

## PERENCANAAN SISTEM PENGENDALI FREKUENSI OTOMATIS MENGGUNAKAN SMART RELAY ZELIO PADA PEMBANGKIT LISTRIK PIKOHIDRO DI KECAMATAN PAKISAJI MALANG

<sup>1</sup>Maizul Anwar, <sup>2</sup>Widodo Pudji Muljanto, <sup>3</sup>Irrine Budi Sulistiawati  
Teknik Elektro S1, Institut Teknologi Nasional Malang, Indonesia  
<sup>1</sup>anwarmaizul@gmail.com <sup>2</sup>widodopm@yahoo.com, <sup>3</sup>irrine@lecturer.itn.ac.id

**Abstrak-** Pembangkit Listrik Tenga Piko hidro (PLTPH) merupakan pembangkit energi terbarukan yang menggunakan tekanan air sehingga ramah lingkungan. Namun pembangkit PLTPH ini juga memiliki kelemahan yaitu hasil keluaran tegangan sangatlah tidak stabil, yang disebabkan oleh besarnya tekanan air yang melewati turbin dari PLTPH berubah-ubah, maka generatormya akan menghasilkan fluktuatif daya yang frekuensi. sehingga jika dibiarkan bisa merusak peralatan. Oleh karena itu untuk mengendalikan frekuensi, putaran pada turbin PLTPH harus diatur supaya konstan, untuk mengaturnya sendiri kita bisa mengatur dengan menggunakan alat *Smart Relay* yang berfungsi sebagai alat control frekuensi dari PLTPH, menggunakan metode *Electronic Load Control* (ELC) dengan mengalihkan kelebihan daya terhubung ke pembuangan beban bayangan (*dummy load*) untuk menjaga daya pembangkitan pada generator sama dengan daya konsumsi pada beban.

**Kata Kunci:** energi terbarukan, PLTPH, *Smart Relay*, ELC, *dummy load*

### I. PENDAHULUAN

Di Kecamatan Pakisaji Kabupaten Malang, terdapat sungai Kaliku yang dimanfaatkan masyarakat sebagai objek wisata, kondisi sungai memiliki kecepatan air ( $v$ ) 1,205 m/s sedangkan besar debit air ( $Q$ ) 26,57 m<sup>3</sup>/s. Sungai Kaliku sangat tepat digunakan sebagai objek penelitian PLTPH dimana daya keluaran yang dihasilkan sekitar 0 W – 5kW dengan besar debit air ( $Q$ ) diatas 0,01 m<sup>3</sup>/s dan ketinggian (head) dibawah 1 m.

PLTPH yang dirancang memiliki kapasitas daya keluaran kurang lebih besarnya 100 W, daya dari keluaran generator pada PLTPH akan digunakan untuk penerangan lampu pada malam hari pada objek wisata Kaliku. Prinsip kerja PLTPH menggunakan konsep energi terbarukan, yang memanfaatkan ketinggian (head) dan kecepatan debit air ( $Q$ ) [1].

Pada pembangkitan PLTPH Kaliku sendiri masih menggunakan sistem *off grid* yang berdiri sendiri karena tidak adanya interkoneksi dengan sumber/pembangkitan yang lain. Masalah yang sering ditemukan dalam pembangkitan skala piko pada PLTPH adalah sering terjadi perubahan variasi debit air yang terhubung dengan turbin sulit terkontrol sehingga menyebabkan adanya perubahan frekuensi pada generator [1].

Besaran daya dan frekuensi dari tegangan keluaran PLTPH dijaga agar tetap stabil dengan menjaga konsumsi daya beban sama dengan yang dihasilkan daya pembangkitan, dampak buruknya jika frekuensi pada generator berubah-ubah maka dapat menyebabkan ketidak setabilan tegangan keluaran PLTPH [2], yang dapat mengakibatkan beban keluaran terganggu dan yang dapat menyebabkan kerusakan alat oleh karena itu kita harus mengontrol frekuensi pada generator.

Dalam Sistem Pembangkit Mikro Hidro (PLTMH), untuk menjaga tegangan dan frekuensi pada tingkat yang diinginkan, bisa menggunakan metode sistem *Hydraulic Governor* (HG) dan *Electronic Load Control* (ELC) namun metode HG kurang diminati karena HG jauh lebih mahal daripada biaya generator, proses perawatannya yang rumit dan memakan banyak bahan dan tempat. *Electronic Load Control* (ELC) adalah solusi hemat lebih murah untuk aplikasi ini. Beban resistif (*dump*) yang terhubung pada generator agar menyelaraskan daya pembangkitan dengan daya beban, digunakan untuk menjaga tegangan dan frekuensi konstan pada variasi putaran generator. [3]

ELC telah menjadi sebuah bagian penting pembangkit mikrohidro sebagai *governor* kontrol frekuensi untuk jangka waktu yang lama. Secara konvensional ELC terdiri dari sistem beban pembuangan yang dikendalikan *thyristor*, terdapat pengaturan sudut tembak yang mengatur jumlah daya yang akan dimasukkan *dump load*. [4]

