JESCE**(Journal of Electrical and System Control Engineering)**Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jesce>

**SIMULASI PENGENDALI BEBAN ELEKTRONIK UNTUK
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)
DESA PALLAWA KECAMATAN TELLU LIMPOE KABUPATEN
BONE PROVINSI SULAWESI SELATAN****SIMULATION OF ELECTRONIC LOAD CONTROLLERS FOR
MICROHYDRO POWER PLANTS (PLTMH) IN PALLAWA
VILLAGE, TELLU LIMPOE DISTRICT, BONE REGENCY, SOUTH
SULAWESI****Abdul Hafid¹⁾ & Andi Faharuddin¹⁾***

1)Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, Indonesia

1)Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, Indonesia

Diterima: Agustus 2020; Disetujui: Desember 2020; Dipublikasi: Februari 2021

*abdul.hafid@unismuh.ac.id

Abstrak

Tulisan ini menyajikan hasil simulasi pengendali beban elektronik untuk mikrohidro Desa Pallawa Kecamatan Tellu Limpoe Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan. PLTMH menggunakan tinggi terjun (head) 8 m dan debit air sebesar 0,702 m³/detik, menggunakan turbin aliran silang (Cross Flow Turbine) T-14 D225 Heksa Hydro buatan Indonesia, dan generator sinkron merek Marelli Generator 42,5 KVA, 3 fase 380 V, 1500 rpm, 4 kutub, 50 Hz. Desain prototype ELC dalam simulasi dibangun dari rangkaian sensor arus ACS 712-05B, sakelar opto-isolator MOC 3021, Triac BTA 24, rangkaian pedeteksi perlintasan nol optocoupler N35, dan mikrokontroler Atmel 16. Simulasi bertujuan untuk mengetahui performa pengendali beban generator, apakah perangkat pengendali hasil rancangan dapat bekerja dengan baik atau tidak. Software Matlab digunakan untuk keperluan simulasi. Berdasarkan hasil simulasi dari 47 sampel variasi daya beban konsumen maka dapat disimpulkan bahwa pengendali beban generator yang dirancang pada penelitian ini bekerja cukup baik. Pengendali beban generator selalu berhasil mengontrol pendistribusian daya ke beban penyeimbang yang berdampak generator tetap beroperasi pada kondisi beban penuh (36 kW $\pm$ 1, 2%) meskipun terjadi fluktuasi daya pada beban konsumen.

Kata kunci: Opto Coupler, PLTMH, Pengendali Beban Elektronik, Triac**Abstract**

This paper presents the simulation results of electronic load controllers for micro-hydro in Pallawa Village, Tellu Limpoe District, Bone Regency, and South Sulawesi Province. PLTMH uses a head height of 8 m and a water discharge of 0.702 m³ / second, uses a cross-flow turbine T-14 D225 Hexa Hydro made in Indonesia, and synchronous generator brand Marelli Generator 42.5 KVA, 3 phase 380 V, 1500 rpm, 4 poles, 50 Hz. The ELC prototype design in the simulation is built from the ACS 712-05B current sensor circuit, the MOC 3021 optoisolator switch, the Triac BTA 24, the N35 optocoupler zero crossing detector circuit, and the Atmel 16 microcontroller. The simulation aims to determine the performance of the generator load controller, whether the design result control device can work properly or not. Matlab software is used for simulation purposes.

Based on the simulation results from 47 samples of variations in consumer load power, it can be concluded that the generator load controller designed in this study works quite well. Generator load controllers always manage to control the distribution of power to the load balancing which results in the generator still operating at full load conditions ($36 \text{ kW} \pm 1.2\%$) even though there are power fluctuations in consumer loads.

