

Nama Rumpun Ilmu : Teknik Energi

**LAPORAN HASIL  
PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**



**RANCANG BANGUN PENGENDALI TEGANGAN DAN  
FREKUENSI PADA PLTMH**

**Dibiayai oleh DIPA Politeknik Negeri Ujung Pandang sesuai dengan Surat  
Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Penugasan  
Nomor: B/59/PL10.13/PT.01.05/2021, tanggal 3 Agustus 2021**

**TIM PELAKSANA**

**Marhatang, S.S.T., M.T. (NIDN : 0017117409)**

**Ir. Andareas Pangkung, M.T. (NIDN : 0028086204)**

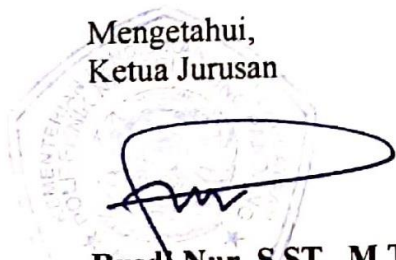
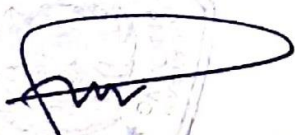
**JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
NOVEMBER 2021**

**HALAMAN PENGESAHAN  
PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**

Judul Penelitian : Rancang Bangun Pengendali Tegangan dan Dan Frekuensi PLTMH  
Kode / Nama Rumpun Ilmu : 443 / Teknik Energi  
Ketua Peneliti:  
a. Nama Lengkap : Marhatang, S.S.T., M.T.  
b. NIDN : 0017117409  
c. Jabatan Fungsional : Lektor  
d. Jurusan / Program Studi : Teknik Mesin / D3 Teknik Konversi Energi  
e. Nomor HP : 0821 8939 3981  
f. Alamat Surel (e-mail) : marhatang@poliupg.ac.id  
Anggota Peneliti (1):  
a. Nama Lengkap : Ir. Andareas Pangkung, M.T.  
b. NIDN : 0028086204  
c. Jurusan / Program Studi : Teknik Mesin / D4 Teknik Pembangkit Energi  
Mahasiswa:  
a. Nama / NIM : Andi Muh. Ilham N. / 342 18 003  
b. Nama / NIM : Rifa Dwia Ayanis / 342 18 025  
Lama Penelitian : 8 Bulan  
Biaya Penelitian : Rp. 6.450.000,-

Makassar, 26 Nopember 2021

Mengetahui,  
Ketua Jurusan



**Rusdi Nur, S.ST., M.T., Ph.D.**  
NIP. 197411062002121002

Ketua Peneliti,



**Marhatang, S.ST., M.T.**  
NIP. 197411172002121002

Menyetujui,  
Pembantu Direktur I PNUP



**Ahmad Zubai Sultan, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 197404231999031002

**Dr. Ir. Firman, M.T.**  
NIP. 196412311991031028

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Sampul</b> .....	i
<b>Halaman Pengesahan</b> .....	ii
<b>Daftar Isi</b> .....	iii
<b>Ringkasan</b> .....	v
<b>Bab I. Pendahuluan</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Khusus Penelitian .....	3
1.3. Urgensi (Keutamaan) Penelitian .....	3
1.4. Temuan / inovasi yang Ditargetkan .....	4
<b>Bab II. Tinjauan Pustaka</b>	
2.1. Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH) .....	5
2.2. Generator .....	6
2.3. Beban .....	7
2.4. Beban Komplemen .....	9
2.5. Kualitas Daya Listrik (Power Quality) .....	10
2.6. Penelitian Pendahuluan .....	11
2.7. Hasil Yang Telah Dicapai .....	11
2.8. Kesesuaian Rencana Penelitian Dengan Renstra Penelitian PNUP	12
2.9. Road Map Penelitian .....	14
2.9.1. Penelitian Yang Telah Dilakukan .....	14
2.9.2. Penelitian Yang Akan Dilakukan .....	15
2.9.3. Rencana Penelitian Ke Depan .....	15
<b>Bab III. Metode Penelitian</b>	16
3.1. Pelaksanaan Penelitian .....	16
3.1.1. Tempat Penelitian .....	16
3.1.2. Tahapan Penelitian .....	16
3.1.3. Tahap Pembuatan Sistem dan Alat Uji .....	18
3.1.4. Tahap Pengujian Kinerja .....	24
3.1.5. Tahap Analisis Data .....	26

3.1.6. Tahap Evaluasi Hasil Pengujian .....	27
3.2. Luaran penelitian dan Indikatornya .....	27
3.4. Diagram Alir Penelitian .....	28
<b>Bab IV. Hasil Dan Pembahasan</b>	
4.1. Hasil Penelitian .....	29
4.2. Pembahasan .....	31
<b>Bab V. Rencana Tahapan Berikutnya</b>	
5.1 Rencana Penelitian Selanjutnya .....	32
<b>Bab VI. Hasil Dan Pembahasan</b>	
6.1 Kesimpulan .....	33
6.2 Saran .....	33
<b>Daftar Pustaka.....</b>	<b>34</b>
<b>Lampiran.....</b>	<b>36</b>

## RINGKASAN

Tujuan jangka panjang dari penelitian ini adalah untuk memperoleh sistem pengendalian tegangan dan frekuensi pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro (pltmh) yang nantinya dapat digunakan dalam mendukung pemenuhan akan kebutuhan energi listrik pada daerah-daerah terpencil yang memiliki potensi energi air untuk penerapan pltmh.

Target khusus yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah membuat sistem pengaturan tegangan dan frekuensi generator untuk kebutuhan pltmh, dan melakukan analisis kinerja pengendalian tegangan dan frekuensi generator secara otomatis untuk kebutuhan penerapan pada pltmh.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental, dimana penelitian diawali dengan membuat sistem pengendalian tegangan dan frekuensi generator yang bekerja dengan system satu fasa dengan tegangan nominal 220 Volt dan frekuensi nominal 50 Hz. Sistem ini akan mendeteksi perubahan tegangan dan frekuensi generator sebagai akibat adanya fluktuasi beban konsumen. Perubahan tersebut direspon oleh electronic load controller (elc) yang dilengkapi dengan sensor tegangan dan frekuensi dengan menyalurkan sebagian daya generator tersebut ke beban komplemen (dummy load). Setelah system pengendalian tegangan dan frekuensi selesai dibuat, selanjutnya dilakukan pengujian dengan memberikan variasi pembebanan generator yang disesuaikan dengan kebutuhan beban konsumen pada masyarakat pengguna pltmh. Data yang diperoleh selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui kinerja optimal dari system pengendali tegangan dan frekuensi yang telah dibuat dalam merespon fluktuasi beban generator.

