

**DESAIN PENGATUR BEBAN ELEKTRONIK MENGGUNAKAN KONTROL SUDUT  
PENYALAAAN (FIRING ANGLE) PADA GENERATOR PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)**

**Miftachul Ulum<sup>1</sup>, Achmad Fiqhi Ibadillah<sup>2</sup>, dan Diana Rahmawati<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Trunojoyo Madura  
<sup>1</sup>mif\_ulum21@yahoo.com, <sup>2</sup>fiqhi.achmad@gmail.com dan <sup>3</sup>diana\_rahmawati@yahoo.com

---

**Abstrak:** PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro) dibangun setelah melalui studi kelayakan yang matang dengan parameter: debit air, ketinggian, jenis generator dan lain-lain, sehingga pada saat diberi beban maksimum maka generator masih mampu menghasilkan tegangan dan frekuensi yang sesuai dengan standar. Tetapi PLTMH belum dimanfaatkan secara maksimal sehingga perubahan beban pada konsumen menyebabkan terjadinya fluktuasi tegangan dan frekuensi karena kecepatan generator akan cenderung berubah-ubah pula, dan dalam kenyataannya perubahan yang terjadi tidak dapat dimonitor setiap saat. Perubahan beban yang sering terjadi pada sebuah PLTMH dapat mengakibatkan kestabilan frekuensi menjadi terganggu. Selain itu juga dapat mengakibatkan roda gerak berputar lebih cepat. Akibatnya frekuensi listrik akan naik dan bila terlalu tinggi akan membahayakan peralatan listrik konsumen. Oleh karena itu, untuk menunjang kinerja PLTMH ini, pengaturan atau pengendalian frekuensi sangat diperlukan agar selalu berada pada daerah kerja antara 49 Hz – 51 Hz. Tujuan makalah ini untuk merancang sistem kontrol pembagi beban elektronik menggunakan kontrol sudut penyalaan (firing angle) pada generator pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), agar beban dari generator dalam hal ini adalah beban konsumen tidak mengalami kerusakan dengan menggunakan mikrokontroler ATmega 16. Pengendalian beban dimaksudkan untuk menjaga kestabilan energi listrik yang dihasilkan oleh generator. Dengan bekerjanya triac maka jika terjadi penurunan daya pada konsumen, sisa daya akan mengalir ke beban komplement, sehingga daya generator senantiasa tetap walaupun beban konsumen mengalami perubahan. Hasil pengujian alat menunjukkan jika beban uji berkisar antara 205 Watt sampai dengan 213 Watt maka frekuensi beban berkisar antara 49 Hz sampai dengan 51 Hz.

**Kata kunci:** PLTMH, frekuensi, mikrokontroler, firing angle, dummy load.

---

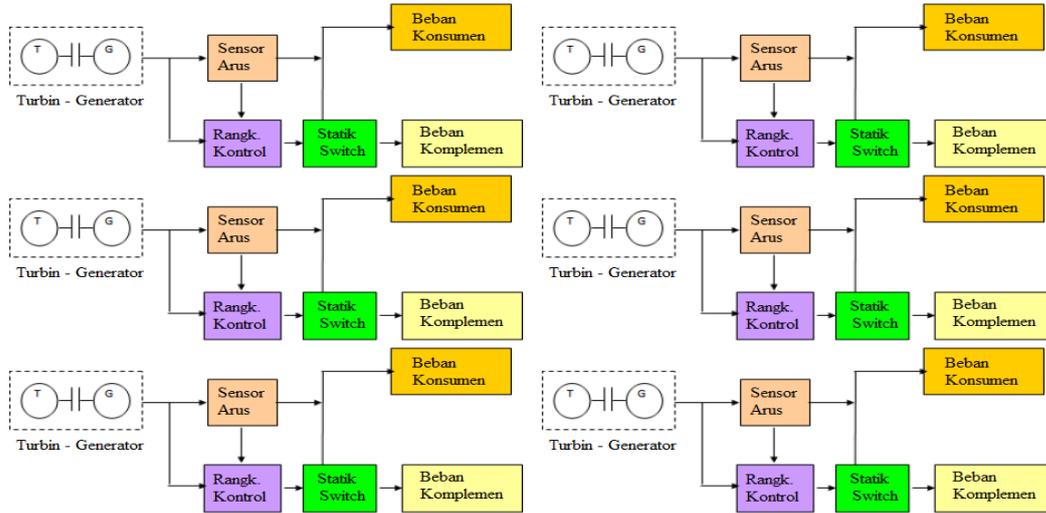
**Abstract:** MHP (micro hydro power plant) built with a study using the parameters: water flow, heights, types of generators and others, so that when given the maximum load the generator is able to generate a voltage and frequency in accordance with the standard. But the MHP has not been utilized to the maximum so that the change in the burden on consumers caused fluctuations in voltage and frequency as the speed of the generator will tend to vary as well, and in fact the changes can not be monitored at all times. Load changes that often occur at a frequency stability of MHP can result becomes impaired. It also can result in motion the wheels spin faster. As a result, the electricity frequency would endanger consumer electrical appliances. Therefore, to support the performance of this MHP, we need frequency control to keep this always be on the working area between 49 Hz - 51 Hz. An Electronic Load Controller (ELC) is an electronic device that keeps the speed of synchronous generator constant at varying load conditions. The generator is driven by unregulated turbine with constant power output and a dummy ballast load is connected across the generator terminals to dump the excess of power generated. When the consumer's load changes, frequency of generated voltage changes. This research deals with the electronic load control settings prototype using a microcontroller ATmega 16. Load control is used to reduce the overloading of the generator by using firing angle control. The triac is used to control the power consumed by ballast of each phase and the change in load in one phase doesn't affect the dummy power consumption of other phases. The test result show if load testing tools ranging from 205 Watts to 213 Watts then load the frequency range between 49 Hz to 51 Hz.

