

Perancangan *Electronic Load Controller* Berbasis Mikrokontroler sebagai Stabilizer Tegangan dan Frekuensi

Asep Najmurokhman¹ & Kurnia A.²

¹Jurusan Teknik Elektro

²Alumni Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik - Universitas Jenderal Achmad Yani

Abstrak. Kestabilan frekuensi dan tegangan sangat diperlukan dalam kelangsungan pelayanan tenaga listrik dari suatu pembangkit listrik. Pemakaian beban konsumen yang tidak menentu menyebabkan frekuensi dan tegangan yang berubah-ubah. Frekuensi dan tegangan yang tidak stabil merusak peralatan (beban) karena beban tidak bisa bekerja secara optimal. Dalam makalah ini diuraikan tentang perancangan *electronic load controller* (ELC) berbasis mikrokontroler sebagai stabilizer tegangan dan frekuensi. Alat ini dapat mencegah kerusakan akibat frekuensi dan tegangan keluaran dari sistem distribusi energi listrik yang tidak stabil. Pengontrolan beban secara elektronik menggunakan pengondisi sinyal frekuensi dan tegangan yang akan mendeteksi frekuensi dan tegangan sebelum masuk ke beban, yang kemudian akan dibaca oleh mikrokontroler. Data akan diproses untuk menentukan kerja dari sistem dan frekuensi, tegangan akan ditampilkan pada LCD. Sistem pengaturan frekuensi dan tegangan melalui pengaturan beban secara elektronik bekerja dengan mengatur daya yang disalurkan ke beban sekunder setiap terjadi perubahan frekuensi dan tegangan akibat perubahan beban pada beban utama. Dengan demikian, beban total generator (beban utama dan beban komplemen) cenderung tetap. Hasil pengujian menunjukkan frekuensi dan tegangan yang diatur bersifat stabil saat diberi beban maupun tidak diberi beban.

Kata kunci : *Beban komplemen, Electronic Load Controller (ELC), mikrokontroler, pengondisi sinyal frekuensi, pengondisi sinyal tegangan*

1 Pendahuluan

Energi listrik memegang peranan yang sangat penting dalam kehidupan. Semakin maju tingkat kehidupan manusia, semakin tinggi kebutuhan manusia terhadap energi listrik. Di pihak lain, peningkatan kebutuhan energi listrik harus didukung oleh tersedianya pembangkit energi listrik yang harus memenuhi kebutuhan tersebut. Dalam rangka memperkuat ketahanan energi nasional, tantangan dalam penyediaan energi listrik sangat besar. Kondisi kelistrikan saat ini untuk sistem tenaga listrik Jawa, Madura, dan Bali memiliki beban puncak 17000 MW dengan daya netto pembangkitan 21300 MW, sedangkan kondisi kelistrikan di luar pulau Jawa terjadi defisit daya listrik di beberapa wilayah di Indonesia^[1]. Permasalahan tersebut diakibatkan ketidakseimbangan antara penyediaan energi dan permintaan konsumen energi listrik. Masalah lain yang muncul dalam distribusi energi listrik adalah kestabilan tegangan dan frekuensi jala-jala listrik yang dikirim ke konsumen. Salahsatu langkah yang dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan menambahkan pengaturan beban dalam distribusi energi listriknya.

Sebuah pengatur beban (*load controller*) berfungsi untuk menyeimbangkan daya yang dihasilkan oleh generator dengan daya konsumen serta untuk menstabilkan tegangan dan frekuensi yang dihasilkan generator. Beberapa peneliti telah membahas tentang pengatur beban ini dengan melibatkan mikrokontroler sebagai pengendali utamanya^[2, 3, 4]. Secara umum, perancangan sistem dilakukan dengan cara menempatkan sensor frekuensi ke