Hasil penelitian berupa desain alat pengendali tegangan dan frekuensi generator pada pltmh. Dari hasil pengujian, diperoleh bahwa sistem pengendali tegangan dan frekuensi yang telah dibuat mampu menjaga stabilitas tegangan generator pada range 192 - 210 Volt dan frekuensi generator pada range 49,64 – 50,22 Hz.

***Kata kunci : pengendalian, dummy load, pltmh, elc***

## **BAB I. PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Saat ini kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan pesatnya pembangunan diberbagai bidang. Pada akhir tahun 2018, rasio elektrifikasi mencapai 98,30% dibandingkan dengan tahun 2017 dimana rasio elektrifikasi mencapai 95,35%, rasio elektrifikasi di Indonesia naik 2,94%. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan dalam Statistik Ketenagalistrikan 2018 Edisi No. 32 Tahun Anggaran 2019 mengatakan, “Sampai dengan akhir tahun 2018 kapasitas terpasang pembangkit listrik di Indonesia mencapai 64.924,080 MW dibandingkan dengan tahun 2017 sebesar 62.202,94 MW, maka kapasitas terpasang pembangkit listrik naik sebesar 2.721 MW atau 4,38%”. Untuk mengantisipasi peningkatan kebutuhan tersebut, maka di Indonesia banyak dibangun pusat pembangkit, baik konvensional maupun yang menggunakan energi terbarukan. Jenis-jenis pembangkit yang telah dibangun, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU), dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD).

Disamping itu, perkembangan pembangkitan dibidang energi terbarukan juga meningkat. Berdasarkan data yang dipublikasikan oleh Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral secara nasional, terjadi kenaikan pembangunan pembangkit energi terbarukan. Pada tahun 2018, kapasitas pembangkit energi terbarukan mencapai 16.425,46 MW, dibandingkan dengan tahun 2014 sebesar 8.037,05 MW. Tahun 2014 jumlah persentase pembangkit dengan sumber energi terbarukan 15,94%, sedangkan pada tahun 2018 terjadi kenaikan 25,3%. Dibandingkan dengan pembangkit konvensional jumlah persentase pada tahun 2014 84,06%, sedangkan pada tahun 2018 terjadi penurunan 74,7%. Hal ini membuktikan setiap tahun terjadi peningkatan pembangunan pembangkit dengan sumber energi terbarukan, sedangkan pembangkit konvensional mengalami penurunan. Peningkatan pembangkit dengan sumber

energi terbarukan salah satu faktornya adalah karena bahan bakar fosil semakin berkurang.

Salah satu pembangkit dengan sumber energi terbarukan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). PLTMH memanfaatkan debit air yang memutar sudu-sudu turbin sehingga menggerakkan generator yang akan menghasilkan energi listrik. Listrik yang dihasilkan oleh generator akan langsung didistribusikan ke konsumen. Dalam proses pendistribusiannya, diharapkan tidak terjadi gangguan baik dari generator itu sendiri maupun beban yang dilayani. Kelangsungan pengoperasian generator tentunya membutuhkan perhatian khusus, tetap harus terjaga dari berbagai kemungkinan kerusakan. Gangguan yang terjadi pada generator dapat mengurangi performa atau kinerja generator tersebut untuk melayani beban secara optimal.

Salah satu jenis gangguan generator adalah permasalahan pada metode pembagian beban. Daya yang dilayani oleh generator tidak semuanya diserap oleh beban karena kebutuhan daya yang dibutuhkan oleh konsumen berubah-ubah. “Jika beban konsumen berubah, maka arus dari generator yang diserap oleh beban juga akan berubah” (Sujatno, 2012). Perubahan beban tersebut dapat mempengaruhi kondisi generator baik tegangan, putaran, dan frekuensi yang berdampak kurang optimalnya penyaluran daya hingga kerusakan terhadap beban dan generator.

Untuk mengantisipasi agar tidak terjadinya kerusakan pada peralatan utama pembangkit yang dalam hal ini adalah generator, tentunya harus dibuat suatu sistem pengontrolan. Pada sistem pengontrolan ini, direncanakan sistem beban buatan sehingga jika terjadi perubahan beban, frekuensi pada generator bisa konstan dengan cara mengalihkan kelebihan beban konsumen ke beban buatan. Sistem pengontrolan ini dapat memantau fluktuasi beban, baik dibeban konsumen maupun dibeban buatan dengan mengacu pada perubahan frekuensi. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 4 Tahun 2009 Tanggal 20 Februari 2009 menyatakan bahwa “Frekuensi nominal sistem adalah 50 Hz dan frekuensi normal mempunyai rentang antara 49,5 Hz sampai dengan 50,5 Hz”.

## **1.2. Tujuan Khusus Penelitian**

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengembangkan sistem kendali tegangan dan frekuensi pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).
2. Mengetahui sistem kendali tegangan dan frekuensi dalam merespon terjadinya perubahan beban pada PLTMH.
3. Mencegah terjadinya kerusakan peralatan elektronik dengan adanya sistem kendali tegangan dan frekuensi pada PLTMH.

Target khusus yang ingin dicapai adalah diperoleh sistem kendali tegangan dan frekuensi pada PLTMH yang memiliki kinerja optimum.

## **1.3. Urgensi (Keutamaan) Penelitian**

Pada sistem PLTMH, ketika pemakaian daya listrik masyarakat berkurang atau lebih kecil dari dari daya listrik yang dihasilkan oleh PLTMH, maka terjadi kenaikan tegangan dan frekuensi yang dapat mengakibatkan terjadi kerusakan pada peralatan elektronik yang digunakan masyarakat saat terjadi kenaikan tegangan dan frekuensi tersebut.

