

**ANALISIS PENGENDALI BEBAN ELEKTRONIK UNTUK  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO DENGAN METODE  
KENDALI SUDUT FASE DAN BEBAN BINER**

**Abdul Hafid<sup>1)</sup>, Rahmania,<sup>2)</sup>**

1) Prodi. Elektro, Fak. Teknik Unismuh Makassar, jalan Sultan Alauddin No.  
259 Kode Pos 90221

Email: [eabdul\\_hafid@yahoo.co.id](mailto:eabdul_hafid@yahoo.co.id)

2) Prodi. Elektro, Fak. Teknik Unismuh Makassar, jalan Sultan Alauddin No.  
259 Kode Pos 90221

Email: [rahmania.rahmania@unismuh.ac.id](mailto:rahmania.rahmania@unismuh.ac.id)

**ABSTRAK**

Dalam tulisan ini disajikan kajian teoritis, desain dan pembuatan purwarupa pengendali beban elektronik (Electronic Load Controller, ELC) untuk generator pikohidro 5 kWatt menggunakan dua metode, yaitu metode kendali fase dan beban biner. Berdasarkan hasil tinjauan teoritis, ELC berbasis kendali fase dan beban biner berdampak menurunkan jumlah beban yang mendapat suplai tegangan non sinusoida. Tiga modul utama yang digunakan dalam pembuatan purwarupa ELC, yaitu mikrokontroler AVR 8535, driver beban, dan zero crossing detector. Komponen utama yang terpakai pada driver beban adalah triac ( BTA 12) dan optoisolator ( MOC 3021 dan MOC 3041). Pada modul zero crossing detector komponen utamanya adalah IC  $\mu$  741 dan transistor. Performa ketiga modul tersebut berdasarkan hasil pengujian menunjukkan hasil yang cukup baik. Pengujian pada zero crossing detector, hasilnya adalah terdapat pulsa pulsa 5 Volt setiap tegangan melewati perlintasan nol. Programming pada mikrokontroler AVR 8535 berjalan dengan baik yang memungkinkan sudut delay triac dapat diatur dengan program.

**Kata kunci** : ELC, mikrokontroler AVR 8535, , pikohidro, triac,, zero crossing detector.

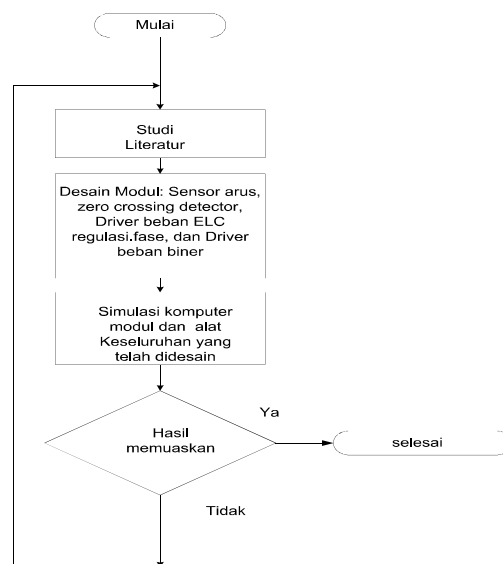
**I.PENDAHULUAN**

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga air sebagai tenaga penggerak turbin dan generator. Tenaga mikro hidro berskala daya 5-100 kW, dengan skema penyaluran daya berdiri sendiri/terisolasi. PLTMH biasanya diperuntukkan untuk melayani kebutuhan listrik konsumen di pedesaan yang belum terdapat saluran distribusi

PLN. Mikrohidro dengan daya yang lebih kecil ratusan Watt sampai 5 kWatt disebut dengan istilah pikohidro.