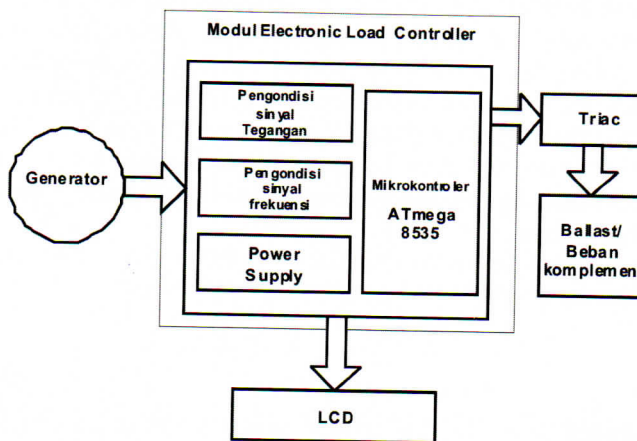
Perancangan *Electronic Load Controller* Berbasis Mikrokontroler sebagai Stabilizer Tegangan dan Frekuensi

tegangan, kemudian sensor tersebut mengirim data yang telah terbaca kepada mikrokontroler. Bila hasil olahan mikrokontroler menunjukkan adanya perubahan frekuensi, maka mikrokontroler akan memberikan perintah untuk memberikan sudut penyulutan pada Triac sesuai yang diinginkan.

Dalam makalah ini akan diuraikan perancangan *electronic load controller* (ELC) untuk menjaga agar tegangan dan frekuensi yang dihasilkan oleh generator bersifat stabil. Alat yang dirancang menggunakan saklar elektronik berupa SCR/Triac. Tipe mikrokontroler yang digunakan ATmega8535 dan beban komplemen yang digunakan adalah lampu pijar. Alat dilengkapi dengan tampilan LCD yang menunjukkan besar tegangan (dalam satuan volt) dan frekuensi (dalam satuan Hz) yang diatur. Pengujian dilakukan dengan motor induksi sebagai generator 3 fasa dengan spesifikasi daya 1,5 HP, rentang tegangan 220/380 Volt atau 230/400 Volt, frekuensi 50 Hz, dan putaran : 1000 – 1500 rpm.

2 Perancangan ELC

Diagram blok alat yang dirancang diperlihatkan pada Gambar 1. Dalam gambar tersebut, sebuah ELC tersusun oleh beberapa bagian yang mencakup rangkaian pengkondisi sinyal tegangan dan frekuensi, catu daya, mikrokontroler, Triac, dan beban komplemen.



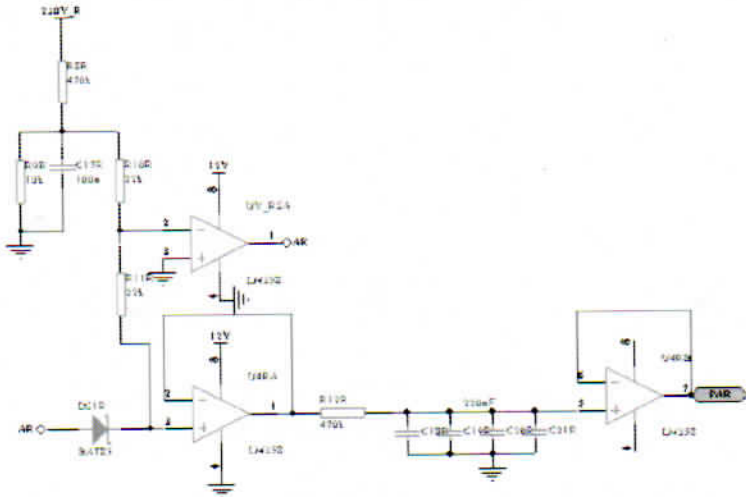
Gambar 1 Diagram Blok ELC

Rangkaian pengkondisi sinyal berfungsi untuk mengondisikan sinyal dari sensor supaya dapat diproses lebih lanjut oleh mikrokontroler. Karena sinyal yang dibutuhkan oleh mikrokontroler berupa sinyal tegangan searah (DC), rangkaian pengkondisi sinyal mengubah tegangan bolak balik (AC) dari generator menjadi tegangan searah. Rangkaian pengkondisi sinyal diberikan pada Gambar 2. Dalam alat yang dirancang digunakan mikrokontroler sebagai pengontrol utama sistem. Gambar 3 menunjukkan rangkaian minimum mikrokontroler yang digunakan dalam perancangan ini.

