

## ***Electric Load Controller Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro***

Mukhlas Ardianto<sup>1</sup>, Joke Pratilastiarso<sup>2</sup>, Prima Dewi Permatasari<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Sistem Pembangkit Energi, Departement Mekanika dan Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Email : [mukhlasardianto78@gmail.com](mailto:mukhlasardianto78@gmail.com)

Diterima (Agustus, 2019), direvisi (Agustus, 2019), diterbitkan (September, 2019)

---

### **Abstract**

*In implementation, PLTMH utilizes different head heights so that the potential energy of water is converted into mechanical energy to turn turbines. Then the generator will convert mechanical energy from the turbine shaft rotation into electrical energy. In the operation of PLTMH, fluctuating loads cause unstable frequencies and voltages that can damage electrical equipment and cause overspeed generators when the load is very low. To regulate fluctuating loads on modern PLTMH using ELC (Electric Load Controller). The working principle of the ELC is to control the load which aims to balance the power generated by the generator with the power used by consumers. The results of the simulation conducted by a generator with 30 VA power require an excitation voltage of 52.2 V dc, the dc voltage of the buck converter is capable of producing an output of 52.2 V with a duty cycle value of 0.725%. Changes in consumer loads cause the value of the generator voltage to increase, namely loading from a scale of 11-30 KW with a voltage reading of 220-235 V line-neutral. The decrease in consumer load results in the power transferred to the ballast load being greater, namely alpha angle variation from 0o - 180o. A decrease in consumer load from a scale of 11-30 KW results in the power being transferred to ballast loads from 0 KW - 30 KW. ELC is able to maintain line-neutral voltage on the 220 V set point and has 100% accuracy. The ELC simulation results are able to maintain a 220 V set point voltage with a power capacity generated by a 30 VA generator.*

**Keyword : Electric Load Controller, Ballast Load, Alpha Angle**

### **1. PENDAHULUAN**

Penduduk Indonesia yang tersebar luas dari berbagai pulau memerlukan pemerataan energi listrik untuk menunjang berbagai kebutuhan demi kelangsungan hidupnya. Dimana, salah satu tujuan dari SDGs 2030 ialah memastikan akses terhadap energi yang terjangkau, dapat diandalkan, berkelanjutan dan modern bagi semua termasuk energi listrik. Terkait pemerataan energi listrik di Indonesia berdasarkan rasio elektrifikasi nasional 2017 untuk daerah Papua dan Nusa Tenggara Timur masih dibawah 70% yang notabene kedua daerah tersebut termasuk dalam kategori daerah 3T (Terluar, Terdepan, Tertinggal). Pemanfaatan *renewable energy* merupakan terobosan terbaru untuk mengurangi penggunaan energi listrik dengan bahan bakar yang berasal dari minyak, gas dan batubara. Hasil laporan *Master Plan Study for Hydro Power*

*Development in Indonesia* oleh Nippon Koei tahun 2011, potensi tenaga air yang dimiliki Indonesia mencapai 26.321 MW meliputi 99 lokasi yang dapat dikembangkan menjadi PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) maupun PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) termasuk daerah Papua dan Nusa Tenggara Timur.