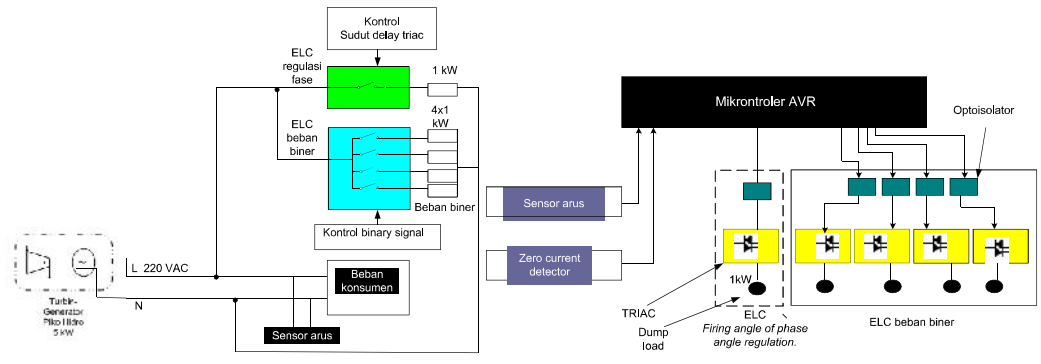
Umumnya untuk mengendalikan frekuensi tegangan generator hidro agar selalu tetap pada frekuensi 50 Hz meskipun terjadi perubahan-perubahan beban maka diperlukan alat pengendali. Jenis utama rancangan ELC yang umum digunakan adalah yaitu: regulasi sudut fase, regulasi beban biner, regulasi lebar pulsa, penyearah jembatan yang terkontrol (*controlled*), penyearah tak terkontrol (*uncontrolled*) dengan *chopper*. Dalam praktiknya produk ELC yang terpakai menggunakan salah teknik yang telah disebutkan sebelumnya. Peneliti terdahulu, telah melakukan simulasi kombinasi ELC regulasi fase dan ELC beban biner untuk mengatur frekuensi dan tegangan generator mikrohidro 15kW. Menggunakan driver beban yang dibangun dari *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT), dan mikrokontroler PIC 16F887. Obyektif dari tulisan ini adalah menganalisis hasil simulasi desain purwarupa rancangan alat ELC(*Electronic Load Controller*) generator sinkron dengan kombinasi dua pengendali, yaitu ELC dengan metode kendali sudut fase dan ELC dengan metode beban biner untuk generator pikrohidro 5kW, menggunakan mikrokontroler AVR 8535.

## II.METODE PENELITIAN



Gambar 1, Diagram alir desain purwarupa ELC

**Diagram daya dan kontrol**

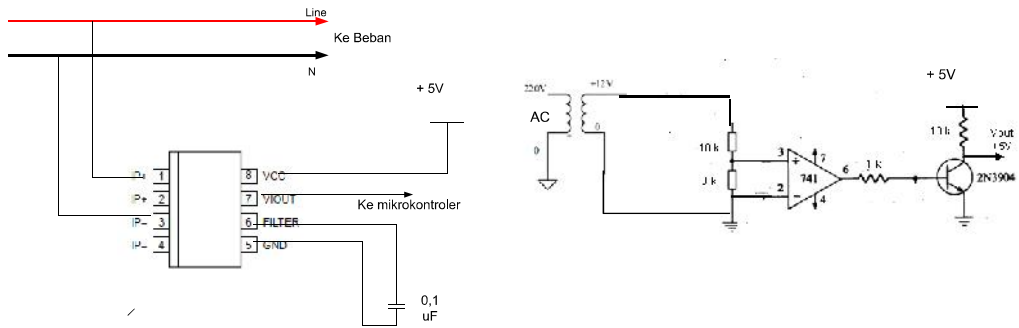


Gambar 2. Diagram daya dan kontrol desain purwarupa ELC

ELC yang didesain pada penelitian disusun dari beberapa subsistem atau modul yaitu

- Sensor Arus

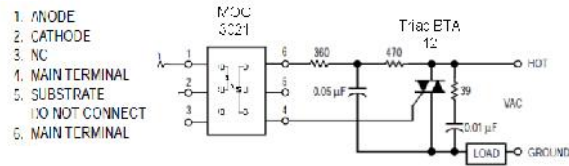
Sensor arus yang digunakan jenis ACS712 x30 A dengan skema rangkaian seperti diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Skema rangkaian sensor arus, dan rangkaian zero crossing detector

- Driver beban dengan kendali sudut fase

Ada tiga bagian pokok pada driver beban, yaitu: rangkaian *zero crossing detector*, rangkaian optoisolator dengan triac, dan *dump load*



Gambar 4. Skema rangkaian optoisolator dan triac (diadopsi dari [4])

Pada rangkaian gambar 4. sisi panas adalah sisi saluran (*line*) dan beban dihubungkan ke sisi dingin atau neutral. Resistor 39 ohm dan kapasitor 0.01 $\mu$ F dipakai sebagai snubbing triac, sedangkan resistor 470 ohm dan kapasitor 0.05  $\mu$ F berfungsi sebagai snubbing optoisolator. Pada rangkaian gambar 4. bebannya adalah dump load berupa heater 1kW.

- Driver beban biner

Driver untuk beban biner menggunakan skema yang sama seperti gambar 4 kecuali komponen optoisolator MOC 3021 digantikan dengan komponen MOC 3041, dengan alasan komponen MOC 3041 mempunyai zero cross internal.

