

RANCANG BANGUN PENGENDALIAN TEGANGAN MENGGUNAKAN KONTROL PID-ARDUINO PADA PROTOTIPE MINI PLANT MIKROHIDRO

Dedi Nugroho¹

Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung
Email: dedi.nugroho@unissula.ac.id

Dirga Wahyu Prasetyo¹

Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung
Email: dirgawahyu045@gmail.com

Bustanul Arifin¹

Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung
Email: bustanul@unissula.ac.id

ABSTRACTS: Microhydro power plant is an alternative for producing small-scale electrical energy uses hydropower. Microhydro has three main components, water, turbine and generator. In the environment, it can also be used as a microhydro power plant on a home scale. The components needed to make microhydro prototype are water reservoirs, valves, MOV, generators, flowmeters, voltage sensors, LED. The water reservoir is installed as high as 4 meters. MOV is used as an actuator to control the flow of water to adjust the degree of valve opening automatically. Generator is connected to convert mechanical energy into electrical energy, flowmeter to determine the debit value and a voltage sensor is connected. The system will be connected to the load of an LED light. When the lamp load changes, it is expected that the voltage generated by the generator remains stable. To regulate the voltage to remain stable, voltage control is carried out by adjusting the degree of valve opening using a PID control system. Voltage control with PID control based on Ziegler Nichols theory with oscillation method. Through experimentation, it was obtained that the $K_P = 0.9$, $K_i = 0.45$ and $K_d = 0.45$ constants were the most optimal because the response of the oscillating system was 1.15 seconds shorter. The time required for the voltage to stabilize to the setpoint from the start of the system being turned on is 46.20 seconds. The greater the degree of valve opening, the greater the voltage generated, because the debit produced is greater.

Keyword: PLTMH, PID, MOV, Debit, Voltage

ABSTRAK: Pembangkit listrik mikrohidro merupakan salah satu alternatif penghasil energi listrik dengan skala kecil yang menggunakan tenaga air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Didalam lingkungan disekitar kita pun dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro dalam skala rumahan. Komponen yang dibutuhkan untuk membuat prototipe mikrohidro ini berupa tandon air, valve, MOV (Motor Operate Valve), Generator, flowmeter, sensor tegangan, beban berupa lampu LED. Tandon air dipasang setinggi 4 meter terhubung dengan pipa yang terdapat valve dan MOV. MOV digunakan sebagai aktuator pengontrol aliran air untuk mengatur derajat bukaan valve secara otomatis. Kemudian terhubung generator untuk mengubah energi gerak menjadi energi listrik, flowmeter untuk mengetahui nilai debit yang dihasilkan dan terhubung sensor tegangan. Mikrokontroler sendiri menggunakan arduino. Kemudian sistem akan terhubung dengan beban berupa lampu LED. Ketika besar beban lampu berubah-ubah, diharapkan tegangan yang dihasilkan generator tetap stabil. Untuk mengatur agar tegangan tetap stabil maka dilakukan pengendalian tegangan dengan mengatur derajat bukaan valve menggunakan sistem kontrol PID dengan aktuator MOV (Motor Operate Valve). Pengendalian tegangan dengan kontrol PID berdasarkan teori Ziegler Nichols dengan metode osilasi. Melalui eksperimen diperoleh konstanta $K_P = 0.9$, $K_i = 0.45$ dan $K_d = 0.45$ yang paling optimal karena respon sistem beresilasi lebih pendek 1,15 detik. Waktu yang dibutuhkan tegangan untuk stabil menuju setpoint dari awal sistem dinyalakan sebesar 46,20 detik. Semakin besar derajat bukaan valve maka semakin besar tegangan yang dihasilkan, karena aliran air (debit) yang dihasilkan semakin besar.

Kata Kunci: PLTMH, PID, MOV, Debit, Tegangan

PENDAHULUAN

Sungai merupakan salah satu sumber air bagi kehidupan yang ada di bumi. Baik manusia, hewan dan tumbuhan, semua makhluk hidup memerlukan air untuk dapat mempertahankan kelangsungan hidupnya. Sungai mengalir dari hulu ke hilir bergerak dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah. Dengan kondisi geografisnya, Indonesia memiliki banyak sungai yang berpotensi untuk masyarakat sekitar menciptakan listrik dengan memanfaatkan aliran air melalui ukuran pembangkit listrik yang relatif kecil yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. Akan tetapi dalam konsep tersebut selain aliran sungai untuk menghasilkan listrik, masyarakat juga dapat memanfaatkan perbedaan ketinggian air pada tandon air untuk pengaplikasian pembangkit listrik tenaga mikrohidro skala rumahan.[1]

Pembangkit listrik mikrohidro merupakan salah satu alternatif penghasil energi listrik dengan skala kecil yang menggunakan tenaga air. Di setiap rumah umumnya memiliki tandon air yang terletak

¹ Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung

lebih tinggi. Dimana, prinsipnya kerja PLTMH sendiri memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang mengalir dari sumber air.[2] Sehingga, diharapkan sumber air dari tandon tersebut dapat dimanfaatkan sebagai PLTMH skala rumahan. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Sistem kerja PLTMH sendiri menggunakan aliran debit air yang berasal dari sumber air yang akan menggerakkan turbin sehingga menghasilkan listrik dari generator. Untuk memutar turbin air, diperlukan air dalam jumlah yang konstan sehingga putaran turbin yang memutar generator juga konstan. Semakin besar jumlah air (debit) yang memutar turbin maka semakin kuat energi kinetis yang dihasilkan, ketika generator diberi beban listrik yang lebih besar maka putaran dari turbin tetap stabil, apabila debit tetap, tetapi beban listrik pada generator berubah maka putaran turbin akan turun sehingga frekuensi, tegangan listrik yang dihasilkan generator tidak bisa stabil. Oleh sebab itu akan dirancang sistem pengendalian tegangan dengan aktuator kendali MOV (*Motor Operate Valve*) pada tandon air skala rumahan untuk mengatur bukaan valve dengan kontrol PID, agar tegangan yang dihasilkan tetap stabil akibat adanya beban.

