

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO  
(PLTPH) MENGGUNAKAN MOTOR DC DENGAN KENDALI PID  
DALAM MENJAGA STABILITAS TEGANGAN KELUARAN**

**(Skripsi)**

**Oleh :**

**SAKA ARIF AULIA**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO (PLTPH) MENGGUNAKAN MOTOR DC DENGAN KENDALI PID DALAM MENJAGA STABILITAS TEGANGAN KELUARAN

Oleh:

SAKA ARIF AULIA

Krisis energi menjadi salah satu isu global yang terjadi, mengingat peningkatan pertumbuhan dan populasi manusia sedangkan cadangan batu bara dan minyak bumi yang semakin menipis. Untuk mengatasi permasalahan itu adalah beralih ke energi terbarukan, salah satunya adalah air yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga air. Di tempat-tempat yang memiliki aliran air sungai yang kecil dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit listrik tenaga pikohidro (pltp), namun dalam penerapannya pltp memiliki masalah terhadap stabilitas tegangan keluaran dari generator DC yang dipakai, akibat fluktuasi debit air. Ketidakstabilan tegangan keluaran generator akibat fluktuasi debit air dapat diatasi dengan menggunakan metode Kontrol PID. Setelah *control* pid diterapkan pada pembangkit listrik tenaga pikohidro ini saat *set-point* sebesar 12 V, nilai  $K_p = 0.04326$ ,  $K_i = 0.04326$ , dan  $K_d = 0.010815$  yang didapati dengan penalaan Ziegler-Nichols metode osilasi nilai rata-rata sistem dari semua pengujian memiliki *rise time* selama 2.81 detik, *settling time* selama 5.49 detik, *maximum overshoot* sebesar 4.91 %, dan *error steady state* sebesar 0.64 %. Dengan respon sistem terhadap perubahan beban berubah-ubah seiring meningkatnya beban, semakin besar beban maka semakin lama sistem untuk menjaga kestabilan tegangan.

Kata Kunci : pembangkit listrik tenaga pikohidro, generator dc, kontrol pid

## **ABSTRACT**

### **DESIGN OF A PICOHYDRO POWER PLANT USING A DC MOTOR WITH PID CONTROL IN MAINTAINING OUTPUT VOLTAGE STABILITY**

**By:**

**SAKA ARIF AULIA**

*The energy crisis is becoming one of the global issues, given the increase in human growth and population, while coal and petroleum reserves are depleting. To solve the problem is to switch to renewable energy, one of which is water that can be utilized as a water power plant. In places that have small river water flow can be utilized as a source of picohydro power plants, but in its application pltph has a problem with the stability of the output voltage of the DC generator used, due to fluctuations in water discharge. The instability of the generator output voltage due to fluctuations in water discharge can be overcome by using the PID Control method. After pid control is applied to this picohydro power plants, when the set-point is 12 V, the value of  $K_p = 0.04326$ ,  $K_i = 0.04326$ , and  $K_d = 0.010815$  which is obtained by tuning the Ziegler-Nichols oscillation method, the average value of the system from all tests has a rise time of 2.81 seconds, settling time of 5.49 seconds, maximum overshoot of 4.91%, and steady state error of 0.64%. With the system response to load changes changing as the load increases, the greater the load, the longer the system takes to maintain voltage stability.*

*Keyword : picohydro power plant, dc generator, pid control*

**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO  
(PLTPH) MENGGUNAKAN MOTOR DC DENGAN KENDALI PID  
DALAM MENJAGA STABILITAS TEGANGAN KELUARAN  
(Skripsi)**

Oleh :

**SAKA ARIF AULIA**

Sebagai salah satu syarat mendapat gelar

**SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro**

**Fakultas Teknik**

**Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2024**

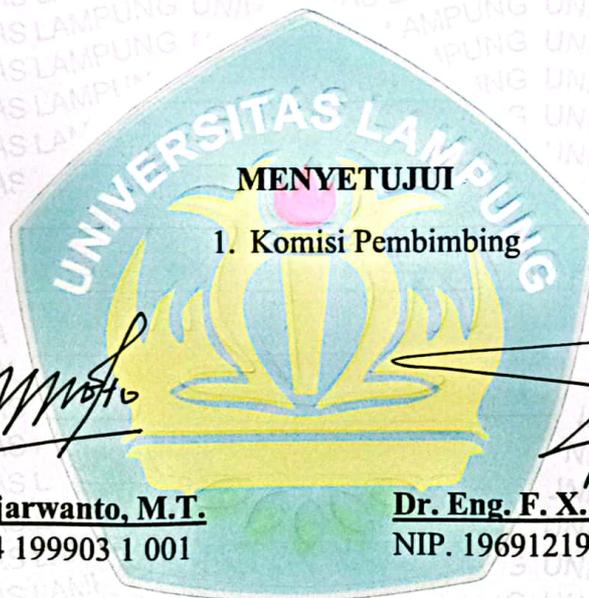
**Judul Skripsi** : RANCANG BANGUN PEMBANGKIT  
LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO (PLTPH)  
MENGUNAKAN MOTOR DC DENGAN  
KENDALI PID DALAM MENJAGA  
STABILITAS TEGANGAN KELUARAN

**Nama Mahasiswa** : Saka Arif Aulia

**Nomor Pokok Mahasiswa** : 2015031051

**Jurusan** : Teknik Elektro

**Fakultas** : Teknik



**Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.**  
NIP. 19631114 199903 1 001



**Dr. Eng. F. X. Arinto S., S.T., M.T.**  
NIP. 19691219 199903 1 002

2. Mengetahui

**Ketua Jurusan Teknik Elektro**



**Herlinawati, S.T., M.T.**  
NIP. 19710314 199903 2 001

**Ketua Program Studi Teknik Elektro**

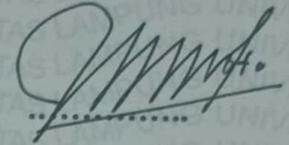


**Sumadi, S.T., M.T.**  
NIP. 19731104 200003 1 001

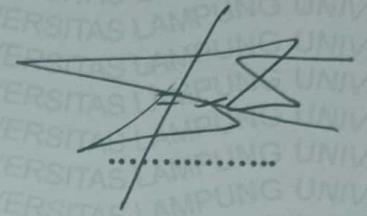
**MENGESAHKAN**

1. **Tim Penguji**

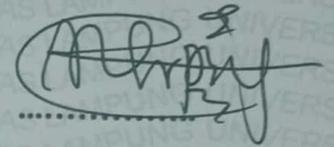
**Ketua : Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.**



**Sekretaris : Dr. Eng. F. X. Arinto S., S.T., M.T.**



**Penguji : Dr. Eng. Charles R. Harahap, S.T., M.T.**



2. **Dekan Fakultas Teknik**

**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**  
NIP. 19750928 200112 1 002



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 28 Maret 2024**

## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 28 Maret 2024



Saka Arif Aulia  
2015031052

## RIWAYAT HIDUP



Penulis lahirkan di Lemong pada tanggal 21 Oktober 2002, sebagai anak ke-3 dari 4 bersaudara, dari pasangan Bapak Zainal Arif dan Ibu Mashelna. Riwayat pendidikan penulis dimulai di Pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) Dharma Wanita Tanjung Raya tahun 2007, Pendidikan Dasar (SD) diselesaikan di MIN 2 Tanjung Raya (saat ini MIN 1 Lampung Barat) pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 2 Liwa pada tahun 2017, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Liwa pada tahun 2020. Mulai tahun 2020, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung dengan jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, Penulis aktif di Organisasi sebagai anggota Sosial dan Kewirausahaan pada tahun 2021-2022, dan sebagai Ketua Pelaksana *Electrical Engineering in Action* (EEA) 2023 Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung (HIMATRO) pada tahun 2022-2023, dan menjadi salah satu penerima Beasiswa Karya Salemba Empat (KSE) pada tahun 2022/2023-2023/2024. Selain itu, Penulis pernah menjadi asisten Laboratorium Konversi Energi Elektrik Universitas Lampung dengan ikut menjadi asisten praktikum mata kuliah, Dasar Tenaga Listrik, Mesin-Mesin Listrik, dan Elektronika Daya. Saat aktif menjadi asisten lab, penulis juga aktif dalam penulisan jurnal ilmiah yang banyak dipublikasikan di JITET Unila. Dan sempat melaksanakan Kerja Praktik Di PT. Semen Baturaja Tbk. dalam unit *Maintenance Plan and Control*.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Puji serta syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya serta shalawatku kepada Nabi Muhammad SAW yang senantiasa menjadi penuntun hidupku*

*Kupersembahkan karya kecilku ini kepada kedua orangtuaku Zainal Arif dan Mashelna sebagai wujud terimakasihku, baktiku, cintaku, dan kasih sayangku kepada Ayah dan Ibu atas segala yang telah diberikan selama ini, serta Kakakku Benny Rizki Aulia, Mutiara Nur Aulia, dan Adikku Puspita Nur Aulia*



**MOTTO**

“Allah dulu, Allah lagi, Allah Terus”

-Wirda Mansyur-

Amin yang terbuat dari Iman menjadikan kau  
merasa Aman

-Joko Pinurbo-

## SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) menggunakan Motor DC dengan Kendali PID dalam Menjaga Stabilitas Tegangan Keluaran”. Banyak pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A,IPM. Selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T, M.T. Selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T., Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
5. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T. Selaku Pembimbing Utama yang telah memberikan arahan dan bimbingan serta motivasi yang sangat bermanfaat kepada penulis disetiap kesempatannya.
6. Bapak Dr. Eng. F. X. Arinto S., S.T., M.T. Selaku Pembimbing ke-2 yang telah memberikan arahan dan bimbingan serta motivasi yang sangat bermanfaat kepada penulis disetiap kesempatannya.
7. Bapak Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T.,M.T. Selaku Pembimbing Akademik atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan dalam proses penyelesaian skripsi ini.

