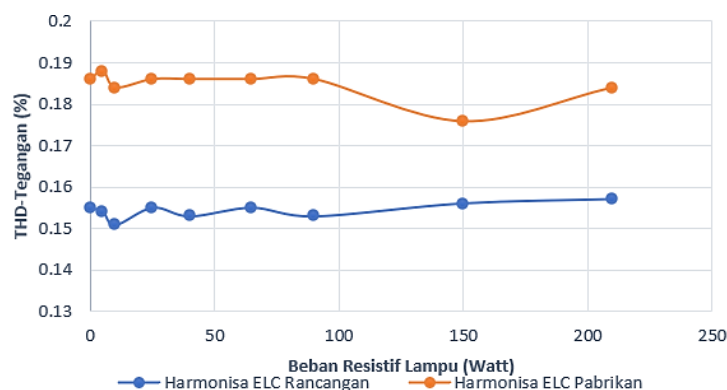
Beban konsumen (Watt)	Arus konsumen (Ampere)	Arus biner (Ampere)	Arus total (Ampere)	Tegangan output generator (Volt)
0	0,00	0,9	0,9	215
5	0,08	0,8	1,0	211
10	0,17	0,7	0,9	215
25	0,26	0,5	1,0	213
40	0,33	0,4	0,9	215
65	0,44	0,3	0,9	215
90	0,54	0,2	0,9	214
150	0,77	0,1	1,1	208
210	1,00	OFF	1,1	206

Dapat dilihat pada Tabel 2, bahwa arus beban konsumen dan beban ballast, serta tegangan *output* generator menunjukkan nilai yang stabil (*error* di bawah 5%) meskipun beban konsumen yang berubah-ubah. Karakteristik generator setelah digunakannya hasil rancangan ELC ini dapat terlihat bahwa generator bekerja dengan parameter-parameter yang dapat dikatakan cukup baik dengan tegangan terkecil berada pada 206 Volt dan rata-rata tegangan berada di kisaran 215 Volt.

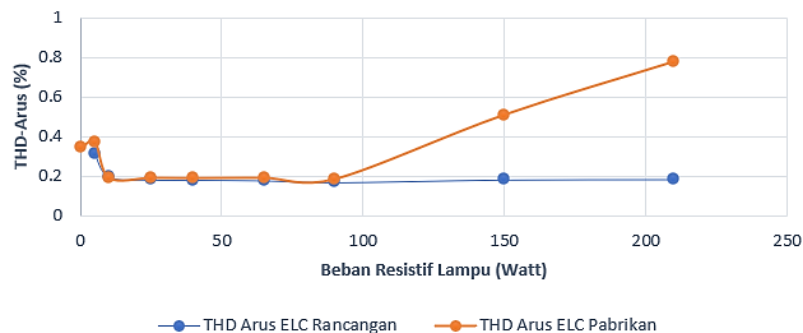
Meskipun parameter tegangan tidak tepat pada 220 Volt, namun keadaan saat ini telah memenuhi parameter yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia [12] dimana batas rentang variasi tegangan dengan nilai maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominal.

3.2 Analisis Harmonisa

Pada pengujian harmonisa dengan penggunaan ELC, dilakukan pengambilan data harmonisa dalam bentuk *Total Harmonic Distortion* (THD) tegangan dan arus yang didapatkan dari pengujian langsung menggunakan alat *PQ Analyzer Fluke*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Grafik perbandingan harmonisa tegangan dengan penggunaan ELC