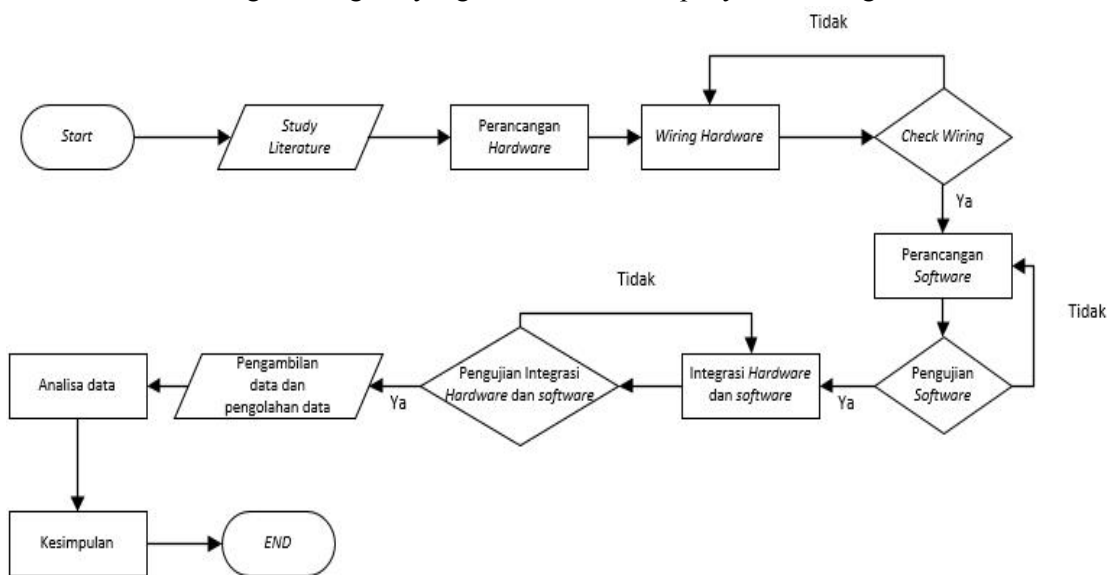
Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui sistem pengendalian tegangan di prototipe mikrohidro agar listrik yang dihasilkan generator tetap stabil. Mengetahui pengaruh beban dan derajat bukaan MOV(*motor operate valve*) pada tegangan yang dihasilkan generator.

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melakukan perancangan dari sebuah alat dapat terdiri dari dua bagian yaitu *software* (perangkat lunak) dan *hardware* (perangkat keras). Pada perancangan *hardware* dapat berupa sistem arduino mega, generator DC, flowmeter, pipa, valve, motor servo, sensor tegangan, LCD 20x4, rangka besi siku, *modul relay*, *modul power supply* dan beban lampu 3 watt. *Software* (perangkat lunak) dapat meliputi sebuah pengolahan data pada mikrokontroler. Untuk pembuatan *software* program itu sendiri kita menggunakan bahasa pemrograman arduino ide. Sumber air berupa tandon rumahan.

A. Diagram Blok

Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam penyelesaian tugas akhir :

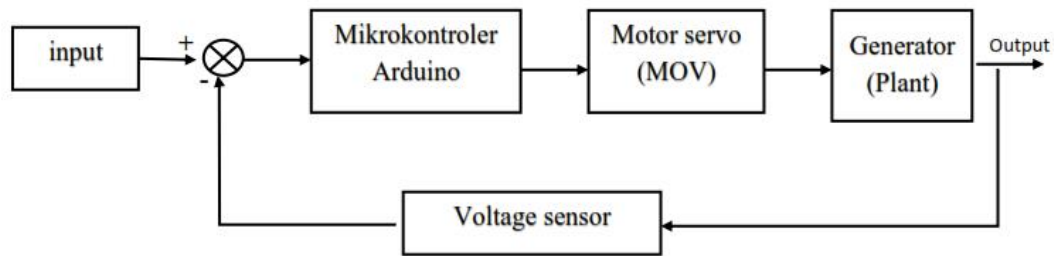


■ Gambar 1. Diagram Blok Perancangan Alat

B. Kontrol Loop Tertutup

Sistem pengendalian loop tertutup merupakan sistem pengendalian dimana sinyal keluaran mempunyai pengaruh langsung terhadap sinyal kontrol (aksi kontrol).

Pada sistem pengendalian loop tertutup terdapat jaringan umpanbalik (feedback) karenanya sistem pengendalian loop tertutup seringkali disebut sebagai sistem pengendalian umpan balik. Praktisnya, istilah pengendalian loop tertutup dan sistem pengendalian umpanbalik dapat saling dipertukarkan penggunaannya.[3]



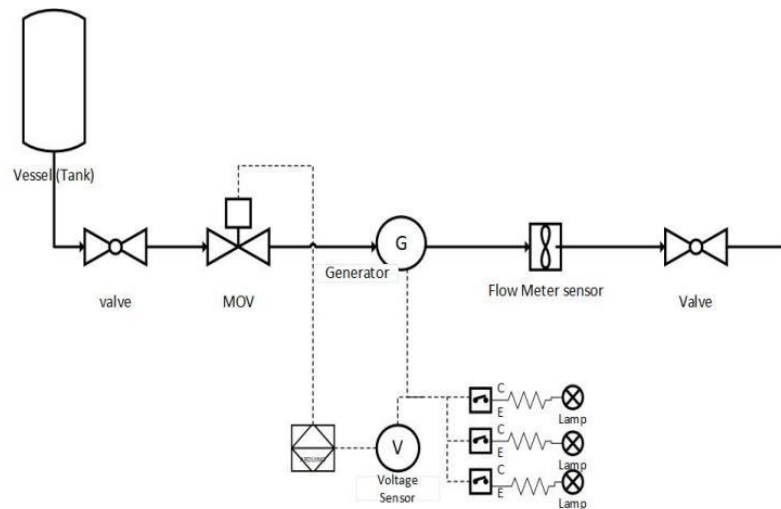
■ Gambar 2. Sistem Kontrol Loop Tertutup

- Mikrokontroler Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, diturunkan dari Wiring platform, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Bahasa yang dipakai dalam Arduino bukan assembler yang relatif sulit, tetapi bahasa C yang disederhanakan dengan bantuan pustaka-pustaka (libraries) Arduino.[4]
- MOV adalah kombinasi dari valve *assembly* dan motor listrik sebagai aktuator. Valve *assembly* digunakan untuk mengontrol fluida baik secara *isolating* maupun *throttling*, sedangkan motor listrik merupakan aktuator penggerak valve tersebut. [5]
- Pengertian Generator Listrik adalah sebuah mesin yang dapat mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik (elektrik).
- Sensor tegangan ini digunakan untuk mengukur tegangan AC atau DC. Prinsip kerja modul sensor tegangan yaitu didasarkan pada prinsip penekanan resistansi.

Pada sistem kontrol loop tertutup diatas variabel independen (bebas)nya adalah aliran air, variabel dependen (terikat) adalah nilai tegangan, aktuator berupa motor servo MOV dan variabel outputnya algoritma yang sudah diolah oleh arduino.

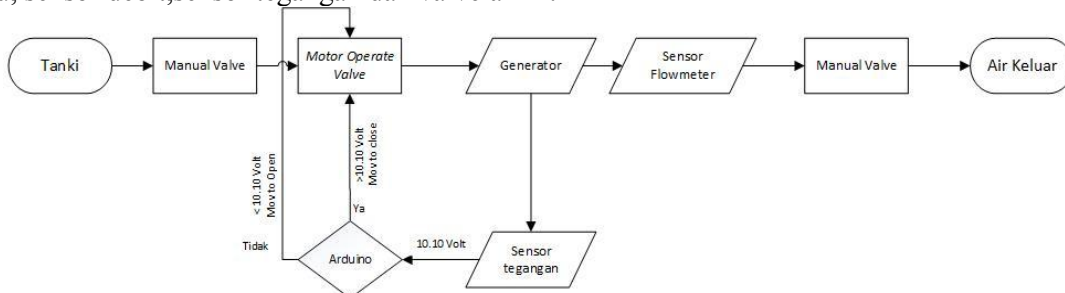
C. Diagram P&ID Alat

Berikut diagram P&ID pengendalian tegangan pada prototipe mini plant mkrohidro skala rumahan.