8. Ibu Dr. Eng. Charles R. Harahap, S.T.,M.T. Selaku Penguji Utama yang telah memberikan koreksi, kritik, dan saran untuk kemajuan dalam penyelesaian skripsi ini.
9. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung atas pengajaran dan bimbingannya yang diberikan selama ini kepada Penulis.
10. Kedua orang tua Penulis, Ayah Zainal Arif dan Ibu Mashelna yang selalu memberikan kasih sayang, semangat, dan tak henti-hentinya mendoakan serta mengingatkan penulis.
11. Kakak dan Adik penulis, Abang Kiki, Ngah Kiki, Ngah Mutiara dan Adik Tata yang selalu menjadi tempat bercanda, bercerita dan bertukar pikiran, dan juga Nakan Nizam sebagai wadah meluluhkan semua penat saat melihatnya.
12. Keluarga Penampungan Rumah Amal, Ibu, Bapak, Taza, Bang Arif, Amal, Arda, Ahmad, Rizki, Koh, Alfin, Akmal, Reyzal, dan Gus sebagai keluarga baru tempat berbagi tawa, canda, dan ke-pusingan.
13. Keluarga Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Mbak Ani, Kak Usman, Kak Rio, Reyzal, Altika, Kenya, Irham, Rezra, Agung, Alfin, Burhan, Zein, Benyamin, Deni, Imando, Daniel, Alex, Nanda, Dona, Jefri, Ruli dan lainnya yang tidak bisa penulis tuliskan satu persatu atas segala bantuan dan kenangan yang telah dilalui bersama.
14. Kawan kawan KSE Unila, Aldel, Irza, Irfan, Bilqis, Vidya, Salsa, Esi, Miko, Fina, dan seluruh anggota KSE Unila 2022/2023-2023/2024 untuk semua pengalamannya.
15. Keluarga Hellios yang sudah seperti saudara sendiri bagi penulis atas segala kebersamaannya.

16. Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) atas segala pengalaman dan pembelajarannya yang sangat berharga.
17. Semua pihak yang telah membantu serta mendukung penulis dari awal kuliah hingga terselesaikannya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dikarenakan terbatasnya ilmu dan pengalaman yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan yang membangun agar skripsi dapat menjadi lebih baik lagi. Di balik kekurangan tersebut, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca sebagai referensi dalam bidang Teknik elektro.

Bandar Lampung, 28 Maret 2024  
Penulis,

Saka Arif Aulia  
2015031051

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN .....	vi
SURAT PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
MOTTO.....	x
SANWACANA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
I. PENDAHULUAN .....	20
1. 1 Latar Belakang.....	20
1. 2 Rumusan Masalah .....	22
1. 3 Batasan Masalah.....	22
1. 4 Tujuan Penelitian.....	23
1. 5 Manfaat Penelitian.....	23
1. 6 Hipotesis.....	23
1. 7 Sistematika Penulisan.....	24
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	25
2. 1 Penelitian Terdahulu .....	25
2. 2 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) .....	26
2. 3 Motor DC .....	29
2. 4 Generator DC .....	30
2. 5 Turbin.....	31
2. 6 <i>Pulley</i> .....	34

2. 7	Arduino Uno R3.....	35
2. 8	Arduino IDE ( <i>Integrated Development Enviroment</i> ) .....	36
2. 9	Sensor Tegangan.....	36
2. 10	Motor Servo .....	37
2. 11	Kontrol PID ( <i>Proportional-Integral-Derivative</i> ).....	38
III.	METODE PENELITIAN .....	41
3. 1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	41
3. 2	Alat dan Bahan.....	41
3. 3	Tahapan Penelitian.....	42
3. 4	Rancangan Penelitian.....	43
3. 5	Diagram Blok Sistem.....	44
3. 6	Diagram Blok Kontrol .....	45
3. 7	Perhitungan Galat.....	47
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	49
4. 1	Kalibrasi Alat .....	49
4.1.1	Kalibrasi Sensor Tegangan.....	49
4.1.2	Kalibrasi Motor Servo .....	52
4.1.3	Kalibrasi Sensor <i>Flow Meter</i> .....	53
4. 2	Realisasi Rancang Bangun Alat.....	55
4.2.1	Turbin dan Generator .....	55
4.2.2	Pipa Pesat.....	57
4.2.3	<i>Box Control System</i> .....	58
4.2.4	Potensi Daya PLTPH.....	59
4. 3	Penalaan PID Menggunakan Metode Ziegler-Nichols .....	60
4. 4	Pengujian Sistem.....	62
4.4.1	Pengujian Sistem tanpa Beban .....	62
4.4.2	Pengujian Sistem dengan Beban 5 Watt.....	63
4.4.3	Pengujian Sistem dengan Beban 10 Watt.....	64
4.4.4	Pengujian Sistem dengan Beban 15 Watt.....	65
4.4.5	Pengujian Sistem dengan Beban 20 Watt.....	66
4.4.6	Perbandingan Sistem dalam Menjaga Stabilitas Sistem.....	67
V.	KESIMPULAN DAN SARAN .....	69

5.1	Kesimpulan .....	69
5.2	Saran .....	70
DAFTAR PUSTAKA .....		71

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Air .....	27
Gambar 2. 2 Generator DC .....	30
Gambar 2. 3 Turbin Pelton.....	32
Gambar 2. 4 Turbin Kaplan .....	33
Gambar 2. 5 Turbin Francis .....	33
Gambar 2. 6 Pulley.....	34
Gambar 2.7 Arduino R3.....	35
Gambar 2. 8 Tampilan Loading Screen Arduino Ide.....	36
Gambar 2. 9 Rangkaian Equivalen Sensor Tegangan.....	37
Gambar 2. 10 Motor Servo.....	38
Gambar 2. 11 Respon Kontrol PID .....	39
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	43
Gambar 3. 2 Desain Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro(PLTPH).....	44
Gambar 3. 3 Diagram Blok Sistem .....	45
Gambar 3. 4 Diagram Blok Control Close Loop PID .....	45
Gambar 3. 5 Kurva respon sustain oscillation .....	46
Gambar 4. 1 Grafik Data Hasil Kalibrasi Sensor Tegangan .....	51
Gambar 4. 2 Grafik Data Hasil Kalibrasi Motor Servo .....	53
Gambar 4. 3 Realisasi Keseluruhan Alat PLTPH .....	55
Gambar 4. 4 Turbin dan Generator .....	56
Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Antara Kecepatan dengan Tegangan Generator..	57
Gambar 4. 6 Pipa pesat.....	58
Gambar 4. 7 Box control system.....	59
Gambar 4. 8 Respon Sistem yang Mencapai Sustain Oscillation pada $K_u=0.0721$ .....	60
Gambar 4. 9 Grafik Respon Sistem Saat Tanpa Beban .....	63
Gambar 4. 10 Grafik Respon Sistem Saat Beban 5 Watt.....	64
Gambar 4. 11 Grafik Respon Sistem Saat Beban 10 Watt.....	65
Gambar 4. 12 Grafik Respon Sistem Saat Beban 15 Watt.....	66

Gambar 4. 13 Grafik Respon Sistem Saat Beban 20 Watt..... 67

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air .....	27
Tabel 3. 1 Penalaan Ziegler-Nichols Metode Osilasi.....	46
Tabel 4. 1 Data Hasil Kalibrasi Sensor Tegangan. ....	50
Tabel 4. 2 Data Hasil Kalibrasi Motor Servo.....	52
Tabel 4. 3 Data Hasil Kalibrasi Sensor Flow Meter .....	54
Tabel 4. 4 Data Hasil Pengukuran Kecepatan Generator.....	56
Tabel 4. 5 Data Hasil Pengukuran Debit Air PLTPH .....	58
Tabel 4. 6 Parameter Kp, Ki, dan Kd menggunakan penalaan Ziegler-Nichols...	62
Tabel 4. 7 Data Hasil Pengujian Sistem.....	68

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Krisis energi global menjadi isu yang semakin mendalam dan mendesak dalam beberapa dekade terakhir ini. Pertumbuhan populasi, urbanisasi yang pesat, dan perkembangan industri mengakibatkan peningkatan konsumsi energi yang signifikan. Sumber daya energi konvensional seperti minyak, gas, dan batubara semakin menipis, sementara dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh penggunaan berlebihan sumber daya tersebut semakin mengkhawatirkan. Oleh karena itu, perhatian dunia beralih ke sumber daya energi terbarukan sebagai solusi yang berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi global [1].