Gambar 8. Grafik perbandingan harmonisa arus dengan penggunaan ELC

Dari hasil pengujian harmonisa antara ELC rancangan dengan ELC pabrik didapatkan hasil bahwa THD tegangan dan arus dengan menggunakan ELC rancangan menghasilkan THD yang lebih minim jika dibandingkan dengan ELC pabrik. THD tegangan dengan penggunaan ELC hasil rancangan menghasilkan THD tegangan pada kisaran 15,5% dan THD arus pada kisaran nilai 19,9%, sedangkan pabrik menghasilkan THD tegangan kisaran 18,5% dan THD arus pada kisaran 33%. Hal tersebut dikarenakan ELC rancangan menggunakan kombinasi beban biner dan beban kontinyu, sehingga beban kontinyu dapat menggunakan beban yang lebih kecil, berbeda dengan ELC pabrik yang hanya menggunakan beban kontinyu pada pengaturan beban *ballast*-nya. Dengan demikian, jika membandingkan data harmonisa tegangan ELC rancangan memiliki harmonisa tegangan yang lebih kecil dengan nilai 3% dibandingkan dengan ELC pabrik dan harmonisa arus ELC rancangan lebih kecil 13,1%. Dengan hasil yang telah didapatkan maka dapat dikatakan bahwa alat dapat bekerja dengan baik dan mereduksi harmonisa yang terbentuk. Namun jika digunakan pada skala industri alat ini perlu beberapa penyesuaian dan uji coba seperti uji coba daya tahan alat.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa hasil dari ELC yang telah dirancang telah berhasil menstabilkan tegangan dan arus generator dimana didapatkan maksimal beban generator sebesar 210 Watt, dengan tegangan 215 Volt dan arus sebesar 1 Ampere. Dengan ELC rancangan ini didapatkan hasil bahwa harmonisa tegangan yang terbentuk tereduksi sebesar 3% dan harmonisa arus tereduksi sebesar 13,1% dibandingkan dengan ELC pabrian.

REFERENSI

- [1] D. Marsudi, *Pembangkitan Energi Listrik*, Jakarta Timur: Penerbit Erlangga, 2005.
- [2] S. Mbabazi and J. Leary, "Analysis and Design of Electronic Load Controllers for Micro-hydro Systems in the Developing World," *University of Sheffield, United Kingdom*, 2010.
- [3] M. Kholifatulloh, "Kajian Terhadap Perancangan Electronic Load Controller Menggunakan Mikrokontroler ATMEGA16 Sebagai Pengendali Beban Komplemen Resistif dan Dinamik," *Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Universitas Brawijaya Fakultas Teknik*, Malang, 2012.
- [4] A. Mashar dan D. Sodiq, "Analisis Harmonisa Electronic Load Control (ELC) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)," *Politeknik Negeri Bandung Jurusan Teknik Konversi Energi*, 2013.
- [5] N. W. Aung and A. Z. Ya, "Microcontroller Based Electrical Parameter Monitoring System of Electronic Load Controller Used in Micro," *Journal of Electrical and Electronic Engineering*, pp. 97-109, 2015.
- [6] N. W. Aung and A. Z. Ya, "Design Of Electronic Load Controller By Using Combination Method For Micro-Hydro Power Plant and Its Control and Monitoring Simulation," *International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication*, vol. 4, no. 6, pp. 7-8, 2015.
- [7] M. Firdaus, M. S. Suraatmadja, and K. B. Adam, "PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI ELECTRONIC LOAD CONTROLLER DENGAN MENGGUNAKAN PROPORTIONAL INTEGRATIF KONTROLER," *e-Proceeding of Engineering*, no. 3, pp. 4200-4210, 2016.
- [8] Z. Aini and A. Mar'i, *DESAIN SINGEL TUNED FILTER TERHADAP HARMONISA PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI*, Pekanbaru-Riau: Al-Mujtahadah Press, 2021.
- [9] S. Sarimuddin, *Cara Mudah Kuasai Mikrokontroler Arduino Teori dan Praktek*, Kabupaten Pubralingga: Eureka Media Aksara, 2023.
- [10] F. N. Ikhsan and G. tjahjadi, "Perancangan Stop Kontak Pengendali Energi Listrik Dengan Sistem Keamanan Hubung Singkat dan Fitur Notifikasi Berbasis Internet Of Things (IOT)," *Universitas Trisakti Fakultas Teknologi Industri*, Jakarta, 2018.
- [11] Y. Tjandi and S. Kasim, "Electric Control Equipment Based on Arduino Relay," *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1244, vol. 1, no. 3, pp. 1-2, 2019.
- [12] Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2020, Jakarta Pusat: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2020, 2020.