

## IMPLEMENTASI KONTROL FUZZY PADA SISTEM KENDALI BEBAN PEMBANGKIT LISTRIK MIKROHIDRO

### IMPLEMENTATION OF FUZZY CONTROL IN CONTROL SYSTEM LOAD MICROHYDRO

Raden Rizki Mulia Putra<sup>1</sup>      M. Ramdhan Kirom, M.si<sup>2</sup>      Reza Fauzi Iskandar, Spd., Mt.<sup>3</sup>  
<sup>1-3</sup> Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom  
<sup>1</sup>[rizkimp01@gmail.com](mailto:rizkimp01@gmail.com)      <sup>2</sup>[mramdlankirom@telkomuniversity.ac.id](mailto:mramdlankirom@telkomuniversity.ac.id)      <sup>3</sup>[rezafauzii@gmail.com](mailto:rezafauzii@gmail.com)

#### ABSTRAK

Sistem pembangkit listrik mikrohidro merupakan jalan pintas untuk memperoleh kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat, kestabilan sangat dibutuhkan pada proses pembangkit sehingga sistem pengendalian digunakan untuk menjaga variabel proses tersebut tetap stabil. Salah satunya adalah dengan melakukan pengendali frekuensi pada tubin generator suatu pembangkit listrik, terutama pada PLMh (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro). Frekuensi dari generator harus dijaga kestabilannya agar keluaran daya listrik di generator berjalan dengan baik. Fluktuasi frekuensi adalah salah satu kendala penyampaian daya listrik ke beban, juga waktu kembali yang tidak segera ke kondisi normal akan mengakibatkan kerusakan pada sistem seperti gangguan pada jaringan listrik, sehingga perlu dilakukan sistem kendali beban pada mikrohidro. Maka dibutuhkan suatu perangkat elektronik untuk kontrol beban yaitu Electronic Load controller. Kontroler yang digunakan untuk menjaga perubahan frekuensi adalah kontrol fuzzy, dengan mengatur beban yang digunakan konsumen yang akan dialihkan menuju ballast load dengan sistem saklar menggunakan metode triac yang bekerja untuk mengatur suplai beban menuju konsumen atau dummy load agar frekuensi generator tetap stabil dengan nilai set point 50 Hz.

**Kata Kunci :** Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, Electronic Load Control, Dummy Load, Triac.

#### ABSTRACT

*Micro hydro systems is a shortcut to obtain electrical energy needs are growing, much-needed stability to the process plant so that the control system is used to keep the process variables remain stable. One way is to perform frequency control on tubin generator an electric generator, especially in PLMh (micro hydro power plant). The frequency of the generator must be maintained so that the output power stability in the generator running well. Frequency fluctuation is one of the obstacles the delivery of electrical power to the load, it is also time that did not immediately return to normal conditions would cause damage to the system such as disorders of the electricity network, so it is necessary to control the load on the micro-hydro system. So we need an electronic device for load control, namely Electronic Load controller. The controller is used to maintain the change in frequency is fuzzy control, to regulate the load that consumers use to be transferred to the ballast load to the system switch using triac which works to regulate the supply of the load to the consumer or the ballast load so that the frequency generator remains stable at the set point value of 50 Hz.*

**Keywords :** *micrhydro system, Electronic Load Control, Dummy Load, Triac.*

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

keberadaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) menjadi salah satu solusi alternatif untuk mendapatkan energi listrik yang mandiri. Terutama untuk daerah-daerah terpencil yang kesulitan untuk mendapatkan pelayanan listrik karena sulitnya jaringan listrik untuk mencapai daerah yang sulit dijangkau (*remote area*). Tingkat performansi dari suatu sistem pembangkit listrik terutama PLTM ditentukan oleh frekuensi output yang dihasilkan. Kestabilan frekuensi sangat diperlukan dalam kelangsungan pelayanan tenaga listrik dari suatu pembangkit listrik. Pemakaian beban konsumen yang tidak menentu menyebabkan frekuensi yang berubah-ubah. Frekuensi yang tidak stabil merusak peralatan (beban) karena beban tidak bisa bekerja secara optimal.