Pengontrol ELC dapat menggunakan perangkat Arduino dan PLC. Alat kontrol PLC dipilih dalam perancangan pengontrol frekuensi otomatis sebab kualitas ketahanan lebih bagus dan ingin mencoba metode baru dengan menggunakan PLC secara otomatis [5]. PLC yang digunakan dalam pengontrolan frekuensi adalah smart relay zelio dari produk schneider, *Smart relay zelio* berfungsi sebagai governor mengatur frekuensi pada PLTPH dengan menjaga sistem pembebanan agar tetap konstan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengembangkan perangkat yang memungkinkan generator untuk menghasilkan daya pada kapasitas beban penuh dan memberikan daya yang diperlukan ke konsumen, serta mengalihkan kelebihan daya untuk terhubung ke pembuangan beban. [6]

1. Bagaimana merancang dan membuat alat pengendali frekuensi otomatis menggunakan *Smart Relay zelio* pada PLTPH di Kec. Pakisaji Kota Malang.
2. Bagaimana kinerja pengendali frekuensi yang dirancang dapat meningkatkan kinerja PLTPH dalam menjaga kestabilan frekuensi.

Adapun tujuan penelitian disini adalah

1. Merancang dan membuat alat pengendali frekuensi PLTPH berbasis *SMART RELAY* zelio.
2. Menggunakan pengendali frekuensi untuk menjaga kestabilan putaran frekuensi PLTPH.

Sedangkan manfaat yang dapat diambil diharapkan dapat mengaplikasikan penggunaan ELC saat terjadi perubahan beban pada PLTPH agar menjaga frekuensi tetap stabil sesuai dengan yang diinginkan, dengan menggunakan sistem otomasi kontrol smart relay zelio

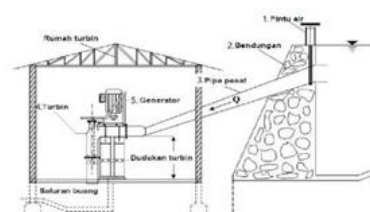
## II. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) merupakan pembangkitan energi terbarukan, konsep yang digunakan adalah memanfaatkan besarnya energi debit air. Aliran air tersebut dialirkan ke pipa dan disalurkan ke turbin. Turbin memutar poros generator untuk menghasilkan energi listrik. PLTPH yang dirancang memiliki kapasitas kurang lebih 100 W maka bentuk dari pikohidro bisa dibidang sangat ramping bentuk atau dimensinya.

Karena kapasitas daya keluarannya tidak terlalu besar maka pembangkitan pikohidro sangat cocok dipakai dalam bendungan air, saluran irigasi, sungai dan air terjun yang memiliki debit air yang sangat kecil, penggunaan PLTPH tentunya akan sangat ramah lingkungan sebab dalam proses produksi energi listrik tidak memerlukan sama sekali bahan bakar minyak dan tidak menghasilkan gas buang ditambah lagi keuntungan PLTPH ini merupakan pembangkit terbarukan yang dapat beroperasi selama 24 jam non stop. Berdasarkan komponen pembentuknya pembangkit pikohidro memiliki tiga buah komponen penting yang terdiri dari turbin, generator dan alat kontroler. Salah satu alat yang digunakan untuk mengontrol PLTPH yaitu Programmable Logic Controller (PLC) yang dihubungkan dengan panel

listrik, tujuannya untuk mengontrol dan memonitoring pada pembangkitan pikohidro secara otomatis [7].



Gambar 1. Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro

### 2.2 Proses Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro

Pembangkit pikohidro proses kerjanya memanfaatkan beda ketinggian dan besarnya debit air yang mengalir pada saluran air bisa pada sungai, bendungan dan air terjun. Nantinya besar energi debit air yang mengalir akan ditampung dan diarahkan menuju turbin air sehingga turbin bisa bergerak dan menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik yang didapat akan digunakan menggerakkan generator yang nantinya diubah menjadi tenaga listrik sebagai daya keluaran generator.

Untuk karakteristik input-output dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro menggambarkan hubungan antara penggerak prime mover (turbin air) yang berupa jumlah air yang disalurkan pada turbin air dalam persamaan waktu dengan daya keluaran dari generator. Daya keluaran generator sebagai fungsi dari tinggi terjun dan debit air dinyatakan sebagai berikut:

$$P = 9.8 \cdot Q_1 \cdot H \cdot \eta_T \cdot \eta_G \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

P = daya keluaran pembangkit

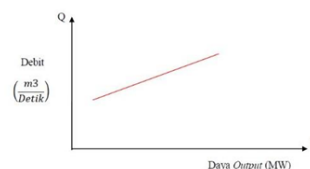
Q1 = debit air rata-rata (m<sup>3</sup>/detik)

H = tinggi air (head) (meter)

$\eta_T$  = efisiensi turbin

$\eta_G$  = efisiensi generator

karakteristik tersebut dapat di gambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. Pengaruh Debit Air Pada Daya Output

Dari gambar grafik diatas kita tahu bahwa semakin besar debit air (m<sup>3</sup>/s) yang didapatkan dalam PLTPH maka daya (W) keluaran yang didapat juga semakin besar juga, begitupun sebaliknya jika debit air (m<sup>3</sup>/s) kecil daya (W) keluaranya juga akan kecil.