- Mikrokontroler AVR 8535

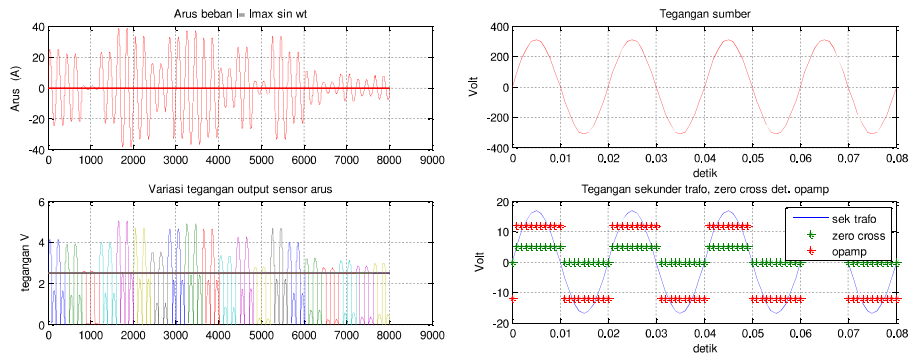
Fungsi mikrokontroler pada perancangan alat ELC adalah: sebagai alat untuk membaca arus beban dari sensor arus dengan fasilitas ADC 10 bit yang dimiliki mikrokontroler AVR 8535. Nilai parameter listrik komponen yang terpakai pada modul untuk keperluan simulasi komputer seperti dicantumkan pada tabel 2.

Tabel 2: Parameter listrik yang digunakan dalam simulasi

Modul	Rating	Keterangan
Pembangkit	Generator Sinkron 1Ø Daya 5 kW 220 V, P= 4 kutub, $\cos \phi = 0.8$ rpm = 1500/min $I_{FL} = 23$ A	
Sensor arus	Range arus -30 0 30 AC-DC Output 0- 2.5 V 2..5- 5 V Sensitivitas 66 mV/A	Arus =0 , Vout 2.5 V
ELC metode kendali fase	Zero crossing detector Nilai umum	IC u 741 opamp Transistor 2N3904
	Optoisolator MOC 3021 Sesuai data sheet	
	Triac BTA12 Tegangan 600V Arus maksimum 12 A	
	Dump load 1 kW	heater 1 unit
ELC metode beban biner	Optoisolator MOC 3041 Sesuai data sheet	
	Triac BTA12 Tegangan 600V Arus maksimum 12 A	
	Dump load 4 x 1kW	heater 4 unit
Mikrokontroler AVR 8535	Codevision AVR	

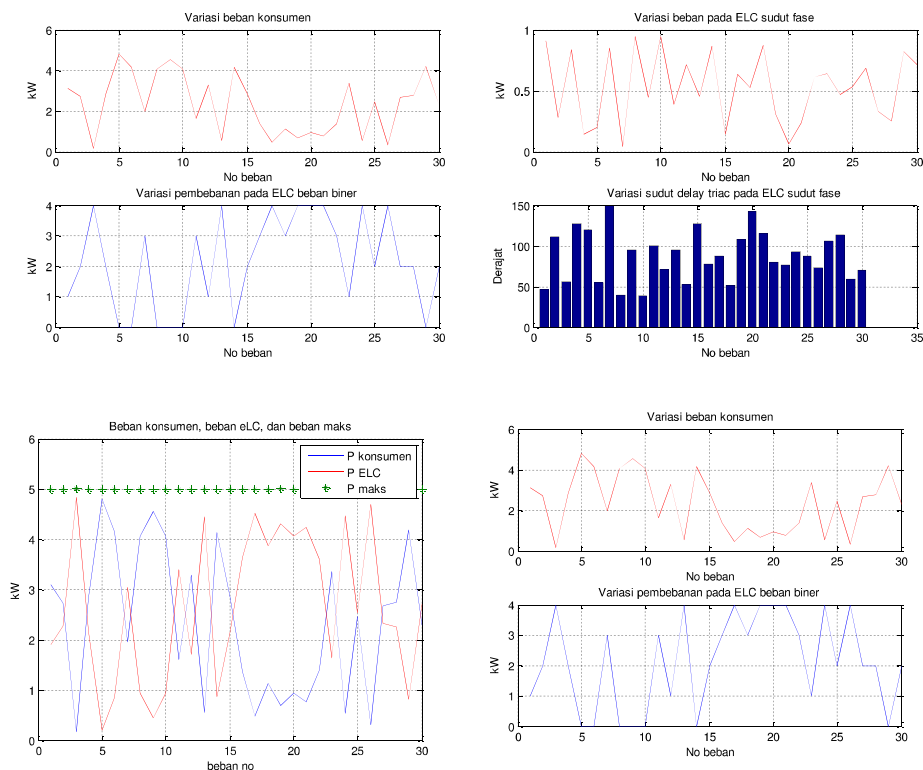
## HASIL

- Hasil simulasi sensor arus dan zero crossing detector



Gambar 6. Variasi tegangan output sensor dan zero crossing detector terhadap arus beban