Fluktuasi frekuensi yang tidak mempunyai kestabilan, apabila waktu kembali fluktuasi frekuensi yang tidak segera ke kondisi normal akan mengakibatkan kerusakan pada sistem distribusi listrik. Fluktuasi frekuensi ini berkaitan dengan beban yang tidak terdistribusi dengan baik. Maka dibutuhkan suatu perangkat elektronik untuk kontrol beban yaitu *Electronic Load Controller* (ELC) yaitu perangkat yang dapat menjaga kestabilan frekuensi generator dengan membagi distribusi daya yang dihasilkan dari generator dengan bantuan air sebagai sumber

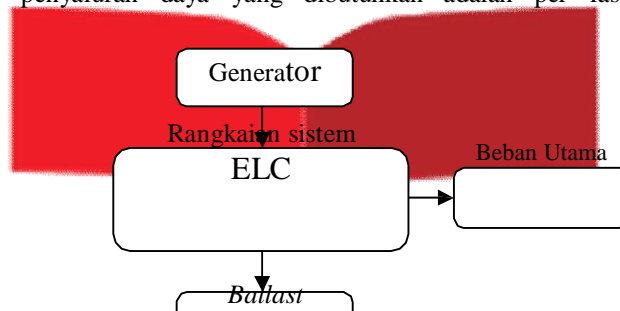
energi menuju beban konsumen dan *ballast load* ketika mengalami kelebihan atau kekurangan daya untuk didistribusi. Serta melakukan perbaikan dari tugas akhir sebelumnya mengenai *timing* kestabilan frekuensi yang perlu dioptimasi maka tugas akhir ini menggunakan mikrokontroler dengan algoritma kontrol menggunakan kontrol fuzzy dengan sistem saklar menggunakan metode *triac*.

mengatur suplai beban menuju konsumen dan ballast load agar frekuensi generator tetap stabil dengan nilai set point 50 Hz. Berdasarkan paparan yang telah dijelaskan, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut bagaimana menjaga kestabilan frekuensi tegangan pada pembangkit listrik mikrohidro dengan teknik kontrol fuzzy.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Electronic Load Controller

Pada dasarnya *Load Controller* mengatur agar beban generator selalu konstan walaupun terjadi perubahan beban secara mendadak dan menjaga agar beban generator selalu maksimum, dengan cara mengalihkan beban generator yang tak terpakai pada beban komplement (*Complement Load*). Dengan demikian putaran generator juga akan konstan, sehingga perubahan frekuensi dan tegangan yang terjadi tidak signifikan atau masih dalam range yang ditentukan. Beban konsumen pada PLTM sebagian besar berupa beban penerangan untuk kebutuhan rumah tangga. Karenanya penyaluran daya yang dibutuhkan adalah per fasa, sehingga akan terjadi ketidakseimbangan daya.



Gambar 1 Blok Diagram kerja Electronics Load Controller (ELC)

### 2.2 Generator Sinkron

Generator sinkron adalah mesin sinkron yang mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator sinkron digunakan sebagai generator arus bolak-balik (generator AC). Prinsip dasar kerja generator AC adalah berdasarkan hukum Faraday, yaitu apabila suatu batang konduktor digerakkan berputar dengan kecepatan  $n$  memotong medan magnet  $\Phi$ , maka pada konduktor tersebut akan timbul tegangan listrik  $E$ . Besar tegangan listrik yang ditimbulkan adalah sebagai berikut :

$$E = C \cdot n \cdot \Phi \quad (1)$$

Dimana :

$E$  = tegangan listrik yang ditimbulkan (V)

$C$  = konstanta mesin

$n$  = kecepatan putaran (rpm)

$\Phi$  = fluks yang dihasilkan oleh arus medan (Weber)

### 2.3 Hubungan Fluktuasi Beban Terhadap Perubahan Frekuensi

Pada sebuah generator, beban pada dasarnya merupakan beban listrik. Apabila beban tersebut diterjemahkan sebagai torsi, maka torsi tersebut dapat diterjemahkan sebagai torsi elektrik. Sedangkan daya yang keluar atau terangkut dari generator dapat diterjemahkan sebagai torsi mekanik. Pada pengoperasian generator dalam kondisi tetap, nilai torsi mekanik akan sama dengan nilai torsi elektrik.