Cara yang umum digunakan dalam mengatasi kenaikan tegangan akibat daya listrik berlebih yang dihasilkan generator pada PLTMH adalah dengan membuat sistem kendali daya listrik keluar generator. Daya listrik berlebih yang dihasilkan generator oleh sistem kendali dialirkan ke pemanas (heater) sehingga tegangan keluaran generator tetap stabil pada 220 Volt, hal ini mampu mencegah terjadinya kerusakan generator pada PLTMH.

Sebagian besar PLTMH yang dibangun telah memiliki sistem kendali beban, akan tetapi masih ada yang belum memiliki sistem kendali beban. Disamping itu banyak terjadi kerusakan sistem kendali beban pada PLTMH dan hal ini sulit untuk diperbaiki karena terkendala karena harus menghubungi produsennya dimana membutuhkan biaya yang besar.

Sistem kendali yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah sistem kendali beban dengan pengendalian pada tegangan dan frekuensi keluar generator dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Dengan terkendalnya tegangan dan frekuensi yang menuju kerumah-rumah pengguna PLTMH maka



peralatan elektronik yang digunakan oleh masyarakat akan aman dari kerusakan, karena salah satu penyebab kerusakan peralatan elektrokik adalah tingginya tegangan dan frekuensi listrik. Dengan sistem kendali beban ini maka diharapkan juga umur penggunaan PLTMH akan semakin Panjang, sehingga dapat dinikmati oleh masyarakat dalam waktu yang sangat lama.

#### **1.4. Temuan / Inovasi yang Ditargetkan**

Hasil penelitian yang ditargetkan adalah akan diperoleh sistem kendali tegangan dan frekuensi pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Sistem kendali ini diharapkan memiliki kinerja optimum sehingga dapat membantu masyarakat terpencil yang masih menggunakan PLTMH dalam memenuhi kebutuhan energinya serta dapat mendorong masyarakat terpencil untuk yang belum teraliri listrik PLN untuk memenuhi kebutuhan listriknya membangun PLTMH dengan sistem kendali yang dikembangkan dalam penelitian ini.

Adapun rencana luaran adalah sebuah produk prototipe turbin angin savonius yang khusus digunakan pada kapal penangkap ikan, luaran lainnya adalah penelitian ini juga akan dipublikasikan di jurnal Sinergi atau Jurnal Intek atau mengikuti seminar nasional yang dilaksanakan di Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Penelitian ini sejalan dengan **renstra penelitian PNUP** yaitu pada isu strategis bidang **Energi** sejalan dengan isu prioritas yaitu **Energi Baru dan Terbarukan, Manajemen dan Konservasi Energi**.

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil ( $< 100$  kW) yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Tenaga air berasal dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik. Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Klasifikasi umum pembangkit listrik tenaga air dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

<b>Tipe</b>	<b>Kapasitas (kW)</b>
Mikro Hidro	$< 100$
Mini Hidro	101 – 2.000
Small Hidro	2.000 – 25.000
Large Hidro	$> 25.000$

(Sumber: Teacher Manual Diploma Hydro Power)

Potensi sumber daya air yang melimpah di Indonesia karena banyak terdapat hutan hujan tropis membuat kita harus bisa mengembangkan potensi ini, karena air adalah sebagai sumber energi yang dapat terbarukan dan ramah lingkungan. Bila hal ini dapat terus dieksplorasi, konversi air menjadi energi listrik sangat menguntungkan bagi negeri ini.

Potensi pengembangan PLTMH di Indonesia juga masih sangat terbuka. Dari seluruh 75.000 MW potensi kelistrikan tenaga air, 10 persen, atau 7.500 MW bisa digunakan untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Saat ini, yang baru dimanfaatkan baru sebesar 60 MW.

Selain potensinya yang masih sangat terbuka, PLTMH juga bisa salah satu alternatif solusi pemecahan masalah ketersediaan tenaga listrik di daerah-daerah

terpencil yang sulit di jangkau jaringan distribusi dari PLN karena PLTMH langsung menyalurkan energi listrik yang dibangkitkan ke konsumen tanpa melalui jaringan distribusi. Di samping itu PLTMH juga memiliki beberapa keuntungan antara lain:

1. Dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis yang lain, PLTMH ini cukup murah karena menggunakan energi alam.
2. Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan, seperti tampak pada Gambar 1.
3. Tidak menimbulkan pencemaran.
4. Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi.
5. Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.



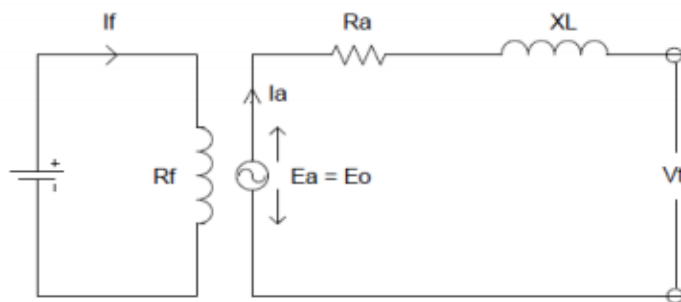
Gambar 1. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (listrikindonesia.com)

## 2.2. Generator

Generator adalah komponen yang paling penting dalam suatu sistem pembangkitan. Arifai, dan Muhammad Hadi Satria (2017:9) menyatakan “Generator berfungsi untuk mengubah energi gerak menjadi energi listrik yang siap dikirimkan ke pusat beban”. Energi mekanik yang dihasilkan oleh poros turbin melalui sudu-sudu turbin yang digerakkan oleh sumber energi dengan putaran

tertentu akan memutar generator yang seporos dengannya, sehingga energi listrik dapat dihasilkan.

Ada tiga variabel utama generator sehingga dapat menghasilkan listrik, yaitu magnet, kumparan/penghantar dan gerakan. Prinsip kerja generator adalah aplikasi dari hukum Faraday, yaitu apabila ada konduktor/penghantar yang digerakkan disekitar medan magnet maka akan menimbulkan ggl pada konduktor tersebut.



