

## RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI FREKUENSI PLTMH PAKISAJI BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO

<sup>1</sup>Noval Jody Prasetyo, <sup>2</sup>Widodo Pudji Muljanto, <sup>3</sup>Ni Putu Agustini

<sup>1,2,3</sup>Teknik Elektro S1 ITN Malang, Malang, Indonesia

<sup>1</sup>novaljp37@gmail.com, <sup>2</sup>widodo\_pm@lecturer.itn.ac.id, <sup>3</sup>ni\_putu\_agustini@lecturer.itn.ac.id

**Abstrak**— Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro merupakan pembangkit listrik skala kecil. Pembangkit ini dibangun pada daerah dengan potensi air yang cukup untuk menghasilkan energi listrik. Permasalahan yang sering terjadi pada sistem pembangkit ini yaitu sering terjadinya generator yang tidak konstan. Hal ini disebabkan oleh perubahan beban, sehingga menyebabkan sering fluktuasi frekuensi sistem yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Oleh karena itu digunakanlah alat kontrol frekuensi agar pengendalian frekuensi dapat lebih stabil. Beberapa komponen yang digunakan diantaranya yaitu Arduino Nano sebagai mikrokontroler, *Electronic Load Control* yang terdiri dari IC 7805, Sensor SCT 013 A, Modul Ac Light Dimmer PWM, Dioda Zener, Liquid Crystal Display (LCD), PWM (Pulse Width Modulation), Trafo 350mA dan Ballast Load. Dari hasil pengujian didapat saat frekuensi rendah atau kurang dari 50 Hz maka dimmer meredupkan lampu menyesuaikan kekurangan frekuensinya. Sebaliknya frekuensi lebih dari 50 Hz maka lampu terang sesuai lebihnya frekuensi.

**Kata Kunci:** PLTMH, *electronic load control*

### I. PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan pokok manusia. Sumber energi sekarang didominasi oleh sumber energi primer seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara, padahal sumber energi primer tersebut semakin lama persediannya semakin menipis dan tidak dapat diperbaharui oleh sebab itu dibutuhkan sumber energi alternatif untuk kehidupan yang akan datang. Salah satu nya yaitu pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Pemilihan PLTMH sebagai sumber energi terbaharukan karena Indonesia kaya akan potensi sumber daya air terlihat dari letak geografisnya[1].

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro atau (PLTMH) merupakan alternatif sumber energi listrik bagi masyarakat, memberikan banyak keuntungan terutama bagi masyarakat pedalaman. sumber dari PLTMH adalah energi air yang ramah dan tidak menimbulkan polusi. Selain itu, Indonesia kaya akan sumber daya air sehingga sangat potensial untuk memproduksi energi listrik[2].

PLTMH biasanya merupakan pembangkit listrik yang terpisah (tidak diintegrasikan dengan pembangkit lain), oleh karena itu permasalahan utama dari PLTMH adalah ketika terjadi perubahan beban, maka secara langsung akan berpengaruh terhadap perubahan frekuensi generator. Agar frekuensi generator tetap stabil saat terjadi perubahan beban, maka diperlukan sistem pengendalian frekuensi pada generator.

Salah satu sistem pengendali frekuensi yang banyak digunakan pada PLTMH adalah *electronic load controller* (ELC). Pada prinsipnya sistem kendali ELC adalah mengatur sistem pembebanan generator sedemikian rupa sehingga daya keluaran generator tetap konstan saat terjadi perubahan beban disisi konsumen. Agar daya keluaran generator tetap konstan maka diperlukan beban tambahan yang dikenal sebagai beban semu (*dummy / ballast*) [3]

Electronic load controller (ELC) ini telah menjadi sebuah bagian penting dalam pembangkit Mikrohidro bebas governor untuk kontrol frekuensi untuk jangka waktu yang lama. Secara konvensional ELC terdiri dari sistem beban pembuangan yang dikendalikan thyristor; disudut tembak yang mengatur jumlah daya yang akan dimasukkan dump load.[4]

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan dibahas dalam penulisan penelitian yaitu:

1. Bagaimana merancang *Electronic Load Controller* pada PLTMH memanfaatkan mikrokontroler Arduino sebagai komponen utama pengendali ?
2. Bagaimana merealisasikan perangkat lunak Mikrokontroler Arduino unntuk mengontrol ELC agar dapat menjaga frekuensi PLTMH tetap stabil pada beban yang berfluktuaktif ?

## II. KAJIAN PUSTAKA

### A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik untuk skala kecil yang memanfaatkan aliran air sebagai sumber energi. Aliran air tersebut dialirkan ke pipa dan disalurkan ke turbin. Turbin memutar poros generator untuk menghasilkan energi listrik. Pada prinsipnya PLTMH menggunakan jumlah debit air pada ketinggian tertentu. Sehingga menghasilkan daya tertentu. Sistem PLTMH dibedakan menjadi off-grid dan on-grid, pada PLTMH on-grid daya yang dihasilkan generator dihubungkan ke jaringan perusahaan listrik negara (PLN) sedangkan pada PLTMH off-grid daya yang dihasilkan generator langsung digunakan untuk kebutuhan daya beban sehingga pada PLTMH off\_grid diperlukan sistem kontrol tegangan menggunakan (Automatic Voltage Regulator) AVR sedangkan sistem kontrol frekuensi menggunakan (Electronic Load Controller) ELC[5].