$$T_m = T_e \quad (2)$$

Dimana,

$T_m$  = Torsi mekanik yang dihasilkan generator

$T_e$  = Torsi elektrik beban

Namun pada prakteknya, kondisi beban seringkali akan mengalami fluktuasi. Fluktuasi beban ini dapat berupa kenaikan maupun penurunan beban. Adapun selisih daya antara sisi generator dengan sisi beban ini dapat diterjemahkan sebagai torsi percepatan.

$$T_m = T_e + T_a \quad (3)$$

Dimana,

$$T_a = M \cdot x \quad (4)$$

dengan  $T_m$  = Torsi mekanik yang dihasilkan generator

$T_e$  = Torsi elektrik beban

$T_a$  = Torsi percepatan

$M$  = Momen inersia dari generator

$\frac{d\omega}{dt}$  = perubahan kecepatan sudut putaran generator terhadap waktu

Torsi percepatan inilah yang menyebabkan percepatan atau perlambatan pada putaran rotor generator sinkron yang pada akhirnya mempengaruhi frekuensi yang dihasilkan oleh generator. Hubungan antara torsi dengan dengan kecepatan putar rotor dapat dirumuskan sebagai,

$$\frac{dT_a}{dt} = \dots \dots \dots (5)$$

dengan,

$T$  = Torsi generator

$P$  = Daya aktif output generator, dan

$\omega$  = kecepatan sudut putaran generator

Sementara itu, frekuensi yang dihasilkan oleh generator merupakan fungsi dari kecepatan sudut putaran generator yang dirumuskan dengan,

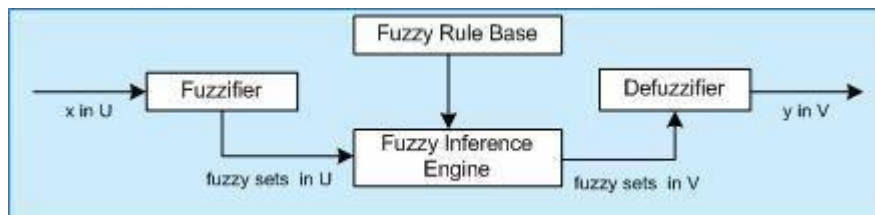
$$f = \frac{\omega}{2\pi} \dots \dots \dots (6)$$

Sehingga perubahan frekuensi terkait dengan fluktuasi/perubahan beban dapat dituliskan sebagai berikut;

- a.  $T_m - T_e = T_a < 0$ , maka  $\frac{df}{dt} < 0$ , sehingga frekuensi akan turun.
- b.  $T_m - T_e = T_a > 0$ , maka  $\frac{df}{dt} > 0$ , sehingga frekuensi akan naik.

**2.3 Logika Fuzzy**

Logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Prof Lotfi Zadeh tahun 1965. Saat Secara umum, logika fuzzy terdiri dari beberapa komponen, yaitu *Fuzzifier*, *Fuzzy Rule Base*, *Fuzzy Inference Engine* dan *Defuzzifier*, seperti diperlihatkan pada gambar berikut.

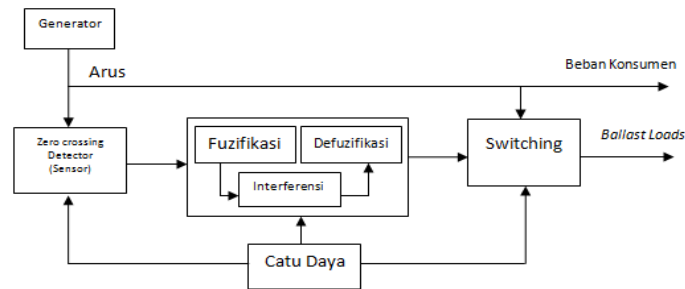


**Gambar 2** Diagram blok logika fuzzy

Yang menjadi inti dari logika fuzzy adalah *Fuzzy Rule Base*, yang berisi pernyataan-pernyataan logika. *Fuzzy Inference Engine* merupakan komponen fuzzy yang menerjemahkan pernyataan logika yang ada di Rule Base menjadi perhitungan-perhitungan matematika. *Fuzzifier* digunakan untuk memetakan nilai/harga variable di dunia nyata kedalam himpunan fuzzy (fuzzy sets), sedangkan *Defuzzifier* mengembalikan hasil perhitungan fuzzy (himpunan fuzzy) menjadi variable sesuai rentang nilainya di dunia nyata.