■ Gambar 3. Diagram P&ID

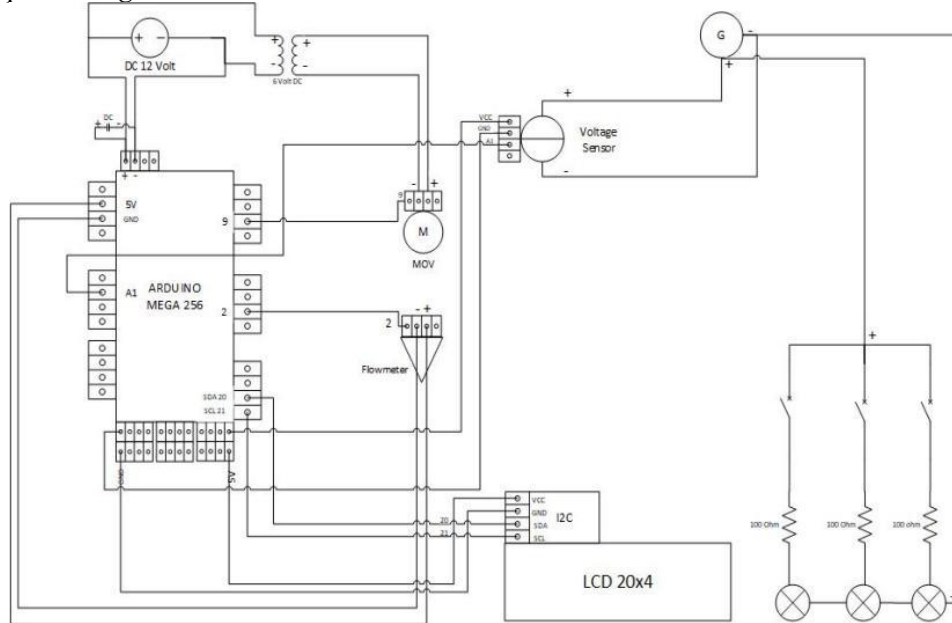
Gambar diatas merupakan diagram P&Id yang terdiri dari tangki air, valve, MOV, generator, lampu, sensor debit,sensor tegangan dan valve akhir.



■ Gambar 4. Flowchart P&ID

D. Wiring Alat

Adapun *wiring* dari alat ini adalah



■ Gambar 5. Schemati Diagram Prototipe Mikrohidro

E. Perancangan Mekanik Alat

Dalam perancangan mekanik PLTMH skala rumahan ini dibutuhkan beberapa komponen, yaitu rangka besi, pipa, sensor *flow*, motor servo, generator, tandon air dan valve. Perancangan alat dimulai dari tahap pembuatan rangka. Rangka besi dibuat untuk menopang pipa yang tersambung dengan generator, motor servo, valve, sensor tegangan dan panel monitoring sistem. Berikut ini tampilan rangkaian mekaniknya :

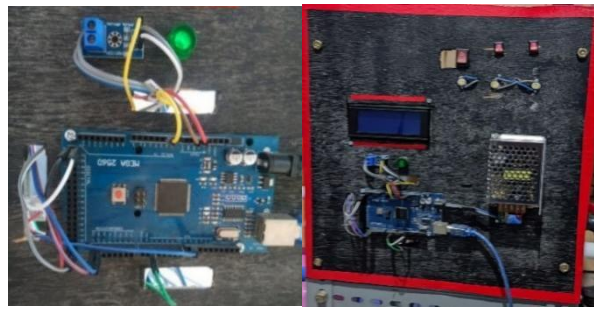


■ Gambar 6. Rangka Prototipe Mini Plant Mikrohidro Skala Rumahan dan Tandon Air

Tinggi tandon air tersebut adalah 5 meter. Jadi, perancangan alat ini akan lebih optimal pada tandon yang memiliki ketinggian kurang lebih 5 meter.



■ Gambar 7. MOV, Flowmeter dan Generator DC



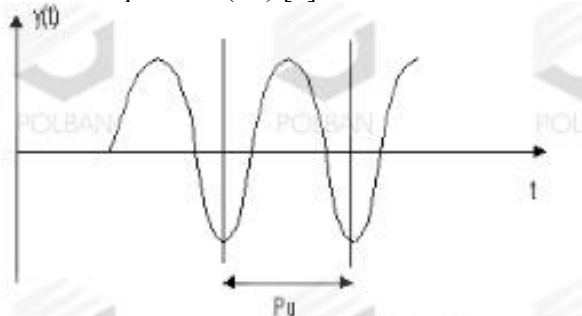
■ **Gambar 8.** Rangkaian Sensor Tegangan dan Panel Monitoring

F. Kendali PID dan Metode Zieger-Nichols

Untuk dapat mengimplementasikan sistem kendali PID kontinu menjadi sistem kendali digital pada mikrokontroler, persamaan kendali PID kontinu harus dirubah ke dalam persamaan diskrit. [6]
Berikut Pengaruh dari PID :[7]

1. Parameter K_p identik sekali dengan pengendalian Proporsional. Nilai K_p ini sangat berpengaruh kepada sensitifitas dari kontroler, artinya semakin besar nilai K_p maka kontroler akan semakin sensitif, begitu juga dengan sebaliknya.
2. Parameter T_i identik sekali dengan pengendalian Integral. Pengendalian Integral ini mempunyai sifat dapat mengeluarkan output pada saat input sama dengan nol. Jika nilai T_i mempunyai harga yang besar maka reaksi pengendali akan semakin cepat atau pengendali semakin sensitif, begitu juga dengan sebaliknya
3. Parameter T_d identik sekali dengan Pengendalian Diferensial. Pengendalian Diferensial ini mempunyai sifat yang tidak dapat mengeluarkan output jika tidak terdapat perubahan input. Nilai output berbanding lurus dengan nilai T_d , artinya semakin besar nilai T_d maka akan semakin besar pula nilai output yang dihasilkan
4. Jadi parameter K_p , T_i , T_d pada respon pengendalian yang menggunakan PID adalah saling memberikan aksi yang dapat mengatasi kekurangan dari masing – masing pengendali P, I, dan D. Unsur P, I, dan D masing-masing berguna untuk mempercepat reaksi sistem, menghilangkan offset, dan mendapatkan energi ekstra disaat-saat awal perubahan *load* atau *set point*. [7]

Metode Zieger-Nichols didasarkan pada reaksi sistem lup tertutup, Plant disusun serial dengan kendali PID. Semula parameter – parameter integrator di set tak terhingga dan parameter diferensial diset nol ($T_i = \infty$ atau $K_i = 0$; $T_d = 0$ atau $K_d = 0$). Parameter proposional kemudian dinaikkan bertahap. Mulai dari nol sampai mencapai harga yang mengakibatkan reaksi siste berosilasi. Reaksi sistem har berosilasi dengan magnitudo tetap. Nilai penguatan proporsional pada saat sistem mencapai kondisi berosilasi dengan manitudo tetap (*sustained oscillation*) disebut *ultimate gain* (K_u). Periode dari *sustained oscillation* disebut *ultimate periode* (P_u). [6]



■ **Gambar 9** Kurva Respon *Sustained Oscillation* [6]

Penalaan parameter PID didasarkan terhadap kedua konstanta hasil eksperimen, K_u dan P_u . *Ziegler Nichols* menyarankan pengesetan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d berdasarkan rumus yang diperlihatkan pada tabel 1 .