Gambar 2. Rangkaian ekivalen generator sinkron

Generator yang biasa digunakan pada sistem pembangkitan listrik adalah generator sinkron. Pada generator sinkron frekuensi dan tegangan yang dihasilkan sesuai dengan kecepatan putarnya. Hubungan tersebut dapat ditentukan dengan persamaan (1):

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan: n = kecepatan rotor (rpm)

f = frekuensi tegangan (Hz)

P = jumlah kutub

Berdasarkan rumus pada persamaan (1), terlihat bahwa “Frekuensi yang dihasilkan generator sinkron sangat dipengaruhi oleh kecepatan putar rotor dan jumlah kutub magnet pada generator. Jika beban generator berubah, akan mempengaruhi kecepatan rotor generator. Perubahan kecepatan rotor ini secara langsung akan mempengaruhi frekuensi yang dihasilkan generator” (Andi, 2015)

### 2.3. Beban

Generator sebagai mesin yang menghasilkan listrik, diharapkan mampu melayani beban. Ada tiga macam sifat beban generator, yaitu: beban resistif, beban

induktif, dan beban kapasitif. Akibat pembebanan ini akan berpengaruh terhadap tegangan beban dan faktor dayanya.

### 2.3.1. Beban resistif

Beban resistif adalah beban yang diakibatkan oleh peralatan listrik dengan sifat resistif murni, sehingga beban tersebut tidak mengakibatkan pergeseran fasa arus maupun tegangan listrik (*unity*). Beban resistif hanya menyerap daya aktif. Contoh peralatan listrik yang menggunakan beban resistif adalah lampu pijar, dan alat pemanas. Secara matematis dinyatakan:

$$P = VI \dots\dots\dots(2)$$

Dengan: P = daya aktif yang diserap beban (watt)

V = tegangan (volt)

I = arus yang mengalir pada beban (A)

### 2.3.2. Beban Induktif

Beban induktif adalah beban yang menyerap daya aktif dan daya reaktif dengan faktor daya *lagging* terjadi saat tegangan mendahului arus. Beban induktif dihasilkan dari komponen listrik yang berupa belitan, seperti motor listrik, kipas angin, dan sebagainya. Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut:

$$P = VI \cos \varphi \dots\dots\dots(3)$$

Dengan: P = daya aktif yang diserap beban (watt)

V = tegangan (Volt)

I = arus yang mengalir pada beban (A)

$\varphi$  = sudut antar arus dan tegangan

Untuk menghitung besarnya reaktansi induktif ( $X_L$ ), dapat menggunakan rumus:

$$X_L = 2\pi fL \dots\dots\dots(4)$$

Dengan:  $X_L$  = reaktansi induktif

f = frekuensi ( Hz)

L = induktansi (H)

## **BAB III. METODE PENELITIAN**

### **3.1. Pelaksanaan Penelitian**

Penelitian akan dilakukan dengan metode desain dan eksperimental yang akan ditekankan pada rancang bangun, pengujian, dan analisis data serta evaluasi.

Penelitian akan dilakukan secara bertahap, yaitu dimulai dengan tahap pembuatan sistem dan alat uji, dilanjutkan dengan tahap pengujian kinerja, setelah itu dilakukan tahap analisa data dan diakhiri dengan tahap evaluasi hasil.

#### **3.1.1. Tempat Penelitian**

Pelaksanaan penelitian berupa rancang bangun alat uji berupa pengendali tegangan dan frekuensi PLTMH akan dilaksanakan di Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang pada laboratorium Instrumentasi dan Kontrol, laboratorium Energi Alternatif, serta bengkel mekanik dan Bengkel Listrik.

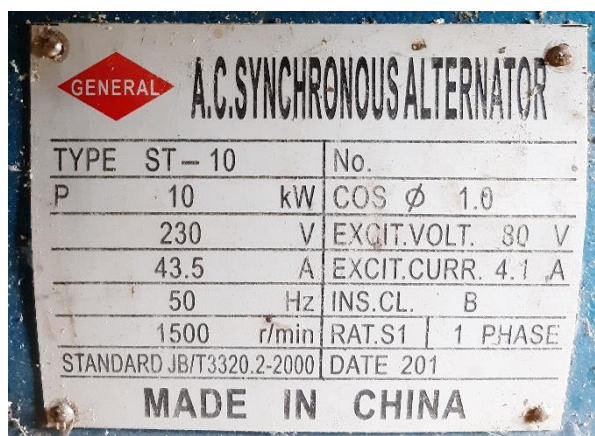
#### **3.1.2. Tahapan Penelitian**

Penelitian akan dilakukan secara bertahap, yaitu dimulai dengan tahap pembuatan sistem dan alat uji, dilanjutkan dengan pengujian kinerja, setelah itu dilakukan tahap analisis data, dan diakhiri dengan tahap evaluasi hasil.

#### **3.1.3. Tahap Pembuatan Sistem dan Alat Uji**

Pembuatan sistem dan alat uji dilakukan untuk menjamin berlangsungnya tahap selanjutnya yang sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian yang akan dilakukan.

##### **3.1.3.1. Alat dan Bahan**



Gambar 3. Spesifikasi generator pada PLTMH Pallawa Bone

Pembuatan alat ini sesuai dengan spesifikasi generator yang terdapat pada PLTMH Pallawa Bone dapat dilihat pada gambar 3.

Berikut alat dan bahan yang digunakan pada pembuatan *electronic load control* (ELC):

Tabel 2. Alat yang digunakan

No.	Nama Alat	Spesifikasi
1.	Elemen Heater	Ukuran diameter 8 mm x 400 mm, 230 V 1000 Watt
2.	Motor (sebagai penggerak mula)	3 phase asinkron motor, Rated voltage: 220/380 V, Rated speed: 2840 G/1
3.	Generator	AC synchronous generator, 3 KW, 230V, 13 A, 50 Hz
4.	Regulator	Takayoshi slide regulator, Input 380V, output 0-450V 3 fasa, 50/60 Hz
5.	<i>Volt Meter</i>	Range Voltage: 1. 0 - 500 V, 2. 0 - 300 V, Size: 100 x 100
6.	Amperemeter	size: 100 x 100, range ampere: 0-200 A
7.	<i>Frequency meter</i>	Model digital/LED, Ukuran: 72 x 72, Range: 45 - 55 Hz