Pembangunan PLTMH lebih dipilih karena biaya murah dan kapasitas pembangkit mencapai 100 kW sehingga sangat potensial untuk dibangun pada daerah 3T. Dalam penerapannya PLTMH memanfaatkan beda ketinggian (*head*) air sehingga energi potensial air dikonversikan menjadi energi mekanik untuk memutar turbin. Kemudian generator akan mengkonversikan energi mekanik dari putaran poros turbin menjadi energi listrik. Pada pengoperasian PLTMH beban yang fluktuatif menyebabkan terjadinya tidak stabilnya frekuensi dan tegangan yang dapat merusak peralatan listrik serta menyebabkan terjadinya *overspeed* generator ketika beban sangat rendah. Untuk mengatur besar daya yang dibangkitkan pada PLTMH konvensional masih menggunakan komponen *governor* dimana apabila terjadi perubahan beban, *governor* akan mengurangi/menambah debit air menuju turbin. Dari segi ekonomi *governor* harganya mahal dan respon terhadap perubahan beban generator yang lambat. Sehingga untuk PLTMH modern menggunakan ELC (*Electric Load Controller*) karena dari segi ekonomi lebih murah dan respon terhadap perubahan beban generator yang cepat. Prinsip kerja dari ELC yakni mengontrol beban yang bertujuan menyeimbangkan antara daya yang dibangkitkan generator dengan daya yang digunakan oleh konsumen. Dalam sistem ELC tiga fasa terdapat 6 buah thyristor dimana sudut penyulutannya dikendalikan oleh rangkaian *trigger* dengan sudut  $\alpha$  dari  $0^\circ$  sampai  $180^\circ$  dan beban konsumen berubah dari nol ke beban penuh. Daya yang mengalir ke beban dikendalikan dengan menunda sudut penyulutan (*firing angle*) dari thyristor. Ketika beban konsumen turun, thyristor diaktifkan dengan sudut penyulutan diatur oleh *AC controller* dengan sudut  $\alpha$  dari  $0^\circ$  sampai  $180^\circ$ . Proses ini mengakibatkan tegangan masuk dan daya dialirkan ke *ballast load* yang merupakan tahanan (*tubular air heater*) sehingga apabila daya konsumen dijumlahkan dengan daya yang dialirkan ke *ballast load* sama dengan daya yang dibangkitkan oleh generator.

Dalam penelitian ini dilakukan pendesainan ELC menggunakan software PSIM untuk generator sinkron 3 fasa dengan menggunakan thyristor. System ELC terdiri dari *zero crossing detector* berfungsi mendeteksi sinyal sinusoidal sebagai sinyal referensi saat memberikan sinyal ke rangkaian daya, kemudian digunakan sebagai sinyal *trigger* pada thyristor dan *ballast load* sebagai tahanan resistif yang berfungsi menampung daya yang tidak digunakan oleh beban konsumen. Diharapkan dengan pemanfaatan ELC pada PLTMH dapat mengoptimalkan potensi air yang dimiliki dari daerah 3T (Terluar, Terdepan, Tertinggal) melalui pemenuhan kebutuhan energi listrik sehingga dapat terwujudnya salah satu program *Sustainable Development Goals 2030* dalam pemerataan energi yang terjangkau, dapat diandalkan, berkelanjutan dan modern bagi semua.

## 2. MATERI DAN METODE

Generator sinkron mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik bolak-balik secara elektromagnetik. Energi mekanik berasal dari penggerak mula yang memutar rotor, sedangkan energi listrik dihasilkan dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan-kumparan stator. Apabila beban dari generator fluktuasi akan menyebabkan tegangan dan frekuensi generator berubah. Ketika beban mengalami penurunan maka generator akan *overspeed* hal ini dapat merusak dari sisi generator dan juga merusak dari sisi peralatan konsumen. Adapun persamaan teori yang digunakan sebagai berikut :

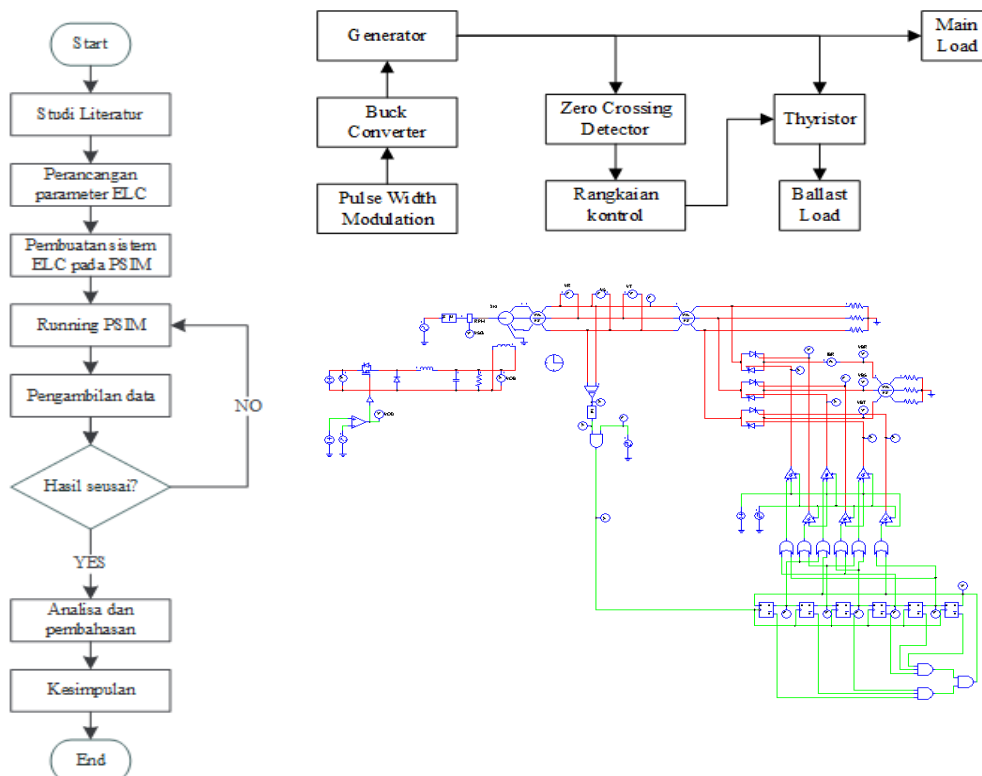
$$n = \frac{120 f}{p} \dots (2.1) ; T_m = T_e + T_a \dots (2.2) ; T_a = Mx \frac{d\omega}{dt} \dots (2.4)$$