■ **Tabel 1.** Penalaan Parameter PID Dengan Metode Osilasi

Tipe Kontroller	K_p	T_i	T_d
PID	$0,6 * K_u$	$0,5 * P_u$	$0,125 * P_u$

Dimana T_i adalah *Integral Time* dan T_d adalah *Dervative Time*

G. Debit

Debit aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang per satuan waktu. Rumus debit yaitu :

$$Q = \frac{v}{t} \dots\dots\dots (1)$$

Di mana : Q = debit (m³/dt) , V = Volume (m³), t = selang waktu (dt)

PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sensor Tegangan dengan Alat ukur

Dari hasil uji sensor tegangan dengan alat ukur multimeter true rms, sehingga didapatkan data sebagai berikut :

■ **Tabel 2.** Pengujian Sensor Tegangan dengan Alat Ukur Multimeter

Bukaan valve (derajat)	Sensor (V)	Multimeter (V)	Koreksi (V)
20	0,64	0,66	0,02
30	9,90	9,70	0,20
40	11,59	11,41	0,18
50	12,00	11,80	0,20
60	12,10	11,90	0,20
70	12,15	11,94	0,18
80	12,16	11,95	0,18
90	12,16	11,95	0,18

Pengujian sensor tegangan dengan multimeter ini bertujuan untuk mengkalibrasi sensor tegangan, dengan membandingkan hasil pembacaan sensor tegangan dengan hasil yang diukur menggunakan multimeter sehingga dihasilkan nilai koreksi seperti tabel 2.

B. Pengujian tegangan/Vcc ketika ada perubahan tegangan akibat adanya beban



■ **Gambar 9** Tegangan VCC

Gambar diatas merupakan hasil pengujian tegangan VCC tetap sebesar 4,9 Volt meskipun adanya perubahan tegangan akibat adanya perbedaan beban lampu yang digunakan. Tegangan VCC tetap stabil tidak mengalami *drop*.

C. Pegujian Sensor Flow dengan Perhitungan dan Pembacaan Alat

Dari hasil uji sensor flowmeter didapatkan data uji dan perhitungan :

■ **Tabel 3.** Pengujian Sensor Flowmeter dengan Alat Ukur

Volume (liter)	Waktu terukur (detik)	Debit terbaca sensor (liter/hour)	Debit terukur (liter/hour)	Koreksi (liter/hour)	Error (%)
1	5,89	608	610,1	2,1	0,34
1,5	9,21	617	620,6	3,6	0,58
2	12,46	622	626,1	4,1	0,65
2,5	15,35	625	629,4	4,4	0,69
3	18,35	627	631,6	4,6	0,73

Untuk mengkalibrasi pembacaan sensor flow dan membandingkan dengan perhitungan debit didapatkan nilai seperti tabel 3. Berikut perhitungan debit :

a. Volume 1 Liter

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{1}{5,9} = 0,169 \text{ L/s} = 0,169 \times 60 = 10,169 \text{ L/m} = 10,169 \times 60 = 610,1 \text{ L/h}$$

b. Volume 1,5 Liter

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{1,5}{8,7} = 0,172 \text{ L/s} = 0,172 \times 60 = 10,34 \text{ L/m} = 10,34 \times 60 = 620,6 \text{ L/h}$$

c. Volume 2 Liter

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{2}{11,5} = 0,173 \text{ L/s} = 0,173 \times 60 = 10,43 \text{ L/m} = 10,43 \times 60 = 626,1 \text{ L/h}$$

d. Volume 2,5 Liter

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{2,5}{14,3} = 0,175 \text{ L/s} = 0,175 \times 60 = 10,49 \text{ L/m} = 10,49 \times 60 = 629,3 \text{ L/h}$$

e. Volume 3 Liter

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{3}{17,1} = 0,175 \text{ L/s} = 0,175 \times 60 = 10,53 \text{ L/m} = 10,53 \times 60 = 631,5 \text{ L/h}$$

D. Hasil Pembacaan Debit dan Tegangan dengan Diberi Beban 3 Watt

Berikut ini merupakan hasil pengambilan data nilai debit dan tegangan yang dihasilkan generator apabila diberi beban lampu LED 3 watt dan tanpa beban. Data ini diambil berdasarkan derajat bukaan valve.

■ **Tabel 4.** Nilai Tegangan dan Debit Berdasarkan Derajat Bukaan Valve Saat Diberi Beban dan Tanpa Beban.

No	Sudut	Tanpa Beban		Dengan Beban	
		Tegangan (V)	Debit	Tegangan (V)	Debit (L/h)
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00
2	10	0,00	0,00	0,00	0,00
3	20	0,12	44,46	0,10	44,46
4	30	9,56	80,07	8,19	80,00
5	40	11,39	88,08	9,71	88,09
6	50	11,86	93,24	10,12	93,24
7	60	12,00	93,33	10,27	93,33
8	70	12,05	97,68	10,34	97,68
9	80	12,05	98,10	10,37	98,14
10	90	12,05	98,80	10,37	98,76

Dari data diatas dihasilkan nilai tegangan dan debit yang berbeda pada setiap derajat bukaan valve, akan tetapi nilai debit dengan generator diberi beban Lampu LED atau tidak di beri beban lampu, tidak berpengaruh (hampir sama) ini dikarenakan mini generator DC magnet permanent. Dari percobaan tersebut perbedaanya ada di tegangan yang dihasilkan generator ketika berbeban. Ketika diberi beban lampu, tegangan yang dihasilkan akan semakin menurun dibanding tanpa diberi beban lampu, sehingga untuk menstabilkan tegangan perlu dilakukan pengaturan sitem kontrol PID dengan mengatur bukaan valve agar tegangan yang dihasilkan generator tetap stabil.

E. Ziegler Nichlos PID Tunning Mencari Nilai Kp, Ki, Kd.

Untuk Mendapatkan nilai tegangan generator yang stabil akibat adanya beban lampu dibutuhkan variable proses auto tuning. Menentukan berdasarkan parameter yang ada di bab metodologi.