Salah satu sumber daya energi terbarukan yang memiliki potensi besar adalah energi air. Air terjun, sungai, dan aliran air lainnya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik melalui Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Namun, PLTA skala besar memerlukan investasi yang besar dan memerlukan area yang luas, yang tidak selalu tersedia di banyak lokasi. Di sisi lain, terdapat banyak lokasi yang memiliki sumber air berlimpah namun hanya memiliki aliran air yang kecil, yang kurang cocok untuk PLTA konvensional [2].

Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) adalah sebuah alternatif untuk memanfaatkan potensi energi air di lokasi-lokasi yang memiliki aliran air kecil atau sungai kecil [3]. Meskipun potensinya besar, PLTPH juga memiliki tantangan tersendiri, salah satunya adalah kendali stabilitas tegangan keluaran generator. Stabilitas tegangan keluaran generator adalah parameter kunci dalam sistem pembangkit listrik, mengingat debit air sungai selalu mengalami perubahan fluksuasi, sehingga mengakibatkan tegangan tidak stabil yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan elektronik, oleh karena itu diperlukan sistem kendali untuk menjaga stabilitas tegangan keluaran generator pada PLTPH [4].

Seperti dalam penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Generator DC 24 Volt 250 Watt Untuk Pembangkit Listrik Pikohidro Berbasis Arduino Uno R3” yang dilakukan oleh Alif Haqqi Pangandaran, Triwahju Hardianto, Widyono Hadi dari Teknik Elektro Universitas Jember pada tahun 2017. Penelitian ini membahas tentang monitoring perubahan kecepatan putaran generator akibat perubahan beban generator untuk mengurangi *wiring*, sehingga nilai kecepatan dan tegangan generator dapat diketahui. Namun dalam penelitian ini belum memiliki sistem *control* untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran generator.

Kemudian penelitian yang berjudul “Perancangan Sistem Pengendalian Kecepatan Putaran pada Generator Set Bahan Bakar Biogas dengan Menggunakan Metode Kontrol PID” yang dilakukan oleh Farida Iasha, Bambang Lelono Widjiantoro, dan Arief Abdurrahman dari Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2018. Penelitian ini membahas bahwa kecepatan putaran generator sangat dipengaruhi oleh frekuensi dan tegangan. Sedangkan kecepatan putar generator disebabkan oleh adanya perubahan beban yang berubah secara terus-menerus. Sehingga membutuhkan metode kendali yang mampu membantu akan kestabilan kecepatan putaran menggunakan kontrol PID.

Dari kedua penelitian terdahulu tersebut, menjadi latar belakang penelitian ini dalam mengatur kestabilan tegangan keluaran generator DC menggunakan *control pid*. Penggunaan kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) dapat menjadi pilihan yang dalam sistem kendali. Kontrol PID telah banyak digunakan dalam sistem *control* dalam mempertahankan nilai set-poin yang ditetapkan [5]. Oleh karena itu dalam penelitian ini, akan membahas rancang bangun PLTPH dengan kendali stabilisasi tegangan keluaran generator menggunakan metode kontrol PID.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi kontribusi penting dalam mengembangkan teknologi PLTPH yang lebih efisien dan andal, yang pada gilirannya dapat mempercepat pemanfaatan sumber daya energi air kecil secara berkelanjutan. Selain itu, penggunaan kontrol PID juga dapat memiliki aplikasi lebih luas dalam sistem pembangkit listrik terbarukan lainnya, sehingga penelitian ini memiliki potensi untuk memberikan dampak positif yang signifikan dalam upaya global untuk mengatasi krisis energi dan masalah lingkungan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dibahas sebelumnya, dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara membangun Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) dengan kendali stabilitas tegangan keluaran ?
2. Berapa nilai konstanta  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  pada kontrol PID Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) ?
3. Bagaimana respon kontrol PID saat perubahan beban pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) ?

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian permasalahan pada latar belakang dan rumusan masalah di atas, diperlukan pembatasan masalah agar penelitian dapat dilakukan lebih terarah. Adapun batasan-batasan masalah di antaranya adalah:

1. Penelitian ini dilakukan pada 1 lokasi sungai saja, tanpa mempertimbangkan cuaca.
2. Penelitian ini penggunaan kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) untuk mengatur tegangan keluaran generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) untuk menjaga stabilitas tegangan keluaran.
3. Stabilitas tegangan keluaran merupakan parameter utama yang akan diuji dan dianalisis dalam penelitian ini.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat rancang bangun Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) dengan kendali stabilitas tegangan keluaran generator menggunakan kontrol PID.
2. Menentukan konstanta  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  pada kontrol PID untuk Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH).
3. Mengetahui respon kontrol PID saat perubahan beban pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH).

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat memenuhi kebutuhan energi listrik skala kecil yang ramah lingkungan.
2. Dapat meningkatkan keandalan pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH).
3. Dapat mengurangi perubahan tegangan akibat ketidakstabilan debit air.

#### **1.6 Hipotesis**

Hipotesis dari penelitian ini adalah bahwa implementasi kendali PID (*Proportional-Integral-Derivative*) dalam rancang bangun Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) akan secara signifikan meningkatkan stabilitas tegangan keluaran generator, mengoptimalkan efisiensi operasi, dan memberikan solusi yang lebih berkelanjutan untuk memanfaatkan sumber daya energi air kecil dalam upaya memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat.

## **1. 7 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan Laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi mengenai latar belakang, tujuan penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis, dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi tentang beberapa teori pendukung dan referensi materi yang diperoleh dari berbagai sumber buku, jurnal, *datasheet* dan penelitian ilmiah yang digunakan untuk penulisan laporan tugas akhir ini.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Berisi tentang waktu dan tempat, alat dan bahan, metode penelitian dan pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan tugas akhir.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi tentang proses pengambilan data, hasil yang didapatkan saat penelitian dan analisis data dari hasil penelitian.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran yang didasarkan pada hasil data mengenai perbaikan dan pengembangan lebih lanjut agar didapatkan hasil lebih baik.

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terdahulu

#### 1. Perancangan Sistem Pengendalian Kecepatan Putaran pada Generator Set Bahan Bakar Biogas dengan Menggunakan Metode Kontrol PID

Penelitian ini dilakukan oleh Farida Iasha, Bambang Lelono Widjiantoro, dan Arief Abdurrahman dari Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2018. Penelitian ini membahas bahwa kecepatan putaran generator sangat dipengaruhi oleh frekuensi dan tegangan. Sedangkan kecepatan putar generator disebabkan oleh adanya perubahan beban yang berubah secara terus-menerus. Sehingga membutuhkan metode kendali yang mampu membantu akan kestabilan kecepatan putaran menggunakan kontrol PID.

#### 2. Sistem Monitoring Kecepatan Putar Turbin dan Tegangan Keluaran Generator pada Pembangkit Listrik Tenaga Mini-Mikrohidro Skala Laboratorium

Penelitian ini dilakukan oleh Delima Palwa Sari, Detak Yan Pratama, dan Murry Raditya dari Teknik Instrumentasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2018. Penelitian ini membahas tentang pembuatan sistem monitoring PLTMH untuk modul praktikum dengan menggunakan sensor proximity sebagai pembaca kecepatan dan modul pembagi tegangan sebagai sensor tegangan. Ditapati hasil penelitian ini berupa pembacaan tegangan dan kecepatan yang memiliki akurasi pembacaan sebesar 98%.

#### 3. Sistem Pengaturan Laju Aliran Air pada *Plant Water Treatment* Skala Rumah Tangga dengan Kontrol Fuzzy-PID

Penelitian ini dilakukan oleh Abdur Rohman, M. Agung Prawira Negara, dan Bambang Supeno dari Teknik Elektro Universitas Jember pada tahun 2017. Penelitian ini membahas sebuah alat filtrasi air skala rumah tangga dengan mengatur debit air dalam proses filterisasi, dengan metode fuzzy-PID dengan menggunakan sensor kejernihan sebagai umpan balik. Ketika kejernihan air *output* dibawah setpoint, maka kecepatan aliran air akan diperlambat sampai kejernihan air *output* sama dengan setpoint.

#### 4. Rancang Bangun Generator DC 24 Volt 250 Watt Untuk Pembangkit Listrik Pikohidro Berbasis Arduino Uno R3

Penelitian ini dilakukan oleh Alif Haqqi Pangandaran, Triwahju Hardianto, Widnyono Hadi dari Teknik Elektro Universitas Jember pada tahun 2017. Penelitian ini membahas tentang monitoring perubahan kecepatan putaran generator akibat perubahan beban generator untuk mengurangi wiring, sehingga nilai kecepatan dan tegangan generator dapat diketahui.

## 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH)

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah sebuah sistem pembangkit listrik yang digunakan untuk mengubah energi potensial air menjadi energi listrik. PLTA menggunakan aliran air untuk menggerakkan turbin untuk menghasilkan energi mekanik, kemudian energi mekanik turbin digunakan sebagai penggerak rotor generator untuk menghasilkan listrik. PLTA adalah salah satu sumber energi terbarukan yang paling umum digunakan [6].

