

## KONTROL FREKUENSI MENGGUNAKAN METODE KONTROL BEBAN ELEKTRONIK DENGAN SISTEM KONTROL FUZZY – PI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO

### *FREQUENCY CONTROLLER USING ELECTRONIC LOAD CONTROLLER METHOD WITH FUZZY – PI CONTROLLING SYSTEM FOR PICOHYDRO POWER PLANT SYSTEM*

Rayhan Humamuddin<sup>1</sup>, Dr. Dudi Darmawan, S.Si, M.T.<sup>2</sup>, Reza Fauzi Iskandar, S.Pd, M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

[rayhanhumamuddin@gmail.com](mailto:rayhanhumamuddin@gmail.com), [dudidw@gmail.com](mailto:dudidw@gmail.com), [rezafauzii@gmail.com](mailto:rezafauzii@gmail.com)

#### Abstrak

Kebutuhan energi bahan bakar minyak yang semakin meningkat, mendorong perkembangan energy alternative pengganti energy bahan bakar, seperti penelitian dan pengembangan energy baru terbarukan (EBT). Salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH), PLTPH merupakan pembangkit berskala kecil dengan keluaran daya kurang dari 5 KW. Dalam setiap sistem pembangkit dibutuhkan sistem kontrol beban untuk menjaga daya yang dikeluarkan tetap stabil. Hal ini berpengaruh kepada *lifetime* generator maupun kualitas daya listrik yang dihasilkan. Ketikan beban yang digunakan berubah – ubah akan berpengaruh kepada kestabilan keluaran generator, sehingga dibutuhkan suatu sistem kontrol beban elektronik. Pada penelitian kali telah dirancang sistem kontrol beban elektronik untuk menjaga fluktuasi frekuensi ketika terjadi perubahan penggunaan daya pada konsumen. Penelitian kali ini dapat menjaga nilai frekuensi yang dihasilkan generator berada pada nilai toleransi frekuensi yang dibolehkan yaitu sebesar 49 – 51 Hz, dengan konfigurasi logika *fuzzy* sebagai *self tuning* nilai  $K_p$  dan  $K_i$  pada *PI Controller*. Dari hasil sistem kontrol yang telah dibuat, nilai *error* frekuensi rata – rata yang dihasilkan sebesar 0.1 Hz dengan *set point* frekuensi 50 Hz.

**Kata Kunci:** Pikohidro, Kontrol beban elektronik, kontrol frekuensi, sistem kontrol *fuzzy* – PI

#### Abstract

*Increasing energy demand for fuel oil, encouraging the development of alternative energy substitutes for fuel energy, such as research and development of renewable energy. One of them is picohidro power plant system, which is a small-scale generator with power output less than 5 KW. In each generating system a load-control system is required to keep the power released stable. This affects the lifetime generator as well as the quality of electrical power generated. The typed load will affect the stability of the generator output, so an electronic load control system is required. In this study, we designed an electronic load control system with the aim of maintaining frequency fluctuations when there is a change in power consumption to consumers. In this research, we designed an electronic load control system with the aim of maintaining frequency fluctuations when there is a change in power consumption to consumers. This research can keep the generated frequency value at the permissible frequency tolerance of 49 - 51 Hz, with fuzzy logic configuration as self tuning  $K_p$  and  $K_i$  value on PI Controller. From the result of the control system that has been made, the average frequency error value generated equal to 0.1 Hz with set point frequency 50 Hz.*

**Keywords:** *picohidro, Electronic Load Controller, frequency control, fuzzy – PI control system*

#### 1. Pendahuluan

Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, maka telah ditemukan berbagai macam energi baru terbarukan (EBT) berdasarkan sumber-sumber energi yang digunakan, diantaranya adalah tenaga air, tenaga angin, tenaga panas bumi, dll. Energi baru terbarukan merupakan energi yang dihasilkan dari sumber daya energi secara alamiah dan dapat berkelanjutan jika dikelola dengan baik [1].