**Keywords :** MHP (micro hydro power plant), frequency, microcontroller, firing angle, dummy load.

---



generator tetap konstan maka daya yang masuk ke turbin dibuat tetap dan beban yang diterima generator juga tetap. Daya turbin dipengaruhi oleh debit air, agar daya turbin tetap konstan, maka debit air dibuat tetap. Sedangkan agar beban generator tetap, perlu dibuat beban komplemen untuk mengimbangi perubahan pada beban konsumen. Besar beban komplemen diatur oleh ELC (*Electronic Load Control*) yang menggunakan kendali utama mikrokontroler, sehingga :  $\text{Beban Generator} = \text{Beban Konsumen} + \text{Beban Komplemen}$ . Gambar 2 menunjukkan blok diagram pembagian daya dengan ELC.



**Gambar 2.** Blok diagram Pembagian Daya dengan ELC

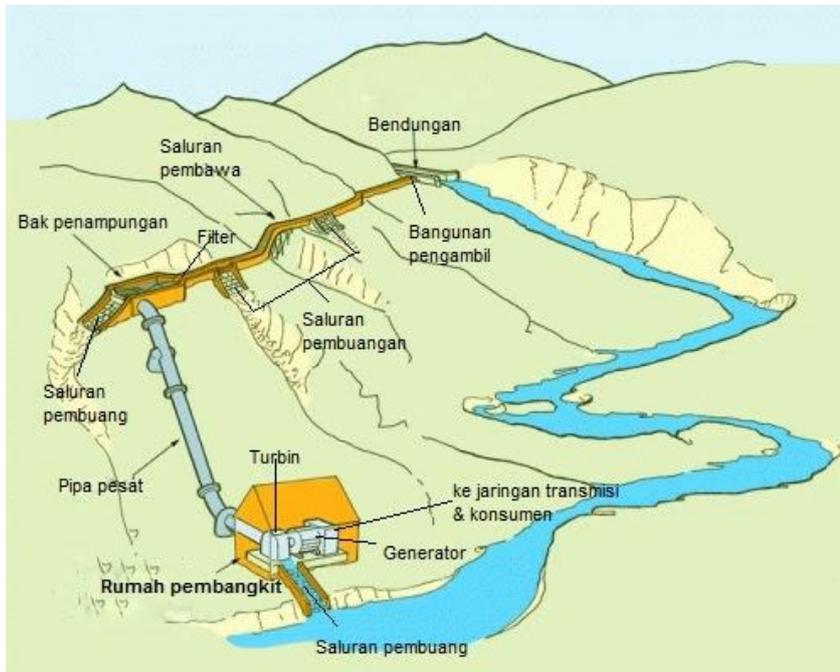
Prinsip kerja ELC adalah jika daya yang diserap oleh beban konsumen berubah akan mengakibatkan pula perubahan frekuensi dan arus yang mengalir ke beban. Perubahan arus dan frekuensi ke beban akan dideteksi oleh sensor arus yang kemudian dibandingkan dengan harga referensi yang telah ditentukan. Selanjutnya rangkaian kontrol yang berupa mikrokontroler akan memberikan aksi atas perubahan tersebut dengan memanipulasi untuk mengatur sudut penyalan pada switch statik (*Thyristor*). Sensor arus berfungsi untuk mendeteksi perubahan arus yang disebabkan terjadinya perubahan beban konsumen. Sensor arus terdiri dari trafo arus (*Current Transformer*) dan konverter. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan rangkaian *Electronic Load Control (ELC)* dengan sensor arus dapat digunakan sebagai pengatur beban listrik pada PLTMH, *Electronic Load Control* dapat untuk mengetahui pemakaian beban listrik pada konsumen. (Sujatno, 2012).