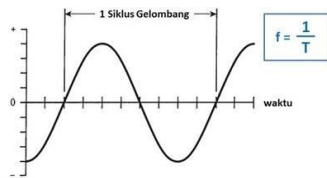


Gambar 3. Head PLTPH

Untuk menentukan ketinggian (head) dari PLTPH kita bisa menggunakan rumus seperti berikut:

### 2.3 Frekuensi

Frekuensi adalah jumlah getaran yang dihasilkan dalam setiap 1 detik, frekuensi dapat diartikan sebagai jumlah gelombang listrik yang dihasilkan tiap detik. Frekuensi biasanya dilambangkan dengan huruf “f” dengan satuannya adalah *Hertz* atau disingkat dengan Hz. Jadi pada dasarnya 1 Hertz adalah sama dengan satu getaran atau satu gelombang listrik dalam satu detik (1 Hertz = 1 gelombang per detik).



Gambar 4. Gelombang Frekuensi

Begitupun dengan frekuensi sangat berhubungan dengan putaran pada turbin, terbukti dengan adanya rumus:

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{P} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$f = \frac{P \cdot N_s}{120} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

$N_s$  = putaran generator (rpm)

$f$  = frekuensi (hz)

$P$  = jumlah kutub generator

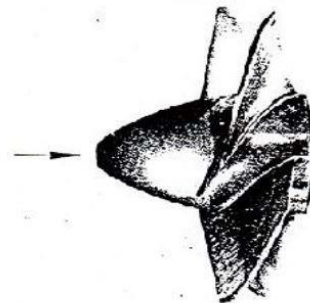
Dari formula diatas terlihat, dengan memvariasikan nilai  $f$  (frekuensi), maka nilai kecepatan generator ( $N_s$ ) akan ikut berubah. Faktor penting dalam pengaturan kecepatan generator adalah torsi konstant, ketika kecepatan generator dinaikan diharapkan torsi generator akan stabil (konstant) sehingga kekuatan generator tersebut untuk menghasilkan tenaga tetap sama, meskipun kecepatan motor diubah -

ubah. Ketidakstabilan frekuensi adalah salah satu yang utama permasalahan dalam PLTPH dengan generator sinkron, kontrol pengatur menggunakan Flow Valve Control (FVC) dan Electronic Load Control (ELC) adalah metode umum yang telah diterapkan untuk frekuensi PLTPH kontrol [8].

### 2.4 Turbin

Turbin merupakan bagian penting dari sistem mikrohidro yang menerima energi potensial atau ketinggian dari air dan mengubahnya menjadi energi putaran (mekanik). Kemudian energi mekanik ini akan memutar sumbu turbin pada generator. Terdapat beberapa jenis turbin berdasarkan klasifikasinya diantaranya:

1. Turbin Impuls yaitu semua energy potensial air pada turbin ini di ubah menjadi menjadi energi kinetis sebelum air masuk atau menyentuh sudu-sudu runner oleh alat pengubah yang disebut nozel. Yang termasuk jenis turbin ini antara lain: turbin pelton dan turbin cross-flo.
2. Turbin Reaksi merupakan seluruh energi potensial dari air di ubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran runner di sebabkan oleh perubahan momentum oleh air. Yang termasuk jenis turbin reaksi di antaranya: turbin francis, turbin kaplan dan turbin propeller.



Gambar 5. Turbin PLTPH

### 2.5 Generator

Generator sinkron merupakan jenis mesin listrik yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan bolak-balik dengan cara mengubah energi mekanis menjadi energy listrik. Energi mekanis di peroleh dari putaran rotor yang di gerakkan oleh penggerak mula (prime mover), sedangkan energy listrik di peroleh dari proses induksi elektromagnetik yang terjadi pada kumparan stator dan rotornya. Generator sinkron dengan definisi sinkronya, mempunyai makna bahwa frekuensi listrik yang dihasilkan sinkron dengan putaran mekanis generator tersebut.