Jika melihat potensi EBT yang dimiliki di Indonesia, energi yang dapat dihasilkan pembangkit listrik tenaga air terbilang cukup besar sehingga banyak perusahaan-perusahaan yang turut serta mengembangkan pengolahan sumber daya tersebut. Secara umum pembangkit listrik tenaga air dapat diklasifikasikan berdasarkan

keluaran daya yang dihasilkan seperti pembangkit listrik *large-hydro* dengan keluaran daya lebih dari 100 MW sampai dengan *pico-hydro* dengan keluaran daya kurang dari 5 KW [3]. Sumber energi tersebut juga memiliki peranan yang besar dalam pendistribusian tenaga listrik di Indonesia, khususnya bagi desa-desa terpencil yang dapat diimplementasikan melalui pembangkit listrik mikro-hidro maupun piko-hidro. Secara teknis PLTPH memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin, dan generator. Selain tiga komponen utama tersebut terdapat beberapa komponen pendukung dalam sistem PLTPH salah satunya adalah sistem kontrol yang berfungsi untuk menjaga kestabilan keluaran daya yang dihasilkan suatu sistem pembangkit. Sistem kontrol tersebut terdapat berbagai macam jenis tujuan, seperti sistem kontrol beban elektronik. Kontrol beban elektronik ini mengatur distribusi daya beban yang dihasilkan oleh generator, sehingga frekuensi yang dihasilkan tetap stabil.

Pada penelitian sebelumnya sudah dilakukan menggunakan pengkondisian frekuensi dengan sistem kontrol beban elektronik yang hanya menggunakan logika fuzzy [5]. Penelitian kali ini mengembangkan penelitian sebelumnya dengan mengkondisikan suatu sistem kontrol beban elektronik dengan menggunakan penggabungan kontrol Fuzzy – PI (*Proportional Integral*), dengan tujuan mempercepat respon dan mengurangi nilai kesalahan pada keadaan tunak. Logika Fuzzy disini berperan sebagai suatu sistem *self tuning* yang memiliki keluaran nilai – nilai parameter yang akan digunakan dalam kontrol PI sebagai kontrol utama dalam sistem kali ini.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Piko-hidro (PLTPH)

Pembangkit listrik tenaga piko-hidro (PLTPH) adalah pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air untuk menggerakkan suatu turbin, keluaran maksimal dari PLTPH sebesar 5 kW [6]. Prinsip kerja PLTPH pada umumnya sama dengan prinsip kerja pembangkit listrik tenaga air lainnya, yaitu air dialirkan melalui pipa menuju turbin sehingga turbin dapat menggerakkan generator. Sistem dapat bekerja pada keadaan dimana air memiliki beda ketinggian (*head*). Berikut perhitungan daya yang dapat dihasilkan dalam PLTPH.

$$P_{in} = H \times Q \times g \quad (1)$$

$$P_{out} = H \times Q \times g \times \eta \quad (2)$$

Dimana,

$P_{in}$  = Daya Masukan (Tenaga Air)

$P_{out}$  = Daya Keluaran (W)

$H$  = Beda Ketinggian (m)

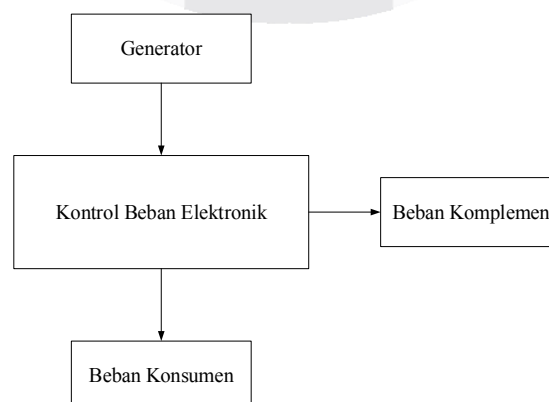
$Q$  = Debit (m<sup>3</sup>/s)

$g$  = Gaya Gravitasi (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$\eta$  = Efisiensi