Rangkaian sistem pengatur beban secara elektronik ini berfungsi untuk menjaga kestabilan tegangan listrik yang dihasilkan dari sebuah pembangkit (mikrohidro) sehingga memenuhi persyaratan standar keamanan kelistrikan. Sistem pengatur beban berfungsi menjaga agar turbin dan generator terbebani secara konstan meskipun beban pada pemakaian daya listrik berubah-ubah akan mempertahankan putaran generator dan turbin. Alat ini bekerja menyeimbangkan antara beban utama / beban ke masyarakat dengan beban tiruan/heater. Pada hasil uji coba sistem rangkaian ini terlihat bahwa dapat menjaga kestabilan tegangan sebesar 220 volt sampai 227 volt dengan frekuensi 47 sampai dengan 50 Hz, dengan menggunakan beban tiruan/heater sebesar 2000 watt.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah pengontrol beban pada PLTMH yang ada dipasaran relatif mahal dan distribusinya berada di Jawa Barat, jika terjadi kerusakan di unit PLTMH di daerah susah untuk memperbaikinya / menggantinya. Kegiatan rancang bangun ini memiliki peran penting di dalam menjaga kestabilan tegangan listrik yang dihasilkan dari sebuah pembangkit mikrohidro sehingga memenuhi persyaratan standar keamanan kelistrikan. Sistem pengatur beban berfungsi menjaga agar turbin dan generator terbebani secara konstan meskipun beban pada pemakai daya listrik berubah-ubah. Sistem rangkaian ini mampu menjaga kestabilan tegangan antara 220 volt sampai dengan 227 volt, dengan frekuensi bekerja antara 47 Hz sampai dengan 50 Hz. Generator yang cocok digunakan pada sistem ini adalah generator dengan sikat, karena tegangan yang dihasilkan jauh lebih stabil (dilengkapi AVR / *Automatic Voltage Regulator*). (Rahayuningtyas Ari, Santoso Teguh & Furqon Maulana, 2012).

### Prinsip Kerja PLTMH

Secara teknis PLTMH memiliki tiga komponen utama yaitu air (hydro), turbin, dan generator. Prinsip kerja dari PLTMH sendiri pada dasarnya sama dengan PLTA hanya saja berbeda kapasitasnya atau besarnya. PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian atau sudut kemiringan dan jumlah debit air per detik yang ada pada saluran irigasi, sungai, maupun air terjun. Aliran air akan memutar turbin sehingga akan menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik turbin akan memutar generator dan generator menghasilkan listrik. Skema prinsip kerja PLTMH dapat dilihat pada gambar berikut (Jack, 1984):



**Gambar 3.** Prinsip Kerja PLTMH

Pembangunan PLTMH perlu diawali dengan pembangunan bendungan untuk mengatur aliran air yang akan dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak PLTMH. Bendungan ini perlu dilengkapi dengan pintu air dan penyaring sampah (filter) untuk mencegah masuknya kotoran maupun endapan lumpur. Bendungan sebaiknya dibangun pada dasar sungai yang stabil dan aman terhadap banjir. Di dekat bendungan dibangun bangunan pengambil (intake), kemudian dilanjutkan dengan pembuatan saluran pembawa yang berfungsi mengalirkan air dari intake. Saluran ini dilengkapi dengan saluran pelimpah pada setiap jarak tertentu untuk mengeluarkan air yang berlebih. Saluran ini dapat berupa saluran terbuka atau tertutup. Di ujung saluran pelimpah dibangun kolam pengendap. Kolam ini berfungsi untuk mengendapkan pasir dan menyaring kotoran sehingga air yang masuk ke turbin relatif bersih. Saluran ini dibangun dengan cara memperdalam dan memperlebar saluran pembawa dan menambahnya dengan saluran penguras.

Bak penenang / bak penampungan juga dibangun untuk menenangkan aliran air yang akan masuk ke turbin dan mengarahkannya masuk ke pipa pesat. Bak ini dibuat dengan konstruksi beton dan berjarak sedekat mungkin ke rumah turbin untuk menghemat pipa pesat. Pipa pesat berfungsi mengalirkan air sebelum masuk ke turbin. Dalam pipa ini, energi potensial air di kolam penenang diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar roda turbin. Biasanya terbuat dari pipa baja yang dirol, lalu dilas. Untuk sambungan antar pipa digunakan flens. Pipa ini harus didukung oleh pondasi yang mampu menahan beban statis dan dinamisnya. Pondasi dan dukungan ini diusahakan selurus mungkin, karena itu perlu dirancang sesuai dengan kondisi tanah.

Turbin, generator dan sistem kontrol masing-masing diletakkan dalam sebuah rumah yang terpisah. Pondasi turbin-generator juga harus dipisahkan dari pondasi rumahnya. Tujuannya adalah untuk menghindari masalah akibat getaran. Rumah turbin harus dirancang sedemikian agar memudahkan perawatan dan pemeriksaan. Setelah keluar dari pipa pesat, air akan memasuki turbin pada bagian inlet. Di dalamnya terdapat guided vane untuk mengatur pembukaan dan penutupan turbin serta mengatur jumlah air yang masuk ke runner/blade (komponen utama turbin). Runner terbuat dari baja dengan kekuatan tarik tinggi yang dilas pada dua buah piringan sejajar. Aliran air akan memutar runner dan menghasilkan energi kinetik yang akan memutar poros turbin. Energi yang timbul akibat putaran poros kemudian ditransmisikan ke

generator. Seluruh sistem ini harus balance, turbin harus dilengkapi casing yang berfungsi mengarahkan air ke runner. Pada bagian bawah casing terdapat pengunci turbin. Bantalan (bearing) terdapat pada sebelah kiri dan kanan poros dan berfungsi untuk menyangga poros agar dapat berputar dengan lancar.