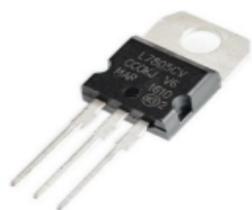
### B. Elektronik Load Controller (ELC)

Electronic Load Controller (ELC) adalah rangkaian elektronik yang berfungsi menjaga agar frekuensi tetap stabil dengan cara membuang kelebihan daya listrik ke ballast load, sehingga frekuensi (Hz) dan putaran generator tetap terkendali dan stabil. Daya yang ada di ballast load dapat digunakan untuk charging baterai, pemanas, dan lain-lain. 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).

Dalam Sistem Pembangkit Mikro Hidro (PLTMH), untuk menjaga voltase dan frekuensi pada tingkat yang diinginkan, tidak disukai karena HG jauh lebih mahal daripada generator. Beban elektronik controller (ELC) adalah solusi hemat biaya untuk aplikasi ini. Beban resistif (dump) pada peringkat yang sama generator digunakan untuk menjaga tegangan dan frekuensi konstan pada gangguan beban. [7]

### C. IC 7805

IC ini adalah regulator tegangan DC dengan input 7V-35V DC dan output sebesar 5V DC[5].



Gambar 1. IC 7805

### D. Sensor SCT 013 A

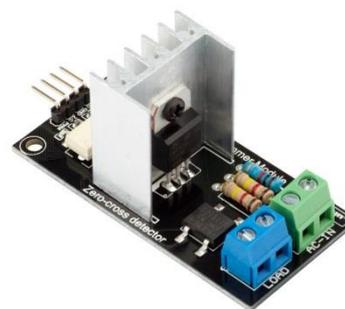
Arus merupakan perpindahan muatan dalam satuan waktu tertentu. Besar nilai arus listrik dibutuhkan untuk mengukur besar daya yang digunakan oleh sebuah perangkat elektronik. Pengukuran arus pada gardu listrik dapat diukur menggunakan sebuah sensor arus. Sensor arus yang digunakan dalam penelitian ini yaitu SCT013 dengan maksimum pembacaan arus sebesar 30A. [8]



Gambar 2. Sensor SCT 013 A

### E. Modul Ac Light Dimmer PWM

Modul AC light dimmer ini terdiri dari beberapa komponen yang dijadikan menjadi satu modul. Komponen-komponen tersebut diantaranya terdapat 3 buah resistor, 1 buah triac, 2 buah diac, 1 buah optocoupler, 2 pin untuk LOAD dan 2 pin untuk AC-IN. Modul ini dapat di kontrol menggunakan mikrokontroler seperti Arduino, Raspberry Pi dan sebagainya. Pada sistem ini digunakan modul AC light dimmer ini karena adanya fitur pin zero crossing detector yang membuat mikrokontroler dapat mengetahui timing yang tepat untuk mengirim sinyal PWM. Tanpa ada nya timing yang tepat, arus AC dengan triac jika gatenya di kontrol makan akan kacau sinyal outputnya yang menyebabkan dimmer tidak berfungsi dalam menghasilkan sinyal PWM. Modul ini dapat bekerja dengan menerima tegangan AC dari 110 V sampai 220 V.[9]



Gambar 3. Modul Ac light dimmer PWM

### F. Dioda Zener

Dioda zener merupakan salah satu komponen pelindung surja sekunder yang digunakan untuk menjepit tegangan surja secara akurat. Dioda zener mampu menyalurkan arus dalam suatu rangkaian ke arah yang berlawanan apabila terdapat tegangan yang melampaui batas tegangan zener. Karakteristik dari dioda zener dapat dilihat pada Gambar 1.

Apabila terdapat tegangan yang mencapai batas tegangan dioda zener, maka arus dioda zener akan naik dengan cepat. Perubahan ini tidak berpengaruh terhadap tegangan dioda zener yang relatif konstan. Daerah breakdown inilah yang menjadi titik fokus untuk penerapan dioda zener.[10]

#### G. Liquid Crystal Display (LCD)

LCD (Liquid Crystal Display) merupakan salah satu perangkat display yang umum dipakai dalam sebuah system instrumentasi. Dengan LCD kita bisa menampilkan sebuah informasi dari sebuah pengukuran data sensor, menu pengaturan instrument, ataupun yang lainnya dengan konsumsi daya rendah. ATmega32 juga didukung dengan penampil LCD, LCD ini berfungsi untuk menampilkan nilai atau perintah-perintah yang ditulis pada kode program. Dengan LCD ini perintah-perintah yang diberikan akan mudah dibaca baik benar atau salah.[11]