### 2.2. Kontrol Beban Elektronik

Kontrol Beban Elektronik adalah suatu sistem perangkat elektronik yang berfungsi mengatur frekuensi, tegangan, maupun arus yang dihasilkan suatu pembangkit listrik sehingga keluaran yang dihasilkan tetap stabil walaupun beban konsumen selalu berubah-ubah. Prinsip kerja dari perangkat ini adalah dengan membagi beban yang menuju konsumen maupun beban pengalih (*ballast load*) sehingga beban pada generator tetap stabil. Umumnya dalam sebuah perangkat kontrol beban elektronik terdapat beberapa komponen utama seperti sumber tegangan (*power source*), rangkaian logika, aktuator, dan beban pengalih. Masing-masing komponen tersebut memiliki peranan yang saling terintegrasi dalam sebuah perangkat kontrol beban elektronik.



Gambar 1 Diagram Alir Kerja Kontrol Beban Elektronik

### 2.3. Logika Kontrol Fuzzy

Logika *fuzzy* pertama kali dikenalkan oleh Professor Lotfi A Zadeh pada tahun 1965 berupa teori himpunan *fuzzy* (*fuzzy set*). Dimana pada himpunan klasik, nilai keanggotaan bersifat jelas yang artinya bernilai 1 dalam anggota dan bernilai 0 jika tidak. Sedangkan dalam suatu himpunan *fuzzy* sifat keanggotaannya samar, dimana nilai keanggotaannya berisi elemen-elemen yang mempunyai nilai keanggotaan yang bervariasi [8].

Inti dari suatu logika *fuzzy* adalah *fuzzification*, *rule base*, *inference engine*, dan *defuzzification*.

1. *Fuzzification*, merupakan pemetaan dari nilai masukan yang akan digunakan dalam sistem ini. Nilai-nilai masukan yang akan digunakan ini diubah kedalam bentuk himpunan-himpunan *fuzzy* dalam semesta tertentu. Data masukan (*crisp*) ditransformasikan ke besaran *fuzzy*.
2. *Rule base*, dalam fasa ini terdapat basis data dan aturan dari suatu logika *fuzzy*. Basis data berfungsi untuk mendefinisikan himpunan *fuzzy* dari sinyal masukan maupun keluaran suatu sistem agar dapat digunakan oleh variabel linguistik pada aturan dasar. Sedangkan aturan dasarnya terdiri dari aturan yang digunakan untuk mencapai suatu tujuan pada logika *fuzzy*.
3. *Inference engine* atau sering disebut sebagai logika pengambilan keputusan, yang berisikan logika IF-THEN.
4. *Defuzzification* merupakan kebalikan dari *fuzzification* dimana pada proses ini hasil perhitungan yang telah dilakukan dan masih dalam bentuk himpunan-himpunan *fuzzy* akan diubah kembali menjadi nilai-nilai dalam variabel nyata.

### 2.4. Kontrol Proportional Integral

Kontrol *Proportional Integral* (PI) merupakan suatu kontrol yang menggabungkan dua aksi kontroler yaitu aksi kontrol *proportional* dan aksi kontrol *integral*. Pada aksi kontrol PI dapat mengurangi osilasi yang terjadi pada sistem dan menghilangkan *error* pada saat sistem memasuki keadaan tunak, akan tetapi kontrol PI ini dapat menyebabkan pelambatan waktu respon dari sistem dikarenakan kontrol PI sendiri tidak dapat memprediksi nilai kesalahan yang terjadi berikutnya [9].