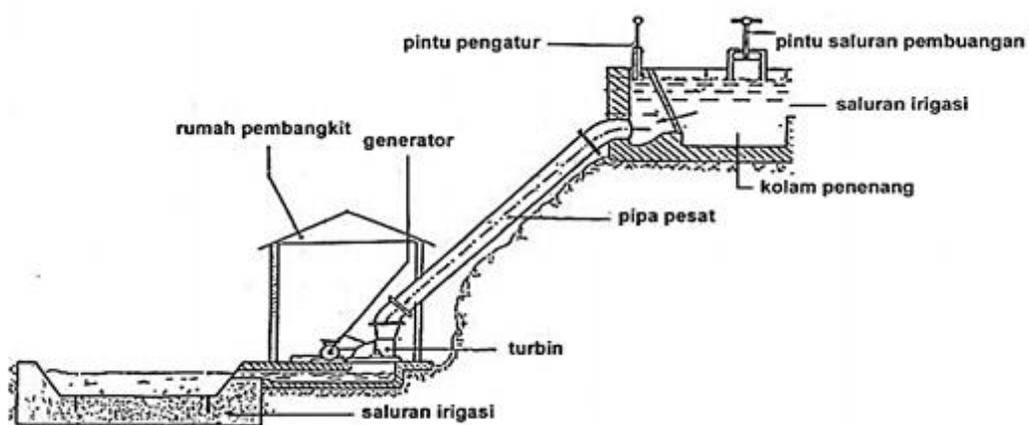
PLTA beroperasi berdasarkan prinsip dasar hukum kekekalan energi. Air dari sumber alami, seperti sungai, bendungan, atau waduk, dialirkan melalui pipa atau saluran ke turbin. Ketika air mengalir melalui turbin, energi kinetik dan potensialnya diubah menjadi energi mekanis saat turbin berputar. Turbin ini terhubung ke generator listrik, yang menghasilkan listrik saat berputar.

Pemanfaatan air untuk pembangkit listrik dapat diklasifikasikan seperti pada Tabel 2.1 berikut [7] :

Tabel 2. 1 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Spesifikasi	Daya
Pico-hydro	< 500 W
Micro-hydro	1 – 100 KW
Mini-hydro	100 – 1000 KW
Small-hydro	1 – 10 MW
Large-hydro	> 10 MW

Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro (PLTPH) adalah salah satu alternatif pembangkit listrik skala kecil yang dapat diterapkan di daerah pedesaan dimana tersedia aliran sungai yang mempunyai debit air yang kontinu dan tinggi jatuh air yang relatif rendah untuk menggerakkan turbin yang dapat menghasilkan daya listrik kurang dari 500 Watt. Pembangkit listrik tenaga piko hidro umumnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik lokal di daerah yang terpencil atau terisolasi dari jaringan listrik utama. PLTPH dapat digunakan untuk menerangi rumah-rumah, mengoperasikan peralatan kecil, atau memberikan akses listrik bagi komunitas yang sebelumnya tidak memiliki akses ke listrik [8]. Skema pembangkit listrik tenaga air diperlihatkan pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga pikohidro menggunakan air yang mengalir atau turun dari ketinggian untuk memutar turbin. Turbin kemudian menggerakkan generator, yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Energi hidro didapatkan dari potensi air yang mengalir atau tinggi jatuh air di suatu lokasi. Potensi energi ini diukur dalam satuan ketinggian air (meter) dan laju aliran air (liter per detik). Dalam skala piko, turbin dan generatornya biasanya sangat kecil, tetapi prinsip kerjanya sama dengan pembangkit hidro yang lebih besar [9].

Daya yang dihasilkan dari mengubah energi potensial air menjadi energi listrik dapat diketahui dengan persamaan [10]:

$$P = g \times Q \times H \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan,

$$Q = v \times A \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

P = Daya (Watt)

g = Gravitasi bumi ( 9,8 m<sup>2</sup>/s)

Q = Debit Air (lpm)

H = Ketinggian (m)

v = Kecepatan aliran air (m/s)

A = Luas penampang saluran air (m<sup>2</sup>)

Dari persamaan 2.1 dapat diketahui bahwa daya yang dihasilkan generator sangat bergantung terhadap debit air untuk menggerakkan turbin, semakin besar debit air maka semakin besar pula daya yang dihasilkan generator dengan mempertimbangkan kecepatan aliran air [11]. Sehingga salah satu cara pengendalian daya keluaran generator adalah dengan cara mengatur debit air dengan cara membatasi aliran air pada pipa penyalur air menggunakan *valve*.

### 2.3 Motor DC

Motor DC atau motor arus searah adalah jenis motor listrik yang menggunakan arus searah (DC) untuk menghasilkan gerakan mekanis. Motor DC umumnya terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian motor yang tetap dan menyediakan medan magnet, sementara rotor adalah bagian yang berputar dan terhubung ke beban yang ingin digerakkan. Motor listrik arus searah mempunyai prinsip kerja berdasarkan percobaan Lorents yang menyatakan. “Jika sebatang penghantar listrik yang berarus berada di dalam medan magnet maka pada kawat penghantar tersebut akan terbentuk suatu gaya” [12].

Pada motor DC hubungan antara tegangan terminal dengan kecepatan motor berlaku persamaan,

$$V = E_a + I_a R_a \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan,

$$E_a = Cn\Phi \dots\dots\dots(2.4)$$

Sehingga,

$$V = Cn\Phi + I_a R_a \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

V = Tegangan Terminal

$E_a$  = Tegangan Induksi

$I_a$  = Arus Armature

$R_a$  = Resistansi Armature

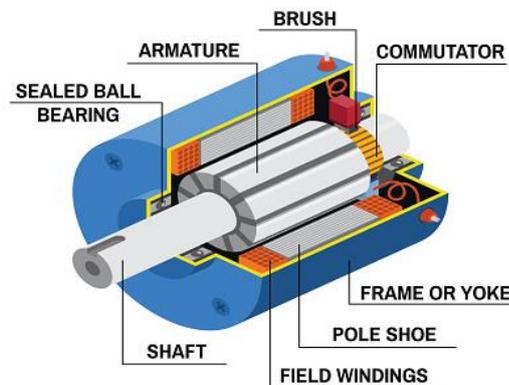
n = Kecepatan

C = Konstanta Motor

$\Phi$  = Fluks Magnet Pada Motor

## 2.4 Generator DC

Generator listrik merupakan alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanikal, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Sumber energi mekanik bisa berupa turbin mesin uap yang, air yang jatuh melalui sebuah turbin maupun kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, atau sumber energi mekanik yang lain [12]. Generator DC yaitu generator yang menghasilkan tegangan *output* searah. Generator DC terdiri dari 2 buah bagian utama yaitu rotor (bagian yang berputar) dan stator (bagian yang diam) yang diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Generator DC

Prinsip kerja dari suatu generator DC adalah berdasarkan hukum Faraday mengenai induksi elektromagnetik. Hukum Faraday menyebutkan “Apabila suatu konduktor digerakkan dan memotong garis-garis gaya magnetik (fluksi), maka pada konduktor tersebut akan timbul suatu gaya gerak listrik (GGL)”. Jika kumparan kawat dihubungkan dengan rangkaian listrik tertutup, maka akan timbul pula arus listrik yang mengalir pada rangkaian [13].

Berdasarkan Hukum Induksi Faraday/ Hukum Faraday besarnya gaya gerak listrik (GGL) yang diinduksikan pada suatu belitan adalah:

$$\varepsilon = -N \left( \frac{d\phi}{dt} \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

$\varepsilon$  = GGL Induksi (Volt)

$N$  = banyaknya lilitan kumparan

$d\phi$  = perubahan pada fluks magnet (Weber)

$dt$  = perubahan pada waktu (detik)

Pada dasarnya komponen penyusun motor DC dan generator DC adalah sama, sehingga suatu motor DC dapat difungsikan sebagai generator DC dengan memberi suplai berupa energi mekanik yang mampu memutar rotor sehingga rotor dapat memotong fluks dari magnet stator. Tegangan induksi ( $E_a$ ) yang dihasilkan generator DC akan sebanding dengan fluks dan kecepatan putaran generator, sesuai dengan persamaan 2.5.

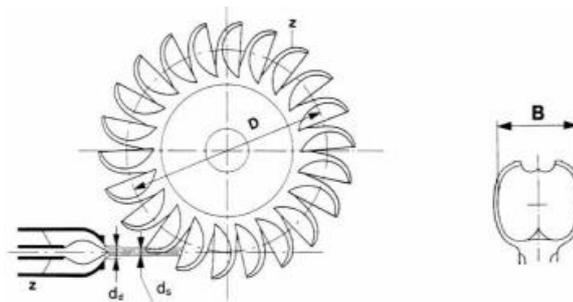
## 2.5 Turbin

Turbin adalah sebuah perangkat mekanik yang dirancang untuk mengubah energi dari aliran fluida (seperti air, uap, atau angin) menjadi energi mekanik yang dapat digunakan untuk melakukan pekerjaan atau menggerakkan perangkat lain. Turbin bekerja dengan prinsip dasar Hukum Newton 3 yang berbunyi "*for every force acting on a body, there is an opposite and equal reaction*". Yang berarti jika ada suatu gaya aksi terhadap suatu benda, maka akan ada suatu gaya reaksi yang arahnya berlawanan. Pada turbin tindakan dari suatu fluida (gas atau cairan) mengenai benda yang berlawanan arah akan menghasilkan gaya yang mendorong benda tersebut bergerak [9].