#### H. Mikrokontroler Arduino Nano

Arduino Nano adalah sebuah board mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino Nano mempunyai 14 pin digital input/output (6 di antaranya dapat digunakan sebagai keluaran PWM), 6 masukan analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino Nano memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkannya ke sebuah komputer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya.[12]



Gambar 4. Arduino Nano

#### I. PWM (Pulse Width Modulation)

Fungsi PWM yang terdapat pada Arduino digunakan untuk menentukan 5 kecepatan motor yaitu pada kecepatan 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% untuk putaran maju dan putaran mundur. dari hasil yang diperoleh fungsi PWM pada arduino dapat bekerja dengan baik, tegangan keluaran PWM Arduino dapat diterjemahkan oleh motor drive menjadi besaran tegangan yang dibutuhkan untuk mengatur kecepatan motor. Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar Pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, Sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun duty cycle bervariasi (antara 0% hingga 100%). Aplikasi PWM berbasis mikrokontroler biasanya berupa pengendalian kecepatan motor DC, Pengendalian Motor Servo, Pengaturan nyala terang LED. [13]

#### J. Kabel Jumper

Kabel *jumper* adalah kabel elektrik yang memiliki pin konektor di setiap ujungnya dan memungkinkan untuk menghubungkan dua komponen tanpa memerlukan solder.

#### K. Dummy Load

Dummy load digunakan sebagai beban tiruan pada PLTMH 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 bayangan, dengan adanya beban bayangan ini bisa digunakan untuk mengontrol besar tegangan yang masuk pada triac. Jenis dummy load pun bisa menggunakan beban yang sifatnya resistif, induktif dan kapasitif tapi dalam pengaplikasian pada PLTMH di sungai Kaliku menggunakan beban resistif berupa lampu.



Gambar 5. Dummy Load

#### L. Kabel

Kabel listrik yang berfungsi untuk penghantar listrik dan media untuk mentransmisikan listrik agar bisa terhubung dari sumber listrik ke beban listrik. Kabel akan menghubungkan sumber listrik dari ke generator disambungkan pada alat control smart relay zelio, beban asli (real) dan beban bayangan (dummy load).



Gambar 6. kabel

#### M. Terminal Block

Terminal block pada umumnya berguna untuk menyambung/jumper antara kabel satu dengan yang lainnya supaya bisa terhubung dan menyalurkan arus listrik.



Gambar 7 Terminal Block

#### N. PCB

Printed Circuit Board (PCB) merupakan perangkat keras yang digunakan untuk menghubungkan komponen elektronik lewat sirkuit dengan lapisan logam sebagai jalur konduktor yang menghubungkan komponen elektronik satu sama lain tanpa kabel sehingga tampak rapi dan tertata.



Gambar 8. PCB

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### A. Alur Penelitian

Penelitian ini difokuskan untuk pembuatan alat kontrol frekuensi pada PLTMH agar pada saat terjadinya beban yang fluktuatif maka putaran dan frekuensi harus tetap stabil.

Metode Penelitian Pada penelitian ini akan menggunakan beberapa tahapan – tahapan atau metodologi penelitian. Berikut ini merupakan sebuah tahapan – tahapan pada penelitian yang akan dikerjakan:

##### 1. Studi Literatur

Mencari referensi untuk memperkuat teori yang berhubungan dengan system kontrol frekuensi pada PLTMH. Referensi berupa jurnal-jurnal.

##### 2. Analisis Kebutuhan

Mengidentifikasi apa saja yang dibutuhkan dalam penelitian ini

##### 3. Perencanaan Alat

Merencanakan dimensi dan juga desain dari alat

##### 4. Pembuatan Alat

Realisasikan alat yang sudah dirancang dan merangkai komponen-komponen yang dibutuhkan secara menyeluruh.

##### 5. Pengujian Alat

Dilakukan pengujian secara keseluruhan untuk mengetahui keberhasilan fungsi alat yang telah dibuat.

#### 6. Pengolahan Data

Mengumpulkan data dan mengolah data, serta membuat kesimpulan dari alat yang telah dibuat.

#### 7. Selesai

#### B. Waktu dan Tempat 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 PLTMH yaitu pada sungi Kaliku yang merupakan tempat wisata dan rekreasi.

#### C. Teknik Pengumpulan Data

Studi literatur ditujukan untuk mendapatkan teori-teori yang akan dijadikan penelitian studi ini. Studi ini meliputi tentang pemahaman teori dan konsep serta metode yang cocok untuk membentuk kerangka berfikir agar penelitian ini bersifat logis dan terarah. Literatur bisa berupa buku, jurnal, serta karya ilmiah melalui internet serta media massa yang berkaitan dengan penulisan laporan ini.