Tabel 3. Bahan yang digunakan

No.	Nama	Spesifikasi
1.	<i>Arduino Nano</i>	Serial COM IC: ATmega 16U2, Mainboard: MEGA328P, DC Input: 5 V
2.	<i>Diode bridge</i>	Dioda Bridge 10A 1000V segi, KBPC1010 Dioda Bridge 10A 1000V segi
3.	Dioda triac	BT139 TRIAC 600V Gate Trigger 1.3V 100mA 3-Pin BD81
4.	MCB	MCB 1 Phase 6 Ampere, MCB 1 Phase 2 x 50 Ampere
5.	Papan PCB	
6.	Pin header	1 x 40 pendek (female)
7.	Timah	0.8 mm

8.	Kabel	0.75 mm, 1.5 mm, 2.5 mm, dan 6 mm
9.	Optocoupler	MOC3031, 4N25, TLP621
10.	Resistor	220 Ohm, 330 Ohm, 470 Ohm, 10 kilo Ohm, 47 kilo Ohm
11.	Indikator	LED hijau 3 mm, Lampu pilot merah dan hijau
12.	Potensiometer	10k
13.	LCD	16 x 2
14.	Saklar	4 A, 125 V

### 3.1.3.2. Prosedur Perancangan Alat Uji

Pada tahap perancangan alat ini, penulis mulai merancang perangkat keras atau *hardware* hingga memprogram perangkat lunak atau software yang akan dilakukan pada skripsi tugas akhir ini. Perangkat keras yang dibuat terdiri dari sensor frekuensi, rangkaian switching TRIAC, *circuit breaker*, LCD, dan beberapa alat ukur untuk melihat parameter terukur yang terpasang pada panel ELC. Pada perancangan alat ini juga digunakan mikrokontroler Arduino Nano sebagai kontrol sistem dan pemrosesan data dari pembacaan nilai sensor frekuensi dan rangkaian zero crossing detector dan selanjutnya akan diproses oleh mikrokontroler untuk *output* rangkaian switching TRIAC untuk menentukan tegangan yang akan dialirkan pada beban komplemen. Hasil pembacaan frekuensi oleh mikrokontroler akan ditampilkan di LCD yang terletak pada panel ELC.

### 3.1.3.3. Pemilihan Komponen Alat Uji

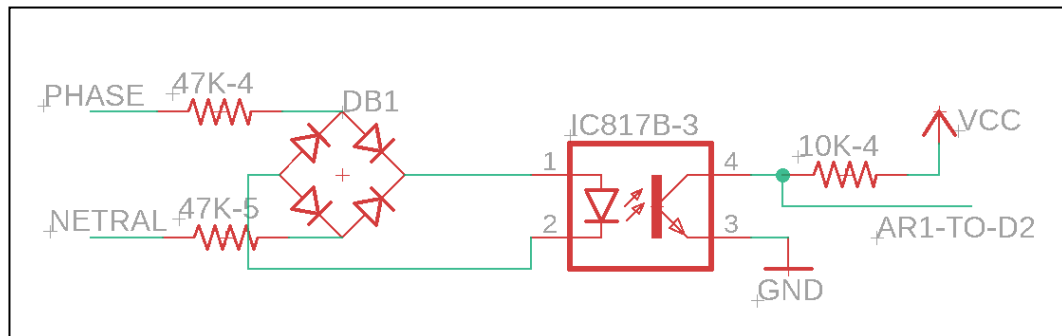
Pada tahap perancangan, pemilihan komponen sangat penting untuk dilakukan agar pada akhirnya diperoleh hasil yang diharapkan dari peralatan yang dibuat sehingga peralatan dapat beroperasi dengan baik.

Untuk memenuhi syarat agar ELC dapat beroperasi dengan baik, maka dipilihlah komponen-komponen yang sesuai dengan spesifikasi generator yang telah tersedia. Selain itu, komponen yang dipilih disesuaikan juga dengan ketersediaan dipasaran agar tidak menyulitkan penyelesaian pembuatan ELC.

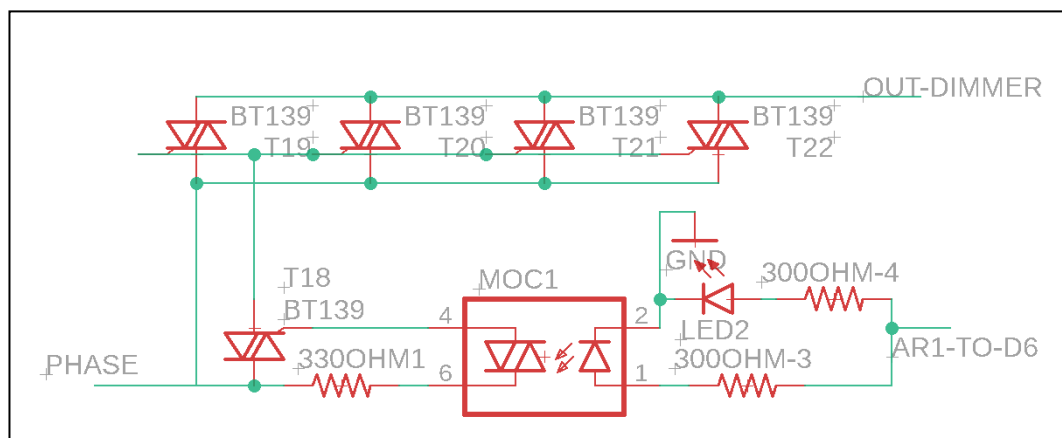
Dalam rancang bangun “Perencanaan Sistem ELC (*Electronic Load Controller*) Pada Generator” menggunakan TRIAC sebagai switching elektronik untuk mengatur besar tegangan yang mengalir ke beban komplemen, adapun komponen-komponen penting dalam menunjang sistem kerja pada ELC ini antara lain optocoupler dengan system zero crossing gelombang penuh untuk menentukan



bridge, lalu masuk ke tahap selanjutnya menggunakan komponen optocoupler sebagai komponen komparator, dengan prinsip kerja mendeteksi titik nol gelombang sinusoidal pada saat peralihan siklus positif menuju siklus negatif dan sebaliknya pada saat siklus positif menuju siklus negatif. Lalu selanjutnya masuk pada input mikrokontroler arduino.