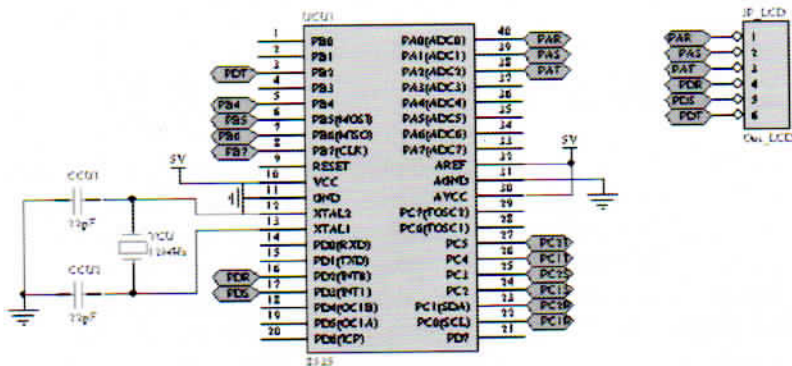
Mikrokontroler yang digunakan pada alat ini adalah ATmega8535 yang memiliki karakteristik sebagai berikut:

- 8 Kbyte In-System Programmable Flash
- ADC 10 bit yang sudah terintegrasi dalam satu chip
- Onchip osilator 1 – 14 MHz
- Memiliki 3 interrupt INT0, INT1 dan INT2

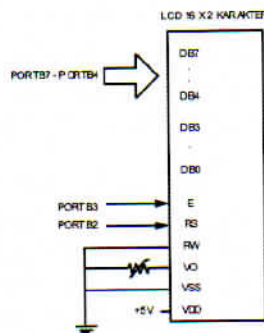
Port A1 sampai dengan Port A3 dihubungkan dengan output dari pengondisi sinyal sebagai input sampling tegangan. Port B7 sampai dengan port B0 dihubungkan dengan modul LCD. Port B7 sampai dengan port B4 dihubungkan dengan pin DB7 – DB4 pada LCD, port B1 terhubung dengan Pin Enable LCD, dan Port B0 dikoneksikan dengan Pin RS LCD. Sementara itu, port C0 sampai dengan port C5 dihubungkan dengan TRIAC.



Gambar 2 Rangkaian Pengondisi Sinyal



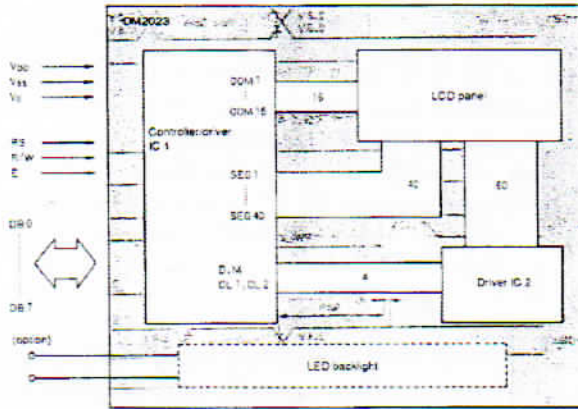
Gambar 3 Rangkaian Mainboard AVR



Gambar 4 Konfigurasi Rangkaian ATmega8535 dengan LCD

Perancangan *Electronic Load Controller* Berbasis Mikrokontroler sebagai Stabilizer Tegangan dan Frekuensi

LCD digunakan untuk menampilkan data tegangan dan frekuensi. LCD yang digunakan pada penelitian ini adalah LCD dot matrix 16 karakter x 2 baris. Gambar 4 memperlihatkan konfigurasi penggunaan port ATmega8535 untuk LCD. LCD yang digunakan pada penelitian ini berupa modul yang diagram bloknya diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 5 Diagram Blok Modul LCD

Untuk menfungsikan catu daya pada mikrokontroler digunakan regulator tegangan DC. Rangkaian regulator digunakan untuk meregulasi tegangan keluaran sebesar ± 12 V menjadi ± 5 V. Selain untuk mikrokontroler, tegangan teregulasi tersebut dimanfaatkan oleh LCD agar dapat bekerja dengan baik.

