

Rancang Bangun Pengendali Tegangan Pada Prototipe PLTMH Menggunakan Metode Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) pada Arduino

Raja Harahap, Dicky Lopama Tarigan, Fahmi Rinaldi

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Program Studi Nautika, Politeknik Adiguna Maritim Indonesia Medan, Indonesia
harahapri@yahoo.com; dickytarigan0103@gmail.com, fahmi.rinaldi@gmail.com.

Abstrak

Peningkatan kebutuhan energi listrik mendorong pengembangan sumber energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Namun, tegangan keluaran dari generator mikrohidro sering tidak stabil akibat perubahan debit air dan beban. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pengendali tegangan pada prototipe PLTMH menggunakan metode kontrol PID berbasis Arduino Mega 2560 dengan tuning Ziegler–Nichols. Sistem ini mengatur bukaan Motor Operated Valve (MOV) melalui motor servo untuk mengendalikan debit air yang memutar turbin generator DC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan tegangan pada nilai setpoint 9V dengan toleransi $\pm 0,1V$. Rata-rata waktu respon sistem untuk mencapai kestabilan berada di bawah 1,5 detik untuk berbagai kondisi beban (tanpa beban, 1 W, 2 W, dan 3 W). Dari penelitian ini disimpulkan bahwa penerapan kontrol PID efektif dalam menjaga kestabilan tegangan keluaran PLTMH dan berpotensi diterapkan pada sistem pembangkit skala kecil lainnya.

Kata Kunci : PLTMH, Arduino Mega 2560, kontrol PID, Ziegler–Nichols, pengendali tegangan

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi semakin meningkat sejalan dengan kemajuan zaman. Energi Listrik merupakan salah satu bentuk energi yang sangat banyak digunakan dan tidak dapat dilepas dari kehidupan manusia sehari-hari. Ada beberapa sumber energi listrik yang banyak digunakan seperti sumber energi minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Ada juga sumber energi listrik yang masih jarang digunakan dan masih tahap pengembangan seperti sumber energi air, panas bumi, panas matahari, dan nuklir. Air merupakan sumber energi yang memiliki potensi sebagai pembangkit Listrik. Mengingat sumber energi dari batu bara dan minyak bumi semakin menipis sehingga pembangkit listrik tenaga air menjadi salah satu sumber energi terbarukan yang layak dikembangkan.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro atau yang sering disingkat PLTMH, yaitu pembangkit listrik skala kecil dengan daya kurang dari 100KW yang memanfaatkan tenaga air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Dari segi teknologi PLTMH dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Secara ekonomi, biaya operasi dan perawatannya relatif murah sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya [1]. Secara teknis mikrohidro memiliki tiga komponen utama berupa air sebagai sumber energinya, turbin, dan generator.

Sistem kerja PLTMH menggunakan aliran debit air yang berasal dari sumber air yang akan menggerakkan turbin sehingga menghasilkan listrik di generator.

Pada penelitian dengan judul “Prototipe Penstabil Tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro”, dilakukan perancangan penstabil tegangan menggunakan alat AVR dimana alat tersebut berfungsi sebagai penurun tegangan dan menyetabilkan dari output generator yang tidak stabil. Hasil dari penelitian ini adalah hasil pengukuran generator didapat tegangan tidak stabil dengan hasil kurang lebih 19 volt, kemudian hasil output dari generator distabilkan menggunakan AVR diperoleh hasil sebesar 13,5 volt [2].

Pada penelitian dengan judul “Penerapan Kontroler PID pada Sistem Pengatur Ketinggian Air Berbasis Labview” dilakukan pengujian untuk mengatur ketinggian air dengan menggunakan PID- Ziegler Nichols yang terdiri dari tiga macam metode kontrol yaitu kontrol proporsional, kontrol integral, dan kontrol turunan. Dalam penelitian ini digunakan sebuah motor servo dengan jenis MG995 yang berfungsi sebagai penggerak untuk menuntukan derajat bukaan *valve*. Hasil penelitian tersebut setelah dilakukan perhitungan menggunakan metode Ziegler-Nichols, diperoleh hasil keluaran lebih cepat stabil bila menggunakan kontrol PI [3].