Terdapat beberapa jenis turbin yang dapat digunakan dalam pembangkit pikohidro, seperti turbin air Kaplan, turbin air Pelton, atau turbin air Francis. Pemilihan jenis turbin tergantung pada karakteristik air yang tersedia, seperti laju aliran dan ketinggian jatuh air. Masing-masing turbin memiliki karakteristik dan kegunaan yang berbeda.

## 1. Turbina Pelton

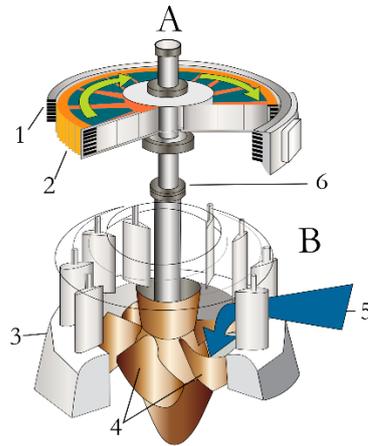
Turbina Pelton didesain untuk mengubah energi kinetik air yang bergerak dengan kecepatan tinggi menjadi energi mekanik yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik. Air dialirkan melalui saluran pipa dan disemprotkan ke sudut tertentu melalui nozel ke roda turbin berbentuk cakram. Jet air bertabrakan dengan sudut-sudut sudu pada roda turbin, menghasilkan putaran. Turbin Pelton cocok untuk kondisi dengan aliran air tinggi dan ketinggian jatuh yang tinggi, seperti sungai pegunungan. Turbin ini biasanya memiliki efisiensi yang tinggi dalam mengubah energi air menjadi energi listrik. Biasanya digunakan di lokasi dengan aliran air kecil hingga sedang tetapi dengan ketinggian yang signifikan. Cocok untuk pembangkit listrik tenaga pikohidro dan proyek tenaga air kecil hingga menengah [14]. Desain turbin pelton diperlihatkan pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Turbin Pelton

## 2. Turbina Kaplan

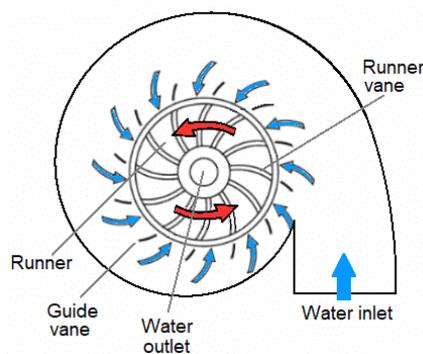
Turbina Kaplan, juga dikenal sebagai turbin angin, dirancang untuk mengoptimalkan efisiensi dengan mengubah energi kinetik dan potensial air. Sudut sudu pada roda turbin dapat diubah secara variabel untuk mengatur performa turbin sesuai dengan kondisi aliran air yang berubah-ubah. Turbin ini cocok untuk kondisi dengan aliran air besar dan ketinggian jatuh yang lebih rendah daripada yang sesuai untuk Turbin Pelton. Keunikan Turbin Kaplan adalah kemampuannya untuk beradaptasi dengan variasi aliran air. Biasanya digunakan di bendungan atau proyek besar yang memanfaatkan air dari sungai besar atau waduk [14]. Desain turbin kaplan diperlihatkan pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Turbin Kaplan

### 3. Turbin Francis

Turbin Francis adalah turbin reaksional yang mampu mengubah energi kinetik dan potensial air. Air dialirkan melalui saluran pipa dan masuk ke ruang kerja turbin. Sudut sudu pada roda turbin Francis dirancang sedemikian rupa sehingga air mengalir secara merata di seluruh sudu, menghasilkan putaran turbin. Turbin Francis cocok untuk berbagai kondisi aliran air dan ketinggian jatuh. Mereka memiliki efisiensi yang baik dan digunakan di berbagai ukuran pembangkit listrik tenaga air. Turbin Francis digunakan dalam berbagai proyek pembangkit listrik tenaga air, dari proyek skala kecil hingga besar, termasuk di Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro, pembangkit listrik tenaga mikro hidro, dan bendungan besar [14]. Desain turbin francis diperlihatkan pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Turbin Francis

## 2.6 Pulley

Pulley adalah salah satu alat sederhana yang digunakan untuk mengubah arah atau mengalihkan gaya dalam sistem mekanik. Pulley terdiri dari roda yang berputar di sekitar sumbu dengan alur atau cincin di sekelilingnya. Pulley digunakan untuk mempermudah pengangkatan, menarik, atau menggeser beban dengan mengubah arah atau distribusi gaya. Prinsip kerja pulley didasarkan pada hukum kedua Newton tentang gaya. Ketika gaya diterapkan pada tali atau rantai yang terhubung dengan pulley, gaya tersebut diteruskan ke beban [15]. Gambar 2.6 memperlihatkan bentuk 2 buah puley dengan V-belt.



Gambar 2. 6 Pulley

Pulley biasa digunakan sebagai media kopel untuk pembangkit listrik tenaga air dari turbin menuju generator. Rasio diameter pulley mempengaruhi kecepatan dari generator. Cara menghitung rasio kecepatan pulley dengan diameter pulley dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

- n1 = kecepatan turbin (mm)
- n2 = kecepatan generator (mm)
- D1 = Diameter pulley turbin (mm)
- D2 = Diameter pulley generator (mm)

## 2.7 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 menggunakan mikrokontroler ATmega328P dari *Microchip Technology* (sebelumnya dikenal sebagai Atmel). Mikrokontroler ini memiliki kecepatan clock 16 MHz dan menyediakan sejumlah pin input/output digital dan analog yang dapat digunakan untuk menghubungkan berbagai perangkat elektronik. Arduino Uno R3 dapat diprogram menggunakan bahasa pemrograman Arduino, yang berbasis pada bahasa C/C++. Pengembang dapat mengakses berbagai pustaka (*library*) yang tersedia untuk mempermudah pengembangan proyek-proyek elektronika. Arduino Uno R3 dapat dihubungkan ke komputer melalui kabel USB, yang memungkinkan pemrograman dan debugging yang mudah. Ini juga berfungsi sebagai sumber daya untuk memasok daya ke papan Arduino. Arduino Uno R3 memiliki 14 pin digital input/output, di antaranya 6 dapat digunakan sebagai *output* PWM (modulasi lebar pulsa), dan 6 pin analog input. Selain itu, terdapat juga beberapa pin khusus seperti pin untuk komunikasi serial (UART), SPI, dan I2C. Gambar 2.7 memperlihatkan modul Arduino R3 [16]. Bentuk Arduino R3 yang dipakai diperlihatkan pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Arduino R3

## 2.8 Arduino IDE (*Integrated Development Environment*)

IDE merupakan akronim dari *Integrated Development Environment*, atau dapat disebut juga sebagai lingkungan terintegrasi yang dapat digunakan dalam pengembangan. Arduino menggunakan bahasa pemrograman sendiri yang menyerupai bahasa C. Arduino IDE merupakan sebuah tempat penulisan program yang *opensource* dan dapat digunakan di beberapa *platform* mikrokontroler seperti Arduino Uno, Arduino Mega, NodeMCU, ESP32, dll [17].

Pada Arduino IDE pengguna dapat menambahkan *library* sesuai dengan keinginan pengguna. Pada software Arduino IDE juga pengguna dapat memvalidasi terlebih dahulu bahasa pemrograman yang telah dibuat, sehingga dapat memudahkan pengguna untuk mengetahui letak kesalahan dalam bahasa pemrogramannya. Arduino IDE juga memudahkan pengguna untuk mengupload bahasa pemrograman ke dalam mikrokontroler yang akan digunakan. Arduino IDE juga dilengkapi dengan *library C/C++* yang biasa disebut *Wiring* yang membuat operasi *input* dan *output* menjadi lebih mudah [18]. Tampilan Arduino IDE dapat ditunjukkan pada gambar 2.8



Gambar 2. 8 Tampilan Loading Screen Arduino Ide

## 2.9 Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah alat yang mampu membaca tegangan pada suatu sistem. Dengan membandingkan tegangan *input* dengan *output* sensor yang memanfaatkan

resistor fiks sebagai konstanta. Sensor tegangan ini mampu membaca tegangan maksimum sebesar 25 Volt [19]. Bentuk sensor tegangan diperlihatkan pada gambar 2.9. Persamaan pembagi tegangan :

$$R_{eq} = \frac{R_{low}}{R_{low} + R_{high}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Sehingga,

$$V_{out} = V_{in} \times R_{eq} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

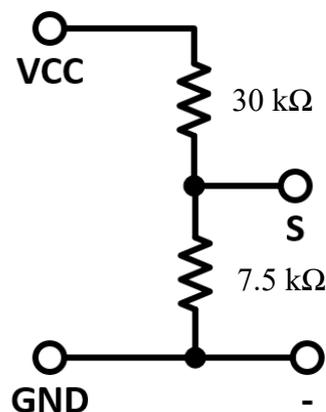
$R_{eq}$  = Resistor Equivalen

$R_{low}$  = Resistor *Low*

$R_{high}$  = Resistor *High*

$V_{out}$  = tegangan input/ tegangan yang terbaca sensor

$V_{in}$  = tegangan masuk sensor



Gambar 2. 9 Rangkaian Equivalen Sensor Tegangan

## 2. 10 Motor Servo

Motor servo adalah motor DC dengan sistem umpan balik tertutup di mana posisi rotor-nya akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor ini terdiri dari sebuah motor DC, rangkaian gear, ponsiometer, dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi sebagai penentu batas sudut dari

putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor servo. Motor servo yang banyak beredar di pasaran ditunjukkan dalam Gambar 2.10



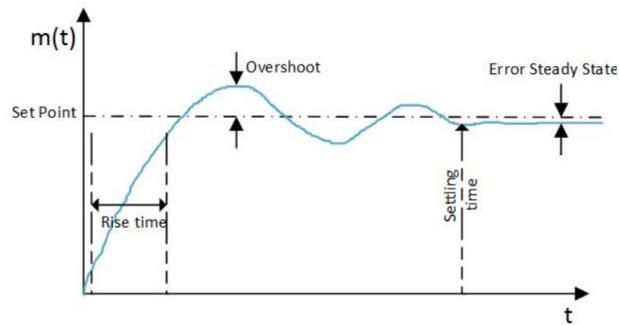
Gambar 2. 10 Motor Servo

Tipe motor servo ada dua yakni *continuous* dan *uncontinuous* (standar). Motor servo tipe *continuous* merupakan motor servo yang dapat berputar sebesar  $360^\circ$ , sedangkan motor servo tipe *uncontinuous* (standar) dapat berotasi sebesar  $180^\circ$ .