Gambar 6. Generator PLTPH

Untuk menghitung daya pada generator, dapat menggunakan rumus:

$$P = S \cdot \cos \phi$$

Dimana:

P = daya Aktif

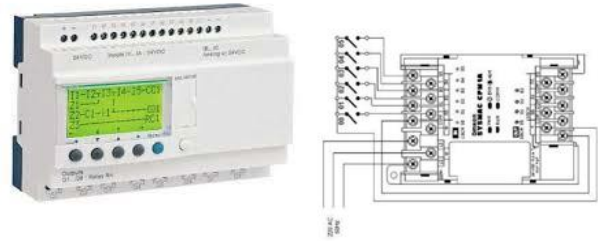
S = daya reaktif

$\cos \phi$  = power factor

## 2.6 Kontroler Smart Relay

Alat kontroler yang digunakan ini adalah *Programmable Logic Controllers (SMART RELAY)* sebab alat tersebut dapat diaplikasikan secara otomatis. *Programmable Logic Controllers (SMART RELAY)* adalah komputer elektronik yang mudah digunakan yang memiliki fungsi kendali untuk berbagai tipe dan tingkat kesulitan yang beraneka ragam. *SMART RELAY* ini dirancang untuk menggantikan suatu rangkaian relay sequensial dalam suatu sistem kontrol. Selain dapat di program, alat ini juga dapat di kendalikan, dan di operasikan oleh orang yang tidak memiliki pengetahuan di bidang pengoperasian komputer secara khusus. *SMART RELAY* ini memiliki 5ahasa pemrograman yang mudah di pahami dan dapat di operasikan bila program yang telah di buat dengan menggunakan software yang sesuai dengan jenis *SMART RELAY* yang di gunakan. Alat ini bekerja berdasarkan input-input yang ada dan tergantung dari keadaan pada suatu waktu tertentu yang kemudian akan meng-ON atau meng-OFF kan output-output. Angka 1 menunjukkan bahwa keadaan yang di harapkan terpenuhi sedangkan angka 0 berarti keadaan yang di harapkan tidak terpenuhi.

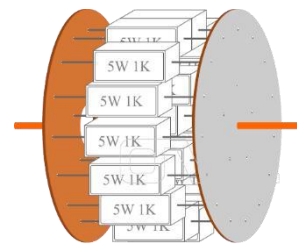
Nantinya *smart relay* yang digunakan dalam alat kontrol ini dapat mengotomatisasi dari beban PLTPH karena didalam susunannya terdapat dua beban yaitu beban asli yang merupakan beban yang digunakan dalam PLTPH kemudian yang kedua ada beban bayangan dimana beban ini sebagai *Electonik Load Controller (ELC)* atau beban yang bisa dikontrol sesuai besaran yang kita mau dimana didalam beban bayangan ini terdapat komponen triac dengan adanya ini bisa mengatur besarnya tegangan yang masuk dan keluar pada beban bayangan.



Gambar 7. Smart Relay Zelio

## 2.7 Dummy Load

Dummy Load digunakan sebagai beban tiruan pada beban PLTPH untuk kontrol frekuensi untuk jangka waktu yang lama dengan menggunakan alat kontrol Smart Relay, Secara konvensional ELC terdiri dari sistem beban pembuangan yang dikendalikan thyristor; di sudut tembak yang mengatur jumlah daya yang akan dimasukkan dump load atau beban banyangan, dengan adanya beban bayangan ini bisa digunakan untuk mengontrol besar tegangan yang masuk pada triac.



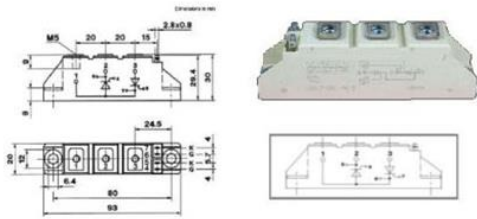
Gambar 8. Dummy Load

## 2.8 Triac Power Kontrol Unit

TRIAC adalah perangkat semikonduktor berterminal tiga yang berfungsi sebagai pengendali arus listrik. Nama TRIAC ini merupakan singkatan dari *TRIode for Alternating Current* (Trioda untuk arus bolak balik). Sama seperti SCR, TRIAC juga tergolong sebagai *Thyristor* yang berfungsi sebagai pengendali atau *Switching*. Namun, berbeda dengan SCR yang hanya dapat dilewati arus listrik dari satu arah (*unidirectional*),

TRIAC memiliki kemampuan yang dapat mengalirkan arus listrik ke kedua arah (*bidirectional*) ketika dipicu. Terminal Gate TRIAC hanya memerlukan arus yang relatif rendah untuk dapat mengendalikan aliran arus listrik AC yang tinggi dari dua arah terminalnya. TRIAC mengatur frekuensi dengan menggunakan beban dummy dikendalikan melalui *thyristor*, unit kontrol memeriksa frekuensi saluran dan mengatur sesuai sudut yang diinginkan kemudian sinyal pulsa tersebut kemudian dilewatkan untuk mengontrol gerbang *thyristor* yang *dummy load*-nya terhubung [9].