Penelitian “PID Control for Micro-Hydro Power Plants Based on Neural Network” menunjukkan bahwa PLTMH sering mengalami ketidakstabilan tegangan dan frekuensi karena

masih menggunakan sistem *open-loop*, di mana pengaturan debit air menuju turbin dilakukan secara manual sehingga perubahan beban langsung memengaruhi putaran turbin. Untuk mengatasi masalah tersebut, mereka mengembangkan sistem *close-loop* berbasis PID yang dituning dengan *Neural Network*. Hasil ini menjadikan dasan penting bagi penelitian ini dalam merancang pengendali tegangan PLTMH menggunakan metode PID pada Arduino, karena prinsip pengendalian dinamis yang digunakan telah terbukti efektif dalam meningkatkan kestabilan performa mikrohidro[4].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis merancang suatu sistem berupa kontrol PID yang dapat mengendalikan debit air yang masuk ke turbin dengan actuator kendali MOV (*Motor Operate Valve*) dengan motor servo sebagai penggeraknya agar tegangan yang dihasilkan oleh generator tetap stabil

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah salah satu pembangkit listrik yang mengandalkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu jenis PLTA adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro atau yang sering disingkat PLTMH mengandung makna, secara bahasa diartikan mikro adalah kecil dan *hydro* adalah air [5].



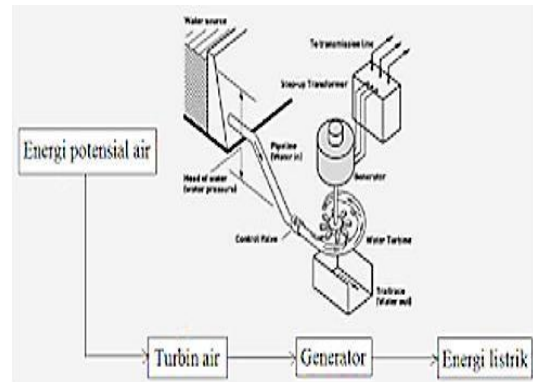
Gambar1. Pembangkit Listrik Tenaga MikroHidro

Sistem pembangkit tenaga mikro hidro dapat dipasang di sungai yang kecil dan tidak perlu memerlukan lokasi atau area yang luas sehingga bisa dipasang di area yang kecil. Pembangkit tenaga mikro hidro ini dapat digunakan langsung sebagai penggerak mesin atau digunakan untuk menggerakkan generator listrik [6].

2.1 Prinsip Kerja PLTMH

Prinsip kerja PLTMH adalah memanfaatkan beda tinggi dan jumlah air yang jatuh (debit) perdetik yang ada pada saluran air. Air yang mengalir melalui intake dan diteruskan oleh saluran pembawa hingga penstock, akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Turbin akan memutar generator dan menghasilkan listrik[7].

Hubungan antara turbin dengan generator dapat menggunakan jenis sambungan sabuk (belt) ataupun sistem gear box. Jenis sabuk yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis flat belt sedangkan V-belt digunakan untuk skala di bawah 20 kW.



Gambar 2. Prinsip Kerja PLTMH

Hal yang perlu diperhatikan dalam merancang sebuah PLTMH adalah menyesuaikan antara debit air yang tersedia dengan besarnya generator yang digunakan. Jangan sampai generator yang dipakai terlalu besar atau terlalu kecil dari debit air yang ada.

2.3 Pengendali Tegangan Pada Prototipe PLTMH

Kenaikan resistansi internal yang terjadi pada Pada penelitian ini, akan dirancang sebuah prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang memanfaatkan tangki air dengan ketinggian 3 meter sebagai sumber energi potensial. Air dari tangki akan dialirkan melalui pipa untuk menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator. Tegangan yang dihasilkan oleh generator akan dikendalikan agar tetap stabil pada nilai set point sebesar 9 volt menggunakan metode kontrol PID pada MOV.

