

IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI PID UNTUK PENGATURAN DEBIT ALIRAN AIR PADA *MINI PLANT WATER FLOW* BERBASIS PLC DAN HMI

Hasbi Ash Shiddiqi Sutiadi¹, Toto Tohir¹, Febi Ariefka Septian Putra^{1*}, Sofyan Muhammad Ilman¹, Yosua Sahat Halomoan¹, dan Dini Hariani Fitri Lubis¹

¹Program Studi D4 Teknik Otomasi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia

*Penulis korespondensi, E-mail: febi.ariefka@polban.ac.id

Abstrak

Sistem kendali aliran air merupakan aspek penting dalam berbagai industri, seperti pengolahan air, manufaktur, dan sistem pendinginan. Ketidakstabilan aliran air akibat perubahan beban atau gangguan eksternal dapat menyebabkan ketidakefisienan proses. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kendali PID (*Proportional-Integral-Derivative*) berbasis PLC (*Programmable-Logic-Controller*) dan HMI (*Human-Machine-Interface*) pada *mini plant water flow* untuk menjaga kestabilan debit air terhadap perubahan beban. PLC Mitsubishi FX3U-14MR digunakan sebagai pengendali utama yang menerima data dari sensor aliran dan mengatur kinerja pompa air melalui pemrosesan sinyal PID. HMI digunakan untuk memantau dan mengatur parameter kendali secara *real-time*. Metode tuning yang digunakan adalah Ziegler-Nichols 1. Hasil menunjukkan bahwa metode ini mampu mengatur aliran air pada *setpoint* 5 LPM dengan performa: *Overshoot* = 0%, *Error Steady-State* = 1,2%, *Rise Time* = 15 detik, dan *Settling Time* = 27 detik. Metode Ziegler-Nichols 1 memberikan respons yang stabil, meskipun memerlukan waktu tuning lebih lama. Sistem ini efektif untuk pengendalian aliran air skala kecil dan sebagai media pembelajaran otomasi industri.

Kata kunci: Kendali PID, PLC, HMI, Mini Plant, Ziegler-Nichols, Aliran Air

Abstract

Water flow control is a crucial aspect in various industries, including water treatment, manufacturing, and cooling systems. Instability in water flow due to load changes or external disturbances can lead to process inefficiencies. This study aims to design and implement a PID (Proportional-Integral-Derivative) control system based on a PLC (Programmable Logic Controller) and HMI (Human-Machine Interface) on a water flow mini plant to maintain flow rate stability under varying load conditions. The Mitsubishi FX3U-14MR PLC is used as the main controller, receiving input from a flow sensor and regulating the water pump through PID signal processing. The HMI is utilized for real-time monitoring and adjustment of control parameters. The tuning method applied is Ziegler-Nichols Method 1. The results show that this method is capable of maintaining the water flow at a 5 LPM setpoint with the following performance: Overshoot = 0%, steady-state error = 1.2%, Rise Time = 15 seconds, and Settling Time = 27 seconds. Although Ziegler-Nichols Method 1 requires a longer tuning time, it provides a stable and reliable system response. This system has proven to be effective for small-scale water flow control and serves as a valuable learning tool in industrial automation.

Keywords: PID Control, PLC, HMI, Mini Plant, Ziegler-Nichols, Water Flow

1. Pendahuluan

Sistem pengendalian aliran air memegang peranan penting dalam berbagai industri, mulai dari sistem distribusi air bersih, pengolahan air limbah, hingga industri kimia dan pembangkit tenaga. Ketidakteraturan debit aliran dapat menyebabkan gangguan signifikan dalam kualitas dan efisiensi proses produksi. Untuk mengatasi hal tersebut, dibutuhkan sistem kendali yang dapat mengatur dan mengendalikan proses secara dinamis, menjaga keluaran agar tetap sesuai dengan nilai

yang diharapkan, serta meminimalkan kesalahan dan meningkatkan akurasi sistem[1]. Sistem pengendalian aliran juga telah diterapkan pada berbagai aplikasi seperti pengaturan aliran air laut pada alat pembuat garam, yang menunjukkan bahwa tuning PID yang tepat dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi *Overshoot* sistem[2].