## 2. 11 Kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*)

Sistem kendali PID (*Proportional Integral Derivative*) adalah *controller* untuk menentukan akurasi sistem peralatan dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem. Sistem Kontrol PID mencakup tiga mode penalaan, yaitu kontrol P (proporsional), D (turunan) dan I (integral), masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Saat diterapkan, setiap saluran dapat bekerja secara mandiri atau kombinasi [20].

Kontroler PID adalah salah satu metode kontrol yang paling umum digunakan di industri dan diterima secara luas di industri. Kontroler PID sangat populer karena kinerjanya yang baik dan kuat di bawah kondisi pengoperasian yang berbeda dan juga karena pengoperasiannya yang sederhana yang memungkinkan operator untuk mengoperasikannya secara sederhana dan mudah. Respon *control* PID ditunjukkan pada gambar 2.11



Gambar 2. 11 Respon Kontrol PID

- *Proportional compensation*

Fungsi utama dari bagian ini adalah untuk mengidentifikasi nilai *gain* yang *proporsional* dari nilai *error* yang dihasilkan oleh perbandingan antara *output* dan *input* sistem dari  $K_p$ .

- *Integral compensation*

Fungsi utama dari bagian ini adalah untuk mengidentifikasi nilai integral dari perkalian antara sinyal *error* dengan *gain* dari  $K_i$ . Ini menandakan bahwa area dibawah kurva sinyal *error* akan dipengaruhi oleh sinyal *output*

- *Derivative compensation*

Fungsi dari bagian ini adalah untuk mengidentifikasi nilai turunan (*derivative*) dari sinyal *error* yang dikalikan dengan *gain* dari  $K_d$ . Dengan kata lain, kemiringan dari gelombang sinyal *error* yang dihasilkan mengidentifikasi nilai dari *output*. Tujuan utama dari bagian ini adalah untuk meningkatkan respon transien untuk sistem *closed-loop* secara keseluruhan.

Dalam menentukan konstanta nilai PID, diperlukan suatu penalaan. Penalaan pengendali PID adalah mencari nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ . Ada beberapa metode penalaan yang dapat digunakan, salah satunya adalah metode Ziegler-Nichols. Metode Ziegler-Nichols adalah salah satu pendekatan untuk penalaan (*tuning*) kontroler PID secara heuristik. Metode ini dilakukan dengan melakukan uji respons terhadap sistem yang ingin dikendalikan. [20].

Dalam PID kontrol, terdapat beberapa parameter yang menggambarkan performa sistem kontrol terhadap responsnya terhadap perubahan input. Berikut adalah parameter dari suatu respon sistem PID digunakan [21]:

1. *Rise Time* (Waktu Naik) adalah waktu yang diperlukan bagi respons sistem untuk mencapai dari nilai awalnya ke nilai yang diinginkan pertama kali setelah adanya perubahan input. Secara umum, semakin pendek waktu naik, semakin cepat sistem mencapai nilai yang diharapkan.
2. *Maximum Overshoot* (Overshoot Maksimum) adalah persentase atau nilai maksimum dari lonjakan respons sistem melebihi nilai set point sebelum akhirnya stabil. Hal ini sering kali diukur dalam bentuk persentase dari nilai set point.
3. *Settling Time* (Waktu Stabil) adalah waktu yang diperlukan oleh sistem untuk mencapai dan tetap berada dalam batas toleransi tertentu dari nilai yang diinginkan setelah respon terhadap perubahan input. Saat sistem telah mencapai nilai yang diharapkan dan tetap di dalam rentang toleransi tersebut, kita dapat mengatakan bahwa sistem telah "stabil".

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat penelitian dilaksanakan sejak bulan September 2023 sampai dengan Februari 2024 bertempat di Gedung Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung dan Desa Kangungan, Kec. Kota Agung Timur, Kab. Tanggamus sebagai tempat pengujian langsung alat.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- |                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| 1. 1 buah Laptop                    | 12. 1 buah <i>Box</i>                  |
| 2. 1 buah Motor DC                  | 13. 1 buah <i>Breadboard</i>           |
| 3. Rangka Besi L bolong             | 14. 1 buah Motor Servo 18 kg           |
| 4. Papan Kayu                       | 15. 1 buah Pipa PVC                    |
| 5. 1 buah Turbin Pelton 12 Bilah    | 16. 1 buah <i>Valve</i>                |
| 6. 2 buah <i>Bearing</i>            | 17. Kabel Jumper                       |
| 7. 2 buah <i>Pulley</i>             | 18. 1 buah Multimeter                  |
| 8. 1 buah <i>V-Belt</i>             | 19. 1 buah Tachometer                  |
| 9. 1 buah Arduino Uno R3            | 20. Perangkat lunak Arduino IDE 1.8.19 |
| 10. 1 buah Sensor Tegangan 25 V     | 21. Data spesifikasi komponen.         |
| 11. 1 buah Sensor <i>Flow Meter</i> |  |

### 3.3 Tahapan Penelitian

#### 1. Studi Literatur

Pada tahap ini, bertujuan untuk mempelajari dan mengumpulkan sumber yang menjadi referensi diantaranya buku, jurnal ilmiah dan penelitian terdahulu.

#### 2. Pembuatan Program *Control* PID dan Alat PLTPH

Pada tahap ini, membuat program *control* pid pada mikrokontroler Arduino R3 menggunakan Arduino IDE dan membuat alat PLTPH dari mulai turbin sampai tata letak generator.

#### 3. Pengujian Alat

Pada tahap ini, melakukan pengujian alat yang sudah terpasang sistem kendali tegangan keluaran. Kemudian melakukan setting nilai set poin, konstanta  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  dengan menggunakan metode *Ziegler-Nichols*

#### 4. Pengambilan dan Analisis Data

Pada tahap ini setelah pengujian alat dirasa cukup, selanjutnya akan melakukan pengambilan data dengan mengubah variabel beban secara berubah ubah dan melihat respon *control* PID kemudian melakukan analisis data yang telah didapatkan saat pengambilan data.

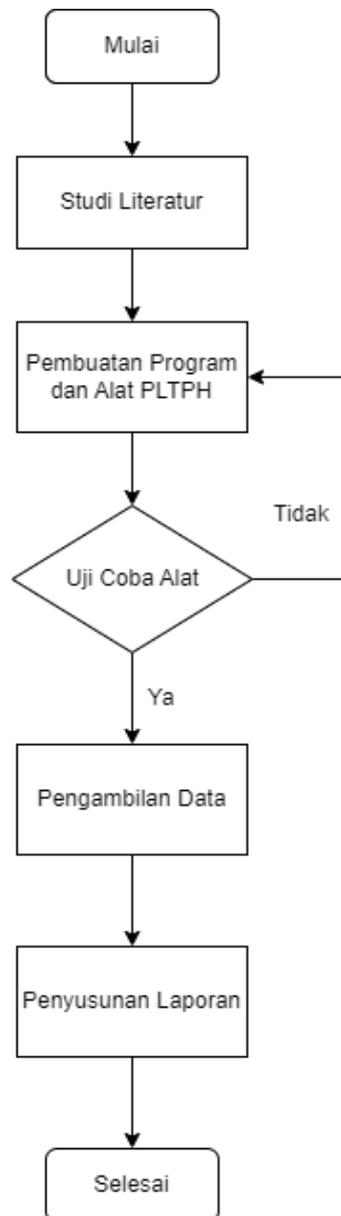
#### 5. Penulisan Laporan

Pada tahap ini, menyajikan hasil penelitian dalam bentuk laporan akhir. Hasil penelitian ini dapat memberikan rekomendasi apakah metode PID *control* baik digunakan sebagai kendali kestabilan tegangan keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH). Laporan ini digunakan sebagai bentuk tanggung jawab terhadap tugas akhir yang telah dilakukan dan digunakan untuk melakukan seminar akhir.