2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah *chip* penyimpanan program yang terdiri dari *Central Processing Unit* (CPU), memori dan RAM, I/O (input/output) tertentu dan unit pendukung yang sudah terintegrasi yang berfungsi untuk mengontrol suatu rangkaian elektronik. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Mega 2560 dan deprogram menggunakan software Arduino IDE. Karakteristik Arduino Mega 2560 dapat kita lihat pada Tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1. Karakteristik Arduino Mega2560

Mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan pengoperasian	5Volt
Batas tegangan yang disarankan	7-12Volt
Batasteganganinput	6-20Volt
Jumlah pinI/O digital	54 pindigital(15diantaranya menyediakankeluaranPWM)
Jumlah pininput analog	16 pin
Arus DC tiap pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3,3V	50 mA
SRAM	8KB(ATmega2560)
EEPROM	4KB(ATmega2560)
Clock Spded	16 MHz

2.5 Generator Mini Mikrohidro

Generator merupakan mesin yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari energi mekanik. Berdasarkan arah arus listriknya, generator dibagi menjadi generator arus bolak-balik (AC) dan generator arus searah (DC). digunakan mini generator DC dengan tipe F50-12V sebagai penghasil energi listrik pada prototipe pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Hal ini dikarenakan generator DC diperuntukkan pada pembangkit listrik yang berkapasitas rendah seperti PLTMH karena akan lebih optimal dan lebih efisien dari pada generator AC mengingat jumlah debit air dan tekanan yang dihasilkan relatif lebih rendah [8]



Gambar 3 Generator mini Mikrohidro F50-12V

Tabel 2. Spesifikasi Generator Micro-HydroF50-12V

Spesifikasi Generator Micro-Hydro F50-12V	
Maximum Output Voltage	12 Volt
Maximum Output Current	≥220mA(12V)
Line Resistance	L10.5±0.5Ω
Insulation Resistance	10MΩ
The Maximum Withstanding Voltageofthe Closed Water Outlet	0.6 Mpa
The Maximum Withstanding Voltage of the Open Water Outlet	1.2 Mpa
HydraulicPreasure	0.05 Mpa

2.6 PID (Proportional Integral Device)

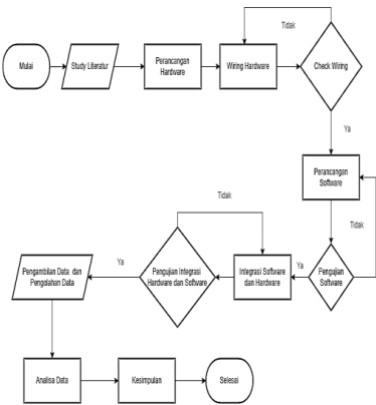
Berbagai kontrol proses digunakan untuk memanipulasiproses,namunyangpalingseederhana dan sering paling efektif adalah pengontrol PID. Pengontrol mencoba untuk memperbaiki kesalahan antara variabel proses yang diukur dan set point yang diinginkan dengan menghitung perbedaan dan kemudian melakukan tindakan korektif untuk menyesuaikan proses yang sesuai. Pengontrol PID mengontrol proses melalui tiga parameter: Proporsional (P), Integral (I), dan Turunan (D). Parameter ini dapat ditimbang, atau disetel, untuk menyesuaikan efeknya pada proses [9]

III. METODE PENELITIAN

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

- a. Perangkat Lunak (Software)
 - Arduino IDE
- b. Perangkat Keras
 - Sistem Arduionomega
 - Generator DC
 - Flow meter
 - Sensor Tegangan
 - LCD 20x4
 - Rangka besi siku
 - Modul relay
 - Modul supply
 - Beban lampu 3 watt
 - Pipa & Valve
 - Motorservo

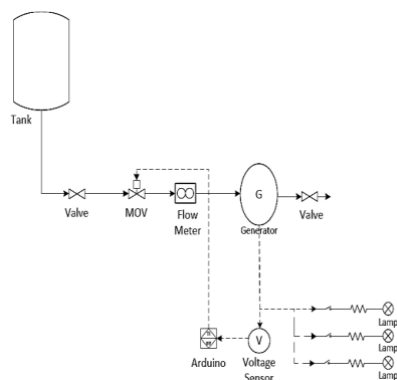
Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