Dalam sistem industri modern, kendali PID (*Proportional-Integral-Derivative*) menjadi salah satu metode yang paling umum digunakan karena kemampuannya dalam menangani sistem dengan

dinamika kompleks, memberikan respons yang cepat dan stabil [3]. Kontrol PID terdiri dari tiga komponen utama, yaitu kontrol *Proportional*, *Integral*, dan *Derivative*, yang masing-masing berfungsi untuk mengatur kesalahan, menghilangkan *Error Steady-State*, dan mempercepat respons sistem [4][5]. Penyesuaian parameter PID (K_p , K_i , K_d) menjadi krusial agar sistem dapat beroperasi dengan optimal, dan proses ini disebut *controller tuning*. Salah satu metode tuning yang banyak digunakan adalah Ziegler-Nichols, yang menyediakan pendekatan praktis dalam menentukan parameter PID berdasarkan karakteristik respon transien dari sistem [6][7]

Seiring perkembangan teknologi otomasi, implementasi kendali PID semakin banyak dilakukan menggunakan PLC (*Programmable Logic Controller*) yang menawarkan keandalan tinggi dan kemudahan integrasi dengan perangkat industri lainnya[8][9]. Ditambah dengan HMI (*Human-Machine Interface*) yang memungkinkan operator memantau sistem secara *real-time* dan melakukan penyesuaian parameter secara langsung, integrasi antara PID, PLC, dan HMI menjadi solusi ideal dalam sistem kontrol proses industri[4][10].

Penelitian oleh Jafari et al. [11] telah menunjukkan efektivitas kendali PID dalam mengontrol laju aliran fluida pada sistem perpipaan industri, sementara Sukowati et al. [12] menggunakan Arduino dan Matlab untuk tuning PID pada pengaturan debit air dan menunjukkan *Error Steady-State* sekitar 4%. Studi lain oleh Buwarda et al. [13] mengembangkan pengendalian ketinggian air berbasis LabVIEW dan Arduino dengan akurasi tinggi, dan Setiawan [14] mengusulkan kontrol cascade PID untuk meningkatkan kestabilan level tangki terhadap perubahan laju aliran.

Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Widiyantoro et al. [15], yang merancang sistem kendali *valve* menggunakan mikrokontroler untuk mengatur laju aliran gas hidrogen dan oksigen pada purwarupa sistem SOFC. Sistem tersebut menggunakan sensor aliran Omron D6F-05N2-000 dan aktuator motor servo, serta menerapkan metode kontrol *open-loop* dan *on-off*. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem dapat mengatur aliran secara bertahap dengan *error* kecil, menjadikan pendekatan ini relevan sebagai referensi awal dalam pengembangan sistem kontrol aliran berbasis PLC dan PID.

Penelitian oleh Tika et al. [16] mengembangkan sistem pemantauan dan pengendalian debit air berbasis mikrokontroler dengan menerapkan algoritma PID sebagai metode pengendalian utama. Sistem ini memanfaatkan sensor YF-S201 untuk membaca laju aliran dan menggunakan motor DC sebagai aktuator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kontrol PID mampu mempertahankan debit air mendekati nilai *setpoint* dengan *Error Steady-State* di bawah 5%. Temuan ini memperkuat efektivitas PID dalam mengendalikan

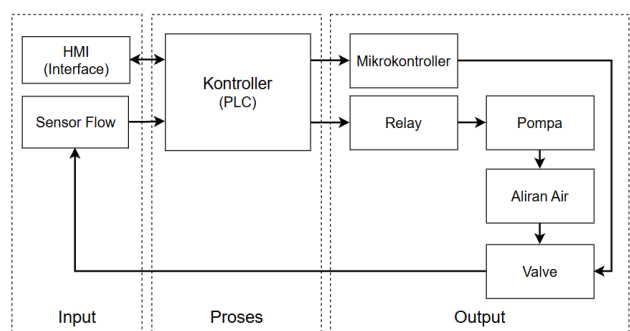
proses dinamis seperti laju aliran cairan dan menunjukkan bahwa integrasi sensor, mikrokontroler, dan algoritma PID dapat membentuk sistem kontrol sederhana yang presisi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kendali PID berbasis PLC dan HMI guna mengatur debit aliran air pada *mini plant*. Fokus utama dari penelitian ini adalah agar sistem dapat mencapai kinerja optimal pada *setpoint* debit air sebesar 5 LPM, dengan spesifikasi teknik yaitu *Overshoot* $\leq 20\%$, *Error Steady-State* $\leq 5\%$, *Rise Time* ≤ 60 detik, dan *Settling Time* ≤ 60 detik. Penelitian ini menggunakan metode tuning Ziegler-Nichols. Dengan pendekatan ini, sistem diharapkan mampu merespons gangguan dengan cepat, menjaga kestabilan aliran air, serta memberikan solusi praktis bagi pengendalian sistem pada skala industri kecil maupun sarana pembelajaran otomasi[17], [18].