**2.4 Gambaran Umum Sistem**

Prinsip kerja pengatur beban elektronik ini adalah *Electronic Load Controller* (ELC) akan memonitor frekuensi sistem secara terus menerus. Frekuensi hasil monitor akan dibandingkan dengan frekuensi offset (nilai frekuensi yang sudah ditentukan sebelumnya sesuai dengan nilai toleransi yang diijinkan). Hasil dari perbandingan digunakan untuk mengatur besar-kecilnya ballast loads secara otomatis yakni dengan cara menambah atau mengurangi ballast loads sebagai kompensasi beban utama yang pemakaiannya tidak menentu, sehingga diharapkan total beban generator PLTM akan terjaga pada beban aman dan putaran generator menjadi relatif mendekati putaran konstan.



Gambar 3 Skematik Umum Sistem

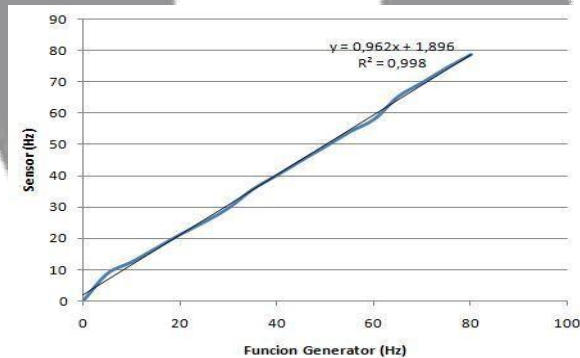


Gambar 4 Realisasi Sistem

### 3. Pengujian dan Analisis

#### 3.1 Pengujian Sensor Frekuensi menggunakan LM2907

Kalibrasi sensor dilakukan dengan cara memasang *Function Generator* secara parallel dengan multimeter dan sensor frekuensi yang dibuat. Multimeter yang digunakan berfungsi sebagai kalibrator terhadap nilai frekuensi yang keluar dari sensor.



Gambar 5 Grafik pengukuran sensor terhadap frekuensi generator

Nilai yang terbaca oleh sensor dibandingkan dengan nilai yang terbaca pada multimeter. Dari data yang sudah diambil didapatkan fungsi dari nilai yang terbaca oleh sensor  $y = 0,962x + 1,896$  dengan error sebesar 0.002. Dari fungsi tersebut menginformasikan bahwa sensor ini memiliki sensitivitas sebesar 0,962 dan nilai *Offset* nya sebesar 1,896.

#### 3.2 Pengujian Catu Daya

Pada penelitian ini menggunakan catu daya yang berfungsi untuk mengaktifkan Sistem minimum *Microcontroller*, *Sensor Frekuensi*, dan *Relay Optocoupler* pada beban komplemen. Tegangan keluaran dari power supply ini adalah 5 VDC, dan 15 VDC sehingga mampu untuk mengaktifkan 4 relay yang terpasang pada beban komplemen.

**Tabel 1** Tabel pengukuran catu daya

Catu Daya	Hasil Pengukuran
15 Volt	14,59 Volt
5 Volt	5,01 Volt

**Tabel 1** Tabel pengukuran catu daya

### 3.3 Pengujian nilai daya pada beban lampu

Pengujian nilai daya pada beban lampu dilakukan dengan cara mengukur dengan *power meter* diukur dengan tegangan PLN karena nilai tegangan dan frekuensi yang stabil.