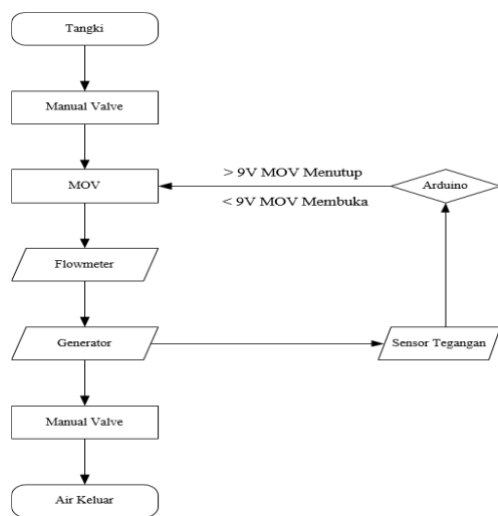
3.3 Rancangan Alat

Adapun skema pembuatan dan perancangan Pada prototipe pada PLTMH menggunakan metode kontrol PID pada Arduino dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram Prototipe Alat

Adapun flowchart PID dari alat yang Digunakan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Flowchart PID

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Alat

Adapun hasil dari perancangan dari rancang bangun pengendali tegangan pada prototipe PLTMH menggunakan kontrol PID ditunjukkan pada Gambar 7 dibawah ini.



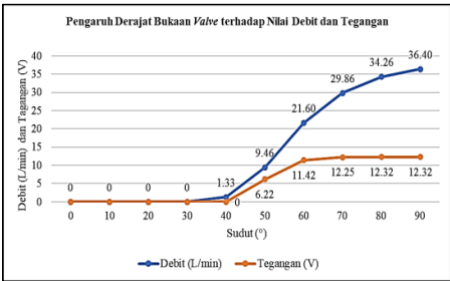
Gambar 7 Hasil Perancangan Alat

4.2 Hasil Pembacaan Debit dan Tegangan

Hasil pembacaan debit dan tegangan diambil berdasarkan bukaan valve secara berkala dengan rentang 10° hingga maksimal pada 90° dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Pembacaan Debit dan Tegangan

Sudut (°)	Debit (L/min)	Tegangan (V)
0	0	0
10	0	0
20	0	0
30	0	0
40	1,33	0
50	9,46	6,22
60	21,60	11,42
70	29,86	12,25
80	34,26	12,32
90	36,40	12,32



Gambar 8. Grafik Pengaruh Derajat Bukaan Valve terhadap Nilai Debit dan Tegangan

Dari Tabel 3 dan Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa nilai dari debit dan tegangan berbanding lurus dengan besarnya bukaan derajat valve dimana semakin besar bukaan valve maka semakin besar juga debit dan tegangan yang dihasilkan. Pada bukaan 0°-30° debit air yang mengalir pada sistem belum mampu untuk menggerakkan flowmeter yang terbaca masih 0. Untuk generator sendiri membutuhkan bukaan hingga 50° untuk dapat bergerak, hal ini disebabkan oleh tahanan jalur air yang disebabkan posisi dari flowmeter yang mendahului generator.

4.3 Pengujian Alat untuk Melihat Respon PID Terhadap Perubahan Tegangan

Tabel 4. Hasil Pengujian TanpaPID

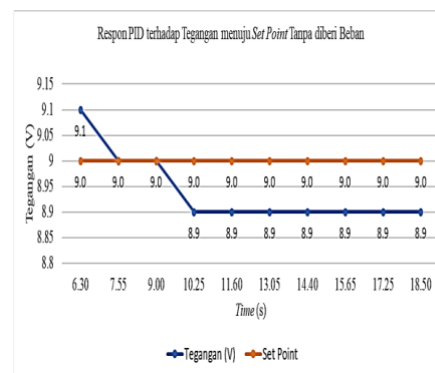
No	Tegangan (V)	Debit (L/min)	Time (s)	Sudu t(°)
1	4	3.64	0.76	47
2	5.63	3.64	0.88	49
3	5.89	3.64	1	47
4	5.76	3.64	1.12	49
5	5.71	3.64	1.24	51
6	5.70	3.64	1.36	53
7	5.86	3.64	1.48	55
8	6.28	3.64	1.6	57
9	6.91	3.64	1.72	59
10	7.73	3.64	1.84	61
11	8.69	3.64	1.96	63
12	9.64	3.59	2.08	62
13	10.41	3.59	2.2	60
14	11.02	3.59	2.32	58
15	11.43	3.59	2.44	56
16	11.67	3.59	2.36	54
17	11.76	3.59	2.48	52
18	11.77	3.59	2.6	50
19	11.76	3.59	2.72	48
20	11.72	3.59	2.84	46
21	11.60	3.75	2.96	44
22	11.35	3.75	3.08	42
23	10.92	3.75	3.2	40
24	10.30	3.75	3.32	38
25	9.51	3.75	3.44	36
26	8.67	3.75	3.56	37
27	7.82	3.75	3.68	39
28	7.10	3.75	3.8	41
29	6.52	3.75	3.92	43
30	6.12	3.75	4.04	45
31	5.89	3.63	4.16	47
32	5.77	3.63	4.28	49
33	5.71	3.63	4.4	51
34	5.72	3.63	4.52	53
35	5.94	3.63	4.64	55