Daya poros dari turbin ini harus ditransmisikan ke generator agar dapat diubah menjadi energi listrik. Generator yang dapat digunakan pada mikrohidro adalah generator sinkron dan generator induksi. Sistem transmisi daya ini dapat berupa sistem transmisi langsung (daya poros langsung dihubungkan dengan poros generator dengan bantuan kopling), atau sistem transmisi daya tidak langsung, yaitu menggunakan sabuk atau belt untuk memindahkan daya antara dua poros sejajar. Keuntungan sistem transmisi langsung adalah lebih kompak, mudah dirawat, dan efisiensinya lebih tinggi. Tetapi sumbu poros harus benar-benar lurus dan putaran poros generator harus sama dengan kecepatan putar poros turbin. Masalah ketidaklurusan sumbu dapat diatasi dengan bantuan kopling fleksibel. Gearbox dapat digunakan untuk mengoreksi rasio kecepatan putaran. Sistem transmisi tidak langsung memungkinkan adanya variasi dalam penggunaan generator secara lebih luas karena kecepatan putar poros generator tidak perlu sama dengan kecepatan putar poros turbin. Jenis sabuk yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis flat belt, sedang V-belt digunakan untuk skala di bawah 20 kW. Komponen pendukung yang diperlukan pada sistem ini adalah pulley, bantalan dan kopling. Listrik yang dihasilkan oleh generator dapat langsung ditransmisikan lewat kabel pada tiang-tiang listrik menuju rumah konsumen.

Untuk menghitung potensi daya yang dimiliki oleh suatu sungai atau sumber aliran air yang akan dijadikan PLTMH digunakan rumus persamaan berikut :

$$P = g \cdot Q \cdot H_n \cdot \eta \quad (1)$$

Dimana :

P = daya (Watt)

Q = debit aliran (m<sup>3</sup>/s)

H<sub>n</sub> = beda ketinggian (m)

g = percepatan gravitasi ( 9.8 m/s<sup>2</sup>)

η = efisiensi keseluruhan

(Jack, 1984)

### Perhitungan Teknis

Perhitungan teknis potensi daya mikrohidro dapat dihitung dengan persamaan (1):

Misalnya dalam sebuah perencanaan PLTMH di suatu desa didapatkan data sebagai berikut : Debit air yang bisa dialirkan sebesar 500 m<sup>3</sup>/dtk, dengan ketinggian head net 20 meter, jika besarnya efisiensi keseluruhan sebesar 0.5, maka daya (P) yang mampu dihasilkan adalah :

$$P = g \cdot Q \cdot H_n \cdot \eta$$

$$P = 9.8 \text{ m/s}^2 \times 500 \text{ m}^3/\text{s} \times 20 \text{ m} \times 0.5$$

$$P = 49000 \text{ watt} = 49 \text{ kW}$$

Daya teoritis PLTMH tersebut di atas, akan berkurang setelah melalui turbin dan generator, yang diformulasikan sebagai berikut :

$$P = 9,8 \cdot \rho \cdot Q \cdot H \cdot \text{eff}_T \cdot \text{eff}_G \quad (2)$$

Dimana :

eff<sub>T</sub> : Efisiensi Turbin antara ( 0,8 s/d 0,95)

eff<sub>G</sub> : Efisiensi Generator ( 0,8 s/d 0,95)

- Perkiraan beban tersambung :

$$P_T = \sum_{n=1}^n n \cdot P \quad (3)$$

Dimana :

n = banyaknya pelanggan

P = Daya listrik pada tiap pelanggan ( Watt)

- Kecepatan medan putar di dalam generator sinkron dinyatakan oleh persamaan :

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (4)$$

Dimana :

- $n_s$  = Kecepatan medan putar (rpm)
- $f$  = Frekuensi (Hz)
- $p$  = Jumlah kutub motor induksi

- Kecepatan putar rotor tidak sama dengan kecepatan medan putar, perbedaan tersebut dinyatakan dengan slip :

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (5)$$

Dimana :

- $s$  = slip
- $n_s$  = kecepatan medan putar stator (rpm)
- $n_r$  = kecepatan putar rotor (rpm)

- Daya maksimum yang di hasilkan dirumuskan :

$$P = I_M \times V_M \quad (6)$$

- Dan efisiensi dituliskan :

$$Eff = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\% \quad (7)$$

(Dandekar, 1991)