- Hasil simulasi beban pada ELC kendali sudut fase, sudut delay triac, distribusi daya total pada pengendali, dan ELC biner terhadap beban konsumen



Gambar7. Variasi daya yang distribusikan ke dump load akibat perubahan daya konsumen

Tabel 3: Variasi output mikrokontroler terhadap daya konsumen ( pikohidro beban maksimum 5 kW)

No beban	Output mikrokontroler Code Binary	Daya pada pengendali biner kWatt	Output mikrokontroler delay sudut penyalaan triac (mili second)	Daya pada pengendali regulasi fase kWatt	Daya Konsumen kWatt
1	0001	1	5.1111	0.9035	3.0893
2	0010	2	12.333	0.27684	2.7197
3	<b>0100</b>	<b>4</b>	<b>6.2222</b>	<b>0.83645</b>	<b>0.16123</b>
4	0010	2	14.222	0.13446	2.8573
5	0000	0	13.333	0.1955	4.798
6	<b>0000</b>	<b>0</b>	<b>6.1111</b>	<b>0.844</b>	<b>4.1487</b>
7	0011	3	16.556	0.031697	1.9602
8	0000	0	4.4444	0.93451	4.0571

9	0000	0	10.556	0.44459	4.5546
10	0000	0	4.3333	0.93901	4.0528
11	0011	3	11.222	0.37927	1.6112
12	0001	1	7.8889	0.70354	3.2873
13	0100	4	10.556	0.44459	0.54977
14	0000	0	5.8889	0.85855	4.1363
15	0010	2	14.222	0.13446	2.8591
16	0011	3	8.6667	0.6314	1.3658
17	0100	4	9.7778	0.52221	0.47508
18	0011	3	5.7778	0.86554	1.125
19	0100	4	12	0.30645	0.68953
20	0100	4	15.889	0.052566	0.93948
21	0100	4	12.889	0.23014	0.76435
22	0011	3	8.8889	0.60999	1.3895
23	0001	1	8.5556	0.64199	3.3564
24	0100	4	10.333	0.4667	0.53405
25	0010	2	9.7778	0.52221	2.469
26	0100	4	8.1111	0.68344	0.31394
27	0010	2	11.778	0.32677	2.671
28	0010	2	12.667	0.24839	2.7471
29	0000	0	6.5556	0.81275	4.1785
30	0010	2	7.7778	0.71341	2.285

## PEMBAHASAN

. Hasil simulasi yang diberikan pada bagian sebelumnya menggunakan generator dengan daya beban penuh 5 kW atau arus beban penuh 28 A.

- Sensor arus

Sensor arus yang digunakan adalah ACS712 X30A dengan kemampuan sensing arus sampai 30 A dan memiliki sensitivitas 66 mV/A. Dari hasil gambar 6, tegangan keluaran sensor berubah-ubah sesuai dengan perubahan arus beban. Tegangan keluaran sensor antara 0 -2.5 V mengindikasikan bahwa arus beban dalam sisi negatif, sedangkan tegangan keluaran 2.5 V- 5.0 V mengindikasikan bahwa arus beban dalam sisi positif.

- Rangkaian zero crossing detector

Perangkat zero crossing detector menentukan ketepatan program mikro dalam menentukan sudut triggering triac. Dari gambar 6 diketahui bahwa tegangan sekunder trafo menduplikasi bentuk tegangan yang masuk dari sisi primer trafo ( polaritas trafo subtractive). Tegangan keluaran opamp ic 741 dimana bentuk gelombang berubah dari tegangan saturasi positif ke tegangan



saturasi negative. Tegangan keluaran transistor 2N3904 berubah-ubah dari + 5 V ke 0 V. Frekuensi system yang digunakan 50 Hz atau periode gelombang tegangan  $T = 1/50$  atau 20 mili detik.

- Rangkaian driver dengan kendali sudut fase dan sakelar statis

Formulasi pembebanan generator pikohidro menggunakan dua pengendali beban, ELC dengan metode kendali fase dan beban biner untuk beban konsumen 5 kW sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta &= 5 \text{ KW} - L_B \\ \Delta_2 &= \Delta - \Delta_1 < 1 \text{KW} \end{aligned} \quad (1)$$

Dimana  $\Delta_1$  = Jumlah beban biner yang mendekati  $\Delta$

$L_B$  = Beban konsumen

$\Delta_2$  = Beban yang didistribusikan oleh ELC kendali sudut fase

$\Delta$  = Selisih beban maksimum dengan beban konsumen

beban resistif ditentukan dengan mengambarkan tegangan  $V_{O(RMS)}$  versus sudut perlambatan penyalaan ( $\alpha$ ).