2. Metode

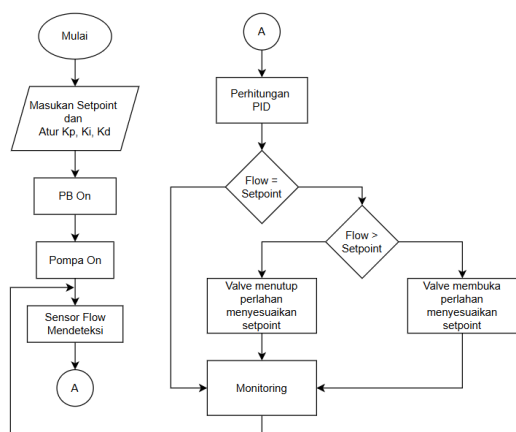
2.1. Sistem *Mini Plant* dan Konfigurasi Umum

Penelitian ini menggunakan *mini plant* aliran air yang terdiri dari dua tangki penampung air, satu pompa sebagai aktuator utama, pipa penghubung, serta sensor *flow* untuk mendeteksi laju aliran air. Sistem dikendalikan menggunakan PLC Mitsubishi FX3U-14MR, dan pengaturan serta pemantauan parameter dilakukan melalui HMI Weintek MT8072iP. Sistem ini dirancang untuk mempertahankan laju aliran air pada nilai *setpoint* yang telah ditentukan, dengan menggunakan kendali PID. Gambar blok sistem secara umum ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1 Diagram Blok Sistem

Gambar 1 terlihat di mana sensor *flow* mengirimkan data aktual ke PLC, yang selanjutnya membandingkannya dengan nilai *setpoint* dan menghasilkan sinyal kendali PID untuk mengatur bukaan *valve* motor servo melalui output analog dengan perantara mikrokontroler. Gambar 2 menunjukkan *Flow* diagram yang menggambarkan sistem kendali aliran air berbasis PID.



Gambar 2 Diagram Alir Sistem

Sistem dimulai dengan pengaturan nilai parameter PID (K_p , K_i , K_d), kemudian pengguna memasukkan *setpoint* aliran yang diinginkan. Setelah itu, pompa diaktifkan untuk mengalirkan air, dan sensor *flow* mendeteksi laju aliran. Sistem kemudian membandingkan laju aliran dengan *setpoint*. Jika laju aliran sudah sesuai dengan *setpoint*, sistem tetap mempertahankan kondisi tersebut. Jika laju aliran lebih besar dari *setpoint*, *valve* akan menutup untuk mengurangi aliran, sedangkan jika aliran lebih kecil dari *setpoint*, *valve* akan membuka untuk menambah aliran. Setelah penyesuaian dilakukan, sistem terus melakukan monitoring dan mengulangi proses ini hingga laju aliran stabil pada *setpoint* yang diinginkan.

2.2. Rancangan Kendali PID

Kontrol PID adalah sebuah metode yang digunakan untuk memperbaiki respon keluaran suatu sistem/plant. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama, yaitu *Proportional*, *Integral*, dan *Derivative* yang dapat digunakan secara terpisah maupun bersamaan, yaitu kendali *Proportional* (P), kendali *Integral* (I), dan kendali *Derivative* (D).

Pengendali PID digunakan untuk memperbaiki karakteristik sistem kontrol aliran air agar memenuhi kriteria kinerja seperti *Rise Time*, *Settling Time*, *Overshoot*, dan *steady-state error*. Berikut rumus dasar kendali PID:

$$mv(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$

Dimana:

$mv(t)$ = *Manipulate Variable (Output PID)*

K_p = Nilai Konstan *Proportional*

T_i = Nilai Konstan *Integral*

T_d = Nilai Konstan *Derivative*

$e(t)$ = Selisih antara *set point* dan nilai aktual (*error*)

Sinyal *error* $e(t)$ dihitung di PLC secara *real-time*, dan hasil pengolahan PID digunakan untuk mengatur bukaan *valve*.