### 2.5. Kapasitas Beban Pengalih

Pada suatu sistem kontrol beban elektronik pasti membutuhkan komponen beban pengalih (*ballast load*), yang berfungsi sebagai pengalih daya hasil keluaran generator jika daya yang digunakan oleh konsumen mengalami kenaikan atau penurunan. Maka dari itu suatu kapasitas dari beban pengalih pada sistem kontrol beban elektronik perlu diperhatikan. Hal tersebut bertujuan untuk menentukan daya maksimal yang dapat dialihkan menuju beban pengalih serta bertujuan agar daya yang dialihkan menuju beban pengalih tidak melebihi daya yang disalurkan menuju beban konsumen. Berikut merupakan persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung daya maksimal pada beban pengalih.

$$P = I^2 \times R \quad (3)$$

Dimana,

$P$  = Daya Maksimal Beban Pengalih (W)

$I$  = Arus yang Melewati Thyristor (A)

$R$  = Beban Resistif pada Beban Pengalih (Ohm)

### 2.6. Hubungan Fluktuasi Beban Daya Terhadap Perubahan Frekuensi [10]

Pada suatu sistem pembangkit, daya yang dihasilkan pada umumnya merupakan daya listrik dimana beban yang didapatkan adalah beban listrik, apabila beban tersebut diterjemahkan sebagai torsi, maka beban tersebut dinamakan sebagai torsi elektrik. Berdasarkan hal tersebut daya yang dihasilkan dari suatu turbin dapat juga diterjemahkan sebagai torsi mekanik. Jika daya listrik yang dapat dihasilkan suatu generator bersifat tetap, maka torsi elektrik akan sama dengan torsi mekanik.

$$T_m = T_e \quad (4)$$

dimana,

$T_e$  = Torsi Elektrik Beban (N.m)

$T_m$  = Torsi Mekanik Turbin (N.m)

Beban daya yang digunakan akan mengalami fluktuasi, dimana dapat terjadi kenaikan maupun penurunan keadaan yang digunakan. Keadaan ini dapat menyebabkan selisih antara torsi mekanik generator dengan torsi beban daya yang diterjemahkan sebagai torsi percepatan.

$$T_m = T_e + T_a \quad (5)$$

dimana,

$$T_a = M \times \frac{d\omega}{dt} \quad (6)$$

dengan,

$T_a$  = Torsi Percepatan (N.m)

$M$  = Momen Inersia Generator (Kg.m<sup>2</sup>)

$\frac{d\omega}{dt}$  = Perubahan Kecepatan Sudut Terhadap Waktu

Kondisi tersebut juga yang menyebabkan perubahan kecepatan pada putaran rotor generator yang pada akhirnya mempengaruhi perubahan frekuensi yang dihasilkan generator. Hal tersebut dapat dilihat dari persamaan berikut.

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (7)$$

dimana,

$T$  = Torsi Generator (N.m)

$P$  = Daya Keluaran (W)

$\omega$  = Kecepatan Sudut Putaran Generator (rad/s)

Dari persamaan tersebut dapat diketahui bahwa frekuensi yang dihasilkan merupakan fungsi dari kecepatan sudut putaran generator yang dirumuskan melalui.

$$\omega = 2\pi \times f \quad (8)$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (9)$$

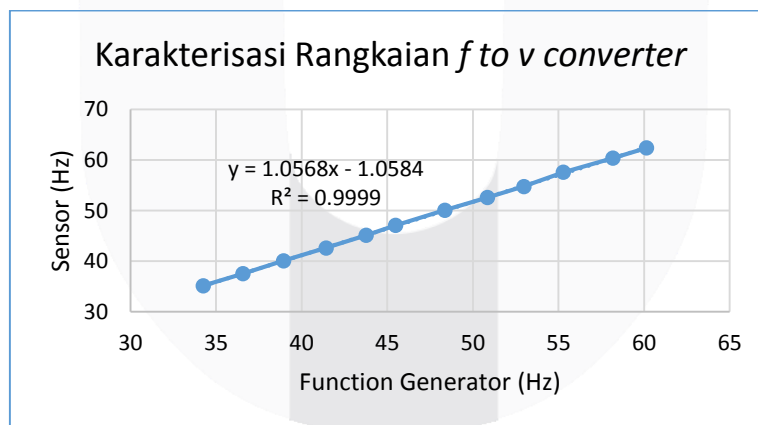
Maka hubungan dari perubahan frekuensi terhadap fluktuasi beban dapat dirumuskan sebagai berikut.