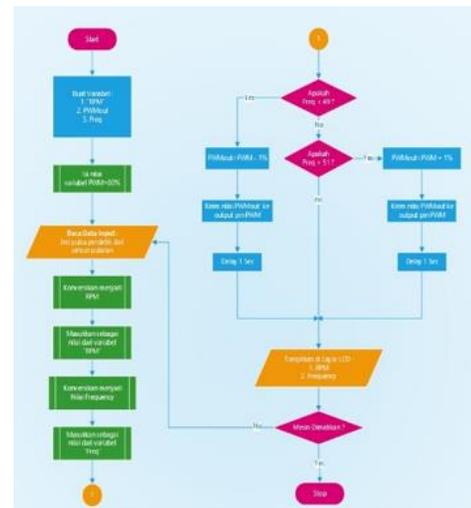
#### D. Komponen dan Alat Pendukung Yang Dibutuhkan

Komponen yang dibutuhkan diantaranya:

- Mikrokontroler Arduino Nano
- Potensio meter
- Kapasitor Elco
- Resistor
- Dioda zener
- Trafo 350 mA
- Sensor SCT 013 A
- Kabel
- 

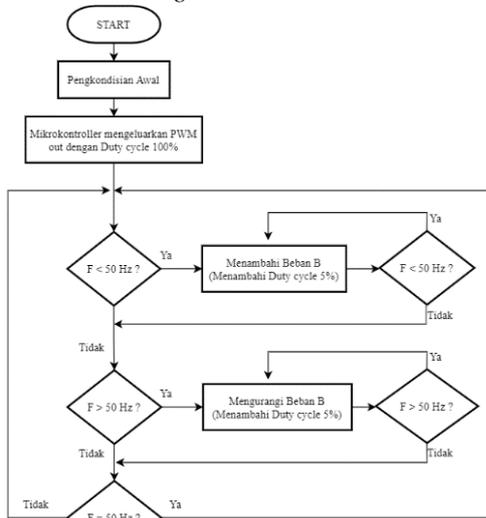
#### E. Flowchart Penelitian

Alur dari rangkaian penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini:



Gambar 9. Flowchart Pembuatan alat

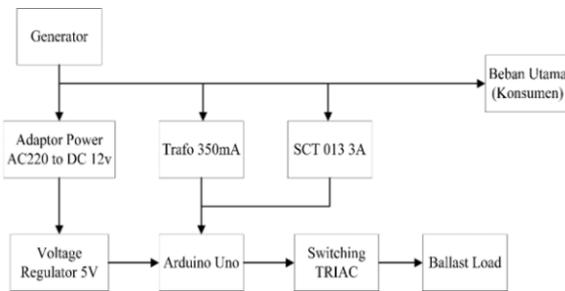
### F. Flowchart Program



Gambar 10. Flowchart program

### G. Perancangan Pembuatan Alat

Pembuatan sistem ini dilakukan dengan membuat rancangan agar memudahkan Ketika dalam pembuatan alat.



Gambar 11. Diagram Blok pembuatan alat

## IV. SIMULASI DAN ANALISA

### A. Data pengukuran kecepatan Air

Untuk mencari nilai besaran debit air maka diperlukan mengetahui berapa besaran kecepatan ( $v$ ) yang dimiliki sunagi 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. Hasil Pengukuran Kecepatan Air

Percobaan	Jarak	Waktu	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	1,12 m/s
4	5 m	4,1 s	1,12 m/s
5	5 m	4,1 s	1,12 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
<b>Total Kecepatan</b>			<b>12,05 m/s</b>

### B. Besar Debit Air

Untuk mencari besar debit air, merupakan hasil perkalian antara kecepatan air dengan luas penampang.

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan Sungai } (v) &= 1,205 \text{ m/s} \\ \text{Luas Penampang } (A) &= 22,05 \text{ m}^2 \\ \text{Besar debit air } (Q) &= \text{Kecepatan Sungai } (v) \cdot \text{Luas Penampang } (A) \\ &= 1,205 \text{ m/s} \cdot 22,05 \text{ m}^2 \\ &= 26,57 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

### C. Kalkulasi Torsi dan Daya Turbin

Data yang perlu kita ukur pada sungai Kaliku adalah berapa jumlah putaran (rpm) dan gaya (kg.force) pada turbin, kemudian setelah kita mengukur besarnya putaran (rpm) dan gaya (kg.force) maka dapat kita hitung besarnya kecepatan sudut ( $\omega$ ), torsi (T) dan daya pada turbin (Pt).

Tabel 2. Pengukuran serta perhitungan torsi dan daya pada 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

### D. Data Uji coba pengkalibrasian sensor

Sebelum perakitan alat sepatutnya ada tahapan tahapan salah satunya pengkalibrasian sensor yang dipakai sebagai salah satu cara penyempurnaan pembuatan alat. Berikut adalah hasil dari pengkalibrasian sensor.