$$T = \frac{P}{\omega} \dots (2.4) ; n = \frac{P}{Q} \dots (2.5) ; P = I^2 R \dots (2.6)$$

$$P_{ballast} = 30 \% \times \text{Potensi daya terbangkit} \dots (2.7)$$

$$I_{ballast} = \frac{P_{ballast}}{V_{L-N}} \dots (2.8) ; R_{ballast} = \frac{V_{in}}{I_{ballast}} \dots (2.9)$$

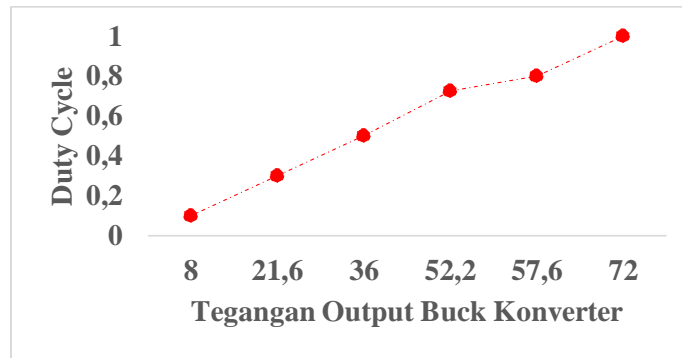
*Electric load controller* merupakan alat control yang digunakan pada PLTMH agar daya yang dibangkitkan oleh generator selalu bernilai sama dengan daya yang dipakai oleh beban konsumen. Dalam system ELC menggunakan thyristor digunakan untuk mengalihkan daya yang tidak terpakai oleh beban konsumen ke *ballast load*. Untuk mengatur besar daya yang dialihkan ke *ballast load* dapat diatur melalui *alpha controller* dimana digunakan mengatur besar kecilnya sudut penyulutan (*firing angle*) dengan skala  $0^\circ$  sampai  $180^\circ$ . Berikut ini gambar 1 (a) menjelaskan tentang diagram alir metodologi penelitian



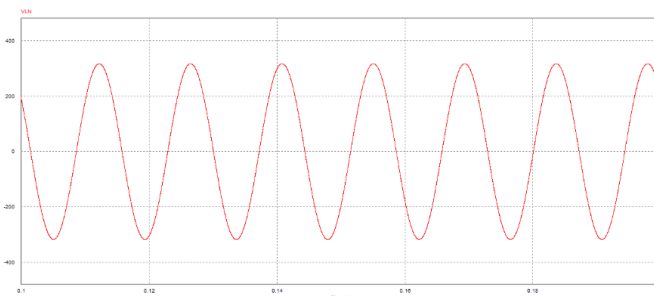
**Gambar 1. (a) Metodologi penelitian (b) Skema rangkaian *Electric Load Controller* (c) Rangkaian pengujian generator dengan *ballast load***