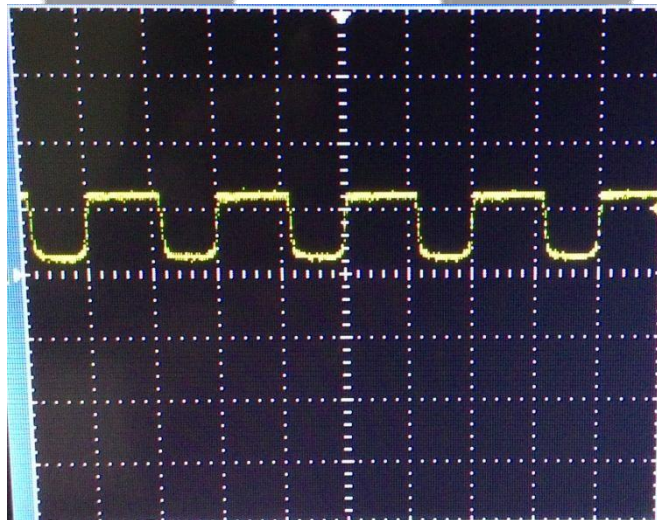
**Tabel 2** Data beban lampu pada beban konsumen dan *dummy load*

Daya Lampu	Hasil pengukuran (Beban Konsumen)	Hasil Pengukuran ( <i>Dummy Load</i> )
80 Watt (10%)	77,5 Watt	78,1 Watt
160 Watt (20%)	156,6 Watt	154,3 Watt
240 Watt (30%)	234,7 Watt	240,6 Watt
320 Watt (40%)	367,1 Watt	366,3 Watt
400 Watt (50%)	445,9 Watt	430,9 Watt
480 Watt (60%)	522,3 Watt	526,1 Watt
560 Watt (70%)	598,0 Watt	580,3 Watt
640 Watt (80%)	670,8 Watt	668,3 Watt
720 Watt (90%)	743,2 Watt	720,7 Watt
800 Watt (100%)	815,3 Watt	810,4 Watt

Pada Tabel diatas bisa dilihat bahwa nilai daya lampu tiap persen beban memiliki nilai yang hampir mendekati sama dengan daya lampu yang direncanakan. Dengan ini maka beban bisa kita asumsikan sama dengan nilai daya lampu diinginkan.

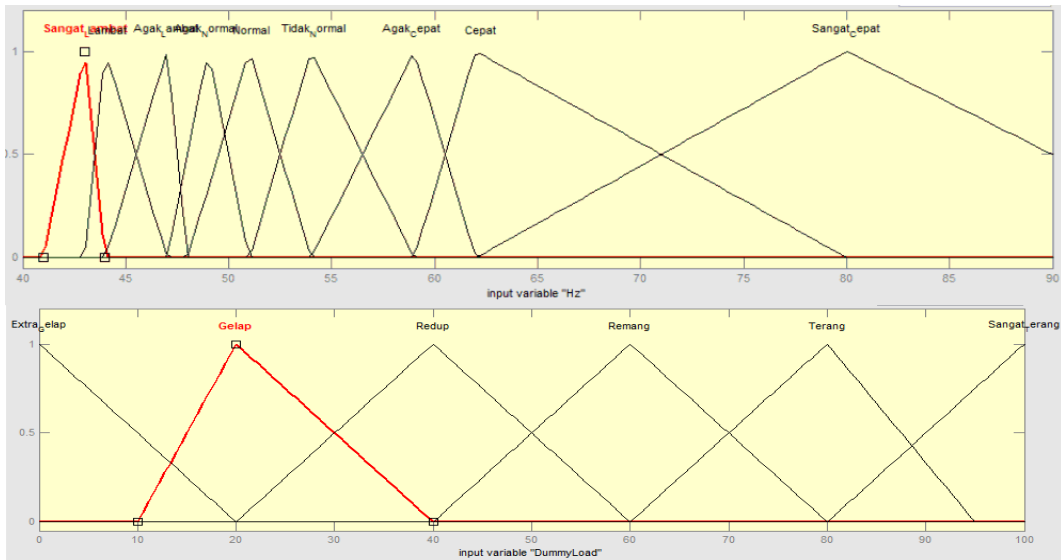
### 3.4 Pengujian Zero Crossing Detector

Dalam aplikasinya *IC Optocoupler 4N35* mengubah tegangan sinusoidal menjadi tegangan kotak dengan  $V_{maks}$  sebesar 5 VDC yang akan menjadi sinyal input menuju ke LM2907 sebagai *converter f to V*.