Keywords: *Electronic Load Controller, MHP, Optocoupler, Triac.*

How to Cite: Hafid A, Faharuddin A (2020). Simulasi Pengendali Beban Elektronik Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Desa Pallawa Kecamatan Tellu Limpoe Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan. JESCE (Journal of Electrical and System Control Engineering). 4 (2): 87-94

PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dengan daya 100 kW atau lebih kecil banyak dimanfaatkan di Indonesia, khususnya di daerah pedesaan. PLTMH biasanya diperuntukkan untuk mensuplai listrik konsumen pada daerah pedesaan yang belum terdapat saluran distribusi PLN. Proses konversi energi yang terjadi pada PLTMH, adalah energi mekanik dari kecepatan dan tekanan air menggerakkan turbin air dan generator listrik hingga menghasilkan energi listrik disalurkan dengan ketinggian tertentu melalui pipa pesat menuju rumah instalasi (*power house*). Di rumah instalasi, tenaga air dipakai untuk menggerakkan turbin. Umumnya turbin dihubungkan ke generator melalui transmisi *pulley* dan *belt*. Beberapa Kabupaten di Provinsi Sulawesi Selatan telah memanfaatkan PLTMH sebagai sumber energi listrik. Kabupaten tersebut antara lain adalah Desa Pallawa Kecamatan Tellu Limpoe Kabupaten Bone. PLTMH pada daerah ini memanfaatkan air sungai dengan dasar yang berbatu yang dibendung yang kemudian dialirkan ke turbin melalui sebuah pipa pesat. PLTMH menggunakan tinggi terjun (*head*) 8 m dan debit air sebesar 0,702 m³/detik, menggunakan turbin aliran silang (*Cross Flow Turbine*) T-14 D225 Heksa *Hydro* buatan Indonesia, dan generator sinkron merek Marelli Generator

42,5 KVA, 3 fase 380 V, 1500 rpm, 4 kutub, 50 Hz. Mikrohidro dengan daya yang lebih kecil juga sudah dimanfaatkan masyarakat di Kabupaten Bulukumba. PLTMH 5 kWatt telah dioperasikan pada kampung Katimbang Kelurahan Borong Rappoa Kecamatan Kindang Kabupaten Bulukumba provinsi Sulawesi Selatan untuk menyalurkan energi listrik untuk 15 KK. PLTMH yang dioperasikan pada daerah ini semuanya menggunakan sistem terisolasi, yakni masing-masing generator menyuplai beban tersendiri.

Untuk mengendalikan frekuensi tegangan yang dibangkitkan generator hidro agar selalu tetap pada frekuensi 50 Hz meskipun terjadi fluktuasi beban, maka diperlukan alat pengendali. Pada PLTMH yang menggunakan generator sinkron sebagai pembangkitnya digunakan ELC (*Electronic Load Controller*). Sedangkan pada PLTMH yang menggunakan generator induksi sebagai pembangkitnya digunakan IGC (*Induction Generator Controler*). Metode dan konfigurasi elektronika daya yang digunakan untuk pengendali beban pada PLTMH antara lain adalah: metode regulasi sudut fase, regulasi beban biner, regulasi lebar pulsa, penyearah jembatan yang terkontrol (*controlled*), penyearah tak terkontrol (*uncontrolled*) dengan *chopper*, dan metode logika fuzzy.

Berdasarkan uraian di atas maka penelitian

ini bertujuan untuk mengetahui performa purwarupa pengendali beban elektronik (ELC) untuk mikrohidro 42,5kVA Desa Pallawa Kecamatan Tellu Limpoe Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan dengan simulasi perangkat lunak Matlab menggunakan metode regulasi sudut fase. Desain *prototype* ELC dibangun dari rangkaian sensor arus ACS 712-05B, sakelar opto-isolator MOC 3021 dan Triac BTA 24, dan rangkaian pedeteksi perlintasan nol optocoupler N35, dan mikrokontroler Atmel 16