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

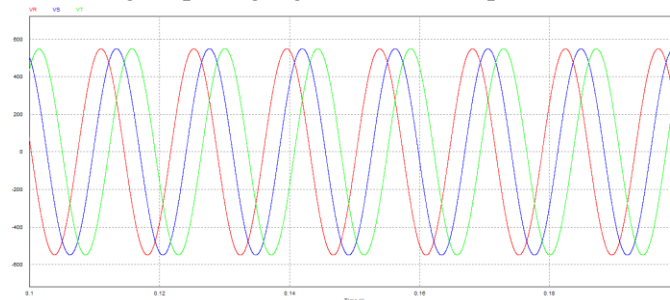
Berdasarkan hasil simulasi dilakukan pengujian terhadap rangkaian buck konverter menggunakan *software* PSIM dimana untuk menghasilkan daya generator 30 VA dibutuhkan tegangan eksitasi 52.2 volt dengan menggunakan sumber dc 72 volt maka nilai duty cycle 0.725 %. Pada simulasi yang dengan rangkaian buck konverter dimana rangkaian ini digunakan untuk sistem AVR (*Automatic Voltage Regulator*) sebagai pengatur tegangan eksitasi pada kumparan medan generator.



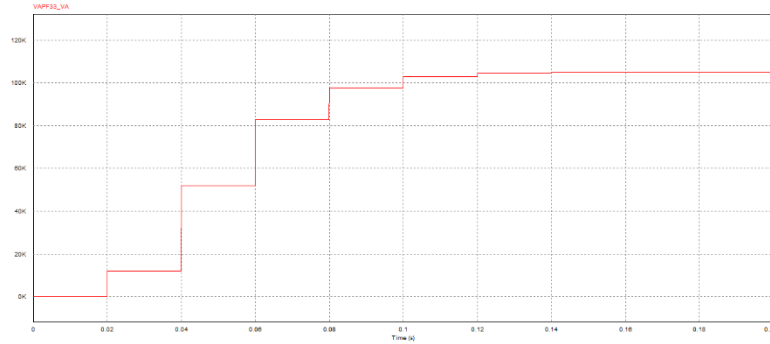
Dari data yang diperoleh semakin meningkatnya nilai duty cycle berbanding lurus dengan nilai tegangan output buck converter. Hal ini telah sesuai dengan teori dimana nilai tegangan output dari buck converter sama dengan perkalian antara nilai duty cycle dengan nilai tegangan input.



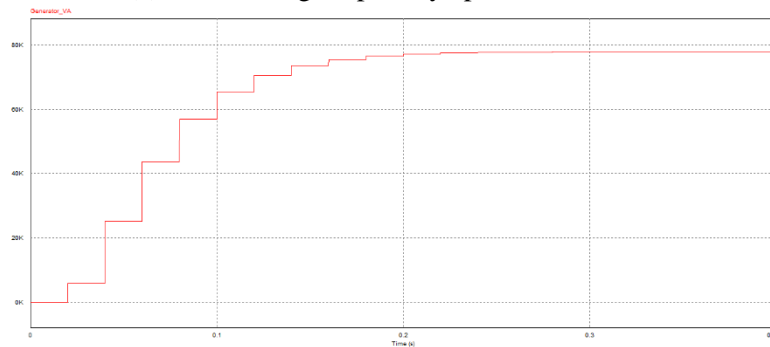
(a) Gelombang output tegangan *line-neutral* pada beban konsumen



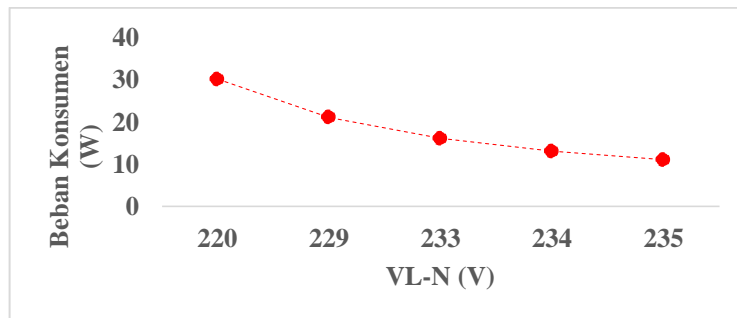
(b) Gelombang output tegangan *line-line* pada beban konsumen