3 Perancangan Perangkat Lunak

Untuk menjalankan mikrokontroler, maka diperlukan program untuk memfungsikan setiap port dalam mikrokontroler. Dalam perancangan perangkat lunak alat ini, cara kerja program, setelah catu daya diaktifkan, maka program akan meng-inisialisasi port, ADC, pendeklarasian variabel. Kemudian pada program utama, program secara terus menerus mengecek ADC, *interrupt* dan melakukan perhitungan untuk selanjutnya ditampilkan di LCD.

Frekuensi *clock* yang digunakan pada alat ini adalah 12 MHz dengan sumber *clock internal*. Pengubahan frekuensi sumber *clock internal* dapat dilakukan dengan mengubah *fuse bit* dari ATmega8535. Hal ini dapat dilakukan dengan mudah pada perangkat lunak BASCOM-AVR, yaitu aktifkan *program send to chip* atau dengan menekan F4, kemudian pilih *TAB Lock and Fuse Bits*. Pada kelompok *fusebit* baris *fusebit A987*, pilih *fusebit 0100:Internal RC Oscillator 12 MHz*. Setelah pemilihan *fusebit*, kemudian dilanjutkan dengan penulisan *fusebit* pada *chip*. Proses penulisan *fusebit* dapat dilakukan dengan menekan tombol *Write FS* pada bagian kanan window. Setelah penulisan *fusebit* selesai, maka *clock* yang digunakan oleh ATmega8535 adalah *clock internal* dengan frekuensi 12 MHz.

Program utama merupakan program yang pertama kali dijalankan ketika mikrokontroler diberi catu daya. Pada program utama ini terdapat inisialisasi setiap port, apakah akan digunakan sebagai input atau output, inisialisasi ADC, inisialisasi *interrupt* dan deklarasi variabel – variabel yang digunakan dalam program. Program utama akan terus menerus mengecek input analog dari rangkaian pengondisi sinyal yang dihubungkan dengan port ADC, port *interrupt* dan menampilkan tegangan dan frekuensi pada LCD.

Subprogram pada perangkat lunak yang dirancang terdiri dari Rutin CEK_INPUT dan Rutin TAMPIL_LCD. Rutin CEK_INPUT yang diperlihatkan pada gambar 9 digunakan untuk mengecek input pada ADC_channel 1,2 dan 3 (3 input untuk fase yaitu R, S, dan T). setelah data diterima kemudian disimpan pada variabel. Jika terjadi interrupt 0,1 dan 2 (3 input untuk 3 fase yaitu R,S,dan T), kemudian timer0 akan ON. Sementara itu, Rutin TAMPIL_LCD digunakan untuk menampilkan karakter kotak pada LCD. Jumlah bar yang ditampilkan tergantung dari variabel bar.

4 Realisasi dan Pengujian alat

Pada bagian ini akan dibahas mengenai pengukuran setiap bagian dari sistem dan pengujian terhadap sistem secara keseluruhan. Pengujiannya mencakup pengujian perangkat keras dan pengujian program yang dibuat yang diunduh ke mikrokontroler.

4.1 Pengukuran Perangkat Keras

Pengukuran ini dilakukan pada beberapa bagian yaitu pengukuran pengondisi sinyal tegangan dan frekuensi serta level tegangan pada tiap port dari ATmega8535. Pengukuran ini meliputi pengukuran tegangan tiap port ketika ATmega8535 tidak diprogram, diprogram dengan mengeluarkan logika 1 untuk setiap port, diprogram dengan mengeluarkan logika 0 pada tiap port, dan diprogram dengan setiap port dikonfigurasi sebagai input. Tegangan pada VCC yang terukur adalah 4.92 V. Pada pengukuran rangkaian pengkondisi sinyal, alat yang dipergunakan adalah Inverter (TECO FM50) 1 HP/0,75 Watt, Generator (Tatung Induction Motor) 1,5 HP/1,1 Watt, Motor Induksi 1 HP dan Multimeter (*DIGITAL MULTIMETER SANWA CD800a*). Langkah pengukuran dilakukan dengan cara motor digabung (*couple*) dengan generator, kemudian kecepatan motor diatur menggunakan inverter sampai generator menghasilkan tegangan. Percobaan dilakukan dengan mengukur output tegangan generator menggunakan multimeter dan mengukur tegangan keluaran pengondisi sinyal. Hasil data pengukuran dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Data Hasil Percobaan Pengukuran Tegangan Keluaran Pengondisi Sinyal