1.  $T_m - T_e = T_a < 0$ , maka  $\frac{d\omega}{dt} < 0$ , sehingga frekuensi mengalami penurunan.
2.  $T_m - T_e = T_a > 0$ , maka  $\frac{d\omega}{dt} > 0$ , sehingga frekuensi mengalami kenaikan.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Data Hasil Pengujian Rangkaian Sensor ( $f$ to $v$ )

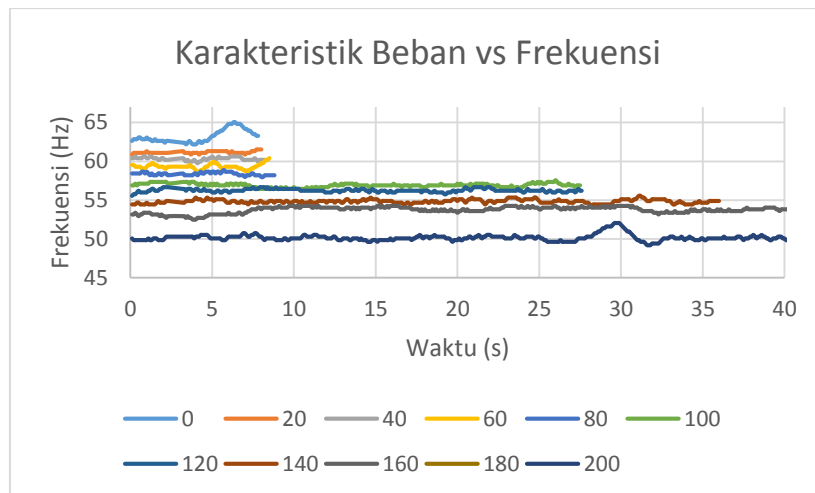
Aplikasi IC LM2907 sebagai sensor frekuensi dimana rangkaian tersebut mengubah sinyal frekuensi yang dibaca menjadi tegangan searah yang akan dibaca pada mikrokontroler. Pengujian dilakukan secara parallel dengan multimeter sebagai pembaca hasil keluaran sensor.



Gambar 2 Karakterisasi Sensor  $f$  to  $v$  converter

#### 3.2. Karakteristik Data Beban Daya Terhadap Frekuensi tanpa Sistem Kontrol Beban

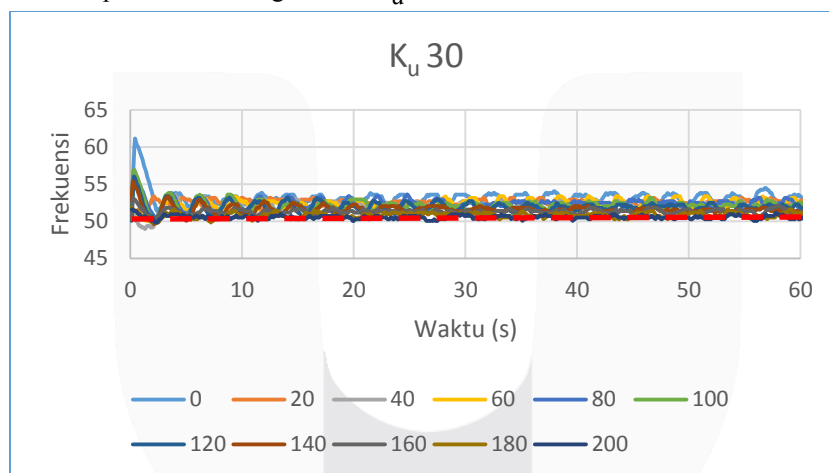
Pada gambar dibawah ini menunjukkan nilai frekuensi yang tinggi dikarenakan nilai daya beban yang diterima oleh generator tidak seimbang antara daya beban yang digunakan oleh konsumen dan daya yang terdapat pada beban pengalih, sehingga  $T_m - T_e = T_a > 0$  [4], maka torsi yang dihasilkan generator sangatlah tinggi dan mengakibatkan percepatan rotasi pada generator berbanding lurus dengan frekuensi yang dihasilkan oleh generator.