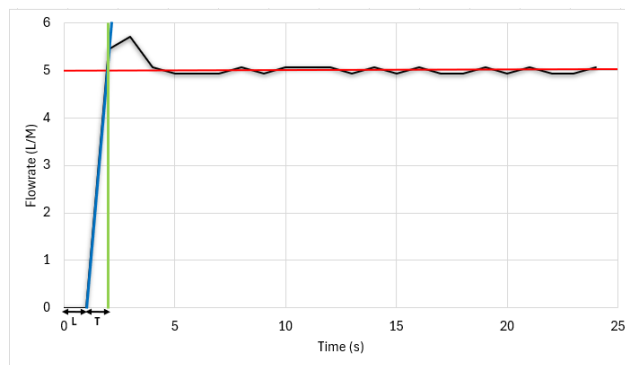
2.3. Tuning Parameter PID

Untuk memperoleh parameter PID yang optimal, digunakan metode penyetelan Ziegler-Nichols (ZN) metode 1. Metode ini dilakukan dengan mengatur parameter awal hingga sistem menunjukkan osilasi berkelanjutan, kemudian parameter PID dihitung menggunakan rumus yang telah ditentukan pada Metode Ziegler -Nichols seperti ditunjukkan Tabel 1

Tabel 1 Metode Ziegler-Nichols 1

Tipe Pengendali	K_p	T_i	T_d
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Untuk menentukan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d berdasarkan tabel metode Ziegler-Nichols, diperlukan terlebih dahulu nilai konstanta L (waktu tunda) dan T (waktu naik). Kedua parameter ini diperoleh dari hasil respon sistem terhadap sinyal input langkah (*open-loop step response*). Nilai L dan T didapatkan dengan menarik garis singgung pada kurva respon awal, di mana titik potong garis tersebut dengan sumbu waktu dan perubahan kemiringan digunakan sebagai acuan dalam menentukan nilai L dan T . Gambar 3 menunjukkan grafik respon *open-loop* dari sistem yang digunakan dalam penelitian ini:



Gambar 3 Grafik *Open Loop*

Dari grafik respon *open loop* diatas menghasilkan parameter waktu tunda (L) dan konstanta waktu (T) sebesar $L = 1$ dan $T = 1$, maka dari nilai tersebut kita bisa tentukan nilai K_p , T_i , dan T_d menggunakan rumus penalaan PID dengan menggunakan Metode Ziegler-Nochols.

Setelah mengetahui nilai L dan T di atas, maka hasil tersebut harus diolah dengan menggunakan tabel Ziegler-Nichols diatas, sehingga menghasilkan nilai K_p , K_i , dan K_d . Berikut Tabel 2 hasil perhitungannya:

Tabel 2 Perhitungan Kp, Ti, Td

Controller Type	Kp	Ti	Td
PID	1.2	2	0.5

Sehingga mendapatkan nilai Kp, Ki, dan Kd pada Tabel 3

Tabel 3 Hasil Penalaan Tuning Ziegler-Nichols 1

	KP	Ki=Kp/Ti	Kd=Kp*Td
PID	1.2	0.6	0.6

2.4. Implementasi dan Integrasi Sistem

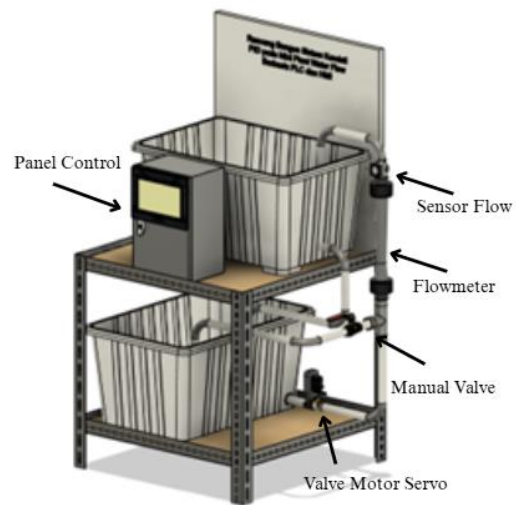
Program PLC dibuat menggunakan GX Works 2, sedangkan desain antarmuka HMI dikembangkan menggunakan EasyBuilder Pro. Komunikasi antara PLC dan HMI dilakukan melalui komunikasi serial RS-232. Desain HMI menampilkan laju aliran aktual, nilai *setpoint*, dan parameter PID, serta memberikan akses bagi pengguna untuk mengubah parameter kendali secara langsung.