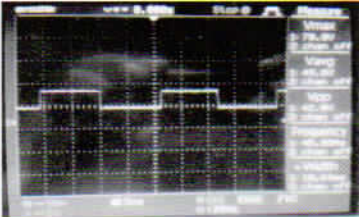
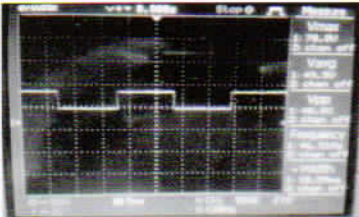
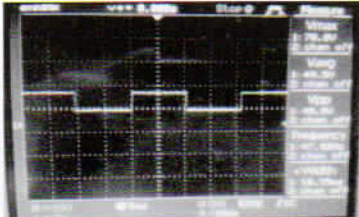
No	VAC (V)			VDC (V)		
	VR	VS	VT	VR	VS	VT
1	180	180	180	2,78	2,78	2,78
2	185	185	185	2,88	2,88	2,88
3	190	190	190	2,96	2,96	2,96
4	195	195	195	3	3	3
5	200	200	200	3,15	3,15	3,15
6	205	205	205	3,22	3,22	3,22
7	210	210	210	3,32	3,32	3,32
8	215	215	215	3,4	3,4	3,4
9	220	220	220	2,47	2,47	2,47
10	225	225	225	3,57	3,57	3,57
11	230	230	230	3,66	3,66	3,66

Data di atas hasil pengukuran tegangan keluaran pengondisi sinyal, V_{AC} tegangan keluaran dari generator antara line dan neutral (V_{L-N}) tiap – tiap fasa, V_{DC} tegangan keluaran dari pengondisi sinyal. Semakin cepat putaran generator maka tegangan keluaran generator semakin besar, begitupun keluaran tegangan dari pengondisi sinyal. Keluaran tegangan pengondisi sinyal telah dirancang tidak lebih dari 5 V (V_{ref} dari ADC), karena keluaran tegangan pengondisi sinyal akan menjadi input ADC pada IC mikrokontroler AT8535.

Perancangan *Electronic Load Controller* Berbasis Mikrokontroler sebagai Stabilizer Tegangan dan Frekuensi

Pengukuran frekuensi keluaran dari pengondisi sinyal dipergunakan osiloskop Gwinstek GDS-1042. Langkah percobaan untuk pengukuran ini sama dengan langkah percobaan untuk mengukur tegangan keluaran pengondisi sinyal, tetapi yang diukur adalah sinyal frekuensi keluaran dari pengondisi. Beberapa data pengukuran dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Data Frekuensi Keluaran dari Pengondisi Sinyal

No	Frekuensi (Hz)	Periode (ms)	Bentuk Gelombang
1	44,43	11,18	
2	45,85	10,64	
3	46,51	10,59	
4	47,92	10,35	

Data di atas hasil pengukuran keluaran frekuensi pengondisi sinyal diukur dengan menggunakan osiloskop. Semakin cepat putaran generator, semakin tinggi nilai frekuensi. Frekuensi berbanding terbalik dengan perioda, semakin tinggi frekuensi maka lebar pulsa (perioda) semakin kecil. Keluaran frekuensi pengondisi sinyal akan dijadikan input mikrokontroler. Nilai rata-rata hasil pengukuran menunjukkan nilai frekuensi 49,79 Hz. Karena frekuensi sebenarnya adalah 50 Hz, maka kesalahan pengukuran rangkaian pengkondisi sinyal sebesar 0.43 %.

4.2 Pengujian perangkat lunak

Pengujian perangkat lunak dilakukan untuk mengetahui apakah perangkat lunak yang dibuat dapat bekerja dengan baik atau sinkron dengan perangkat keras yang dibuat. Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan logika 1 dan logika 0 pada setiap port seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3 Port yang Digunakan sebagai Indikator dan Proteksi

No	Port	Output	Fungsi
1	Port B.4	LED Hijau	ELC ON
2	Port B.5	LED Merah	FU (Frequency Upper)
3	Port B.6	LED Kuning	VU (Voltage Upper)
4	Port B.7	Relay 12 V	ON/OFF kontraktor