Gambar 3 Karakteristik Perubahan Beban Daya terhadap Perubahan Frekuensi tanpa Sistem Kontrol

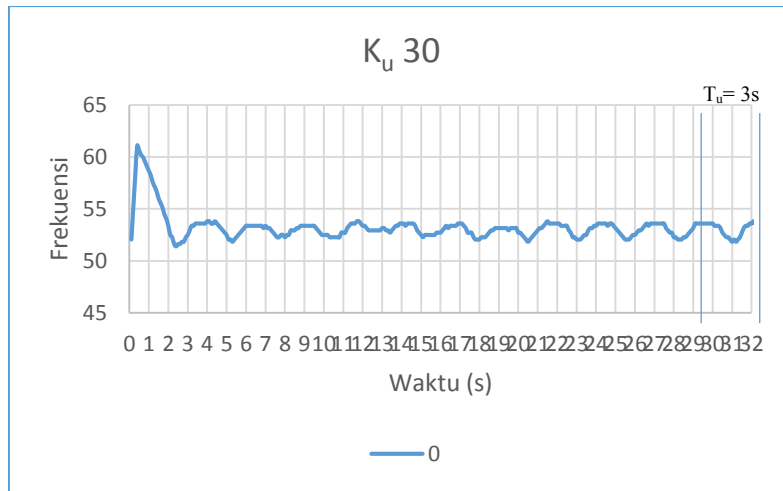
### 3.3. Karakteristik Nilai $K_p$ dan $K_i$

Metode tuning yang dilakukan menggunakan metode tuning Ziegler – Nichols II, tahap pertama dilakukan dengan memberikan nilai  $K_p$  sampai respon mencapai nilai acuan yang diinginkan. Setelah itu nilai  $K_p$  ditambahkan perlahan sampai respon sistem mencapai osilasi harmonik sehingga didapatkan nilai waktu ketika respon sistem berhasil untuk dimasukkan kedalam perhitungan nilai  $K_i$  dengan metode tuning Ziegler – Nichols II. Berikut adalah hasil respon kontrol dengan nilai  $K_u=30$ .



Gambar 4 Respon Sistem dengan Nilai  $K_u=30$

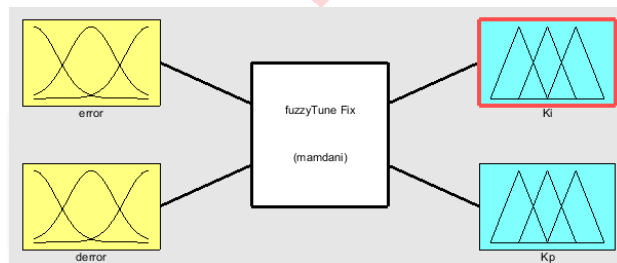
Pada tahap pertama percobaan dilakukan beberapa kali menggunakan rentang nilai  $K_p$  10 sampai dengan 50 dengan kelipatan 10 setiap percobaannya. Percobaan dilakukan tanpa menggunakan perhitungan metode Ziegler – Nichols II, dari percobaan tersebut didapatkan nilai  $K_p$  yang memiliki respon dengan osilasi dan mendekati nilai acuan. Dengan memberikan nilai  $K_p$  30 tanpa perhitungan Ziegler – Nichols sudah terlihat bahwa respon yang dihasilkan mendekati nilai acuan yaitu 52 sampai 53 Hz dari nilai acuan sistem yaitu 50 Hz. Dari hal tersebut pada penelitian kali ini dijadikan sebagai nilai  $K_p$  acuan *Ultimate Gain* ( $K_u=30$ ) yang akan dimasukkan kedalam persamaan Ziegler – Nichols II, untuk nilai *Ultimate Periode* ( $T_u$ ) dimana terjadi osilasi sempurna maka digunakan respon sistem ketika beban daya tidak digunakan oleh konsumen (0 watt) dan didapat nilai  $T_u=3s$ .