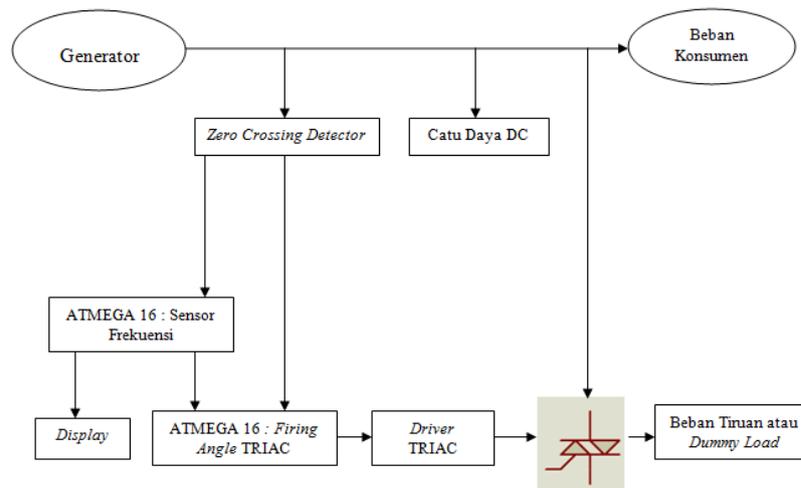
### Mikrokontroler AVR AT Mega 16

Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan saat ini yaitu mikrokontroler AVR. AVR adalah mikrokontroler RISC (*Reduce Instruction Set Compute*) 8 bit berdasarkan arsitektur Harvard, yang dibuat oleh Atmel pada tahun 1996. AVR mempunyai kepanjangan *Advanced Versatile RISC atau Alf and Vegard's Risc peocessor* yang berasal dari nama dua mahasiswa Norwegian Institute of Technology (NTH), yaitu Alf-Egil Bogen dan Vegard Wollan. AVR memiliki keunggulan dibandingkan dengan mikrokontroler lain, keunggulan mikrokontroler AVR yaitu AVR memiliki kecepatan eksekusi program yang lebih cepat karena sebagian besar instruksi dieksekusi dalam 1 siklus *clock*, lebih cepat dibandingkan dengan mikrokontroler MCS 51 yang memiliki arsitektur CISC (*Complex Instruction Set Computer*) dimana mikrokontroler MCS51 membutuhkan 12 siklus *clock* untuk mengeksekusi 1 intruksi. Selain itu, mikrokontroler AVR memiliki fitur yang lengkap (ADC internal, EEPROM internal, *Timer/Counter*, *Watchdog*, *Timer*, PWM, *Port I/O*, komunikasi serial, Komparator, I2C, dll), sehingga dengan fasilitas yang lengkap ini, *programmer* dan desainer dapat menggunakannya untuk berbagai aplikasi sistem elektronika seperti robot, otomasi industri, peralatan telekomunikasi, dan berbagai keperluan lain.

### METODE PENELITIAN

Secara umum konfigurasi sistem dari pengaturan beban secara elektronik pada pembangkit listrik ini terdiri dari input, kontroler dan output. Dari sisi masukan (*input*) terdiri detektor persilangan titik nol (*zero crossing detector*) dan sensor frekuensi jala-jala listrik generator. Pengolah data dan kontroler yang digunakan adalah mikrokontroler AT Mega 16. Dari sisi keluaran (*output*) yang dihubungkan dengan *driver* triac sebagai kontrol sudut penyalan (*firing angle*) beban komplemen / tiruan.

Blok diagram utama prototip dari perangkat keras :



Gambar 4. Blok Diagram Perangkat Keras

Fungsi dari masing-masing blok tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

**1. Zero Crossing Detector / Deteksi Persilangan Nol**

Blok ini berfungsi untuk membandingkan tegangan listrik jala-jala dengan tegangan referensi nol volt. Apabila tegangannya lebih besar dari nol volt maka output *zero detector* akan *high* dan apabila lebih kecil dari nol volt maka outputnya akan *low*. Perubahan dari *low* ke *high* dan dari *high* ke *low* inilah saat terjadi *zero*.

**2. Sensor Frekuensi**

Penghitung frekuensi (*Frequency Counter*) digunakan untuk menghitung banyaknya gelombang dalam satu detik, sehingga mempunyai satuan Hz (*Hertz*).

Untuk mendapatkan data frekuensi dari masing-masing blok diperlukan sensor frekuensi menggunakan mikrokontroler AVR ATmega 16 dan codevision AVR serta rangkaian *zero crossing detector* untuk mendeteksi titik nol dari gelombang listrik AC sehingga didapatkan banyaknya gelombang dalam satu detik.

**3. Function Generator (Pembangkit Pulsa) dengan pewaktu 555**

Pembangkit pulsa dengan pewaktu (*timer*) 555 berfungsi sebagai pembangkit sinyal gelombang kotak yang bisa diatur nilai frekuensi dari sinyal yang keluar dari IC (*Integrated Circuit*) 555 ini sehingga nilai frekuensi yang dideteksi oleh AVR ATmega 16 bisa berubah-ubah dengan mengatur tahanannya.

**4. Tampilan Frekuensi dengan 7 segment (ruas)**

*7 Segment* berfungsi sebagai media tampilan selama proses pengendalian berlangsung. Blok ini berfungsi menampilkan besarnya frekuensi dari generator.

**5. Mikrokontroler ATmega 16 sebagai pemroses kontrol sudut penyalan triac**

Blok ini berfungsi sebagai unit kontroler untuk mengaplikasikan kendali penyalan sudut triac, mendeteksi dan kontrol jumlah *ballast* yang harus aktif dari sensor frekuensi, dan menerima input dari rangkaian *zero crossing detector* sebagai penentu titik nol dari arus AC.