METODE PENELITIAN

Diagram skematik

Gambar 1 Diagram Skematik ELC per Fase

Gambar 2 Sirkuit Sensor Arus

Gambar 3 Sirkuit Pendeteksi Lintasan Nol

Diagram skematik pengendali beban diperlihatkan pada gambar 1. Pada gambar 2, Sensor untuk arus beban konsumen menggunakan sensor ACT 712 (5 A), dan terhubung melalui transformator arus dengan rating 100/5 A. Pada gambar 3, Pendeteksi lintasan nol (*zero crossing detector*) berfungsi untuk menentukan posisi nol dari tegangan generator. Rangkaian Dibangun dari transformator tegangan, resistor, diode IN 4007, dan opto coupler 4N35. Pada gambar 4, Sakelar opto-isolator berfungsi untuk mengatur penyaluran daya ke beban penyeimbang (*ballast*). Rangkaian ini dibangun dari komponen resistor, kapasitor, opto coupler MOC 3021, triac BTA 24, dan beban penyeimbang 3x 4 kW.

Gambar 4 Sirkuit Sakelar Opto-Isolator

Gambar 5 Diagram Alir Desain ELC PLTMH 42,5 KVA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi generator yang distudikan pada penelitian ini adalah generator sinkron 42,5 KVA, 3 fase 380 V, 1500 rpm, 4 kutub, 50 Hz. Apabila faktor daya beban 0,847, maka beban penuh generator 36 kW. Dengan asumsi bahwa generator dibebani dengan beban seimbang, maka setiap fase generator akan memikul beban sebesar 12 kW.

Tabel 1 Data Beban Simulasi

No.	Daya pada beban (kW)			Kesalahan (W)
	Konsumen	Ballast, hasil kalkulasi	Ballast, realisasi pengendali	
1	26.703	9.144	9.297	153
2	34.101	2.007	1.899	108
3	8.613	27.459	27.387	72
4	23.904	11.691	12.096	405
5	6.309	29.664	29.691	27
6	2.241	33.705	33.759	54
7	23.679	12.357	12.321	36
8	17.649	18	18.351	351
9	0.9	35.235	35.1	135
10	4.392	31.545	31.608	63
11	23.094	13.041	12.906	135
12	7.362	28.602	28.638	36
13	27.675	8.541	8.325	216
14	6.156	30.168	29.844	324
15	15.489	20.862	20.511	351
16	24.525	11.691	11.475	216
17	22.851	13.041	13.149	108
18	7.335	28.602	28.665	63
19	15.669	20.151	20.331	180
20	27.324	8.541	8.676	135
21	8.91	26.856	27.09	234
22	7.983	28.035	28.017	18
23	0.495	35.496	35.505	9
24	16.812	19.44	19.188	252
25	8.379	27.459	27.621	162
26	29.781	6.336	6.219	117
27	8.64	27.459	27.36	99
28	29.745	6.336	6.255	81
29	16.542	19.44	19.458	18
30	1.287	34.704	34.713	9
31	25.173	11.034	10.827	207
32	5.103	31.113	30.897	216
33	20.799	15.138	15.201	63
34	28.809	6.858	7.191	333
35	10.656	25.614	25.344	270
36	33.435	2.592	2.565	27
37	3.105	33.075	32.895	180
38	3.231	32.733	32.769	36
39	6.246	29.664	29.754	90
40	34.92	1.098	1.08	18

41	14.436	21.573	21.564	9
42	24.831	11.034	11.169	135
43	14.958	20.862	21.042	180
44	15.921	20.151	20.079	72
45	35.199	0.765	0.801	36
46	7.578	28.602	28.422	180
47	0.27	35.766	35.73	36