Gambar 9. Triac Power Kontrol Unit

## 2.9 Panel Meter. (V , A dan F)

Merupakan sebuah alat instrument elektrik, bentuknya bisa berupa analog dan digital namun di alat ini kita menggunakan versi digital dimana dalam digital bisa menampilkan beberapa parameter seperti V, A dan F secara bersamaan. Panel meter ini akan dihubungkan dengan sistem PLTPH dan nanti akan dibaca secara langsung parameter V, A dan F guna membantu memonitoring PLTPH.



Gambar 10. Panel Control

## 2.10 Box Panel Listrik

Box panel atau yang lebih dikenal dengan kotak kelistrikan, berguna untuk menaruh dan merapikan bagian-bagian komponen seperti bus bar, kabel dan lcd dalam PLTPH. Bahan dasar dari kotak kelistrikan ini berbahan almunium dan bentuknya berfariasi sesuai dengan besar yang diinginkan oleh pembuat.



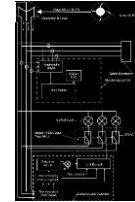
Gambar 11. Box Panel Listrik

## 2.11 Electronic Load Controller (ELC)

Electronic Load Controller (ELC) adalah metode yang digunakan untuk menjaga agar frekuensi tetap stabil dengan cara menyalurkan kelebihan daya listrik ke *dummy load*, sehingga frekuensi (Hz) dan putaran generator tetap terkendali dan stabil. ELC bekerja dengan membaca sinyal frekuensi tiap setengah gelombang (10 ms) sebagai referensi

untuk menyulut triac sehingga daya akan disalurkan ke beban dummy sesuai dengan frekuensi error yang terukur sampai frekuensi tercapai 50(Hz).

PLC digunakan sebagai pengontrol ELC secara otomatis, alasan digunakan karena ketahanannya selain itu bisa dihubungkan dengan program *fuzzy* maupun dengan artificial neural network [5]. Prinsip dasarnya dari sebuah ELC adalah untuk menjaga beban konstan pada generator saat aliran air konstan, tetapi dalam kasus variasi air, ELC menjaga daya keluaran yang dihasilkan sama dengan daya beban konsumen yang dibutuhkan dengan menggeser tenaga ekstra ke beban dummy [4].



Gambar 12. Rangkaian ELC

## III. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini, lokasi yang digunakan yaitu pada desa Pakisaji, Malang disana terdapat sumber daya alam aliran sungai yang cocok digunakan untuk penelitian penerapan PLTPH.

### 3.2 Pengkajian Literatur Tiap Komponen

Pada rancang bangun ini, terdapat banyak sekali komponen yang dibutuhkan seperti turbin, generator, alat kontrol SMART RELAY, panel listrik, kabel dll nantinya akan dipelajari bagaimana cara menggunakan komponen yang baik dan menjalankannya.

Setelah itu dilakukan proses perangkaian dari segi proses mekanik, kelistrikan hingga pembuatan kode Arduino yang diinginkan kita, untuk mendukung alat PLTPH. Kemudian dilakukan pengukuran apakah tegangan sudah stabil dan sesuai yang diinginkan apa belum.

### 3.3 Komponen Dan Alat Pendukung Yang Dibutuhkan

Komponen utama yang dibutuhkan:

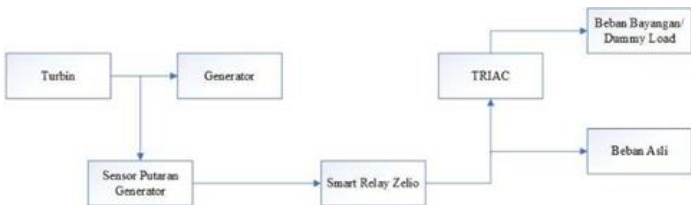
- a. SMART RELAY Zelio.
- b. Dummy Load.
- c. Triac Power Kontrol Unit.
- d. Panel Meter. (V , A , F)
- e. Box Panel Listrik + Assesories