**6. Driver triac beban tiruan / komplemen**

Blok ini berfungsi untuk mengendalikan tegangan beban dengan memberi waktu tunda pemucuan TRIAC. Komponen utama pengatur tegangan listrik berupa TRIAC dan optoisolator. *Driver* ini termasuk jenis *optocoupler* sehingga relatif aman jika terjadi ketidaknormalan pada bagian beban.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Pembangkit Gelombang Kotak dengan IC (*Integrated Circuit*) Timer 555

Tujuan dari pembuatan rangkaian pembangkit gelombang kotak dengan rangkaian *Timer* (pewaktu) IC 555 adalah sebagai pengganti rangkaian *zero crossing detector* dari jala-jala listrik generator PLTMH dimana frekuensinya dapat diubah dengan mengatur resistor RV1 dan RV2 sebagai masukan untuk ATmega 16 sebagai sensor frekuensi.

*Multivibrator* digunakan dalam alat ini yaitu *timer 555*. *Multivibrator* ini tegangan keluarannya beralih dari gelombang yang tinggi ke tingkat yang lebih rendah dan kembali kesemula. Waktu keluaran yang tinggi dan rendah tersebut ditentukan oleh sebuah jaringan kapasitor dan tahanan yang dihubungkan dari luar

timer 555. Dimana harga keluaran yang tinggi sedikit lebih kecil dari  $V_{cc}$ . Keluaran dari pewaktu ini kemudian diberikan ke sensor frekuensi. Pelaksanaan pengambilan data dan pengujian dilakukan dengan menggunakan frekuensi meter dan program osiloskop digital Proteus (ISIS Profesional).

Rangkaian ini bekerja dengan *output* hidup mati secara kontinyu tergantung dengan tahanan RV1 dan RV2 dan kapasitor C1. Untuk mendapatkan hasil keluaran dengan frekuensi 50 Hz maka perhitungan resistor dan kapasitor yang dipakai dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

Apabila nilai frekuensi (f) keluaran yang diharapkan sebesar 50 Hz maka nilai dari T (ms) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} T &= 1/f \\ T &= 1/50 \\ &= 0.02 \text{ sekon} \\ &= 20 \text{ ms} \end{aligned} \tag{8}$$

Apabila nilai dari T total dari gelombang keluaran sudah di ketahui sebesar 20 ms maka untuk mendapatkan  $T_H$  dan  $T_L$  dihitung dengan persamaan :

$$f = \frac{1}{t_{HI} + t_{LO}} \tag{9}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{total}} &= T_H + T_L \\ T_H + T_L &= 20 \text{ ms} \end{aligned}$$

Untuk memudahkan perhitungan maka nilai dari C1 diberikan nilai sebesar 10  $\mu\text{F}/25$  Volt, sedangkan  $T_H$  sebesar 8 ms dan  $T_L$  sebesar 12 ms.

Apabila nilai dari  $T_H$  dan  $T_L$  serta C1 sudah diketahui maka RV1 dan RV2 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$t_{LO} = 0,693 R_B C \tag{10}$$

Untuk menghitung  $T_L$  digunakan persamaan :

$$\begin{aligned} T_L &= 0,693 \cdot RV2 \cdot C1 \\ 8 \text{ ms} &= 0,693 \cdot RV2 \cdot 10 \mu\text{F} \\ 0,008 &= 0,693 \cdot RV2 \cdot 0,00001 \\ 0,008 &= 0,00000693 \cdot RV2 \\ RV2 &= 0,008 / 0,00000693 \\ RV2 &= 1154,4 \Omega \end{aligned}$$

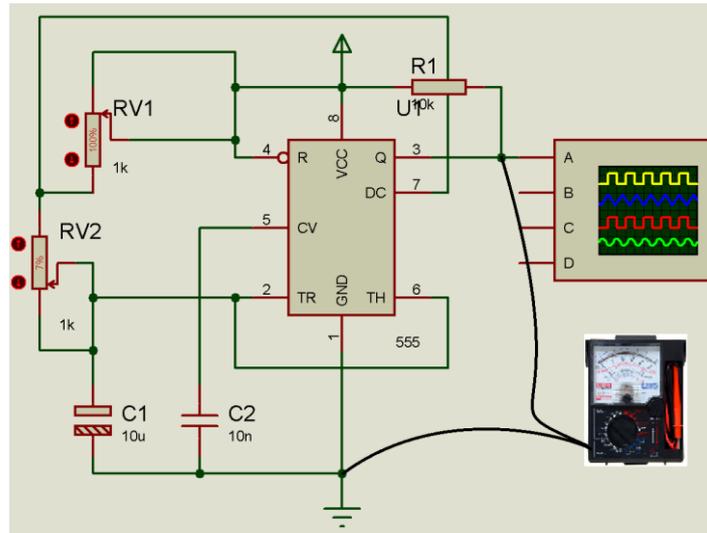
Sedangkan untuk  $T_H$  didapat dengan persamaan :

$$t_{HI} = (R_A + R_B)C \ln \left( \frac{1}{1 - \frac{1/3V_{CC}}{2/3V_{CC}}} \right) \quad t_{HI} = 0,693(R_A + R_B)C \tag{11}$$

$$\begin{aligned} 12 \text{ ms} &= 0.693 (RV1 + RV2) \cdot 10 \mu\text{F} \\ 0,012 &= 0,00000693 (RV1 + RV2) \\ RV1 + RV2 &= 0,012 / 0,00000693 \\ RV1 + RV2 &= 1731,6 \\ RV1 &= 1731,6 - 1154,4 \\ RV1 &= 577.2 \Omega \end{aligned}$$

Untuk mempermudah pengaturan keluaran frekuensi 50 Hz maka dipilih resistor yang bisa diubah nilai tahanan nya, maka bisa dipilih RV1 sebesar 1 K $\Omega$  dan RV2 sebesar 1 K $\Omega$  .