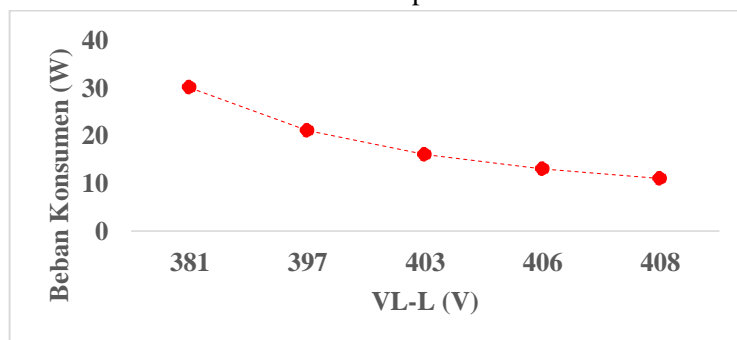
(c) Gelombang output daya pada beban konsumen



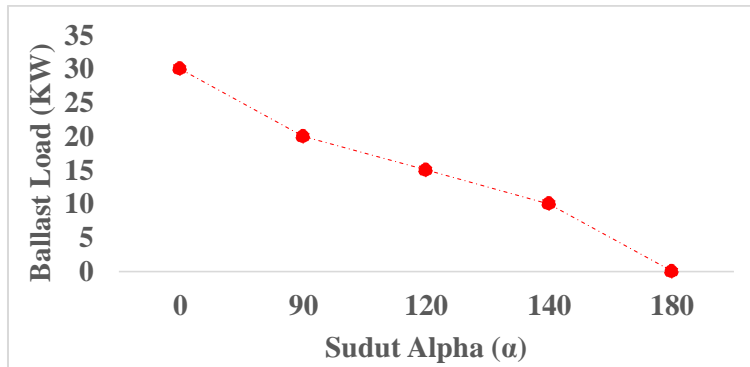
(d) Gelombang output pada ballast load



Dari data yang diperoleh dapat dijelaskan bahwa dengan penurunan pada beban konsumen mengakibatkan meningkatnya nilai tegangan *line-neutral*. Hal ini dapat diartikan penurunan beban konsumen mengakibatkan nilai tegangan generator meningkat, terlihat untuk tegangan *line-neutral* mengalami fluktuasi dari nilai 220 V sampai 235 V.



Dari data yang diperoleh dapat dijelaskan bahwa dengan penurunan pada beban konsumen mengakibatkan meningkatnya nilai tegangan *line-line*. Hal ini dapat diartikan penurunan beban konsumen mengakibatkan nilai tegangan generator meningkat, terlihat untuk tegangan *line-line* mengalami fluktuasi dari nilai 381 V sampai 408 V.



Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya sudut alfa akan berbanding terbalik dengan daya yang dialihkan ke ballast load. Hal ini berarti semakin besar nilai sudut alfa maka sudut penyalan thyristor akan berkurang yang kemudian tegangan yang dilewatkan thyristor ikut berkurang. Pada pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada table dibawah ini

**Tabel 3.1 Pengujian degan menggunakan ballast load**

Beban konsumen			Beban Ballast		
VI-n (V)	VI-l (V)	Konsumen (kW)	VI-n (V)	Ballast (kW)	Alpha ( $\alpha$ )
220	381	0	220	30	0
220	380	5	145	20	90
220	380	10	125	15	120
220	381	20	110	10	140
220	381	30	0	0	180

#### 4. KESIMPULAN

Dari data yang diperoleh melalui simulasi dengan software PSIM, ELC mampu menjaga kestabilan tegangan generator hal ini dikarenakan daya yang tidak terpakai oleh beban konsumen dialihkan menuju ballast load dengan mengatur sudut penyulutan thyristor.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhammad H. Rashid, Ph.D., 2011. *Power Electronics Handbook Devices, Circuits, and Applications Third Edition*. University of West Florida: Electrical and Computer Engineering.
- [2] Slamet. 2012. *Pengendali Beban Elektronik Tiga Fasa Menggunakan Mikrokontroler Pada Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH)*. Jurnal ISSN 1978-2365. Vol. 11 No. 1 Juni 2012 : 67-80
- [3] Suprihardi. 2016. *Karakter AVR Sebagai Penstabil Tegangan Aplikasi Pada Generator Sinkron Pembangkit Mikrohidro*. Lhokseumawe : Politeknik Negeri Lhokseumawe.