Sensor *flow* yang digunakan merupakan jenis sensor berbasis efek Hall dengan keluaran pulsa, yang dikonversi menjadi satuan liter per menit (LPM) di dalam PLC. Nilai *error* antara *setpoint* dan nilai aktual diproses oleh PLC menggunakan logika PID untuk menghasilkan sinyal output analog 0–10 V.

Output analog dari PLC ini tidak langsung mengontrol aktuator, tetapi digunakan sebagai sinyal referensi untuk mikrokontroler (Arduino) yang berfungsi sebagai perantara dalam mengatur posisi bukaan *valve*. Mikrokontroler membaca tegangan analog dari PLC dan menerjemahkannya menjadi sinyal kontrol untuk menggerakkan motor servo yang telah dimodifikasi sebagai *valve* kontrol aliran. Pendekatan ini memungkinkan pengaturan bukaan *valve* secara presisi sesuai dengan hasil perhitungan PID yang dihasilkan oleh PLC.

2.5. Perancangan Hardware

Perancangan perangkat keras sistem *Mini Plant Water Flow* berbasis PLC dan HMI ini menggunakan beberapa komponen utama, yaitu PLC sebagai pusat kendali, HMI untuk antarmuka pengguna, *flow* sensor untuk membaca laju aliran air, serta *valve* motor servo untuk mengatur bukaan aliran. PLC menerima data dari sensor, memproses algoritma PID, lalu mengontrol *valve* agar laju aliran sesuai *setpoint* yang diinginkan. Gambar 4 merupakan desain 3D dari Plant yang dibangun.



Gambar 4 Desain 3D *Mini Plant Water Flow*

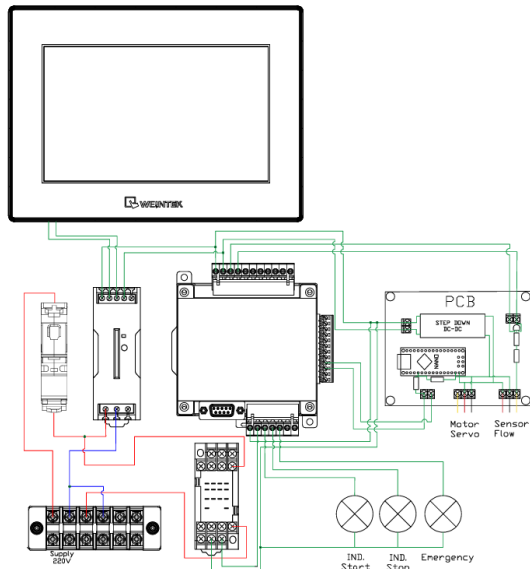
Sistem ini dilengkapi dua buah tanki, masing-masing berfungsi sebagai penampung awal dan akhir aliran air. Pipa dan fitting digunakan untuk menghubungkan antar komponen, memastikan aliran air lancar tanpa kebocoran. *Flow* sensor dipasang pada jalur pipa untuk membaca debit air secara *real-time*, sensor ini menjadi elemen penting dalam *feedback loop* sistem PID, sehingga pengendalian dapat dilakukan secara akurat berdasarkan kondisi nyata pada *plant*. Sedangkan *valve* motor servo dikendalikan secara otomatis oleh PLC berdasarkan hasil proses kontrol. Seluruh komponen disusun dalam sebuah rangka besi yang kokoh untuk memudahkan instalasi, perawatan, dan menjaga kerapian sistem. Dengan integrasi ini, operator dapat dengan mudah memantau, mengatur, dan mengoptimalkan performa sistem melalui HMI yang terhubung langsung ke PLC. Hasil pembuatan Realisasi *Mini Plant Water Flow* dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 5 Realisasi *Mini Plant Water Flow*

2.6. Schematic Diagram

Rangkaian diagram yang menunjukkan sistem kendali laju aliran air berbasis PLC, HMI, dan Arduino Nano, dengan dukungan komponen pendukung lainnya ditunjukkan pada Gambar 6



Gambar 6 Schematic Diagram

Sumber utama daya berasal dari *Power Supply* 24V, yang kemudian dibagi untuk beberapa bagian. Tegangan 24V ini diturunkan menggunakan modul *Step Down Converter* menjadi 5V untuk memberi catu daya pada komponen yang membutuhkan tegangan lebih rendah seperti *Arduino Nano*, *Flow Sensor*, dan *Motor Servo*.