### 3.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam rancang bangun ini adalah:

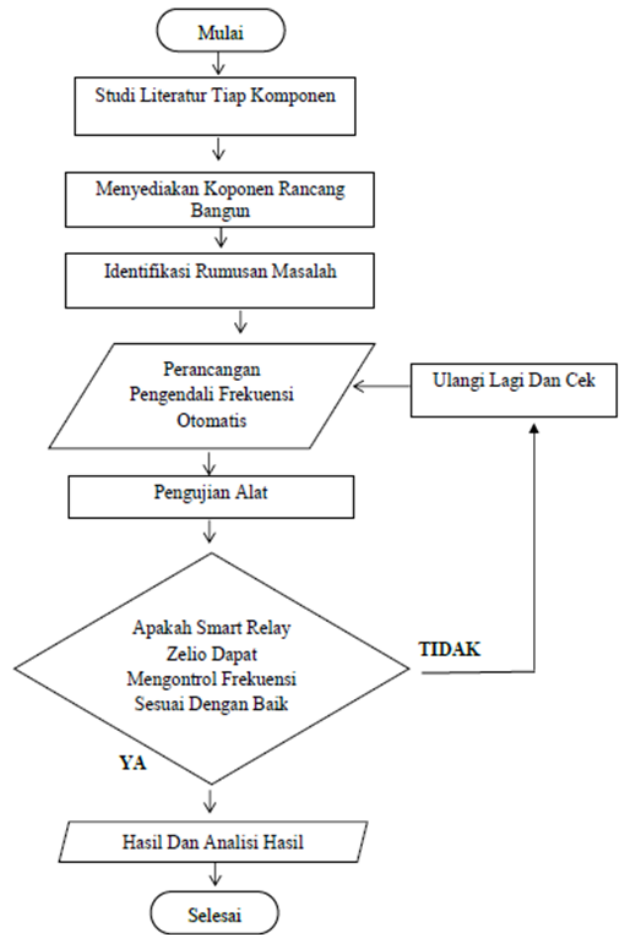
1. Mulai.
2. Studi Literatur Tiap Komponen.
3. Identifikasi Rumusan Masalah.
4. Proses Perancangan Alat Pengontrol Frekuensi Otomatis Menggunakan SMART RELAY.
5. Melakukan Pengujian Alat.
6. Apakah Alat Pengontrol Frekuensi Otomatis Menggunakan SMART RELAY Berjalan Dengan Baik.
7. Jika Belum Memenuhi Standart Keluaran Yang Baik Ulangi Lagi Proses Perancangan Alat.
8. Hasil Dan Analisi Hasil.
9. Selesai.

### 3.5 Diagram Blog



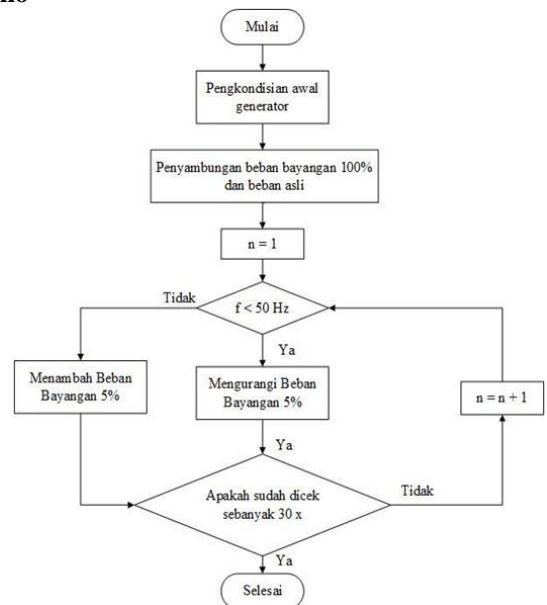
Gambar 13. Diagram Blog Cara Kerja Alat

### 3.6 Flowchart Perencanaan Dan Pengerjaan



Gambar 14. Flow Chart Pembuatan Alat

### 3.7 Flow Chart Cara Kerja Pengontrol Frekuensi Smart Relay Zelio



Gambar 15. Flow Chart Cara Kerja

#### IV. SIMULASI DAN ANALISA

##### 4.1 Proses Pengukuran Dan Perhitungan Kecepatan Air ( $v$ ) Pada Sungai Kaliku

Untuk mencari nilai besaran debit air maka diperlukan mengetahui berapa besaran kecepatan ( $v$ ) yang dimiliki sungai tersebut, percobaan dilakukan dengan mengapungkan bola pada 5 m nanti akan dicatat waktu sampai bola tersebut dengan stopwatch, berikut data yang diperoleh dalam percobaan

Tabel 1. Pengukuran Dan Perhitungan Kecepatan Air ( $v$ ) Pada Sungai Kaliku

Penyukuran	Jarak	Waktu	Perhitungan Kecepatan
1	5 m	4,44 s	1,12 m/s
2	5 m	4,04 s	1,23 m/s
3	5 m	4,1 s	1,21 m/s
4	5 m	4,1 s	1,21 m/s
5	5 m	4,1 s	1,21 m/s
6	5 m	4,02 s	1,24 m/s
7	5 m	4,02 s	1,24 m/s
8	5 m	4,34 s	1,15 m/s
9	5 m	4,04 s	1,23 m/s
10	5 m	4,1 s	1,21 m/s
Total Kecepatan			12,05 m/s

Proses perhitungan kecepatan air pada tiap percobaan:

1.  $V = 5 \text{ m} : 4,44 \text{ s} = 1,12 \text{ m/s}$
2.  $V = 5 \text{ m} : 4,04 \text{ s} = 1,23 \text{ m/s}$
3.  $V = 5 \text{ m} : 4,1 \text{ s} = 1,21 \text{ m/s}$
4.  $V = 5 \text{ m} : 4,1 \text{ s} = 1,21 \text{ m/s}$
5.  $V = 5 \text{ m} : 4,1 \text{ s} = 1,21 \text{ m/s}$
6.  $V = 5 \text{ m} : 4,02 \text{ s} = 1,24 \text{ m/s}$
7.  $V = 5 \text{ m} : 4,02 \text{ s} = 1,24 \text{ m/s}$
8.  $V = 5 \text{ m} : 4,34 \text{ s} = 1,15 \text{ m/s}$
9.  $V = 5 \text{ m} : 4,04 \text{ s} = 1,23 \text{ m/s}$
10.  $V = 5 \text{ m} : 4,1 \text{ s} = 1,21 \text{ m/s}$

$$\text{Kecepatan rata-rata } (v) = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{12,05}{10} = 1,205 \text{ m/s}$$

##### 4.2 Pengukuran Luas Penampang Sungai

Untuk mengukur luasan penampang aliran sungai yang kita butuhkan adalah data lebar dan kedalaman sungai, yang diperoleh sebagai berikut:

$$\text{Lebar sungai} = 31,5 \text{ m}$$

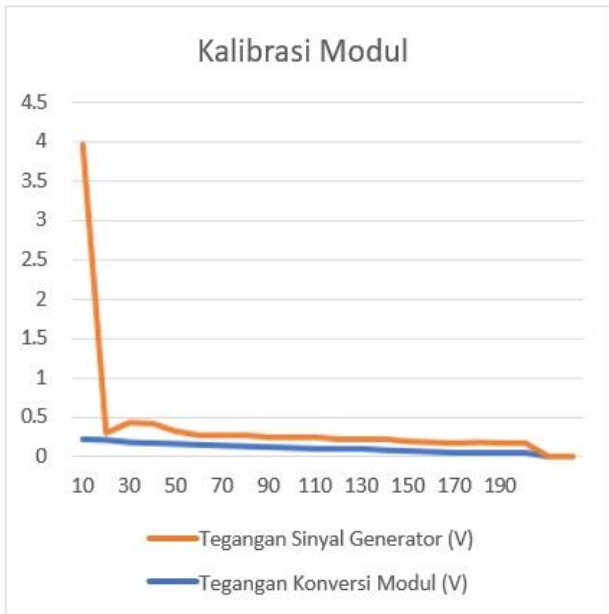
$$\text{Kedalaman sungai} = 70 \text{ cm} = 0,7 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang } (A) &= \text{Lebar sungai} \cdot \text{Kedalaman sungai} \\ &= 31,5 \text{ m} \cdot 0,7 \text{ m} \\ &= 22,05 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

##### 4.4 Pengujian Kalibrasi Modul Konverter Frekuensi Ke Tegangan

Tabel 2. Kalibrasi Modul Konverter Frekuensi Ke Tegangan

Percobaan	Frekuensi (Hz)	Tegangan Konversi Modul (V)	Tegangan Sinyal Generator (V)
1	10	0,23	3,74
2	20	0,22	0,09
3	30	0,19	0,25
4	40	0,18	0,25
5	50	0,17	0,16
6	60	0,16	0,12
7	70	0,15	0,12
8	80	0,14	0,13
9	90	0,13	0,12
10	100	0,12	0,13
11	110	0,11	0,14
12	120	0,1	0,12
13	130	0,1	0,12
14	140	0,09	0,13
15	150	0,08	0,12
16	160	0,07	0,12
17	170	0,06	0,12
18	180	0,06	0,13
19	190	0,05	0,12
20	200	0,05	0,12



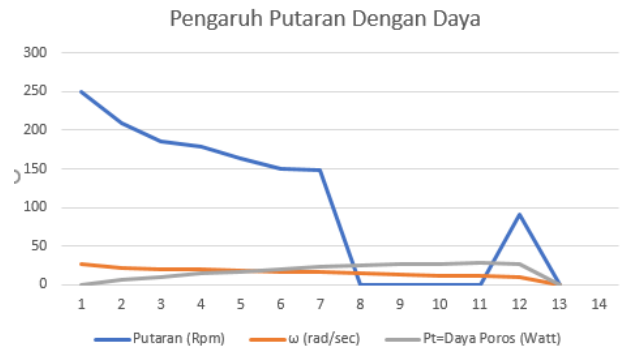
Gambar 16. Grafik Kalibrasi Modul Konverter Frekuensi Ke Tegangan

Dari tabel diatas dapat kita peroleh bahwa Ketika frekuensi diubah-ubah maka didapatkan tegangan keluaran pada modul nilainya tegangan konversi modul juga ikut berubah. Pada garfik 4.1 dapat dilihat tegangan konversi modul dengan tegangan sinyal generator juga nilainya semakin turun ketika frekuensi dinaikkan.