Pada percobaan pada sistem tanpa menggunakan PID didapatkan hasil percobaan seperti pada Tabel 4 diatas, dimana ketika melakukan percobaan tanpa PID maka sistem tidak dapat menstabilkan tegangan pada *setpoint*. Sistem hanya menggerakkan MOV untuk bergerak membuka ketika tegangan belum mencapai *setpoint* dan kemudian bergerak menutup ketika tegangan melewati nilai *setpoint*. Pada percobaan ini system tidak mampu mempertahankan agar tegangan yang dihasilkan oleh generator tetap stabil sesuai dengan nilai *set point*

Tabel 5. Hasil Pengujian Tanpa Beban

No	Tegangan (V)	Debit (L/min)	Time (s)	Delta Time (s)	Sudut(°)
1	9,1	2,23	6,30	1,25	44
2	9,0	2,61	7,55	1,45	44
3	9,0	3,00	9,00	1,25	44
4	8,9	3,37	10,25	1,35	45
5	8,9	3,76	11,60	1,45	46
6	8,9	3,84	13,05	1,35	47
7	8,9	3,81	14,40	1,25	49
8	8,9	3,83	15,65	1,60	49
9	8,9	3,81	17,25	1,25	50
10	8,9	3,80	18,50	1,50	51
Rata-rata			1,37	46,9	

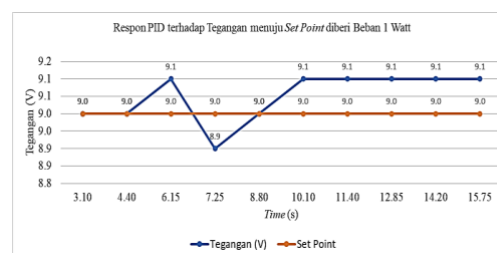
Dari data pada Tabel 5 dapat kita lihat bahwasannya rata-rata waktu yang dibutuhkan sistem kontrol PID untuk menstabilkan tegangan keluaran generator dengan toleransi $\pm 0,1V$ ketika tidak diberi beban adalah 1,37 detik dengan rata-rata bukaan sudut dari MOV adalah 46,9°. Waktu yang dibutuhkan untuk menstabilkan tegangan dari awal sistem dijalankan adalah 6,30 detik dengan bukaan valve sebesar 44°.



Gambar 9. Grafik Respon Kontrol PID terhadap Sistem Ketika Tidak diberi Beban

Tabel 6. Respon Kontrol PID terhadap Sistem Ketika diberi 1 Watt

No	Tegangan (V)	Debit (L/min)	Time (s)	DeltaTime (s)	Sudut (°)
1	9,0	1,40	3,10	1,30	52
2	9,0	1,40	4,40	1,75	50
3	9,1	1,40	6,15	1,10	48
4	8,9	1,40	7,25	1,55	51
5	9,0	1,40	8,80	1,30	50
6	9,1	1,40	10,10	1,30	48
7	9,1	1,40	11,40	1,45	49
8	9,1	1,40	12,85	1,35	49
9	9,0	1,40	14,20	1,55	49
10	9,1	1,40	15,75	1,40	49
Rata-rata				1,405	49,5



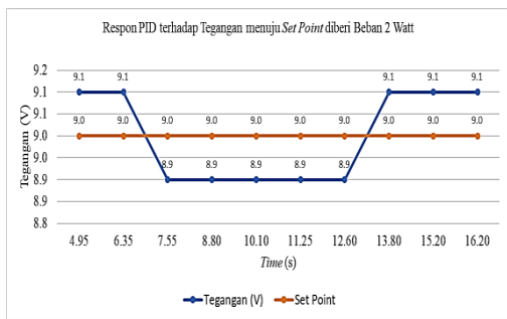
Gambar 10. Grafik Respon Kontrol PID terhadap Sistem Ketika diberi Beban 1 Watt