Gambar 10. Rangkaian Zero Crossing

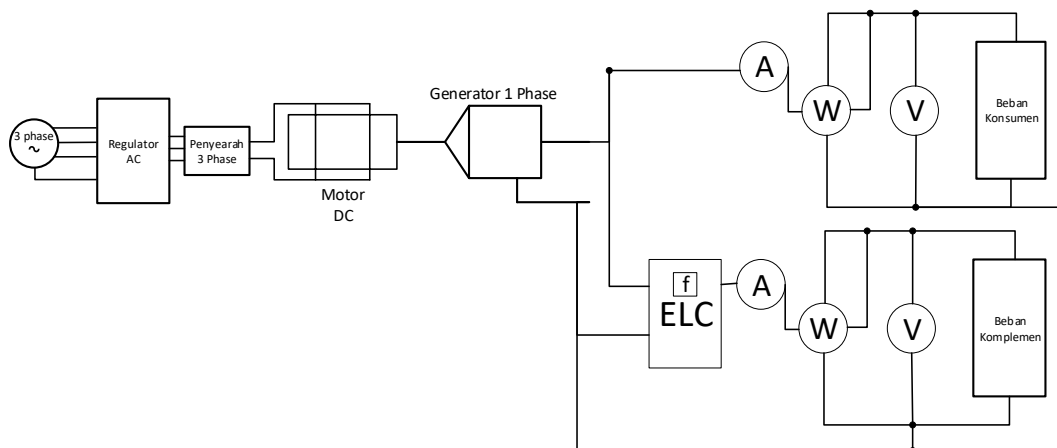


Gambar 11. Dimmer Pin 6

### 3.1.4. Tahap Pengujian Kinerja

Setelah tahap pembuatan sistem dan alat uji, maka akan dilanjutkan dengan tahap pengujian. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian yang akan dilakukan adalah studi literatur dan studi lapangan. Studi literatur dimaksudkan untuk memperoleh data dan sumber yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan sebagai penkonstan frekuensi pada PLTMH. Data-data tersebut diperoleh dari buku, internet dan jurnal.

5. Frekuensi yang dihasilkan oleh generator
  6. Daya konsumen dan daya beban komplemen
- c. Prosedur pengujian
1. Memastikan kontroler dan semua MCB dalam keadaan OFF, potensiometer dalam posisi minimum dan saklar auto dalam kondisi on.
  2. Memutar generator hingga mencapai tegangan 220-230V.
  3. Menyalakan kontroler dengan mengaktifkan saklar power ke posisi ON.
  4. Atur putaran generator hingga frekuensi mencapai 55 Hz.
  5. Mengaktifkan MCB beban komplemen, tunggu hingga nilai dim pada LCD menunjukkan angka 85 dengan tetap menaikkan putaran generator apabila terjadi penurunan nilai frekuensi dibawah 50 Hz.
  6. Setelah langkah ke-5 terpenuhi, aktifkan MCB beban konsumen.
  7. Langkah selanjutnya adalah memberikan beban konsumen untuk melihat kinerja dari ELC. Beban yang akan diberikan yaitu lampu untuk melihat perubahan frekuensi generator pada setiap beban yang diberikan.
  8. Pengambilan data



Gambar 12. Skema Pengujian

### 3.1.5. Tahap Analisis Data

Setelah melakukan pengujian, dilakukan pengumpulan data dari hasil pengujian. Adapun data pertama yang diperoleh adalah tegangan, arus, frekuensi dan putaran generator pada saat sebelum dihubungkan dengan sistem pengendali tegangan dan frekuensi pada PLTMH. Selanjutnya, data kedua yang diperoleh sama

dengan data pertama tetapi generator telah terhubung dengan sistem pengendali tegangan dan frekuensi pada PLTMH. Selanjutnya data yang sama diperoleh pada generator yang telah terhubung dengan sistem pengendali tegangan dan frekuensi pada PLTMH dengan pemberian beban yang bervariasi.

Hal ini dilakukan untuk mengetahui performa dari sistem electronic load control yang dilengkapi dengan dummy load sebagai beban pengganti (heater) yang akan diterapkan dalam sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

### **3.1.6. Tahap Evaluasi Hasil Pengujian**

Tahap evaluasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kinerja dari sistem pengendali tegangan dan frekuensi pada PLTMH, kinerja sistem dalam hal ini berupa respon sistem terhadap perubahan beban, respon sistem ini diharapkan dapat mengatur beban dan dapat berlangsung secara singkat, sehingga dapat menjaga keamanan peralatan elektronik dari adanya beban lebih.

Kinerja dari sistem pengendali tegangan dan frekuensi pada PLTMH akan diamati mulai dari ketika PLTMH tidak berbeban dan ketika PLTMH berbeban dengan berbagai variasi dan kondisi pembebanan.

### **3.3. Luaran penelitian dan Indikatornya**

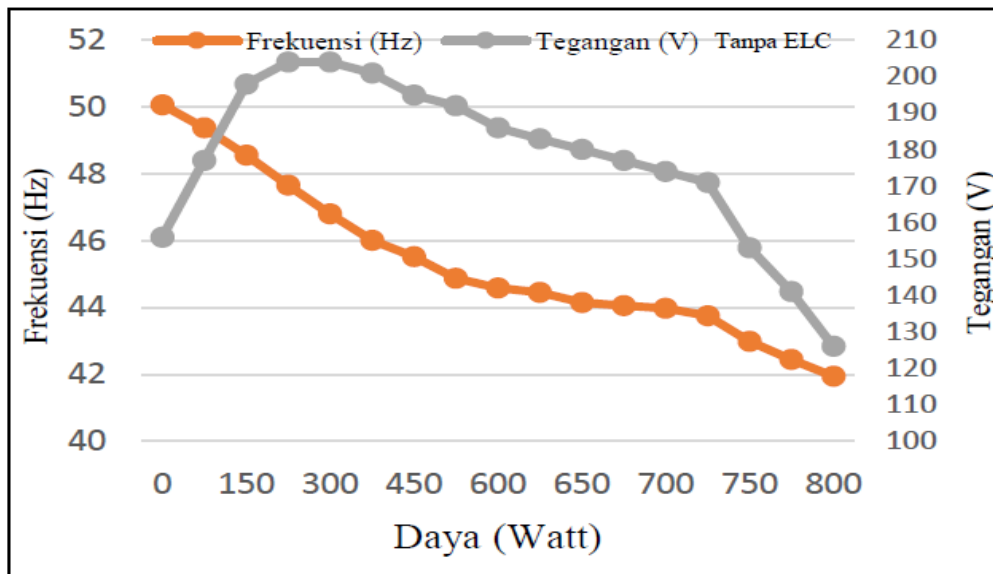
Luaran penelitian yang akan dihasilkan setelah dievaluasi kinerjanya maka dilaporkan hasilnya untuk jadi literatur penelitian berikutnya. Untuk mengetahui keberhasilan penelitian diperlukan indikator capaian adapun indikator capaian dari penelitian ini adalah:

1. Produk teknologi : Sistem dan alat pengendali tegangan dan frekuensi pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)
2. HKI : -
3. Publikasi ilmiah : Jurnal jurnal Intek atau jurnal Sinergi atau ikut seminar nasional yang dilaksanakan P3M PNUP untuk diterbitkan diprosiding penelitian.

## BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

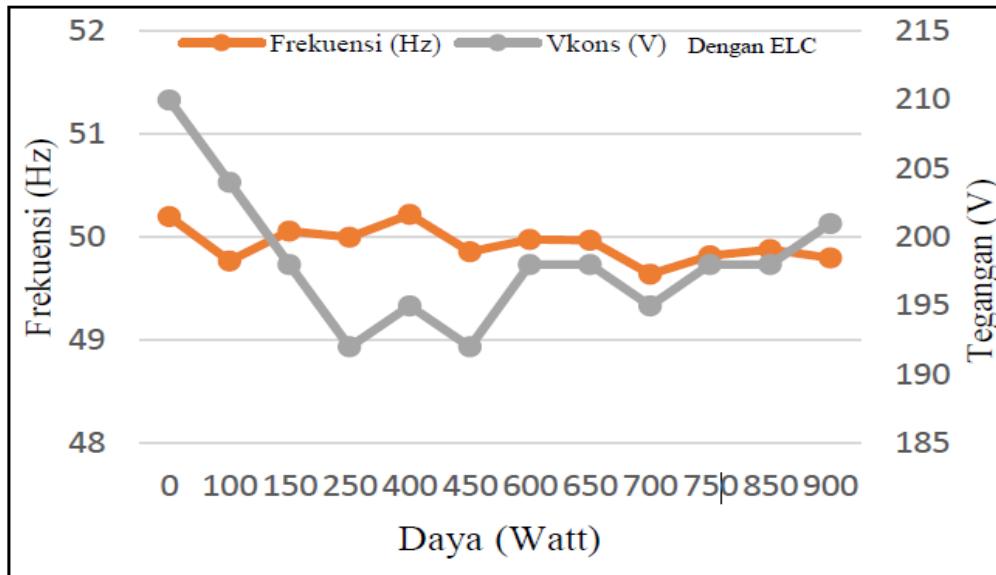
### 4.1. Hasil Penelitian

Gambar 14 menunjukkan hubungan antara tegangan dan frekuensi generator sebagai fungsi beban tanpa menggunakan pengendali tegangan dan frekuensi (electronic load controller, ELC). Pada grafik tersebut terlihat tegangan dan frekuensi generator mengalami fluktuasi yang sangat besar akibat adanya peningkatan pembebanan, tegangan tertinggi 204 Volt dan terendah 126 Volt dan frekuensi dengan nilai tertinggi 50,07 Hz dan terendah 42,5 Hz.



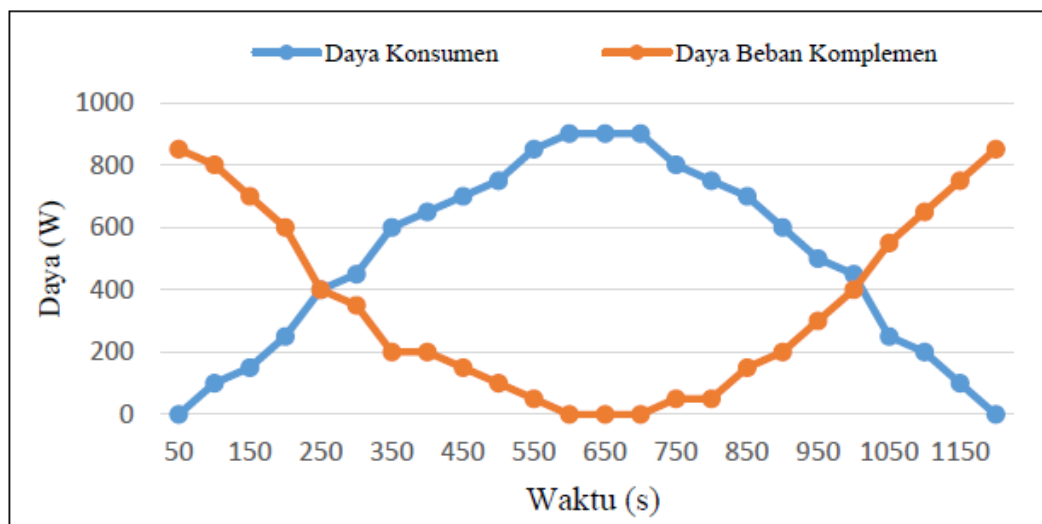
Gambar 14. Grafik hubungan tegangan dan frekuensi sebagai fungsi daya tanpa ELC

Gambar 15 menunjukkan hubungan antara tegangan dan frekuensi sebagai beban generator dengan menggunakan ELC. Pada gambar ini terlihat grafik hubungan tegangan dan frekuensi generator sebagai fungsi beban cenderung konstan, yaitu tegangan dengan nilai tertinggi sebesar 210 Volt dan terendah sebesar 192 Volt, sedangkan frekuensi dengan nilai tertinggi sebesar 50,22 Hz sampai 49,64 Hz.



Gambar 15. Grafik hubungan tegangan dan frekuensi sebagai fungsi beban generator dengan menggunakan ELC.

Gambar 16 menunjukkan respon ELC dalam mengendalikan beban komplemen (dummy load) akibat adanya perubahan daya konsumen. Pada gambar tersebut terlihat pada saat beban konsumen berkurang maka beban komplemen akan bertambah begitu pula sebaliknya.