Percobaan pertama :

Menentukan Nilai Kp Ki Kd berdasarkan percobaan yang telah dilakukan :

$$K_p = 1,5, K_i = 0, K_d = 0 \quad \text{Didapatkan } P_u = 4 \text{ s}$$

Nilai Kp 1,5 didapatkan dari uji coba manual (try and error) dengan mencari respon PID dengan reaksi sistem berosilasi dengan magnitudo tetap sehingga menghasilkan P_u (*ultimate perid*) 4 detik. Kemudian dari nilai KP dan P_u yang didapatkan diatas dilakukan pehitungan untuk mencari nilai Kp, Ti, Td berdasarkan tabel 1 .

$$K_p = 0,6 \times K_u \dots\dots\dots(2)$$

$$= 0,6 \times 1,5 = 0,9$$

$$T_i = 0,5 \times P_u \dots\dots\dots(3)$$

$$= 0,5 \times 4 = 2$$

$$T_d = 0,125 \times P_u \dots\dots\dots(4)$$

$$= 0,125 \times 4 = 0,5$$

$$Ki = \frac{Kp}{Ti} \dots \dots \dots (5)$$

$$= \frac{0,9}{2} = 0,45$$

$$Kd = Kp \times Td \dots \dots \dots (6)$$

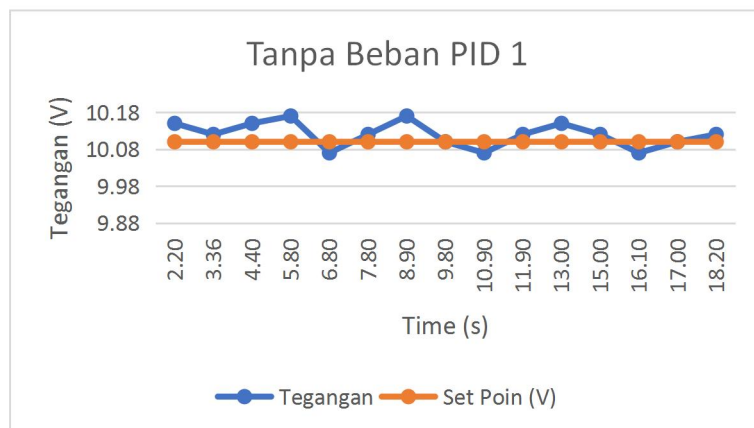
$$= 0,9 \times 0,5 = 0,45$$

Sehingga pada percobaan pertama didapatkan Nilai : Kp = 0,9 ; Ki = 0,45 ; Kd = 0,45
Kemudian dari nilai Kp,Ki,Kd diatas dilakukan percobaan pertama tanpa beban dan diberi beban lampu LED untuk mengetahui respon kontrol PID tersebut apakah sudah mendekati set poin.
Berikut data hasil percobaan tanpa beban :

■ **Tabel 5.** Hasil Percobaan Pertama dengan Kontrol PID tanpa Diberi Beban

No	Tegangan (V)	Time (s)	Delta Time (s)
1	10,15	2,20	1,16
2	10,12	3,36	1,04
3	10,15	4,40	1,40
4	10,17	5,80	1,00
5	10,07	6,80	1,00
6	10,12	7,80	1,10
7	10,17	8,90	0,90
8	10,10	9,80	1,10
9	10,07	10,90	1,00
10	10,12	11,90	1,10
11	10,15	13,00	2,00
12	10,12	15,00	1,10
13	10,07	16,10	0,90
14	10,10	17,00	1,20
15	10,12	18,20	1,20
Rata-Rata	10,12		1,15

Nilai *time* (waktu) diatas didapatkan dengan menggunakan stopwatch perubahan tegangan saat berosilasi menuju nilai set poin 10,10 V. Berikut grafik respon percobaan pertama dengan nilai Kp = 0,9 ; Ki = 0,45 ; Kd = 0,45 tanpa beban.



■ **Grafik 1.** Grafik Respon Tegangan Terhadap Waktu Pada Percobaan PID 1 Tanpa Beban

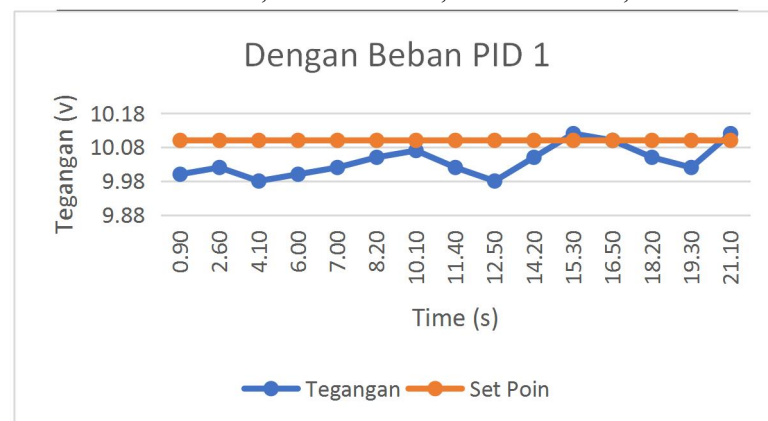
Gambar grafik diatas merupakan hasil dari percobaan pertama PID tanpa diberi beban lampu dengan nilai Kp=0,9 ; Ki= 0,45 dan Kd= 0,45. *Set point* pada 10,10 volt. Pengambilan data diambil ketika +- 0.10 volt dari set point, pada awal tegangan berada pada 10,15 diatas *set point*. Sesuai nilai konstanta PID diatas menghasilkan sistem yang berosilasi dengan nilai osilasi tertinggi pada 10,17V

dan osilasi terendah 10,07V. Rata – rata offset pada percobaan diatas pada 10,12V. 0,12V lebih besar dari *set point*.

Percobaan pertama dengan beban 3 Watt :

■ **Tabel 6.** Hasil Percobaan Pertama Alat dengan PID diberi Beban 3 Watt

No	Tegangan (V)	Time (s)	Delta Time (s)
1	10,00	0,90	1,70
2	10,02	2,60	1,50
3	9,98	4,10	1,90
4	10,00	6,00	1,00
5	10,02	7,00	1,20
6	10,05	8,20	1,90
7	10,07	10,10	1,30
8	10,02	11,40	1,10
9	9,98	12,50	1,70
10	10,05	14,20	1,10
11	10,12	15,30	1,20
12	10,10	16,50	1,70
13	10,05	18,20	1,10
14	10,02	19,30	1,80
15	10,12	21,10	1,40



■ **Grafik 2.** Grafik Respon Tegangan Terhadap Waktu Percobaan PID 1 Dengan Beban Lampu LED 3 watt

Dari grafik diatas percobaan pertama dengan nilai $K_p=0,9$; $K_i= 0,45$ dan $K_d= 0,45$ dan percobaan diberi beban lampu LED didapatkan respon seperti diatas. Respon awal mengalami penurunan tegangan akibat adanya pemberian beban dan proses menuju *stady state*.