Dari data pada Tabel 6 rata-rata waktu yang dibutuhkan sistem kontrol PID untuk menstabilkan tegangan keluaran generator dengan toleransi $\pm 0,1V$ ketika diberi beban 1 watt A

1,405 detik dengan rata-rata bukaan sudut dari MOV adalah $49,5^\circ$. Waktu yang dibutuhkan untuk menstabilkan tegangan dari awal sistem dijalankan adalah 3,1 detik dengan bukaan valve sebesar 52° .

Tabel 7. Respon Kontrol PID terhadap Sistem Ketika diberi 2 Watt

No	Tegangan (V)	Debit (L/min)	Time (s)	Delta Time(s)	Sudut ($^\circ$)
1	9,1	2,13	4,95	1,40	50
2	9,1	3,07	6,35	1,15	50
3	8,9	3,52	7,55	1,25	52
4	8,9	3,97	8,80	1,30	55
5	8,9	4,43	10,10	1,15	57
6	8,9	4,64	11,25	2,35	58
7	8,9	4,59	12,60	1,20	61
8	9,1	4,56	13,80	1,40	59
9	9,1	4,59	15,20	1,00	56
10	9,1	4,59	16,20	1,25	55
Rata-rata			1,345	55,3	



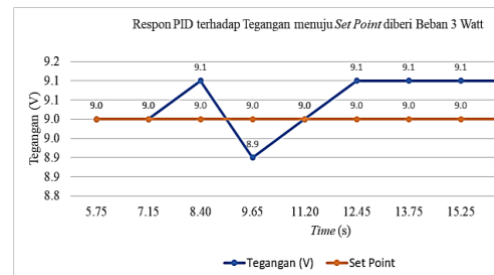
Gambar11. Grafik Respon Kontrol PID terhadap Sistem Ketika diberi Beban 2 Watt

Dari data pada Tabel 7 rata-rata waktu yang dibutuhkan sistem kontrol PID untuk menstabilkan tegangan keluaran generator dengan toleransi $\pm 0,1V$ ketika diberi beban 2 watt adalah 1,345 detik dengan rata-rata bukaan sudut dari MOV adalah $55,3^\circ$. Waktu yang dibutuhkan untuk menstabilkan tegangan dari awal sistem dijalankan adalah 4,95 detik dengan bukaan valve sebesar 50° .

Tabel 8. Respon Kontrol PID terhadap Sistem Ketika diberi 3 Watt

No	Tegangan (V)	Debit (L/min)	Time (s)	Delta Time (s)	Sudut ($^\circ$)
1	9,1	2,65	5,75	1,40	54
2	9,0	3,57	7,15	1,25	54
3	9,1	4,05	8,40	1,25	52
4	9,0	4,55	9,65	1,55	53
5	9,0	4,85	11,20	1,25	53
6	9,0	4,83	12,45	1,30	53
7	8,9	4,80	13,75	1,50	55
8	9,0	4,80	15,25	1,35	53
9	9,0	4,83	16,60	1,50	53
10	9,0	4,84	18,10	1,30	54
Rata –Rata			1,365	53,4	

Dari data pada Tabel 8 rata-rata waktu yang dibutuhkan sistem kontrol PID untuk menstabilkan tegangan keluaran generator dengan toleransi $\pm 0,1V$ ketika diberi beban 3 watt adalah 1,365 detik dengan rata-rata bukaan sudut dari MOV adalah $53,4^\circ$. Waktu yang dibutuhkan untuk menstabilkan tegangan dari awal sistem dijalankan adalah 5,75 detik dengan bukaan valve sebesar 54° .



Gambar12. Grafik Respon Kontrol PID terhadap Sistem Ketika diberi Beban 3 Watt

Dari data pada Grafik 12 rata-rata waktu yang dibutuhkan sistem kontrol PID untuk menstabilkan tegangan keluaran generator dengan toleransi $\pm 0,1V$ ketika diberi beban 3 watt adalah 1,365 detik dengan rata-rata bukaan sudut dari MOV adalah $53,4^\circ$. Waktu yang dibutuhkan untuk menstabilkan tegangan dari awal sistem dijalankan adalah 5,75 detik dengan bukaan valve sebesar 54° .