**Gambar 5** Bentuk sinyal kotak menggunakan IC 4N35

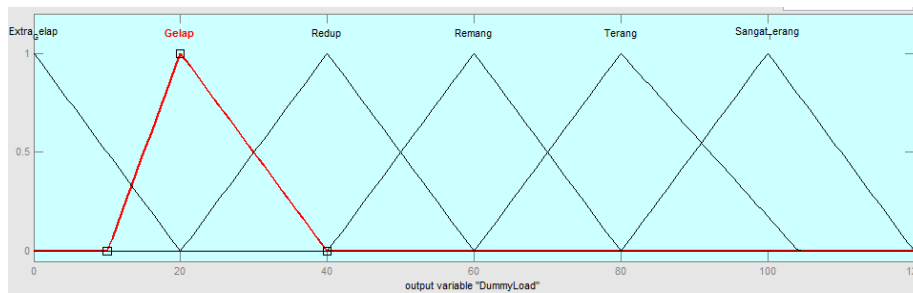
### 3.2 Perancangan Logika Fuzzy

Setelah didapatkan nilai frekuensi generator terhadap beban dan *Dummy Load* sebelum menggunakan ELC sebagai kontrol beban kemudian selanjutnya dibuat 2 grafik input fuzzy untuk logika fuzzy sebagai kontrol beban.



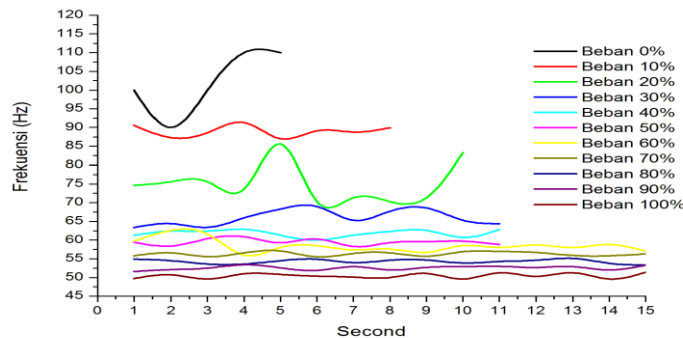
**Gambar 6** Grafik 2 input membership function logika fuzzy.

Pada gambar 4.x grafik pertama adalah grafik input frekuensi sebagai membership function input dimana rentang nilai dari 40-90 menunjukkan frekuensi, grafik kedua menunjukkan beban sebagai input kedua dimana nilai beban output setelah proses langsung secara otomatis menjadi nilai input. Rentang nilai 0-100 menunjukkan persen daya dari total 800 watt sebagai daya maksimum. Pada grafik dibawah adalah grafik membership function output, nilai rentang 0-100 menunjukkan nilai persen daya dari total daya maksimum sebesar 800 watt.



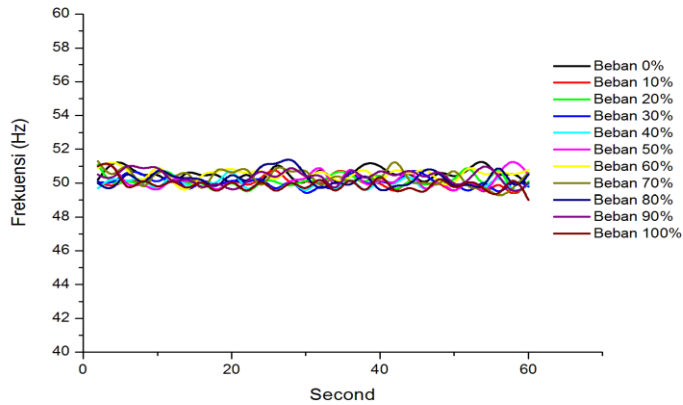
**Gambar 7** Grafik input membership function Frekuensi setiap beban terhadap waktu dengan tambahan *Dummy Load*