Percobaan Kedua:

Menentukan Nilai K_p K_i K_d Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan :

$$K_p = 2, K_i=0, K_d=0 ; \text{ Didapatkan } P_u = 5,5 \text{ s}$$

$$K_p = 0,6 \times K_u \\ = 0,6 \times 2 = 1,2$$

$$T_i = 0,5 \times P_u \\ = 0,5 \times 5,5 = 2,75$$

$$T_d = 0,125 \times P_u \\ = 0,125 \times 5,5 = 0,68$$

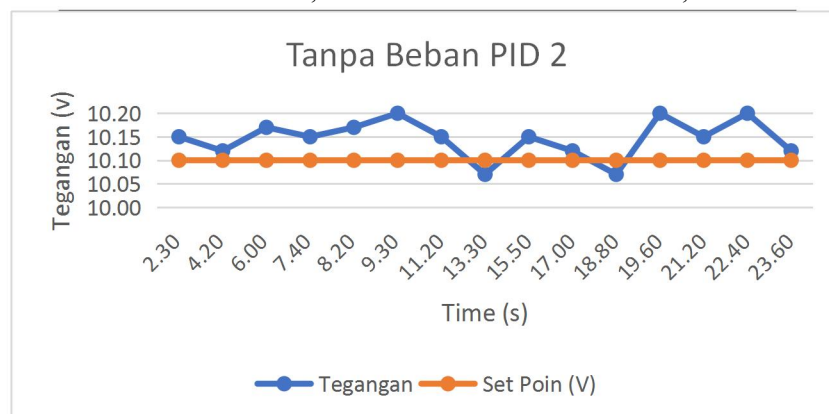
$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{1,2}{2,75} = 0,43$$

$$K_d = K_p \times T_d = 1,2 \times 0,68 = 0,61$$

Sehingga pada percobaan kedua Nilai : $K_p = 1,2$; $K_i = 0,43$; $K_d = 0,61$

■ **Tabel 7.** Hasil Percobaan Kedua Alat dengan PID tanpa Beban

No	Tegangan (V)	Time (s)	Delta Time (s)
1	10,15	2,30	1,90
2	10,12	4,20	1,80
3	10,17	6,00	1,40
4	10,15	7,40	0,80
5	10,17	8,20	1,10
6	10,20	9,30	1,90
7	10,15	11,20	2,10
8	10,07	13,30	2,20
9	10,15	15,50	1,50
10	10,12	17,00	1,80
11	10,07	18,80	0,80
12	10,20	19,60	1,60
13	10,15	21,20	1,20
14	10,20	22,40	1,20
15	10,12	23,60	1,50
Rata-Rata	10,15		1,52



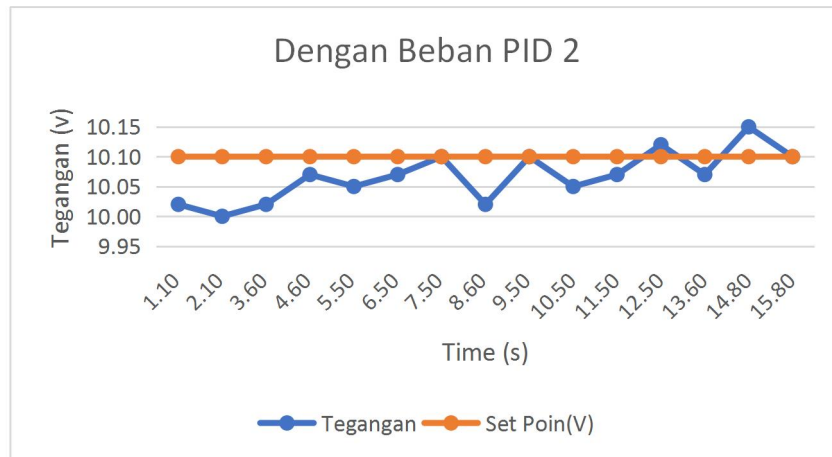
■ **Grafik 3.** Grafik Respon Tegangan Terhadap Waktu Pada Percobaan PID 2 Tanpa beban

Pada percobaan 2 diatas dengan nilai $K_p = 1,2$; $K_i = 0,43$; $K_d = 0,61$ dimana dibanding dengan percobaan 2. Nilai K_p dan K_d dinaikkan dan K_i diturunkan diharapkan akan mengurangi osilasi. Tetapi osilasi semakin tidak beraturan akibat nilai K_p yang dinaikkan terlalu banyak. Hasil Percobaan Kedua dengan beban lampu LED

■ **Tabel 8.** Hasil Percobaan Kedua Alat dengan PID diberi Beban 3 Watt

No	Tegangan (V)	Time (s)	Delta Time (s)
1	10,02	1,10	1,00
2	10,00	2,10	1,50
3	10,02	3,60	1,00
4	10,07	4,60	0,90
5	10,05	5,50	1,00
6	10,07	6,50	1,00
7	10,10	7,50	1,10
8	10,02	8,60	0,90
9	10,10	9,50	1,00

10	10,05	10,50	1,00
11	10,07	11,50	1,00
12	10,12	12,50	1,10
13	10,07	13,60	1,20
14	10,15	14,80	1,00
15	10,10	15,80	0,90



■ **Grafik 4.** Grafik Respon Tegangan Terhadap Waktu Percobaan PID 2 dengan Beban

Grafik percobaan PID 2 diatas mengalami penurunan tegangan karena adanya pemberian beban lampu. Tetapi respon akan semakin menuju keadaan yang *steady state*. Perubahan konstanta KP sangat mempengaruhi hasil respon sistem. Dimana, jika KP dinaikkan lebih banyak menjadi sistem tidak stabil (osilasi), Ki diturunkan untuk mengejar keadaan *steady state* agar sama dengan *set point* dan kd dinaikkan untuk mengurangi overshoot sistem menjadi stabil.

Dari percobaan dengan PID 1 ($K_p = 0,9$; $K_i = 0,45$; $K_d = 0,45$) & PID 2 ($K_p = 1,2$; $K_i = 0,43$; $K_d = 0,61$) akibat adanya perubahan konstanta PID didapatkan PID 1 memiliki respon sistem berosilasi lebih pendek 1,15 detik, sedangkan PID 2 memiliki respon sistem berosilasi berkisar 1,52 detik.

F. Respon Sistem Kontrol PID Menuju Set Poin

Berikut hasil percobaan untuk mengetahui respon berapa lama waktu yang dibutuhkan ketika sistem kontrol PID pertama dinyalakan menuju tegangan stabil sesuai dengan set poin 10.10V.