Output dari tiap port untuk program di atas dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Data hasil Pengujian Software

Kondisi	Port B.4	Port B.5	Port B.6	Port B.7
Gosub				
ELC_ON	1	0	0	1
Gosub FU	0	1	0	0
Gosub VU	0	0	1	0

Ket: 1 = 4,9 V dan 0 = 0V

Pengukuran dilakukan pada saat mikrokontroler berlogika 1, sehingga pada kondisi tertentu indikator LED akan ON begitupun juga dengan Relay. Pengujian program di atas dilakukan dengan pengaturan waktu pesaklaran kapan saklar elektronik (TRIAC) akan ON (membuang beban ke ballast). Tabel 5 memperlihatkan hasil pengukuran dari TRIAC BTA-25.

Pengontrolan tegangan dan frekuensi agar tetap stabil dilakukan dengan mengatur daya yang dibuang ke beban komplemen, pengaturan ini dilakukan dengan cara memberikan logic satu pada mikrokontroler (port C) sesuai dengan waktu pensaklaran yang telah diatur di program. Data pengukuran di atas pada saat $\alpha = 90^\circ$ didapat $V_0 = 98,8$ volt sedangkan hasil perhitungan:

$$V_0 = \frac{1}{T} \int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin \omega t dt$$

$$V_0 = -\frac{V_m}{2\pi} [\cos \pi - \cos \pi / 2]$$

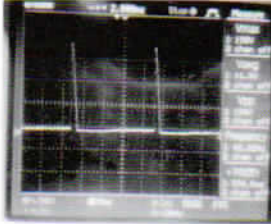
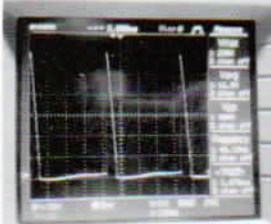



$$V_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{\pi/2}^{\pi} V_m \sin \omega t dt$$

$$V_0 = 99.08 \text{ volt}$$

$$V_0 = \frac{1}{2\pi} [-V_m \cos \omega t]_{\pi/2}^{\pi}$$

Perancangan *Electronic Load Controller* Berbasis Mikrokontroler sebagai Stabilizer Tegangan dan Frekuensi

Tabel 5 Data Pengukuran Keluaran TRIAC BTA-25

No	Waktu pensaklaran (us)	Bentuk Gelombang	Tegangan (volt)
1	600		21,6
2	500		32,2
3	400		98,8
4	300		119,2
5	200		132,2

Dari hasil pengujian program untuk menentukan sudut pensaklaran (α) didapat error = 0.28%. Pengujian LCD dengan menggunakan BASCOM-AVR sangat mudah. Hal ini dikarenakan bahasa yang dipergunakan adalah bahasa BASIC. Bahasa BASIC merupakan bahasa tingkat tinggi, sehingga instruksinya mudah dipahami.

4.3 Pengujian Keseluruhan

4.3.1 Pengukuran tidak menggunakan *ELC Mainboard*

Data pada tabel 6 memperlihatkan hasil pengukuran keluaran tanpa *ELC mainboard* dengan membandingkan perubahan kecepatan generator terhadap keluaran tegangan dan frekuensi generator. Semakin cepat putaran generator maka tegangan dan frekuensi keluaran generator semakin tinggi, jika tidak menggunakan *ELC mainboard* maka tegangan dan frekuensi tidak dapat dikontrol.

Tabel 6 Data Pengukuran tidak menggunakan *ELC mainboard*

NO	Kecepatan Generator (rpm)	Tegangan Beban Konsumen (volt)	Frekuensi Beban Konsumen (Hz)	Tegangan dan Arus Beban Komplemen (Ballast Load)					
				Ballast R		Ballast S		Ballast T	
				V (volt)	I (A)	V (volt)	I (A)	V (volt)	I (A)
1	1347	217	47.07	0	0	0	0	0	0
2	1367	226	47.80	0	0	0	0	0	0
3	1389	235	48.50	0	0	0	0	0	0
4	1407	240	48.80	0	0	0	0	0	0
5	1426	248	49.25	0	0	0	0	0	0
6	1446	255	49.94	0	0	0	0	0	0
7	1464	260	50.60	0	0	0	0	0	0
8	1482	267	51.25	0	0	0	0	0	0
9	1498	275	51.80	0	0	0	0	0	0
10	1515	278	52.50	0	0	0	0	0	0
11	1568	297	53.00	0	0	0	0	0	0
12	1585	302	53.60	0	0	0	0	0	0
13	1598	307	54.10	0	0	0	0	0	0