Gambar 5 Grafik Respon  $K_u = 30$  pada Daya 0 Watt tanpa Ziegler – Nichols

**3.4. Logika Fuzzy**

Logika *fuzzy* berfungsi sebagai *self tuning* nilai  $K_p$  dan  $K_i$  pada kontrol PI pada penelitian kali ini. Input yang digunakan pada logika *fuzzy* kali ini adalah memasukkan rentang nilai *error* dan *delta error* hasil pembacaan sensor dikurangi nilai acuan frekuensi yang telah ditentukan.

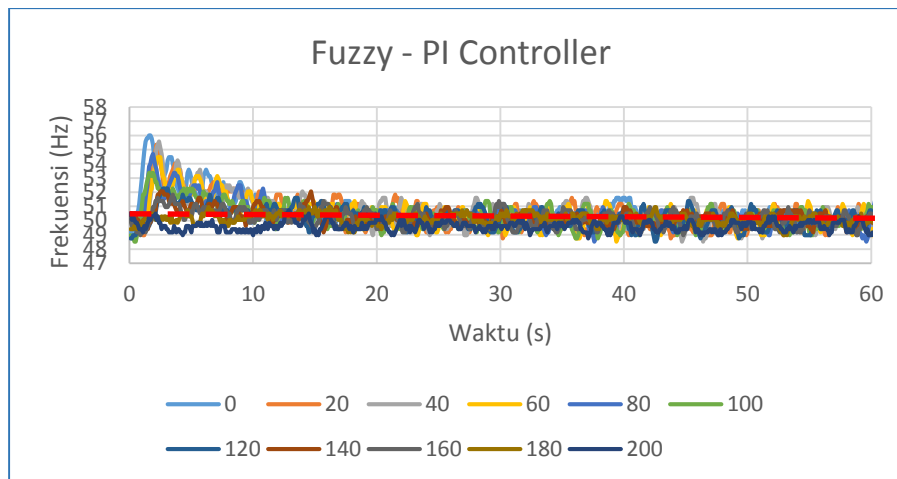


Gambar 6 Rancangan logika Fuzzy Sistem Kontrol Beban Elektronik

Pada gambar diatas merupakan hasil perancangan logika *fuzzy* dengan menggunakan dua *input* dan dua *output*, dimana nilai *error* dan *delta error* digunakan sebagai *input* logika, sedangkan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  merupakan *output* dari logika *fuzzy* yang dirancang pada sistem kontrol penelitian kali ini.

**3.5. Respon Sistem Kontrol Fuzzy – PI**

Sebelumnya respon sistem perubahan frekuensi ketika beban daya yang digunakan berubah – ubah terhadap waktu tanpa menggunakan sistem kontrol beban elektronik didapatkan nilai *error* mencapai nilai 15 Hz (65 Hz) ketika tidak ada daya yang digunakan, sehingga perlu ditambahkan adanya sistem kontrol beban elektronik sehingga frekuensi yang dihasilkan tetap stabil.



Gambar 7 Respon Sistem Kontrol Fuzzy - PI

Gambar diatas menunjukkan hasil respon dari sistem beban elektronik yang dirancang dengan harapan dapat menjaga nilai frekuensi yang dihasilkan generator tetap stabil sesuai dengan nilai acuan yang diharapkan yaitu 50 Hz dengan nilai toleransi sebesar 49 – 51 Hz. Sistem kontrol beban elektronik yang dirancang pada penelitian kali ini menggunakan sistem kontrol *fuzzy* – PI dan didapatkan hasil sesuai dengan nilai acuan yang ditetapkan. Berikut nilai rata – rata frekuensi dan *error* respon sistem kontrol pada penelitian kali ini.