Dari perhitungan diatas maka rangkaian pengujian *multivibrator timer* ini ditunjukkan dalam Gambar 5.

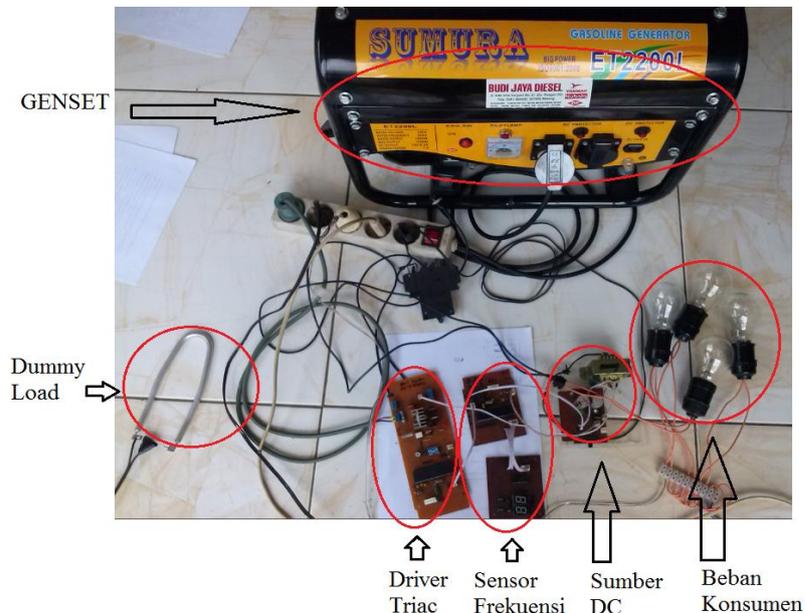


**Gambar 5.** Rangkaian pengujian pembangkit sinyal dengan *multivibrator timer*

Dari hasil pengujian rangkaian *multivibrator timer* ini didapatkan frekuensi sebesar 50 Hz untuk nilai RV1 sebesar 1078  $\Omega$  dan RV2 sebesar 818  $\Omega$ , dengan mengatur besarnya tahanan RV1 = 1078  $\Omega$  dan RV2 = 0  $\Omega$  didapat hasil pengukuran dengan frekuensi maksimal yaitu 130 Hz, jika nilai tahanan RV1 dan RV2 dibuat maksimum sebesar RV1 = 1078  $\Omega$  dan RV2 = 1094  $\Omega$  didapatkan nilai keluaran frekuensi sebesar 40 Hz .

**Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan**

Pengujian terhadap sistem ini berarti bagian-bagian dari blok rangkaian di gabungan menjadi satu rangkaian di mulai dari Generator Set (genset), rangkaian *zero crossing detector*, sensor frekuensi, rangkaian *firing angle*, beban lampu pijar dan *dummy load* serta *driver triac* seperti yang terlihat pada Gambar 4.10 dibawah ini. Pengujian terhadap sistem ini sangat penting, sebab menyangkut interaksi fungsi antara blok rangkaian yang satu terhadap rangkaian yang lain.



**Gambar 6** Keseluruhan rangkaian perangkat keras

Pada pengujian rangkaian keseluruhan ini di uji dengan frekuensi dari rangkaian pembangkit gelombang kotak dengan IC 555 antara 49 - 51 Hz maka jumlah *ballast* tetap pada jumlah saat itu, jika frekuensi dinaikkan maka jumlah akan bertambah dengan 1 setelah 1 detik, jika frekuensi masih diatas 51 Hz maka akan ada penambahan lagi jumlah *ballast* sebesar 1 *stage* namun jika frekuensi dibawah 49 Hz maka

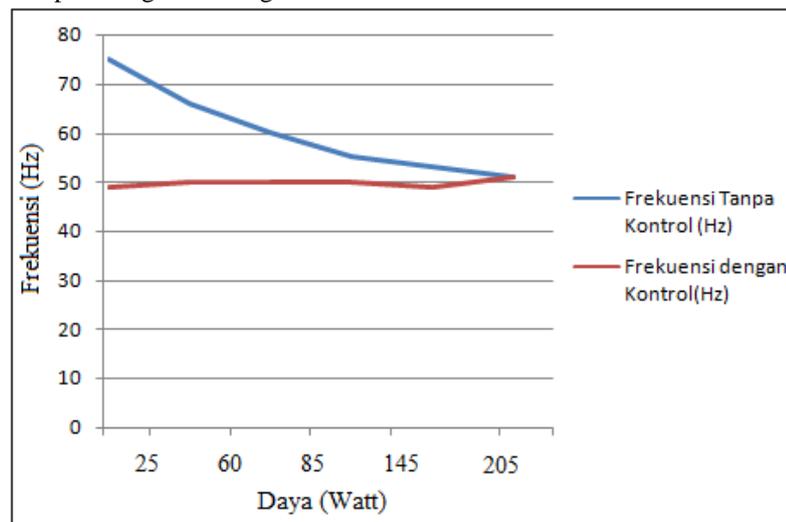
jumlah *ballast* akan berkurang 1 *stage* dan jika frekuensi sudah mencapai 49-51 Hz maka penambahan akan dihentikan. Dapat diketahui hasil pengujian sistem sebelum dan sesudah diberikan kontrol *firing angle* dengan menggunakan beban elemen pemanas dan lampu pijar dengan daya yang bervariasi seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1** Hasil pengujian rangkaian keseluruhan