**3.3 Implementasi Dan Analisis Data**



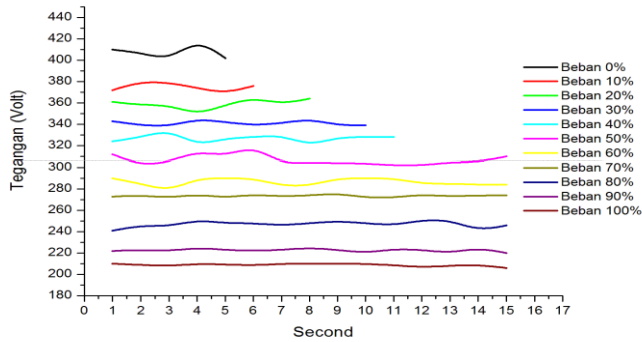
**Gambar 8** Grafik Frekuensi tanpa ELC pada Beban 0-800 Watt

frekuensi yang dihasilkan tanpa menggunakan ELC pada gambar 8, pada saat beban minimum frekuensi bisa diatas 50 Hz dan error mencapai 115 Hz dari nilai *Set Point*. Frekuensi yang tinggi tersebut diakibatkan karena beban yang diterima oleh Genset belum ada, dimana  $T_m - T_e > 0$  sehingga torsi yang dihasilkan motor genset unntuk menggerakkan generator nya sangat besar sehingga terjadi percepatan rotasi generator pada genset dan berbanding lurus dengan frekuensi yang dihasilkan.



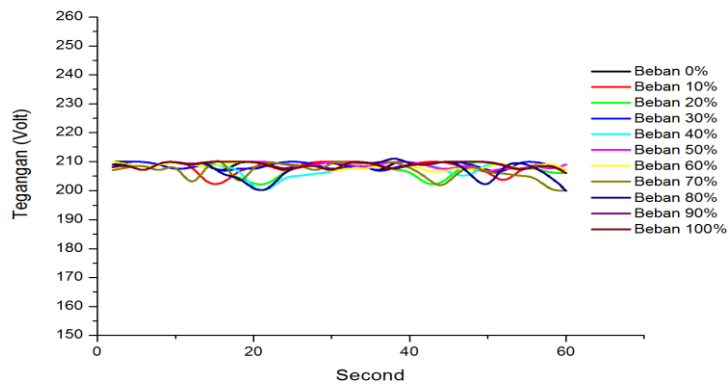
Gambar 9 Grafik Frekuensi dengan ELC pada beban 0-800 Watt

Gambar 9 menjelaskan bahwa kestabilan frekuensi yang didapat dengan menggunakan ELC menunjukkan nilai yang diharapkan sesuai dengan set point sekitar 50 Hz dengan rata-rata error 1 Hz dengan kenaikan 10% daya dari 800 watt beban maksimal. Dengan menggunakan ELC saat tidak ada pemakaian beban, daya yang tidak terpakai disalurkan ke beban komplemen sehingga generator mengalami pengurangan kecepatan sudut akibat adanya penambahan beban yang disalurkan ke beban komplemen



Gambar 11 menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan dengan ELC

Pada gambar 11 menunjukkan nilai tegangan generator cenderung mengalami error yang jauh dari set point tegangan sebesar 210 Volt mengikuti besar beban yang diberikan, semakin kecil beban yang diberikan semakin jauh nilai tegangan terhadap set point diakibatkan nilai tegangan memiliki nilai yang berbanding lurus dengan frekuensi generator semakin tinggi putaran frekuensi generator semakin tinggi nilai tegangan yang dihasilkan generator. dimana  $T_m - T_e > 0$  sehingga torsi yang dihasilkan motor genset untuk menggerakkan generator nya sangat besar sehingga terjadi percepatan rotasi generator pada genset dan berbanding lurus dengan frekuensi yang dihasilkan.