Tabel 3. Hasil Kalibrasi pertama

Frekuensi	Voltage	Arus	Daya
50.20	13.09	5.08	66.49
50.18	13.11	5.13	67.25
50.28	13.13	5.15	67.61
50.30	13.16	5.20	68.43
50.32	13.15	5.18	68.11
50.26	13.16	5.20	68.43
50.22	13.16	5.20	68.43
50.20	13.14	5.12	67.27
50.27	13.14	5.12	67.27

Hasil dari kalibrasi diatas masih mengalami banyak nilai error atau belum presisi, kemudian dilakukannya kalibrasi kedua untuk mempresisi kinerja sensor.

Tabel 4. Hasil Kalibrasi kedua

Frekuensi	Voltage	Arus	Daya
50.25	11.90	4.27	50.81
50.30	11.90	4.26	50.73
50.29	11.90	4.25	50.56
50.17	11.90	4.24	50.48
50.34	11.90	4.24	50.40
50.31	11.90	4.23	50.31
50.28	11.90	4.23	50.31

50.22	11.90	4.23	50.31
50.26	11.90	4.24	50.40
50.36	11.90	4.23	50.31

Pengukuran menggunakan arus menggunakan tang ampere untuk acuan pengkalibrasian sensor supaya akurat.



Gambar 12. Pengukuran menggunakan tang ampere



Gambar 14. Kondisi beban pada frekuensi 50 Hz

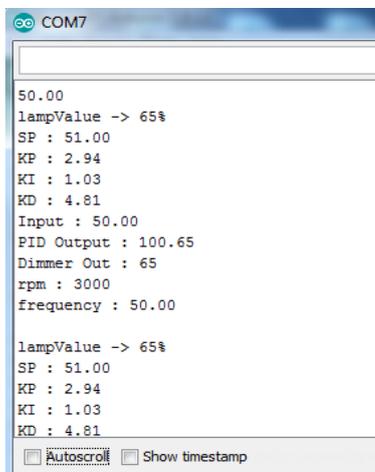
Yang terjadi saat frekuensi 50 Hz reaksi pada beban bayangan menyala 4 lampu, generator berputar pada putaran 3000 rpm.

E. Hasil Data Percobaan Alat

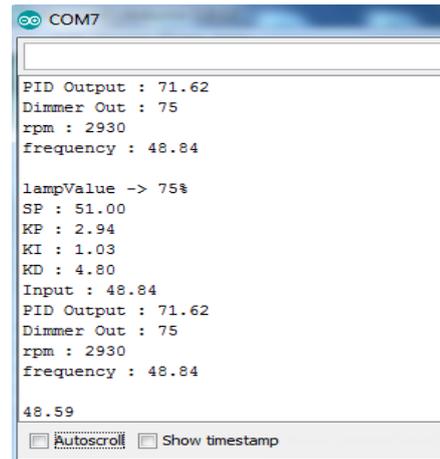
Tabel 5. Hasil data percobaan alat

Rpm	Volt	Freq	Freq Hitungan	Beban Bayangan	Beban Asli
3000	120 V	50.00 Hz	50.00 Hz	4 Nyala	Mati
2930	119 V	48.84 Hz	48,83333 Hz	4 Nyala	1 Nyala
3015	120 V	50.27 Hz	50,25 Hz	3 Nyala	1 Nyala
2941	119 V	49.02 Hz	49,01666 Hz	3 Nyala	2 Nyala
3039	120 V	50.65 Hz	50,65 Hz	2 Nyala	2 Nyala
2928	119 V	48.81 Hz	48,8 Hz	2 Nyala	3 Nyala
3022	120 V	50.38 Hz	50,36666 Hz	1 Nyala	3 Nyala
2920	119 V	48.67 Hz	48,66666 Hz	1 Nyala	4 Nyala
3032	120 V	50.53 Hz	50,53333 Hz	Mati	4 Nyala

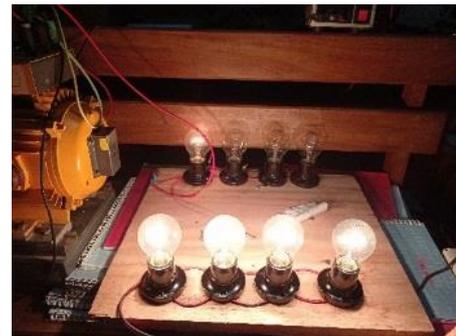
F. Hasil Serial Monitor Frekuensi pada Arduino



Gambar 13. Serial Monitor frekuensi 50 Hz

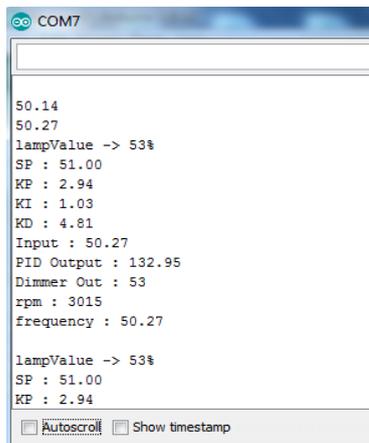


Gambar 15. Hasil serial monitor frekuensi 48 Hz



Gambar 16. Kondisi beban saat frekuensi 48 Hz

Yang terjadi saat frekuensi 48 Hz reaksi pada beban bayangan menyala 4 dan dikoneksikan dengan 1 lampu beban asli sehingga putara generator melambat akibat penambahan beban, akibatnya dari putaran generator yang melambat frekuensi juga menurun hingga 48 H, kemudian terdapat delay untuk mematikan beban bayangan untuk mengembalikan ke kondisi 50 Hz hasil dari delay tersebut ditampilkan pada gambar 18.