Gambar 16. Grafik respon pengendalian daya beban komplemen oleh ELC akibat terjadinya perubahan beban pada konsumen

## 4.2 Pembahasan

Gambar 14 menunjukkan grafik hubungan tegangan dan frekuensi generator sebagai fungsi beban tanpa pengendalian dengan ELC. Pada grafik tersebut terlihat bahwa tegangan dan frekuensi generator cenderung menurun seiring dengan adanya peningkatan pembebanan pada konsumen. Ini merupakan sifat alamiah generator, dimana jika beban meningkat maka tegangan dan frekuensi akan mengalami penurunan.

Gambar 15 menunjukkan hubungan tegangan dan frekuensi generator sebagai fungsi beban dengan pengendalian ELC. Pada grafik tersebut terlihat bahwa ketika walaupun terjadi peningkatan pada beban konsumen, tegangan dan frekuensi generator cenderung stabil pada range 192 – 210 Volt dan frekuensi pada range 49.64 – 50.22 Hz. Range pengendalian tegangan mendekati standar yang ditetapkan yaitu 198 – 230 Volt, jadi masih ada selisih sekitar 6 Volt pada batas bawah. Sedangkan pengendalian frekuensi memenuhi standar yang ditetapkan yaitu 49.5 – 50.5 Hz.

Gambar 16 menunjukkan respon pengendalian daya beban komplemen oleh ELC akibat terjadinya perubahan beban pada konsumen. Pada gambar tersebut terlihat bahwa ELC mampu memberikan respon pengendalian beban komplemen yang sangat baik. Respon ELC disini yaitu jika beban konsumen berkurang maka beban komplemen akan bertambah secara otomatis sesuai kebutuhan dan begitu pula sebaliknya jika beban konsumen meningkat, maka beban komplemen akan berkurang.

## **BAB V. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA**

### **5.1 Rencana Penelitian Selanjutnya**

Penelitian ini merupakan penelitian mono tahun. Sehingga penelitian usulan penelitian selanjutnya harus dilakukan dengan memasukkan proposal baru. Adapun rencana penelitian kedepan yang merupakan lanjutan dari penelitian ini adalah dengan melakukan penelitian untuk memanfaatkan beban komplemen yang terbuang secara percuma, menjadi suatu sumber energi yang bisa digunakan untuk mengantisipasi kebutuhan beban puncak di malam hari.

## **BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan pembahasan hasil-hasil penelitian, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Diperoleh hasil desain alat pengendali tegangan dan frekuensi yang disebut electronic load controller (ELC)
- 2) ELC bekerja dengan sangat baik dalam menjaga stabilitas frekuensi generator pada range 49.64 – 50.22 Hz, dimana nilai sesuai dengan standar batas power quality yaitu 49.5 – 50.5 Hz.
- 3) ELC bekerja cukup baik dalam menjaga stabilitas tegangan generator pada range 192 – 210 Volt, dimana nilai mendekati standar batas power quality yaitu 198 – 230 Volt.
- 4) ELC bekerja sangat baik mengendalikan beban komplemen sebagai respon atas perubahan pada beban konsumen.

### **6.2. Saran**

Adapun saran untuk penelitian ke depan agar dikembangkan ELC untuk sistem pltmh berdaya besar (kisaran 10 – 100 kW) dan pemanfaatan energi yang terbuang pada beban komplemen agar dapat digunakan pada saat beban puncak yang terjadi pada malam hari.



## DAFTAR PUSTAKA

- Rimbawati, R., Cholish, C., Saputro, E., & Harahap, P. (2021). Perancangan Sistem Kontrol Penstabil Tegangan Menggunakan PLC M221 Pada PLTMH Bintang Asih. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 62-70.
- Ulum, M., Ibadillah, A. F., & Rahmawati, D. (2015). Desain Pengatur Beban Elektronik Menggunakan Kontrol Sudut Penyalaan (Firing Angle) Pada Generator Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). *Rekayasa*, 8(2), 109.
- Mahmud, S., & Sampebatu, L. (2020). Perancangan Beban Komplemen pada PLTMH 1000 Watt. *Widya Teknik*, 19(1), 1-9.
- Raikhani, A., Ali, M., & Ajiatmo, D. (2016). Desain Optimal Automatic Voltage Regulator Pada Pembangkit Listrik Mikro Hidro Menggunakan Fuzzy Logic Controller. *Jurnal Intake: Jurnal Penelitian Ilmu Teknik dan Terapan*, 7(1), 30-39.
- Setyo W, E., Rif'an, M., & Utomo, T. (2014). Perancangan Electronic Load Controller (Elc) Sebagai Penstabil Frekuensi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh). *Jurnal Mahasiswa TEUB*, 2(5).
- Angraini, T., & Ikhsan, M. (2015, November). Pengendalian Beban Generator Otomatis Berbasis PLC dan SCADA dengan Mempertimbangkan Arus pada Konsumen. In *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar (Vol. 6, pp. 25-31)*.
- Kementeriasn ESDM. (2021). Capaian Kinerja Ketenagalistrikan 2020, Rasio Elektrifikasi Capai 99,20%. Siaran Pers, Nomor: 014.Pers/04/SJI/2021, Tanggal: 13 Januari 2021. Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- Susila, I. M. A. D., & Pribadi, D. R. (2014). Analisis Konsumsi Listrik dan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) di Indonesia; Analysis of Electricity Consumption and Human Development Index (HDI) in Indonesia. *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*, 13(1), 61-68.
- Farhandianto, M. R. E., Kaloko, B. S., & Setiawan, D. K. (2017). Rancang Bangun Pengaturan Katup Aliran Debit Air (Water Flow Control) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berbasis Fuzzy Logic Control. *Jurnal Arus Elektro Indonesia*, 3(1), 25-30.
- Ali, M. (2017). Desain Pengaturan Governor Menggunakan Proportional Integral Derivative (PID) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Berbasis Particle Swarm Optimization (PSO). *Jurnal Intake: Jurnal Penelitian Ilmu Teknik dan Terapan*, 8(1), 23-37.

Lampiran 4. Sertifikat Pemakalah Seminar Nasional SNP2M 2021