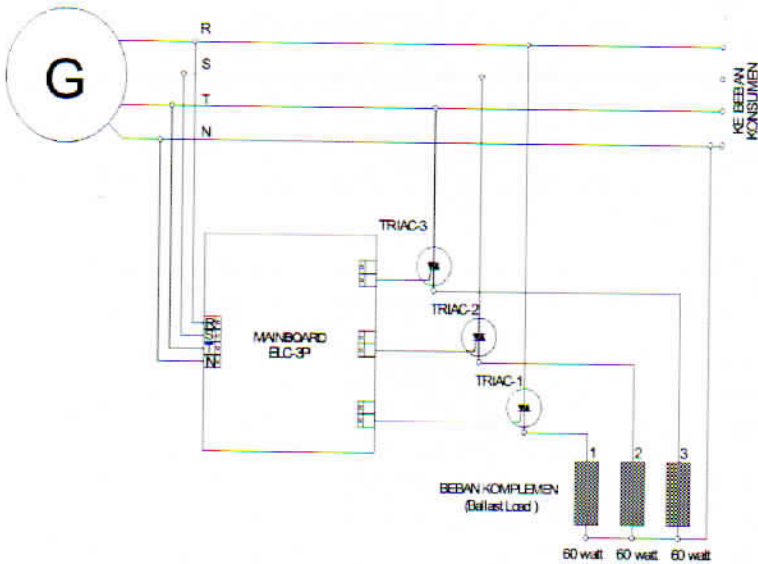
Pengukuran tidak menggunakan *ELC mainboard* mengakibatkan keluaran tegangan dan frekuensi relatif tinggi, dari tabel 10 didapatkan tegangan rata-rata 262.08 volt (220 volt \pm 19%).

4.3.2 Pengukuran menggunakan *ELC Mainboard* tanpa Beban Konsumen

Gambar 6 merupakan gambar wiring ELC, dimana keluaran generator 3 fasa dihubungkan dengan *ELC mainboard* sebelum ke beban konsumen. Fungsi ELC menyeimbangkan beban generator dengan beban konsumen dengan cara mengatur besar kecilnya daya yang masuk ke beban komplemen (beban *ballast*). Data hasil pengukuran pada tabel 7 menggunakan *ELC mainboard* tanpa beban konsumen. Pada saat tegangan lebih besar dari 226 V, ELC mulai mengatur besar kecilnya daya yang dibuang ke beban komplemen. Semakin tinggi kecepatan motor semakin besar daya yang dibuang ke beban komplemen. Dari data tabel di atas rata-rata tegangan dan frekuensi pada konsumen stabil yaitu 222.85 volt (220 volt \pm 1%) dan 48.02 Hz (50 Hz \pm 4%).

4.3.3 Pengukuran menggunakan ELC Mainboard dengan Beban Konsumen

Data pengukuran ELC dengan beban konsumen diperlihatkan pada tabel 8. Pada saat tidak ada beban konsumen daya yang dihasilkan generator dibuang semua ke beban komplemen, sehingga