### 3.4 Rancangan Penelitian

#### a. Diagram Alir penelitian

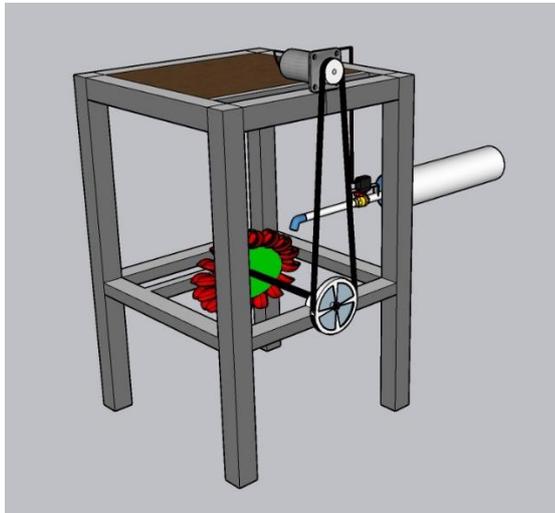
Penyelesaian tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahap guna mempermudah pelaksanaan. Pada penelitian ini alur penelitian disajikan pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### b. Desain Alat

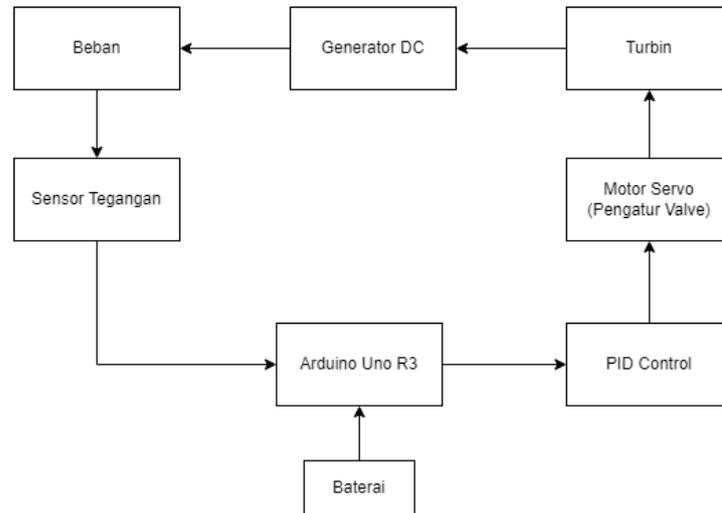
Rancangan alat pembangkit listrik tenaga pikohidro diperlihatkan pada gambar 3.2. dengan rangka menggunakan besi L, turbin pelton, motor DC yang difungsikan sebagai generator DC, dengan dimensi rangka tinggi 75 cm, Panjang 50 cm, dan lebar 50 cm. Penyalur air menggunakan pipa dengan diameter 3 inci to 1/2 inci. Motor servo digunakan sebagai penggerak *valve*.



Gambar 3. 2 Desain Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro(PLTPH)

### 3. 5 Diagram Blok Sistem

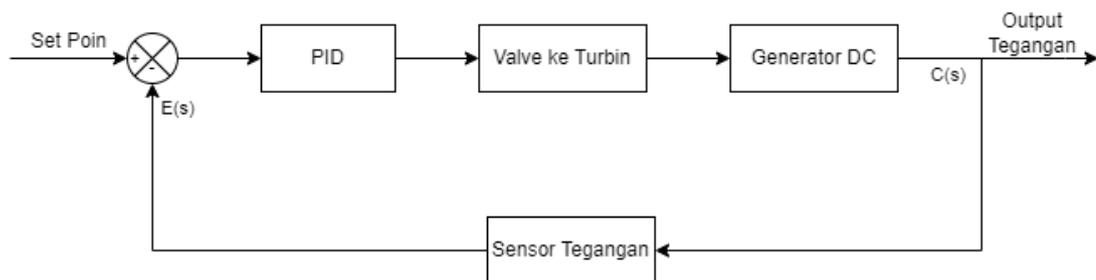
Diagram blok sistem menggambarkan hubungan antar komponen penyusun yaitu baterai sebagai suplai daya bagi Arduino Uno R3, Arduino Uno R3 sebagai mikrokontroler, PID kontrol sebagai metode kendali, generator DC, turbin, motor servo yang di hubungkan dengan *valve* sebagai pengatur debit air, dan sensor tegangan sebagai umpan balik pada sistem *PID control*. Ketika sistem membaca tegangan kurang dari nilai set-point maka sistem akan memerintahkan sudut servo mengecil agar *valve* membuka lebar sehingga debit air membesar, sebaliknya saat tegangan melebihi nilai set-point maka sistem akan memerintahkan sudut servo membesar agar *valve* mengecil sehingga debit air mengecil. Diagram blok sistem kendali kestabilan tegangan keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro menggunakan metode kontrol PID diperlihatkan pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Diagram Blok Sistem

### 3. 6 Diagram Blok Kontrol

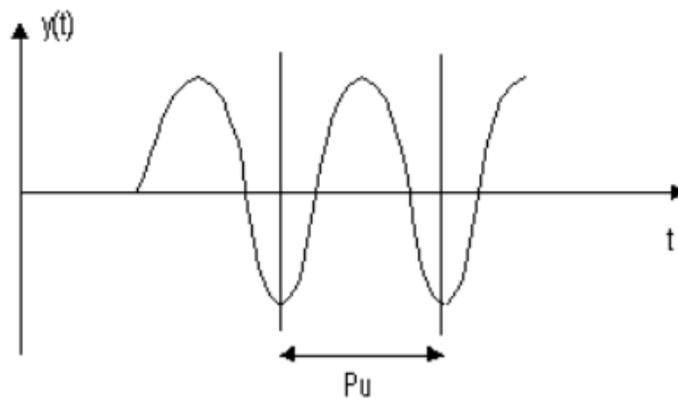
Pada diagram blok kontrol menunjukkan bahwa penelitian ini menggunakan kendali *close loop* PID dengan memanfaatkan umpan balik berupa sensor tegangan dari pembacaan *output* generator, sehingga membuat respon sistem peka terhadap perubahan internal pada parameter sistem untuk memaksa mempertahankan set poin. Diagram blok kontrol ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Diagram Blok Control Close Loop PID

Dalam penentuan parameter  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  dilakukan penalaan menggunakan penalaan Ziegler-Nichols dengan metode osilasi. Metode osilasi Ziegler-Nichols, mula-mula diatur  $T_i = \infty$  dan  $T_d = 0$ , sehingga sistem hanya bekerja dengan pengendali proporsional. Nilai  $K_p$  ditingkatkan dari 0 ke nilai kritis  $K_u$  sehingga diperoleh keluaran yang mulai berosilasi dengan amplitudo yang konstan secara

terus menerus. Nilai penguat kritis  $K_u$  dan periode  $P_u$  yang bersesuaian ditentukan secara eksperimental seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Kurva respon sustain oscillation

Setelah mendapatkan parameter  $K_u$  dan  $P_u$  selanjutnya dilakukan perhitungan dengan tabel Ziegler-Nichols. Tabel 3.1. menunjukkan rumusan yang diajukan Ziegler-Nichols untuk digunakan dalam menentukan parameter  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$ .

Tabel 3. 1 Penalaan Ziegler-Nichols Metode Osilasi

Pengendali	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$0,5 K_u$	$\infty$	0
PI	$0,45 K_u$	$0,8 P_u$	0
PID	$0,6 K_u$	$0,5 P_u$	$0,125 P_u$

Dengan,

$$K_i = K_p / T_i \dots\dots\dots(3.1)$$

$$K_d = K_p \times T_d \dots\dots\dots(3.2)$$

### 3.7 Perhitungan Galat

Dalam penelitian ini, saat dilakukan kalibrasi dan ujicoba dibutuhkan persamaan yang menunjang analisis data agar keakuratan sensor dapat sesuai dengan standar yang ada.

#### a. Perhitungan Galat Sensor Tegangan

Perhitungan galat pada sensor tegangan merupakan perhitungan kesesuaian pembacaan ADC (*Analog to Digital Converter*) sensor dengan tegangan *input* yang di berikan. Pada sensor tegangan yang digunakan, besar bit yang digunakan adalah 10 bit (atau 1023 dalam resolusi pembacaan ADC) dengan maksimum tegangan yang mampu dibaca sebesar 25 V. Persamaan untuk menentukan galat sensor tegangan sebagai berikut :

$$E = \frac{\bar{x} - x_{in}}{x_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan,

$$x_{in} = \frac{1023}{25} \times V_{in} \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan :

E = Galat

$x_{in}$  = Nilai Sebenarnya

$\bar{x}$  = Nilai Hampiran

#### b. Perhitungan Galat Motor Servo

Pada galat motor servo, dilakukan perbandingan antara sudut yang diberikan oleh mikrokontroler dengan pembacaan sudut motor servo yang terukur pada penggaris busur 360°. Persamaan untuk menentukan galat pada motor servo sebagai berikut :

$$E = \frac{x_{out} - x_{in}}{x_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan :

$E$  = Galat

$x_{in}$  = Derajat Input

$x_{out}$  = Derajat *Output*

c. Perhitungan Galat *Flow Meter*

Perhitungan galat sensor *flow meter* dilakukan untuk menentukan konstanta pengali. Sehingga penentuan galat yang paling minimum diperlukan untuk mendapatkan pembacaan yang lebih teliti. Persamaan untuk mencari galat pada *flow meter* sebagai berikut :

$$E = \frac{x_{sensor} - x_{stopwatch}}{x_{stopwatch}} \times 100\% \dots \dots \dots (3.6)$$