Pengendali beban elektronik yang dirancang pada penelitian ini berjumlah tiga unit. Masing-masing unit akan mengendalikan beban generator pada fase R, S, dan T sedemikian sehingga generator tetap terbebani dengan beban penuhnya (36 kW) meskipun terjadi fluktuasi pada beban konsumen. Umumnya generator PLTMH dengan daya yang tidak terlalu besar selalu dioperasikan dalam keadaan beban penuh, hal ini untuk menjaga agar frekuensi sistem dan tegangan nominal generator tetap pada 50Hz dan 220V L-N. Untuk mengetahui performa alat pengendali beban yang didesain pada penelitian ini, maka dilakukan simulasi dengan menggunakan software Matlab. Pada tabel 1 dicantumkan data simulasi beban konsumen, dan data beban penyeimbang (*ballast*). Apabila beban generator di bawah beban penuhnya maka pengendali akan mengatur pasokan daya ke beban penyeimbang sebesar ΔP , dimana ΔP adalah daya beban penuh generator dikurangi dengan daya pada beban konsumen. Sebagai contoh, apabila beban konsumen sebesar 26,703 kW (beban no.1 pada tabel 1), maka daya yang seharusnya

dipasok ke beban penyeimbang adalah sebesar 9,297 kW, supaya beban generator tetap 36 kW. Akan tetapi karena kemampuan alat pengendali terbatas maka daya yang dipasok ke beban penyeimbang hanya sebesar 9,144kW, sehingga terdapat selisih daya sebesar 153 W dari yang seharusnya dipasok ke beban *ballast*. Seperti yang diperlihatkan pada gambar 4, pada simulasi ini sudut picu triac diatur dengan rentang $0^\circ - 1,8^\circ - 3,6^\circ - 5,4^\circ \dots 180^\circ$ atau setara dengan pemberian waktu tunda 0- 0,1 - 0,2-0,3- ... , 10 mili detik dari posisi titik nol tegangan AC yang diterapkan pada beban penyeimbang. Karena keterbatasan kemampuan komponen triac BTA 24 (maksimum dilewati arus AC 24 A), maka digunakan 3 unit sakelar opto-isolator untuk setiap fase generator dengan besar beban *ballast* 4 kW/unit. Tegangan dan daya pada beban penyeimbang dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan (2)

$$V_{0(RMS)} = V_s \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right]} \quad (1)$$

$$P_0 = \frac{V_s^2 \frac{1}{\pi} \left[(\pi - \alpha) + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right]}{R_b} \quad (2)$$

dengan α , R_b dan V_s masing-masing adalah sudut picu triac, tegangan sumber, dan nilai resistansi beban ballast. $R_b = 12,1 \Omega$.

Gambar 6 Variasi Daya pada Beban Konsumen dan Beban Ballast

Gambar 7 Karakteristik Pengendali Beban Generator 42,5 kVA

Karakteristik alat pengendali beban berdasarkan hasil simulasi diperlihatkan pada gambar 7. Apabila beban penuh generator dibatasi dengan toleransi 1,2%, yaitu $36\text{kW} \pm 432\text{W}$ maka berdasarkan pengamatan pada gambar 7 dapat disimpulkan bahwa pengendali beban yang

dirancang pada penelitian ini bekerja sangat memuaskan. Berdasarkan data beban yang tercantum pada tabel 1, pengendali beban bekerja kurang baik untuk kasus beban konsumen 23,904 kW (beban no. 4 pada tabel 1). Seharusnya daya yang harus dipasok ke beban *ballast* adalah sebesar 11,691 kW. Akan tetapi pengendali beban hanya memasok daya sebesar 12,096 kW. Jadi terdapat selisih daya sebesar 405 Watt. Meskipun demikian selisih daya tersebut masih lebih kecil dari toleransi daya beban penuh generator yang diizinkan, yaitu 432 W.

SIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilaksanakan simulasi purwarupa pengendali beban elektronik (ELC) untuk mikrohidro 42,5 kVA. Desain purwarupa dibangun dari subsistem: Sensor arus, sirkuit pendeteksi lintasan nol, sakelar opto coupler, beban ballast, dan mikrokontroler Atmel 16. Pada simulasi, skema pengendalian beban generator dilakukan per fase, yaitu bahwa setiap fase generator dilengkapi dengan satu unit ELC.