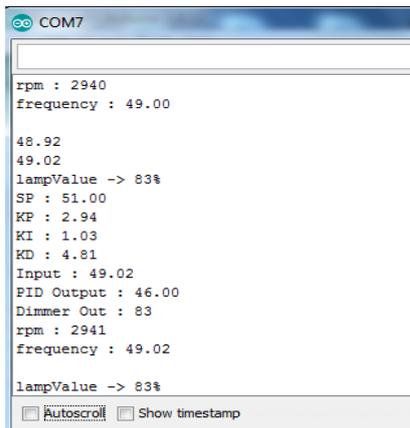


Gambar 19. Serial monitor frekuensi 50,27 Hz



Gambar 20. Kondisi beban saat frekuensi 50,27 Hz

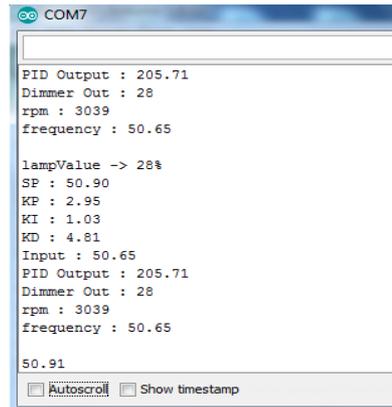
Hasil dari delay berikut mematikan salah satu beban bayangan untuk mengembalikan ke kondisi frekuensi 50 an sehingga di dapat dari perubahan beban berikut didapat frekuensi 50,27 Hz. Kondisi beban terdapat beban bayangan menyala 3 lampu dan beban asli menyala 1 lampu.



Gambar 21. Hasil serial monitor frekuensi 49,02 Hz

Akibat terjadinya penurunan frekuensi disini diakibatkan karena adanya penambahan koneksi pada beban asli sehingga generator mengalami pelambatan putaran dan frekuensinya juga ikut menurun hingga 49,02 Hz, Kondisi beban pada frekuensi 49,02 beban bayangan menyala 3 lampu dan beban asli menyala 2 lampu. Kemudian ada delay mematikan salah satu beban bayangan untuk mengembalikan

kekondisi frekuensi 50 Hz. Hasil reaksi dari delay ditampilkan pada gambar 22.

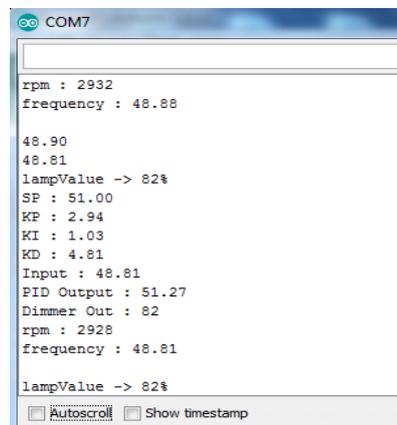


Gambar 22. Hasil serial monitor frekuensi 50,65 Hz



Gambar 23. Kondisi beban pada frekuensi 50,65 Hz

Hasil dari delay berikut mematikan salah satu beban bayangan untuk mengembalikan ke kondisi frekuensi 50 an sehingga di dapat dari perubahan beban berikut didapat frekuensi 50,65 Hz, Kondisi beban bayangan menyala 2 lampu dan beban asli menyala 2 lampu.