4.6 Kalkulasi Torsi dan Daya Turbin

Tabel 3. Kalkulasi Torsi dan Daya Turbin

No.	Putaran (Rpm)	$\omega$ (rad/sec)	F (Kg.force)	F (Newton)	R disc (Cm)	R disc (m)	T=Torsi Poros (N.m)	Pt=Daya Poros (Watt)
1	250	26,16667	0	0	5	0,05	0	0,0
2	210	21,98	0,5	4,945	5	0,05	0,24725	5,4
3	186,2	19,48893	1	9,89	5	0,05	0,4945	9,6
4	179,4	18,7772	1,5	14,835	5	0,05	0,74175	13,9
5	163,2	17,0816	2	19,78	5	0,05	0,989	16,9
6	150,5	15,75233	2,5	24,725	5	0,05	1,23625	19,5
7	148,8	15,5744	3	29,67	5	0,05	1,4835	23,1
8	133,1	13,93113	3,5	34,615	5	0,05	1,73075	24,1
9	127,2	13,3136	4	39,56	5	0,05	1,978	26,3
10	110,5	11,56567	4,5	44,505	5	0,05	2,22525	25,7
11	106,2	11,1156	5	49,45	5	0,05	2,4725	27,5
12	89,9	9,409533	5,5	54,395	5	0,05	2,71975	25,6
13	0	0	6	59,34	5	0,05	2,967	0,0



Gambar 17. Grafik Kalibrasi Pengaruh Torsi dan Daya Turbin

Pada garfrik diatas dapat diketahui daya maksimal yang diperoleh dari keluaran 27,5 w dengan putaran 106,2 rpm sedangkan daya minimal yang didapat 5,4 dengan putaran 210 rpm.

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan tahap perancangan dan pembuatan sistem yang kemudian dilanjutkan dengan tahap pengujian dan analisa maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) pengaturan frekuensi menggunakan smart relay zelio pada pembangkit PLTPH dapat digunakan dengan baik.
2. Cara yang digunakan dengan menggunakan metode Electronic Load Control yang dikendalikan oleh alat smart relay zelio.
3. Dengan adanya sistem pengontrol frekuensi otomatis pada PLTPH Pakisaji Malang, dapat mengatur frekuensi yang terjadi akibat adanya putaran yang fluktuatif terhadap debit air yang tidak bisa dikontrol.

saran

1. Untuk merancang alat diperlukan perangkat keras seperti smart relay zelio, sensor, beban lampu, serta peralatan wiring untuk membuat pengaturan frekuensi otomatis pada PLTPH.
2. Saat melakukan perancangan alat pada pengendali frekuensi secara otomatis, diperhatikan dalam pembuatan program function block diagram dalam mengatur ELC, serta input dan output yang digunakan dalam program smart relay zelio



## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asad Ali, Muftooh Ur Rehman Siddiqi, Riaz Muhammad, Arshad, M. Suleman, Nasim Ullah, "Design and implementation of an electromechanical control system for micro-hydropower plants" Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2020.
- [2] Asad Ali, Arshad, Haroon Akhtar, Muftooh Ur Rehman Siddiqi, Muhammad Kamran, "An efficient and novel technique for electronic load controller to compensate the current and voltage harmonics," *Engineering Science and Technology, an International Journal* 23 (2020) 1042–1057.
- [3] R. Raja Singh, B. Anil Kumar, D. Shruthi, Ramraj Panda, C.Thanga Raj, "Review an experimental illustrations of electronic load controller used in standalone Micro- Hydro generating plants" *Engineering Science and Technology, an International Journal* 21 (2018) 886–900.
- [4] Netra Pd. Gyawali, Member, IEEE, "Universal Electronic Load Controller for Microhydro Power Plant," 12th IEEE International Conference on Control & Automation (ICCA) Kathmandu, Nepal, June 1-3, 2016.
- [5] Mahmut sTemel Ozdemir, Ahmet Orhan, "An experimental system for electrical and mechanical education Micro hydro power plant prototype" *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 47 (2012) 2114 – 2119.
- [6] Ubaid ur Rehman, Muhammad Riaz, "Design and Implementation of Electronic Load Controller for Small Hydro Power Plants" 2018 International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies – iCoMET 2018.
- [7] R.Butuza, I.Nascu, O.Giurgioiu, R.Crisan, "Automation System Based On SIMATIC S7 300 PLC, for a Hydro Power Plant" Technical University of Cluj-Napoca, G. Barițiu 26-28, 400027, Cluj-Napoca, Romania 2014 IEEE.
- [8] Zulfatman Has, Alwan Zanuvar Rosyidi, Ilham Pakaya, Nur Alif Mardiyah, Nurhadi Nurhadi, Machmud Effendy, "Integrated Frequency Control of Microhydro Power Plant Based Flow Valve Control and Electronic Load Controller" 2018 IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC 2018), 14–15 December 2018, Melaka, Malaysia.
- [9] Muhammad Hussnain Riaz, Muhammad Khalil Yousaf, Tahir Izhar, Tariq Kamal, Muhammad Danish, Affan Razzaq, Muhammad Huzaifa Qasmi, "Micro Hydro Power Plant Dummy Load Controller" 978-1-5386-5482-8/18 ©2018 IEEE.