PID $K_p = 0,9$; $K_i = 0,45$; $K_d = 0,45 < \text{gap } 0.10\text{V}$ (9.90V - 10.20V)

PID $K_p = 5$; $K_i = 2$; $K_d = 0,2 > \text{gap } 0.10\text{V}$ (kurang dari 9.90V & lebih dari 10.10V)

■ **Tabel 9.** Waktu Yang Dibutuhkan Sistem Menuju Set Poin

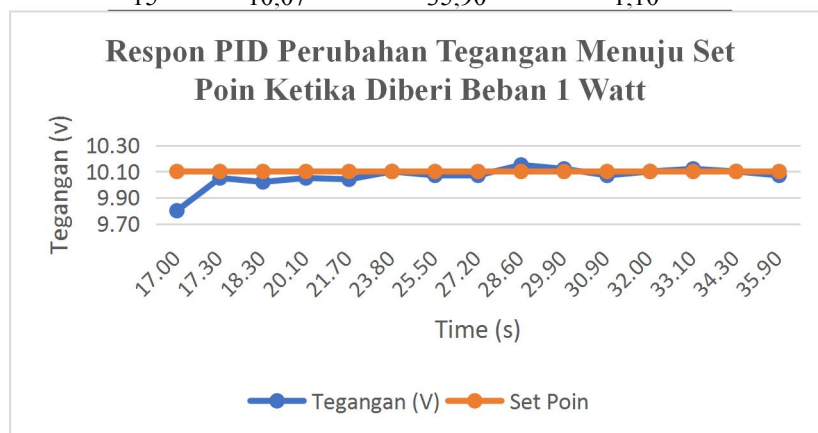
No	Tegangan (v)	Time (s)	Sudut
1	10,05	43	27
2	10,07	39	27
3	10,17	47	28
4	10,15	45	29
5	10,15	45	28,7
6	10,1	60	28,8
7	10,15	43	29,2
8	10,14	40	28,7
9	10,15	40	29,4
10	10,12	60	29,4
rata-rata	10,13	46,20	28,52

Dari tabel diatas didapatkan nilai tegangan stabilnya pada 10,13 V dimana diatur set poin sebesar 10,10 V. Waktu yang dibutuhkan dari awal alat dinyalakan menuju tegangan yang sesuai set poin berkisar 46,20 detik dengan putaran valve sebesar 28,52 derajat.

- G. Pengujian Alat Untuk Melihat Respon PID Perubahan Tegangan Dengan Pemberian Beban 1 Watt, 2 Watt dan 3 Watt

■ **Tabel 10.** Respon PID Perubahan Tegangan Menuju Set Poin Ketika Diberi Beban 1 Watt

No	Tegangan (V)	Time (s)	Delta time (s)
1	9,80	17,00	0,30
2	10,05	17,30	1,00
3	10,02	18,30	1,80
4	10,05	20,10	1,60
5	10,04	21,70	2,10
6	10,10	23,80	1,70
7	10,07	25,50	1,70
8	10,07	27,20	1,40
9	10,15	28,60	1,30
10	10,12	29,90	1,00
11	10,07	30,90	1,10
12	10,10	32,00	1,10
13	10,12	33,10	1,20
14	10,10	34,30	1,60
15	10,07	35,90	1,10



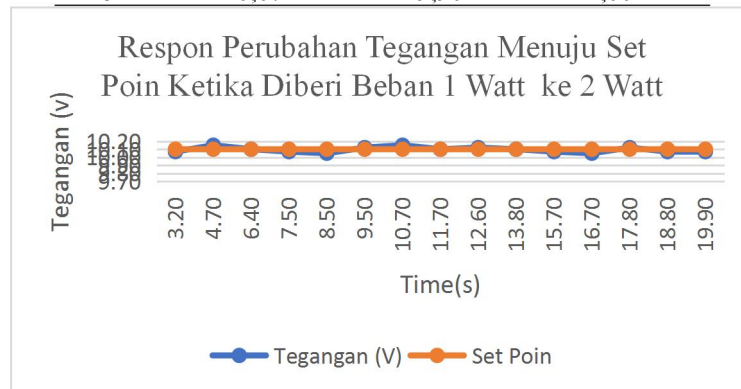
■ **Grafik 5.** Respon PID Perubahan Tegangan Menuju Set Poin Ketika Diberi Beban 1 Watt

Grafik diatas merupakan hasil respon dari keadaan sistem tanpa diberi beban saat sudah mendekati *stady state* kemudian diberi gangguan berupa pemberian beban 1 watt. Maka tegangan akan menurun kemudian menuju *set point*. Pada waktu 17.00 detik tegangan menurun pada 9,80 V merupakan *settling time* dimana respon telah masuk $\pm 5\%$ dari keadaan *stady state*.

■ **Tabel 11.** Respon PID Perubahan Tegangan Menuju Set Poin Ketika Diberi Beban 1 Watt ke 2 Watt

No	Tegangan (V)	Time (s)	Delta time (s)
1	10,07	3,20	1,50
2	10,15	4,70	1,70
3	10,1	6,40	1,10
4	10,07	7,50	1,00

5	10,05	8,50	1,00
6	10,12	9,50	1,20
7	10,15	10,70	1,00
8	10,10	11,70	0,90
9	10,12	12,60	1,20
10	10,10	13,80	1,90
11	10,07	15,70	1,00
12	10,05	16,70	1,10
13	10,12	17,80	1,00
14	10,07	18,80	1,10
15	10,07	19,90	1,00

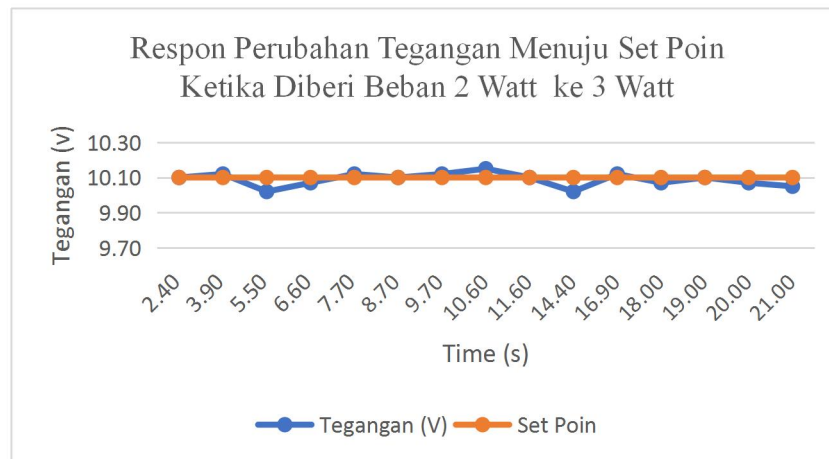


■ **Grafik 6.** Respon PID Perubahan Tegangan Menuju Set Poin Ketika Diberi Beban 1 Watt ke 2 Watt

Grafik diatas merupakan respon dari pemberian beban 1 watt kemudian diberi gangguan lagi berupa beban lampu 1 watt sehingga menjadi 2 watt. Dimana dari hasil grafik tersebut osilasi masih berada pada keadaan *settling time* 5 % dari keadaan *stady state*.

■ **Tabel 12.** Respon PID Perubahan Tegangan Menuju Set Poin Ketika Diberi Beban 2 Watt ke 3 Watt

No	Tegangan (V)	Time (s)	Delta time (s)
1	10,10	2,40	1,50
2	10,12	3,90	1,60
3	10,02	5,50	1,10
4	10,07	6,60	1,10
5	10,12	7,70	1,00
6	10,10	8,70	1,00
7	10,12	9,70	0,90
8	10,15	10,60	1,00
9	10,10	11,60	2,80
10	10,02	14,40	2,50
11	10,12	16,90	1,10
12	10,07	18,00	1,00
13	10,10	19,00	1,00
14	10,07	20,00	1,00
15	10,05	21,00	0,90



■ **Grafik 7.** Respon PID Perubahan Tegangan Menuju Set Poin Ketika Diberi Beban 2 Watt ke 3 Watt

Pada grafik diatas merupakan grafik perubahan respon tegangan dari pemberian beban 2 watt ke beban 3 watt. Respon diatas masih berada pada keadaan *settling time* 5 % dari keadaan *steady state*.