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

Dengan

$$V_s = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \text{Nilai rms tegangan suplai}$$

Arus efektif keluaran  $I_0 = \frac{V_0}{R}$ . Daya Beban  $P_o = I_o^2 \times R$ . Arus masukan sama besar dengan arus beban. Jadi  $I_0 = I_s$ . Daya masukan (VA) =  $V_s I_s$ , dan

$$\text{Faktor kerja masukan} = \frac{\text{Daya beban}}{\text{VA Input}}$$

Dalam tabel 3, dicantumkan hasil simulasi distribusi daya masing-masing pengendali dengan intruksi mikrokontroler jika terjadi fluktuasi beban konsumen.



## PENUTUP

Pada tulisan ini telah dilakukan kajian teoritis dan pembuatan purwarupa pengendali beban elektronik untuk generator pikohidro 5 kWatt menggunakan dua metode, yaitu kendali fase dan beban biner . poin poin penting yang dicermati

- Penggunaan ELC metode gabungan pada pembangkit listrik pikohidro berdampak menurunkan jumlah beban yang mendapat suplai tegangan nonsinusoida. Sebagai ilustrasi jika beban konsumen 0.16123 kWatt ( beban no. 3 pada tabel 3), maka beban yang mendapat suplai tegangan non sinusoida hanya sebesar 0.83645 kW. Bandingkan jika pembangkit tersebut hanya menggunakan ELC kendali fase, maka beban yang mendapat suplai tegangan non sinusoida meningkat menjadi 4.16123 kW. Peningkatan jumlah beban dengan suplai tak sinus mungkin meningkatkan total harmonic distorsion (thd) pada system.
- Berdasarkan hasil simulasi diketahui bahwa desain modul modul ELC purwarupa hasil nya cukup baik, sebagai ilustrasi hasil pengukuran modul *zero crossing detector* meskipun modul tersebut menggunakan ic LM u741 tapi hasilnya cukup baik. Seperti diperlihatkan pada gambar 5. Sinyal-sinyal +5 V muncul pada selang  $t = 20$  mili detik ( atau posisi  $0, \pi, 2 \pi$  ) jadi bersesuaian dengan  $f = 50$  Hz.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aung NW, Ya AZ. 2015. Microcontroller Based Electrical Parameter Monitoring System of Electronic Load Controller Used in Micro Hydro Power Plant. Journal of Electrical and Electronic Engineering. Vol. 3 (5): 97-109.
- Aswardi. 2009. Pengendali Tegangan Bolak-balik (AC-AC Controller) Lanjut. e-Learning Document BJFT UNP PADANG-P4TK MEDAN
- Data sheet and Guide Book of ACS 712 AC current sensor, [www.alldatasheet.com/Acs712](http://www.alldatasheet.com/Acs712).
- Datasheet BTA12. 2017. DocID7473 Rev 10. STMicroelectronics

Datasheet MOC 3021. Motorola Optoelectronics Device Data.

Datasheet MOC3041M . Fairchild Semiconductor Corporation.

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) ISSN: 2248-9622. Vol. 2 (4): 733-737.

Miftachul Ulum M, Ibadillah AF, Rahmawati D. 2015. Desain pengatur beban elektronik menggunakan kontrol sudut penyalan (firing angle) pada generator pembangkit listrik tenaga mikrohidro (pltmh). Jurnal ilmiah ReKayasa ISSN: 0216-9495. Vol. 8 (2): 109-120.

Muhammad H. Rashid. 2011. Power electronics handbook. Burlington: Butterworth- Heinemann.

Renerconsys, 2010, Digital Load Controller for Synchronous Generator, Manual Instruction.

Singh B, Rajagopal V. 2009. Battery energy storage based voltage and frequency controller for isolated pico hydro systems, Journal of Power Electronics. Vol. 9 (6): 874-883.

Sulistiono S, Panjaitan SD, Managam. R, Sunarso A, Agato, Widodo GI, Sihombing H. 2016. Pengembangan Monitoring System dan Electronic Load Controller (ELC) pada Pembangkit Listrik Tenaga Arus Sungai (PLTAS). J.Oto.Ktrl.Inst ISSN : 2085-2517. Vol. 8 (2): 213 224.