Berdasarkan hasil simulasi dari 47 sampel variasi daya beban konsumen maka dapat disimpulkan bahwa pengendali beban generator bekerja cukup baik. Pengendali beban generator selalu berhasil mengontrol pendistribusian daya ke beban

penyeimbang yang berdampak generator tetap beroperasi pada kondisi beban penuh (36 kW $\pm$ 1, 2%)

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. Iqbal, A. & Khan, R.M. AC-AC Converters. In: Rashid, M (Ed). (2018). *Power Electronics Handbook*. 4th Edition. United States. Penerbit: Butterworth-Heinemann
- Ahmed, M.A. et al. (2012). Utilization of Pico Hydro Generation in Domestic and Commercial Loads. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(1): 518-524.
- Aris, M. & Akbar. (2015). Analisis Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Desa Pallawa Kecamatan Tellu Limpoe Kabupaten Bone Provinsi Sulawesi Selatan, *Skripsi*. Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Asy'ari, H. Hendarto, A.P. (2012). Pemanfaatan Pemandian Umum Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Mikrohidro (Pltmh) Menggunakan Kincir Tipe Overshot. *Jurnal Emitor*. 12(1): 50 – 58
- Aung, N.W. & Ya, A.Z. (2015). Microcontroller Based Electrical Parameter Monitoring System of Electronic Load Controller used in Micro Hydro Power Plant. *Journal of Electrical and Electronic Engineering*. 3(5): 97-109.
- Datasheet ACS 712. Diunduh di <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf/> tanggal 09 maret 2020
- Datasheet BTA 24. Diunduh di <https://datasheetspdf.com/pdf/1055280/CDIL/BTA24/1/> tanggal 09 maret 2020
- Datasheet MOC 3021. Diunduh di <https://datasheetspdf.com/pdf/521667/Motorola/MOC3021/1/> tanggal 09 maret 2020
- Desmiwarman. Yandri, R.V. (2015). Pemilihan Tipe Generator Yang Cocok Untuk PLTMH Desa Guo Kecamatan Kuranji Kota Padang. *Jurnal Teknik Elektro ITP*. 4(1): 25 – 28
- Hafid, A. & Rahmania. (2018). Analisis Pengendali Beban Elektronik untuk Pembangkit Listrik Tenaga
- Pikohidro dengan Metode Kendali Sudut Fase dan Beban Biner. *Jurnal INSTEK*. 3(1): 31-40.
- Jawahar, C.P. Michael, A.M. (2017). A Review on Turbines for Micro Hydro Power Plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 72 (C): 882-887
- Kapoor, P. Phunchok, L. & Kumar, S. (2012). Frequency Control of Micro Hydro Power Plant Using Electronic Load Controller. *Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*. 2 (4): 733-737.
- Muhammad, I. & Hasyimi, A.W. (2014). Perancangan Sistem Kontrol Valve Pada PLTMH di Desa Matano Kabupaten Luwu Timur. *Skripsi*. Universitas Hasanuddin Makassar
- Naim, M. Ristiawan, I. (2018). Rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Kampung Dongi Kecamatan Nuha. *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 9(2): 37 – 44
- Nugroho, D. Suprajitno, A. & Gunawan. (2017). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Air Terjun Kedung Kayang. *Jurnal Rekayasa Elektrikal*. 13(3): 161-171
- Prabowo, K.M. Swasti. Nazori & Gata, G. (2018). Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pmlth) Pada Saluran Irigasi Gunung Bunder Pamijahan Bogor. *Jurnal Ilmiah FIFO*. 10(1): 41-52
- Purwanto. Tuti, E. Inne, D. & Sukarna, W. dalam: Purwanto (Ed). (2017). *Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH) Sebuah Pilihan: Belajar dari Koperasi Mekar Sari*. Jakarta: Penerbit LIPI
- Sallata, Y. Shn, Y.H. & Kadir, A.W. (2018). Pemanfaatan Mikrohidro Untuk Membangun Desa Mandiri Energi. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*. 4(1): 71-80
- Sing, R.R. et al. (2018). Review and Experimental Illustrations of Electronic Load Controller used in Standalone Micro-Hydro Generating Plants. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 21 (5): 886–900