Hasil pengujian alat tanpa rangkaian kontrol				Hasil pengujian alat dengan rangkaian kontrol			
Tegangan Generator (Volt)	Beban Lampu Pijar (Watt)	Dummy Load (Watt)	Frekuensi (Hz)	Tegangan Generator (Volt)	Beban Lampu Pijar (Watt)	Dummy Load (Watt)	Frekuensi (Hz)
275	0	0	75	210	0	210	49
273	25	0	66	219	25	180	50
270	60	0	60	218	60	140	50
253	85	0	55	218	85	127	50
240	145	0	53	220	145	68	49
220	205	0	51	220	205	0	51

Kesimpulan dari Tabel 1 adalah jika generator dijalankan tanpa beban maka didapatkan pengukuran tegangan generator sebesar 275 Volt dan frekuensinya adalah 75 Hz namun jika diberikan beban lampu pijar 205 Watt maka tegangannya menjadi 220 Volt dan frekuensinya menjadi 51 Hz. Akan tetapi jika diuji dengan memberikan beban komplement (*dummy load*) alat kontrol yang dibuat maka tegangannya berkisar antara 210 Volt sampai dengan 220 Volt frekuensinya berkisar antara 49 Hz sampai dengan 51 Hz.

Dari Tabel 1 maka diperoleh grafik sebagai berikut:



**Gambar 7.** Perbandingan frekuensi tanpa dan dengan kontrol

### Analisa Hasil Pengujian Rangkaian Secara Keseluruhan

Dari Gambar 7 di atas, saat generator set (*genset*) dinyalakan tanpa menggunakan beban, tegangan dan frekuensi yang dihasilkan cenderung naik diatas tegangan dan frekuensi nominal generator sebesar 275 Volt dan frekuensinya naik ke 75 Hz hal ini sangat membahayakan peralatan konsumen, namun jika diberi beban maka tegangan dan frekuensi akan turun. Namun jika diuji dengan memberikan rangkaian kontrol *firing angle* serta *dummy load*, hasil pengukuran tegangan generator antara 210 volt sampai 220 volt dan frekuensinya antara 49 Hz sampai dengan 51 Hz, hal ini karena beban generator tetap sama walaupun dengan dan tanpa beban konsumen.

### KESIMPULAN

1. Rangkaian zero crossing detector dan mikrokontroler ATmega 16 hasil rancangan dapat mendeteksi frekuensi dari sinyal AC (Alternating Current) generator serta dapat mengatur sudut penyalan triac sesuai dengan yang diharapkan.
2. Hasil pengujian prototip yang dibuat menunjukkan jika beban uji berkisar antara 205 Watt sampai dengan 213 Watt maka frekuensi beban berkisar antara 49 Hz sampai dengan 51 Hz

Saran-saran yang diharapkan dapat berguna untuk penggunaan dan pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini adalah membuat pengembangan sistem rangkaian jika suatu ketika frekuensi generator jauh dibawah 50 Hz maka sistem kontrol yang dibuat dapat menstabilkan frekuensi generator.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terimakasih disampaikan kepada ketua LPPM Universitas Trunojoyo Madura dan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas kesempatan untuk melaksanakan penelitian Mandiri 2015..

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Hardiansyah, Firmansyah Eka & M.Isnaeni B.S (2012). Pengendalian beban generator secara otomatis dengan algoritma PID Pada PLTMH Berbasis PLC. *Jurnal Teknologi*, 5(2), 114-121.
- Gupta, Angkita (2012), Simulation of Advanced ELC with Synchronous Generator for Micro Hydropower Station , *International Journal of Advanced Electrical and Electronics Engineering, (IJAEED)*, Volume-2, Issue-1, 2012
- Jack, Fritz.(1984) , *Small and Mini Hydropower System*, McGraw-Hill, New York,.
- Dandekar, M.M., dan Sharma, K.N. (1991). *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta: Universitas Indonesia
- Rahayuningtyas Ari, Santoso Teguh & Furqon Maulana (2012). Sistem pengaturan beban pada mikrohidro sebagai energi listrik pedesaan. *Jurnal Sains, Teknologi, dan Kesehatan*, 3(1), 13-20.
- Sujatno (2012 ). Analisis sistem kendali beban elektronik (ELC) sebagai stabilisasi energi listrik berbasis mikrokontroler. Makalah disajikan dalam Lokakarya Nasional Pengelolaan dan Penyuntingan *Jurnal Ilmiah*, Yogyakarta: STTN – BATAN.