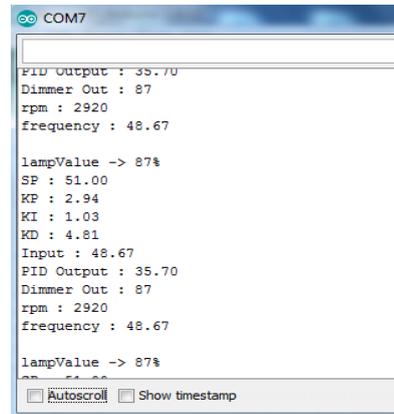


Gambar 24. Hasil Serial monitor frekuensi 48,81 Hz

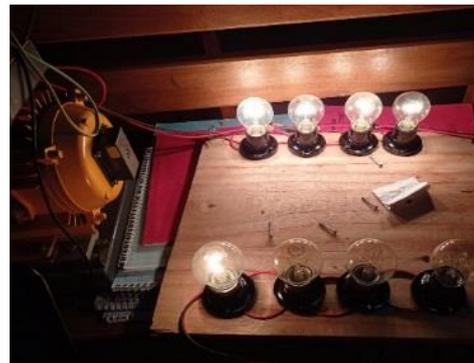


Gambar 25. Kondisi beban pada frekuensi 48,81 Hz

Akibat terjadinya penurunan frekuensi disini diakibatkan karena adanya penambahan koneksi pada beban asli sehingga generator mengalami pelambatan putaran dan frekuensinya juga ikut menurun hingga 48,81 Hz, Kondisi beban pada frekuensi 48,81 Hz beban bayangan menyala 2 lampu dan beban asli menyala 3 lampu. Kemudian ada delay mematikan salah satu beban bayangan untuk mengembalikan ke kondisi frekuensi 50 Hz. Hasil reaksi dari delay ditampilkan pada gambar 27.

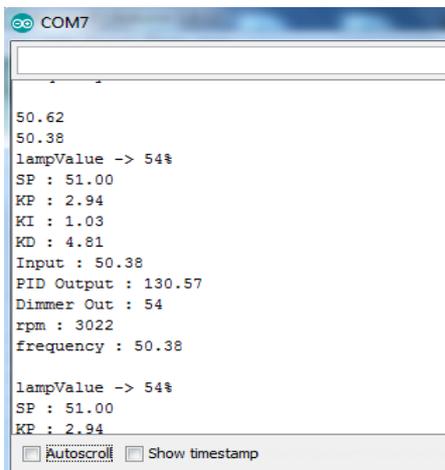


Gambar 28. Hasil serial monitor frekuensi 48,67 Hz



Gambar 29. Kondisi beban pada frekuensi 48,67 Hz

Akibat terjadinya penurunan frekuensi disini diakibatkan karena adanya penambahan koneksi pada beban asli sehingga generator mengalami pelambatan putaran dan frekuensinya juga ikut menurun hingga 48,67 Hz, Kondisi beban pada frekuensi 48,67 Hz beban bayangan menyala 1 lampu dan beban asli menyala 4 lampu. Kemudian ada delay mematikan salah satu beban bayangan untuk mengembalikan ke kondisi frekuensi 50 Hz. Hasil reaksi dari delay ditampilkan pada gambar 31.

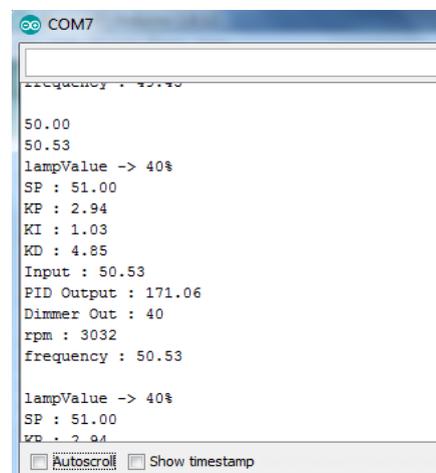


Gambar 26. Hasil serial monitor frekuensi 50,38 Hz



Gambar 27. kondisi beban pada frekuensi 50,38 Hz

Hasil dari delay berikut mematikan salah satu beban bayangan untuk mengembalikan ke kondisi frekuensi 50 an sehingga di dapat dari perubahan beban berikut didapat frekuensi 50,38 Hz, Kondisi beban bayangan menyala 1 lampu dan beban asli menyala 3 lampu.



Gambar 30. Hasil serial monitor frekuensi 50,53 Hz



Gambar 31. Kondisi beban pada frekuensi 50,53 Hz

Hasil dari delay berikut mematikan salah satu beban bayangan untuk mengembalikan ke kondisi frekuensi 50 an sehingga di dapat dari perubahan beban berikut didapat frekuensi 50,53 Hz, Kondisi beban bayangan mati dan beban asli menyala 4 lampu.

## V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan tahap perancangan, pengujian, dan analisa sistem. Maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perancangan perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) pengaturan frekuensi menggunakan mikrokontroler pada pembangkit PLTMH dapat digunakan dengan baik.
2. Saat pengujian apabila alat mendeteksi frekuensi rendah atau kurang dari 50 Hz maka lampu dimer meredup menyesuaikan kekurangan frekuensinya tetapi sebaliknya jika alat mendeteksi frekuensi lebih dari 50 Hz maka dimmer atau lampu semakin terang sesuai dengan lebihnya frekuensi. Dan jika frekuensi 50 Hz maka dimmer menyesuaikan redup terangnya beban lampu. Penggunaan mikrokontroler Arduino nano, memudahkan penggunaan baik secara pemrograman maupun perancangan perangkat keras.
3. Dengan adanya sistem pengontrol frekuensi otomatis pada PLTMH Pakissaji Malang, dapat mengatur frekuensi yang terjadi akibat adanya putaran yang fluktuatif terhadap debit air yang tidak bisa dikontrol.