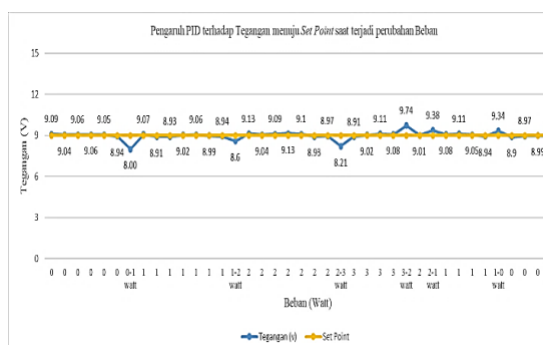
6. Diberi Beban Berkelanjutan

Tabel 9. Respon Kontrol PID terhadap Perubahan Tegangan

No	Waktu (s)	Tegangan (V)	Sudut ($^\circ$)	Debit (L/min)	Beban (Watt)
1	3,12	9,09	47	1,55	0
2	4,12	9,04	47	1,91	
3	5,12	9,06	46	2,27	
4	6,12	9,06	46	2,63	
5	7,12	9,05	46	3,00	
6	8,12	8,94	45	3,00	0-1
7	8,66	8,00	56	3,36	
8	9,66	9,07	49	3,72	
9	10,66	8,91	52	3,75	1
10	11,66	8,93	53	3,77	
11	12,66	9,02	53	3,83	
12	13,66	9,06	53	3,83	1-2
13	14,66	8,99	53	3,88	
14	15,66	8,94	54	3,95	
15	16,44	8,6	57	4,00	2
16	17,44	9,13	53	4,07	
17	18,44	9,04	51	4,17	
18	19,44	9,09	50	4,27	2-3
19	20,44	9,13	48	4,27	
20	21,44	9,10	48	4,31	
21	22,44	8,93	48	4,35	3
22	23,44	8,97	51	4,37	
23	24,44	8,21	58	4,41	
24	26,78	8,91	56	4,45	
25	27,78	9,02	57	4,52	
26	28,78	9,11	56	4,55	
27	29,78	9,08	55	4,56	

28	30,78	9,74	49	4,57	3-2
29	31,78	9,01	53	4,56	2
30	32,62	9,38	48	4,56	2-1
31	33,62	9,08	49	4,56	
32	34,62	9,11	47	4,57	
33	35,62	9,05	47	4,57	1
34	36,62	8,94	48	4,6	
35	37,28	9,34	44	4,59	1-0
36	37,82	8,90	48	4,59	
37	38,82	8,97	51	4,45	
38	39,82	8,99	53	4,39	0
39	40,82	8,97	54	4,33	
40	41,54	9,1	53	4,33	

Dari data Tabel 9 dapat dilihat bahwa telah dilakukan pengujian terhadap sistem dengan cara memberikan beban yang diubah secara berkala dari 0 sampai 3 watt dan dari 3 watt ke 0. Tegangan yang dihasilkan oleh generator dapat distabilkan oleh kontrol PID pada detik 3,12 dari awal sistem dijalankan dalam keadaan tidak berbeban. Dari data tersebut dapat kita lihat bahwa nilai tegangan keluaran generator mengalami penurunan hingga angka 8 V ketika terjadi peningkatan beban dari 0 ke 1 watt, 8,6V ketika beban berubah dari 1 ke 2 watt, 8,21 V ketika beban berubah dari 2 ke 3 watt dan kontrol PID dapat menstabilkan kembali tegangan menuju set point dalam waktu ≤ 1 detik. Sebaliknya terjadi lonjakan tegangan ketika terjadi penurunan Beban dari 3 watt menjadi 2 watt hingga 9,74V, 9,38 V ketika terjadi perubahan dari 2 ke 1 watt, 9,34V ketika terjadi perubahan beban dari 1 watt ke 0 dan kontrol PID juga dapat menstabilkan kembali tegangan dalam waktu ≤ 1 detik.