Gambar 6 *Wiring Electronic Load Controller*

Tabel 7 Data Pengukuran Menggunakan *ELC MainBoard* tanpa Beban Konsumen

NO	Kecepatan Generator (rpm)	Tegangan Beban Konsumen (volt)	Frekuensi Beban Konsumen (Hz)	Tegangan Beban Komplemen (Ballast Load)					
				Ballast R (60 watt)		Ballast S (60 watt)		Ballast T (60 watt)	
				V (volt)	I (A)	V (volt)	I (A)	V (volt)	I(A)
1	1347	217	47.07	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	1367	226	47.80	0	0.00	0	0.00	0	0.00
3	1376	221	47.70	53	0.21	53	0.21	53	0.21
4	1382	221	47.90	81	0.22	81	0.22	81	0.22
5	1386	222	48.00	103	0.24	103	0.24	103	0.24
6	1390	223	48.10	124	0.25	124	0.25	124	0.25
7	1393	223	48.17	139	0.26	139	0.26	139	0.26
8	1394	223	48.17	158	0.27	158	0.27	158	0.27
9	1394	223	48.17	166	0.28	166	0.28	166	0.28
10	1395	223	48.24	173	0.29	173	0.29	173	0.29
11	1396	224	48.25	185	0.30	185	0.30	185	0.30
12	1397	225	48.35	198	0.31	198	0.31	198	0.31
13	1397	226	48.35	213	0.32	213	0.32	213	0.32

tegangan dan frekuensi tetap stabil. Pada saat ada beban konsumen, daya pada beban komplemen berkurang sesuai dengan perubahan beban konsumen, semakin besar beban konsumen maka semakin kecil daya yang dibuang ke beban komplemen. Hasil pengukuran beban total generator kurang dari 180 watt yaitu 173.81 watt (180 W ± 3%).

Tabel 8 Data Pengukuran Menggunakan ELC Main Board dengan Beban Konsumen

NO	Kecepatan Generator (rpm)	Beban Konsumen (watt)	Tegangan Beban Konsumen (volt)	Frekuensi Beban Konsumen (Hz)	Tegangan Beban Komplemen (Ballast Load)					
					Ballast R (60 watt)		Ballast S (60 watt)		Ballast T (60 watt)	
					V (volt)	I (A)	V (volt)	I (A)	V (volt)	I(A)
1	1397	0	226	48.35	213	0.32	213	0.32	213	0.32
2	1397	25	226	48.15	172	0.30	172	0.30	172	0.30
3	1397	50	225	48.12	133	0.27	133	0.27	133	0.27
4	1396	75	224	48.10	112	0.24	112	0.24	112	0.24
5	1396	100	224	47.97	84	0.21	84	0.21	84	0.21
6	1377	180	220	47.07	0	0.00	0	0.00	0	0.00

5 Kesimpulan

Telah diuraikan perancangan *electronic load controller* dengan menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali utama untuk menstabilkan tegangan dan frekuensi energi listrik yang dihasilkan oleh generator. Dari hasil pengujian diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Perancangan *electronic load controller* pada generator sinkron 3 fasa menghasilkan frekuensi dan tegangan yang stabil $50 \text{ Hz} \pm 4\%$ dan $220 \text{ volt} \pm 1\%$, dengan beban total generator (beban konsumen dan beban komplemen) cenderung tetap yaitu $180\text{W} \pm 3\%$.
- Dengan pengujian menggunakan beban resistif (R), konsumsi beban adalah kurang dari 180W agar didapatkan frekuensi dan tegangan yang terkontrol.
- Program yang dibuat berjalan sesuai dengan fungsinya.

Daftar Pustaka

- 1 Sambutan Direktur Teknik dan Lingkungan Ketenagalistrikan dalam Seminar Nasional *Modern Electrical Engineering and Its Application* di Universitas Kristen Maranatha, 20 Maret 2010
- 2 Singh, B., Murthy, S. S., & Gupta, S., *Analysis and Design of Electronic Load Controller for Self-Excited Induction Generators*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 21 Issue 1, March 2006, hlm. 285 – 293.
- 3 Ramirez, J. M. & Torres, E.M., *An Electronic Load Controller for the Self-Excited Induction Generator*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 22, Issue 2, June 2007, hlm. 546 – 548.
- 4 Singh, B. & Rajagopal, V., *Design of a star-hexagon transformer based electronic load controller for isolated pico hydro generating system*, International Conference on Power Systems (ICPS) 27 – 29 December 2009, hlm. 1 – 6.
- 5 Boylestad, Robert L. and Louis Nashelsky, *Electronic Devices And Circuit Theory*, Seven Edition, Prentice Hall International, INC, New Jersey, 1992.
- 6 Portegijs, J., *The 'Humming Bird' Electronic Load Controller/Induction Generator Controller*, Netherlands, 2000.
- 7 Tocci, Ronald J. *Digital Systems Principles and Applications*, Sixth Edition, Prentice-Hall, Inc, New Jersey, 1995.