### Saran

1. Perancangan alat diperlukan perangkat keras seperti mikrokontroler arduino, sensor, modul pwm, beban lampu, serta pembuatan skematik pembuatan alat
2. Perhatikan dalam pembuatan sketch program arduino untuk mengatur kinerja alat, kemudian diusahakan wiring dibuat serapi mungkin untuk mengurangi noise-noise yang masuk.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

[1] Ningsih, Ana. 2019. Kendali Penstabil Frekuensi Dan Tegangan Untuk Pembangkit Listrik Mikrohidro Menggunakan Beban Komplemen Dengan Pengendali Pid Dan Pwm. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Seminar Nasional ke – 9: Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi

[2] Wibowo, N. A., Dermawan, V., & Harisuseno, D. (2014). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PTMH) Wamena Di Kabupaten Jayawijaya Provinsi Papua.

[3] Nugroho, Dedi. 2017. Metode Sistem Kendali Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung. Banten. Setrum 6:2 (2017) 167-181

[4] Gyawali, Netra Pd. 2016. Universal Electronic Load Controller for Microhydro Power Plant. Tribhuvan University. Kathmandu, Nepal. 12th IEEE International Conference on Control & Automation (ICCA) Kathmandu, Nepal, June 1-3, 2016.

[5] Nugroho, Bayu Irawan (2020) Rancang Bangun Electronic Load Controller (Elc) Berbasis Anfis Sebagai Kontrol Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Mikrohidro (Pltmh) Di Desa Sanankerto Kecamatan Turen Kabupaten. Undergraduate (S1) thesis, Universitas Muhammadiyah Malang.

[6] Ali. Asad. 2020. Design and implementation of an electromechanical control system for micro-hydropower plants. CECOS University. Peshawar, Pakistan.

[7] Zulfatman Has, Alwan Zanuvar Rosyidi, Ilham Pakaya, Nur Alif Mardiyah, Nurhadi, Machmud Effendy, “Integrated Frequency Control of Microhydro Power Plant Based Flow Valve Control and Electronic Load Controller” 2018 IEEE Conference on System, Process and Control (ICSP 2018), 14-15 December 2018, Melaka, Malaysia.

[8] Raja Singh. R. 2018. Review and experimental illustrations of electronic load controller used in standalone Micro-Hydro generating plants. Karabuk University. India

[9] Saputra. Wahyu Rudiyan. 2016. Rancang Bangun Sistem Monitoring Gangguan Pada Gardu Listrik Menggunakan Arduino Dan Website. Universitas Tanjungpura. Pontianak. Jurnal Coding, Sistem Komputer Untan Volume 04, No.2 (2016), hal. 141-150.

[10] Wibowo. Budiman. 2019. Perancangan dan Realisasi Sistem Kendali Lampu, Air Conditioner Berbasis Android. Universitas Tarumanagara. Jakarta. T E S L A | VOL. 21 | NO. 1 | Maret 2019 |.

[11] Ratnasari. Resi. 2014. Koordinasi Proteksi Arester Pcb Dan Dioda Zener Dengan Elemen Dekopling Pada Peralatan Listrik. Universitas Brawijaya. Malang.

[12] Prayogo. Hadi. 2014. Prototipe Proteksi Arus Lebih Menggunakan Current Transformer Berbasis Mikrokontroler Atmega32. Universitas Lampung. Bandar Lampung.

[13] Muchtar. Husnibes. 2017. Implementasi Wavecom Dalam Monitoring Beban Listrik Berbasis Mikrokontroler. Universitas Muhammadiyah Jakarta. Jakarta. Volume 9 No.1 Januari 2017 Issn : 2085 – 1669 e-ISSN : 2460 – 0288.

- [14] Andriansah, Aji Krisna. 2020. Sistem Pengaturan Beban Generator Satu Fasa Secara Otomatis Berbasis Arduino Uno. Universitas Negeri Surabaya. Jurnal Teknik Elektro, Volume 09 Nomor 02 Tahun 2020, 339 – 346
- [15] Setiawan. David. 2017. Sistem Kontrol Motor Dc Menggunakan Pwm Arduino Berbasis Android System. Universitas Lancang Kuning. Jurnal Sains, Teknologi dan Industri, Vol. 15, No. 1, Desember 2017, pp.7 - 14 ISSN 1693-2390 print/ISSN 2407-0939 online.
- [16] Sobhan N (2016) *Automatic generation control and monitoring the mechanism of micro hydro power plant with impulse turbine and synchronous generator*. In: 2016 2nd international conference on robotics and artificial intelligence. ICRAI 2016, no November 2016, pp 175–179
- [17] ur Rehman U, Riaz M (2018) *Design and implementation of electronic load controller for small hydro power plants*. In: 2018 international conference on computing, mathematics and engineering technologies, pp 1–7
- [18] Elkadeem MR, Elaziz MA, Ullah Z, Wang S, Sharshir SW (2019) *Optimal planning of renewable energy-integrated distribution system considering uncertainties*. IEEE Access 10:1–22.