Gambar 13. Grafik Pengaruh PID Terhadap Tegangan Menuju Set Point saat Terjadi Perubahan Beban

Gambar 13 adalah grafik pengaruh perubahan beban terhadap tegangan menuju *set point* dari beban 0 hingga 3 watt dan dari beban 3 watt hingga 0. Dari gambar dapat dilihat bahwa terjadi penurunan tegangan hingga 8 V ketika terjadi peningkatan beban dari 0 hingga 3 watt dan terjadi lonjakan tegangan hingga 9,74 V ketika terjadi penurunan beban dari 3 watt hingga 0.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil rancang bangun pengendali tegangan pada prototipe PLTMH menggunakan metode kontrol PID pada arduino yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Derajat bukaan valve berbanding lurus dengan debit dan tegangan yang dihasilkan oleh generator, semakin besar bukaan valve maka semakin besar juga nilai debit dan tegangan.
2. Pengaruh dari kontrol PID pada prototipe PLTMH dapat menjaga kestabilan tegangan keluaran generator sesuai *set point* yaitu 9 V dengan toleransi $\pm 0,1$ V hanya dalam rata-rata waktu dibawah 1,5 detik.
3. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa tegangan akan mengalami penurunan ketika diberi beban dan akan mengalami lonjakan ketika bebannya dikurangi sehingga sistem kontrol PID akan mengendalikan bukaan valve untuk menstabilkan tegangan sesuai dengan *setpoint*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya, dapat mencoba menggunakan mikrokontroler yang lebih baik dari Arduino Mega 2560. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan atau membandingkan metode kontrol PID Ziegler Nichols dengan metode kontrol PID lainnya untuk mendapatkan respon sistem yang lebih baik.
2. Penelitian ini dilakukan pada tangki air dengan ketinggian 2,5 meter dari permukaan tanah ke dasar tangki dan volume 800 Liter, apabila penelitian dilakukan pada tangki air dengan ketinggian atau volume yang berbeda harus dilakukan pengujian untuk menentukan parameter PID (K_p , K_i , K_d).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. H. S. Haryani T and W. Wardoyo, *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Saluran Irigasi Mataram*, [Nama jurnal tidak tersedia].
- [2] D. C. Daksa, 2020, *Prototipe Penstabil Tegangan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro*, Jurnal Teknik Elektro, vol. 9, no. 3, pp. 669–675.
- [3] A. Sutanto and H. Tanudjaja, 2017, *Penerapan Kontroler Pid Pada Sistem Pengatur Ketinggian Air Berbasis Labview*, pp. 95–106.

- [4] L. Jasa, A. Priyadi, and M. H. Purnomo, 2012, *PID Control For Micro-Hydro Power Plants Based On Neural Network*, in *Proceedings of Asia MIC*, 2012, pp. 2–8, doi:10.2316/P.2012.769-039.
- [5] A. Alfian, T. Hasanuddin, and S. Aiyub, 2023, *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Pada Sungai Bateeliek Samalanga Bireuen*, *Jurnal Litek (Jurnal Listrik, Telekomunikasi, dan Elektronika)*, vol. 20, no. 2, pp. 45–48, 2023, doi: 10.30811/litek.v20i2.28.
- [6] F. D. Putra, N. Effiandi, and D. Leni, 2017, *Pengoperasian Dan Perawatan Pltmh Pada Pembangkit Listrik Mikrohidro (Pltmh) Di Sungai Batang Geringging Kota Padang*, *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 25–30, doi: 10.30630/jtm.10.2.183.
- [7] I. Hanggara and H. Irvani, 2017, *Potensi PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) di Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang Jawa Timur*, *Jurnal Reka Buana*, vol. 2, no. 2, pp. 149–155, 2017.
- [8] A. Farisyand, D. A. Prasetya, 2023, *Analisis Keluaran Daya Listrik Yang Dihasilkan Aliran Pipa 1/2 Inci Untuk PLTMH dengan generator DC*, *Science and Technology*, vol. 9, pp. 34–48.
- [9] P. J. Wolf, 2024, *Chemical Process Dynamics and Controls*, *Chemical Engineering Journal*, vol. 27, no. 2, pp. 120–121, 2024. [Online]. Available: [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial and Systems Engineering/Chemical Processes Dynamics and Controls \(Woolf\)](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Chemical_Process_Dynamics_and_Controls_(Woolf))