H. Pembahasan

Dilakukan pengambilan data nilai tegangan dan debit berdasarkan derajat bukaan valve saat diberi beban dan tanpa beban (tabel 4.3), dihasilkan nilai tegangan dan debit yang berbeda pada setiap derajat bukaan valve, akan tetapi pada setiap derajat bukaan valve nilai debit dengan generator diberi beban lampu LED atau tidak di beri beban, tidak berpengaruh (hampir sama) ini dikarenakan mini generator DC magnet permanen dan juga karena luas penampang pada valve yang digunakan sama sesuai derajat bukaan valve. Besarnya luas penampang dari valve merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya debit yang dihasilkan. Dari data tabel 4.3 semakin besar derajat bukaan valve maka semakin besar pula debit yang dihasilkan, ketika valve dibuka 20 derajat dihasilkan debit sebesar 44,46 *liter/hour* , pada bukaan 90 derajat menghasilkan debit 98,80 *liter/hour*. Sedangkan tegangan yang dihasilkan berbeda pada keadaan diberi beban atau tidak. Pada bukaan valve 30 derajat tanpa beban LED tegangan menunjukkan sebesar 9,56 Volt sedangkan dengan beban 8,19 Volt. Tegangan akan turun karena dipengaruhi beban yang diberikan. Sehingga untuk dapat menstabilkan tegangan akan diatur menggunakan kontrol PID berdasakan prinsip *Ziegler Nichols* dengan *set point* yang ditentukan sebesar 10,10 Volt.

Pada percobaan pertama untuk melakukan PID Tuning dilakukan dengan menentukan nilai $K_i=K_d=0$ sedangkan nilai K_p dimasukkan sampai mendapatkan nilai output pengkondisian sinyal mencapai kondisi berosilasi dengan magnitudo tetap yaitu pada grafik 4.1 $K_p=1,5$, kemudian menghitung nilai K_p, K_i, K_d terbaru sesuai dengan tabel 4.4. Pada percobaan pertama diperoleh rumus konstanta proporsional, integral dan diferensial yaitu $K_p=0,9$, $K_i=0,45$, $K_d=0,45$ dengan menghasilkan besar rata – rata respon sistem saat berosilasi menuju *set point* yaitu 1,15 detik. Sedangkan Pada percobaan kedua diperoleh rumus konstanta $K_p=1,2$, $K_i=0,43$, $K_d=0,61$ dengan besarnya nilai kecepatan rata – rata waktu respon sistem saat berosilasi yaitu 1,52 detik. Sedangkan waktu yang dibutuhkan dari awal sistem dinyalakan menuju tegangan sesuai *set point* (tegangan stabil) berkisar 46,20 detik dengan putaran valve sebesar 28,52 derajat.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Mendapatkan sistem pengendalian tegangan agar tetap stabil digunakan pengendalian sistem kontrol PID berdasarkan teori Ziegler Nicholes dengan metode osilasi. Melalui eksperimen diperoleh konstanta $K_p=0,9$, $K_i=0,45$ dan $K_d=0,45$ yang paling optimal karena respon sistem berosilasi lebih pendek 1,15 detik.
2. Waktu yang dibutuhkan tegangan untuk stabil dari awal sistem dinyalakan sebesar 46,20 detik.
3. Pada tabel 4 valve dibuka 30 derajat menghasilkan tegangan 9,56 V dan debit 80,07 l/h sedangkan pada 70 derajat menghasilkan tegangan 12,05 V dan debit 97,68 l/h. Jadi, Semakin besar derajat bukaan valve maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan, karena aliran air (debit) yang dihasilkan juga semakin besar. Beban akan mempengaruhi nilai tegangan . Saat

diberi beban lampu tegangan akan semakin turun. Agar tegangan stabil maka dikendalikan dengan sistem kontrol PID untuk mengendalikan derajat bukaan valve agar sesuai dengan set poin saat diberi beban atau tidak.

4. Pengaruh kontrol proporsional, integral, derivative :
 - a. $K_p > K_i$ jika ingin mempercepat *rise time* tetapi *steady state* sistem tidak bisa hilang
 - b. $K_i > K_p$ dapat membuat *steady state error* menghilang tetapi respon lebih lambat, bahkan nilai K_i yang besar dapat menambah *overshoot*
 - c. Nilai K_d dapat menurunkan nilai *overshoot* yang disebabkan oleh K_i dan K_p .

B. Saran

Hasil perancangan dan penelitian ini merupakan uji coba memanfaatkan tandon rumahan dengan ketinggian kurang lebih 5 meter untuk digunakan sebagai prototipe mikrohidro, apabila memanfaatkan tandon air yang lebih tinggi harus melakukan pengujian untuk menentukan nilai PID (K_p, K_i, K_d).

Semakin besar tekanan air maka nilai K_p, K_i harus semakin rendah dengan tujuan respon kontrol semakin halus (kurang sensitiv) sehingga jika mendekati set point tidak terjadi error karena sensitivitas kontrol, sedangkan nilai K_d digunakan untuk menurunkan *overshoot* yang disebabkan oleh K_p dan K_i .

Nilai K_p lebih besar membuat respon semakin cepat menuju set point (sensitiv) apabila diterapkan untuk tekanan air yang tinggi akan berdampak error yang lebih ketika mendekati set point.

Nilai K_p lebih rendah respon semakin pelan menuju set point (kurang sensitiv) apabila diterapkan untuk tekanan yang tinggi ketika mendekati set point tidak terjadi error yang lebih karena responnya halus tidak terlalu sensitiv terhadap perubahan variable yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dwiyanto Very, "Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Studi kasus : Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai)", Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2016
- [2] Fox, Robert W and Alan T. Mc. Donald. *Introduction to Fluid Mechanics, fourth edition*. SI Version, John Wiley & Sons, Inc, Canada. 1994
- [3] Share ITS "Loop Tertutup" 2022
Internet: http://share.its.ac.id/pluginfile.php/40554/mod_resource/content/2/Sistem%20Pengendalian%20Loop%20Tertutup.html . [5 Juli 2022]
- [4] Khumaidi Agus. 2019.
Internet: <https://lecturer.ppns.ac.id/aguskhumaidi/2019/09/05/mikrokontroler-arduino/> (5 september 2019)
- [5] Yusri Muhammad dan Anwar Nurhikmah. Laporan tentang MOV, Pneumatik dan Hidrolik. Politeknik Bosowa, Makassar, 2019
- [6] Yuwono Putro, Trisno, "Studi Optimalisasi Metoda Penalaan Ziegler-Nichols pada Pengendalian Level air Sistem Couple-Tank Menggunakan Kendali PID Digital", Jurusan teknik Elektro. Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2012
- [7] Arindya Radita, "Penalaan Kendali PID untuk Pengendalian proses", Universitas Satyagama Jakarta, Jakarta, 2015