Keterangan :

$E$  = Galat

$x_{sensor}$  = Nilai Pembacaan Sensor

$x_{stopwatch}$  = Nilai Pembacaan *Stopwatch*

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Setelah semua proses penelitian dilakukan, dari mulai studi literatur, pembuatan desain, implementasi alat dan pengujian maka terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan terkait penelitian ini, di antaranya:

1. Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilakukan, penggunaan metode kontrol PID mampu membantu Pembangkit Listrik Tenaga Picohidro (PLTPH) dalam menjaga kestabilan tegangan keluaran melalui kontrol debit air.
2. Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dengan *set-point* sebesar 12 V, nilai  $K_p = 0.04326$ ,  $K_i = 0.04326$ , dan  $K_d = 0.010815$  yang didapati dengan penalaan Ziegler-Nichols metode osilasi nilai rata-rata sistem dari semua pengujian memiliki *rise time* selama 2.81 detik, *settling time* selama 5.49 detik, *maximum overshoot* sebesar 4.91 %, dan *error steady state* sebesar 0.64 %. Dengan rata-rata sudut servo sebesar 23°.
3. Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilakukan, sistem akan mengatur lebar valve dengan mengatur sudut servo. Saat tegangan lebih kecil dari *set-point* maka sudut servo akan mengecil sehingga debit air akan semakin besar, sebaliknya saat tegangan lebih besar dari *set-point* maka sudut servo akan membesar sehingga debit air akan semakin kecil pula.
4. Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilakukan, saat sistem diberi beban maka sistem akan terjadi penurunan tegangan dan akan kembali menuju *set-point* dengan waktu yang berbeda-beda, bergantung dari beban yang diberikan. Saat beban 5 Watt waktu yang dibutuhkan sistem dalam mengembalikan *set-point* selama 2.125 detik, saat beban 10 Watt waktu yang dibutuhkan sistem dalam mengembalikan *set-point* selama 2.53 detik saat beban 15 Watt waktu yang dibutuhkan sistem dalam mengembalikan *set-point* selama 3.06 detik, dan saat beban 20 Watt waktu yang dibutuhkan sistem dalam mengembalikan *set-point* selama 3.47 detik.

5. Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilakukan, saat sistem diberi beban dan kembali ke keadaan *steady state* kemudian beban dilepas maka tegangan akan meningkat dan kembali ke *set-point* dengan waktu yang berbeda-beda, bergantung dari beban yang diberikan. Saat beban 5 Watt waktu yang dibutuhkan sistem dalam mengembalikan *set-point* selama 3.40 detik, saat beban 10 Watt waktu yang dibutuhkan sistem dalam mengembalikan *set-point* selama 3.73 detik saat beban 15 Watt waktu yang dibutuhkan sistem dalam mengembalikan *set-point* selama 4.50 detik, dan saat beban 20 Watt waktu yang dibutuhkan sistem dalam mengembalikan *set-point* selama 5.22 detik.
6. Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilakukan, diketahui bahwa lama respon sistem untuk mengembalikan kestabilan tegangan dari *set-point* akan berbanding lurus terhadap beban yang diberikan kepada sistem. Semakin besar beban maka semakin lama sistem untuk menjaga kestabilan tegangan.

## 5.2 Saran

Dari pengamatan dan analisis terhadap metode yang dilakukan pada penelitian kali ini, terdapat beberapa saran agar nantinya dapat meningkatkan akurasi/efisiensi untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan metode kontrol lain seperti *fuzzy logic*, *fuzzy-PID* atau jaringan saraf tiruan, agar memungkinkan efektifitas respon sistem yang lebih baik.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan sensor dan alat ukur otomatis untuk memaksimalkan pengukuran dan menghindari kesalahan pembacaan.
3. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan sistem *monitoring* secara *realtime* baik menggunakan modul RTC, *Bluetooth*, ataupun *IoT* untuk mempermudah pengumpulan data dan pemantauan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Outlook Energi Indonesia 2019, Jakarta: DEN (Dewan Energi Nasional), 2019.
- [2] C. O. Ugwu, P. A. Ozor and C. Mbohwa, "Small hydropower as a source of clean and local energy in Nigeria: Prospects and challenges," *Elsevier*, vol. 10, pp. 1-9, 2022.
- [3] I. D. N. D. Putra and Winarso, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro Menggunakan Generator DC Shunt," *JURNAL RISET REKAYASA ELEKTRO*, vol. 4, no. 1, pp. 1-10, 2022.
- [4] A. Raikhani, M. Ali, D. Ajiatmo and Budiman, "Desain Optimal Automatic Voltage Regulator Pada Pembangkit Listrik Mikro Hidro Menggunakan Fuzzy Logic Controller," *JURNAL INTAKE*, vol. 7, no. 2, pp. 30-39, 2016.
- [5] E. W. Suseno<sup>1</sup>, A. Ma'arif<sup>2</sup> and R. D. Puriyanto, "Tuning Parameter Pengendali PID dengan Metode Algoritma Genetik pada Motor DC," *TELKA*, vol. 8, no. 1, pp. 1-13, 2022.
- [6] F. A. Permana and Helmizar, "ANALISIS POTENSI DAYA PADA PEMBANGKIT UNIT 7 PLTA TES," *TEKNOSIA*, vol. 17, no. 1, p. 47 – 55, 2023.
- [7] Y. Nurhening and W. A. Ilham, Modul Pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik, Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, 2019.
- [8] Yusmartato, Z. Pelawi, Yusniati, Fauzi and S. A. Sitanggang, "Pemanfaatan Aliran Air Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro (PLTPH) Di Desa Bandar Rahmat Kecamatan Tanjung Tiram Kabupaten Batu Bara," *Journal of Electrical Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 25-28, 2022.

- [9] P. Celco and d. M. Ingeniero, *Layman's Handbook : On How to Develop a Small Hydro Site*, Belgia: DG XVII European Commision, 1998.
- [10] Zamzami, A. Irwansyah, Fauzan, Yassir and T. Hasannuddin, "Identifikasi Potensi Daya Listrik Dengan Pengukuran Debit Air Krueng Meuredu Pidie Jaya," in *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, Aceh, 2022.
- [11] R. Muji, "KAJIAN KETERSEDIAAN AIR DAN POTENSI DAYA LISTRIK YANG DIHASILKAN PADA RENCANA PEMBANGUNAN PLTMH KEBONGEMBONG KABUPATEN KENDAL," *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, vol. 8, no. 4, pp. 446-453, 2020.
- [12] Y. Rafi, A. P. Destra and M. Selamat, "Desain Generator Listrik yang Terintegrasi dengan Aplikasi IoT (Internet of Things)," *Teknika*, vol. 16, no. 1, pp. 1-7, 2022.
- [13] I. N. Bagia and I. M. Parsa, *Motor-Motor Listrik*, Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018.
- [14] S. L. Dixon and C. Hall, "Hydraulic Turbines," in *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery*, US, Elsevier, 2013, pp. 303-355.
- [15] M. Haris, "Analisa Perhitungan Pulley dan V-Belt Pada Sistem Transmisi Mesin Pencacah," *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 4, no. 1, pp. 40-46, 2021.
- [16] A. Adriansyah and O. Hidayatama, "RANCANG BANGUN PROTOTIPE ELEVATOR MENGGUNAKAN MICROCONTROLLER ARDUINO ATMEGA 328P," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 4, no. 3, pp. 100-112, 2013.
- [17] S. Ismail, "Komparasi Kinerja Integrated Development Environment (IDE) Dalam Mengeksekusi Perintah Python," *SATESI*, vol. 2, no. 1, p. 52 – 59, 2022.

- [18] I. P. A. W. Widyatmika, N. P. A. W. Indrawati, I. W. W. A. Prastya, I. K. Darminta, I. G. N. Sangka and A. A. N. G. Saptaka, "Perbandingan Kinerja Arduino Uno dan ESP32 Terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan," *Jurnal Otomasi, Kontrol & Instrumentasi*, vol. 13, no. 1, pp. 37-45, 2021.
- [19] I. R. S. Siregar, B. D. Prabowo, N. R. Alham, A. Faidil and M. J. N.A., "PENGUKURAN ARUS DAN TEGANGAN PADA PROTOTIPE PLTMH BERBASIS ARDUINO DAN MULTIMETER," *Jurnal Media Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 45-52, 2020.
- [20] N. Hamid and A. Mansur, "Penalaan Parameter PID dengan Metode Ziegler-Nichols untuk Optimasi Kontrol Kecepatan Motor pada Alat Spin Coater," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, Makassar, 2021.
- [21] K. Ogata, *Modern Control Engineering Fifth Edition*, New Jersey: Prentice Hall, 2010.
- [22] M. S. Sri, C. G. Indar and A.-z. Fatimah, "STUDI KESTABILAN FREKUENSI SISTEM KELISTRIKAN PADA PABRIK PT. SEMEN TONASA SETELAH ON-GRID DENGAN PLN," *EKSITASI*, vol. 2, no. 2, pp. 37-44, 2023.