Gambar 12 Grafik Tegangan dengan ELC pada beban 0-800 Watt

Gambar 12 menunjukkan Tegangan yang dihasilkan dengan ELC pada saat diberi beban menghasilkan error yang lebih baik dengan selisih sampai 4 Volt dan mendekati nilai tegangan yang diharapkan. Alasan kenapa

tegangan tidak sampai dengan set point sebesar 220 Volt karena nilai aktual yang terjadi bahwa generator memiliki nilai 210 volt ketika frekuensi sebesar 50 Hz.

#### 4. Kesimpulan

Pada bagian ini, dijabarkan hasil dari pembahasan, pengujian, dan analisis yang fokus pada perancangan *Electronic Load Controller* menggunakan mikrokontroler dan logika fuzzy sebagai kontrol diperoleh sebagai berikut

1. ELC dirancang dengan menggunakan sistem kontrol On-Off dengan kondisi jika terjadi perubahan frekuensi, maka mikrokontroler akan memberikan aksi menyalakan dan mematikan relay yang tersambung dengan beban komplemen.
2. ELC dengan menggunakan logika fuzzy sebagai kontrol beban dapat menjadi salah satu alternatif kontrol yang mudah untuk mikrohidro.
3. ELC menyalurkan daya yang tidak terpakai ke beban komplemen dengan tujuan untuk menyamai daya yang dihasilkan generator sehingga frekuensi sesuai dengan set poin dengan rata-rata *error* 1 Hz dan rata-rata *error* tegangan 5 Volt.

#### 5. Saran

Perancangan dan pembuatan suatu system tentunya tidak lepas dari kendala dan kekurangan yang menghambat keoptimalan system tersebut. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terdapat kekurangan yang harus diperbaiki sebagai berikut :

1. Rata-rata kesalahan frekuensi pada penelitian ini masih perlu untuk diminimalkan mengingat akan keamanan terhadap beban yang akan digunakan. Hal tersebut dapat dilakukan salah satunya dengan mempertimbangkan ketepatan sensor agar mendapatkan nilai yang akurat. Karena sensor yang digunakan memiliki kekurangan yaitu nilai yang fluktuatif walaupun memiliki akurasi yang baik tetapi ketika mengambil nilai karakteristik generator dengan *Dummy Load* untuk merancang membership function menjadi sulit.
2. Perlunya penelitian terhadap karakteristik nilai sinyal generator langsung dari mikrohidro karena dengan menggunakan *genset* memiliki tegangan ripple, walaupun kecil tetapi pasti akan berbeda dengan generator yang terpasang di mikrohidro karena kondisi sungai yang lebih fluktuatif dibanding *genset*.
3. Daya yang terbuang ke *Dummy Load* bisa dimanfaatkan dengan memanfaatkan tegangan yang didapat untuk *men-charge* battere sehingga dapat dimanfaatkan.

#### Daftar Pustaka:

- [1] Atabiq Fauzan. 2008. "Pengatur Beban Elektronis (*Electronic Load Controller*)". Makalah Skripsi. UGM. Yogyakarta.
- [2] Ardi Winoto. 2008. "*Mikrokontroler AVR ATmega8/32/16/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR*". Bandung .
- [3] Riza Widia, Dasrul Yunus. 2010. "*Simulasi Arus Beban PLTMH Menggunakan Beban Pengatur Elektronik (ELC) Fasa Satu*". Politeknik Negeri Padang. Padang.
- [4] Pankaj Kapoor, Lobzang Phunchok, Sunandan Kumar. 2012. "*Frequency Control Of Micro Hydro Power Plant Using Electronic Load Controller*". International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA) . Department of Electrical Engineering, NIT Hamirpur.
- [5] Anggi Muhammad Sabri Saragih. 2008. "*Studi Pemodelan Elektronik Load Controller Sebagai Alat Pengatur Beban Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*". ITB. Bandung.
- [6] J. Portegijs. 2000. "The '*Humming Bird*' *Electronic Load Controller / Induction Generator Controller*".
- [7] Renerconsys. 2006. "*Digital Load*". A. Harvey, Micro-hydro Design Manual. Rugby: Intermediate Technology Publications.
- [8] Guanrong Chen, Trung Tat Pham, 2001. "*Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Control Systems*". New York.
- [9] Ogata, Katsuhiko. 1991. "Modern Control Engineering", New Delhi.