Tabel 1 Rata – rata Nilai Frekuensi dan Error Frekuensi Sistem Kontrol Fuzzy – PI

Nilai Daya (Watt)	Rata-rata Frekuensi (Hz)	Rata-rata Error Frekuensi (Hz)
0	50.32	0.32
20	50.15	0.15
40	50.16	0.16
60	50.16	0.16
80	50.13	0.13
100	50.09	0.09
120	50.16	0.16
140	50.10	0.10
160	50.06	0.06
180	50.11	0.11
200	49.63	-0.37

Dari data tersebut rata – rata nilai frekuensi berada di 50.10 Hz dan rata – rata *error* frekuensi pada penggunaan daya yang berbeda – beda dihasilkan dengan rentang sekitar 0.1 Hz. Ketika beban daya generator berada tidak pada keadaan maksimum 200 watt maka daya yang tidak digunakan dialihkan ke beban pengalih, sehingga putaran sudut yang dihasilkan generator tetap berada dalam keadaan stabil dan frekuensi yang dihasilkan juga berada dalam keadaan stabil.

#### 4. Kesimpulan

Pada penelitian kali ini dapat disimpulkan beberapa kesimpulan berdasarkan hasil data yang telah didapat.

- Berdasarkan data yang telah didapat kontrol beban elektronik dengan sistem kontrol *fuzzy* – PI dapat menjaga fluktuasi frekuensi yang terjadi hal tersebut dapat dilihat berdasar rata – rata nilai *error* dalam keadaan tunak sebesar 0.1 Hz dengan respon rata – rata sistem selama 10 detik ketika daya konsumen mengalami perubahan.
- Respon sistem kontrol *fuzzy* – PI ketika terjadi perubahan beban daya sehingga perputaran sudut generator meningkat dan nilai *error* berubah akan menyesuaikan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  sebagai respon kontrol. Respon tersebut mengalami penyesuaian dengan masukan kontrol *error* maupun *delta error* dengan rata – rata respon sistem sela 10.1 detik, ketika nilai *error* mencapai nilai acuan maka keluaran  $K_p$  dan  $K_i$  cenderung mempertahankan dikondisi stabil. Nilai  $K_p$  dan  $K_i$  ini juga akan membuka sinyal PWM dan daya yang tidak terpakai akan disalurkan menuju beban pengalih.

## Daftar Pustaka

1. Republik Indonesia. 2006. Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Sekretariat Kabinet RI. Jakarta.
2. NN. Potensi Energi Terbarukan (EBT) Indonesia. Akses 5 Februari 2016. <http://esdm.go.id/berita/37-umum/1962-potensi-energi-baru-terbarukan-ebt-indonesia.html>.
3. International Renewable Energy Agency (IRENA). Juni 2012. *Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series*. Jerman.
4. Dhimas Satriya Wishnu Aji. 2013. Perancangan Sistem Pengaturan Frekuensi Turbin-Generator Uap Menggunakan Metode Predictive Control (MPC) pada Simulator PLTU. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
5. Raden Rizki Mulia Putra. 2015. Implementasi Kontrol Fuzzy pada Sistem Kendali Beban Pembangkit Listrik Mikrohidro. Bandung: Universitas Telkom.
6. Zainuddin, H, dkk. 2009. *Design and Development of Pico-hydro Generation System for Energy Storage Using Consuming Water Distributed to Houses*. Malaysia: Universiti Teknikal Malaysia Melaka.
7. Sujatno. 2013. Analisis Sistem Kendali Beban Elektronik (ELC) Sebagai Stabilitas Energi Listrik Berbasis Mikrokontroler. Yogyakarta: STTN-BATAN.
8. Tianur, dkk. 2011. Kontrol Kecepatan Motor Induksi Menggunakan Metode PID-Fuzzy. Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
9. Kemal, dkk. *EE 402 Discrete Time Systems Project Report PI, PD, PID Controllers*. Middle East Technical University Electrical and Electronics Engineering.
10. Ogata Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta: Airlangga.
11. P, Ardha Sandy. Studi Pengontrol Beban Elektronik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Seloliman, Trawas Kabupaten Mojokerto. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
12. Hidayat Rahmat. Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 1 Fasa Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535. Bogor: Universitas Pakuan Bogor.
13. NN. *Power Semiconductor Devices Module*. Versi 2. India: Indian Institute of Technology.
14. Karl Johan Åmström. 2002. *Control System Design*.