HMI terhubung ke PLC menggunakan komunikasi RS232. HMI berfungsi untuk mengatur parameter dan memantau data dari sistem. PLC menerima sinyal input dari sensor dan menghasilkan output berupa sinyal analog 0-10V, yang kemudian dibagi menggunakan dua buah resistor 10k Ω agar sesuai dengan level input yang bisa diterima oleh *Arduino Nano*.

Flow sensor membaca laju aliran air, dan sinyalnya dikondisikan menggunakan resistor 220 Ω serta dikendalikan oleh transistor 2N2222 sebagai saklar elektron untuk memperkuat sinyal yang masuk ke *Arduino*. *Arduino* kemudian memproses sinyal ini dan mengendalikan *valve* motor servo melalui pin 9 untuk mengatur besar kecilnya bukaan *valve*, sehingga aliran bisa dikendalikan sesuai dengan perintah dari PLC.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Sensor YF-S201

Pengujian sensor aliran air (YF-S201) bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi dari penangkapan nilai aliran

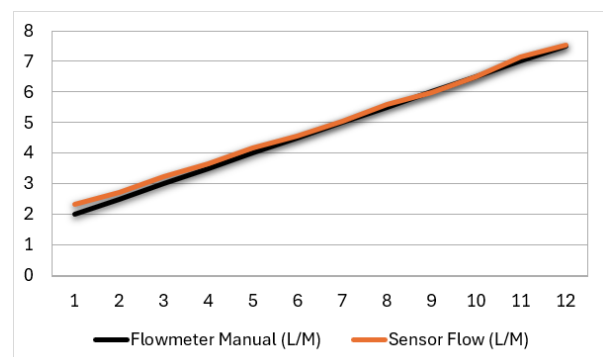
air serta karakteristik dari sensor tersebut. Pada tahap pengujian ini penulis menggunakan alat ukur berupa *flowmeter* sebagai alat pembanding pembacaan nilai sensor.

3.1.1. Hasil Pengujian

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor *flow* YF-S201 memiliki akurasi yang bervariasi tergantung pada besar aliran. Pada *flowrate* rendah (2-3 LPM), *error* cukup tinggi (hingga 17%), sedangkan pada aliran ≥ 4 LPM, *error* turun dibawah 2% dan sensor menunjukkan performa yang stabil. Frekuensi pulsa *error* meningkat linier terhadap *flowrate*, sesuai karakteristik dasarnya. Rata-rata *error* keseluruhan adalah 4.003%, yang masih dapat diterima untuk aplikasi umum. Secara keseluruhan, sensor YF-S201 layak digunakan, terutama untuk aliran sedang hingga tinggi, dengan saran kalibrasi pada *flowrate* rendah. Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian sensor YF-S201 dan Gambar 7 menunjukkan Grafik Respon Pengujian Sensor YF-S201

Tabel 4 Hasil Pengujian Sensor YF-S201

No	Flowmeter (LPM)	Sensor YF-S201 (LPM)	Frekuensi (Hz)
1	2	2.34	18
2	2.5	2.73	22
3	3	3.25	25
4	3.5	3.64	29
5	4	4.16	32
6	4.5	4.55	36
7	5	5.06	39
8	5.5	5.58	44
9	6	5.97	48
10	6.5	6.49	50
11	7	7.14	54
12	7.5	7.53	57



Gambar 7 Grafik Respon Pengujian Sensor YF-S201

3.2 Pengujian Valve (Motor Servo)

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan *valve* (dalam bentuk sudut servo dari 0% sampai 100%) terhadap nilai *flowrate* (LPM) pada sistem aliran air. Dengan pengujian ini, dapat diperoleh karakteristik hubungan antara besar bukaan *valve* dengan debit aliran air yang dihasilkan.

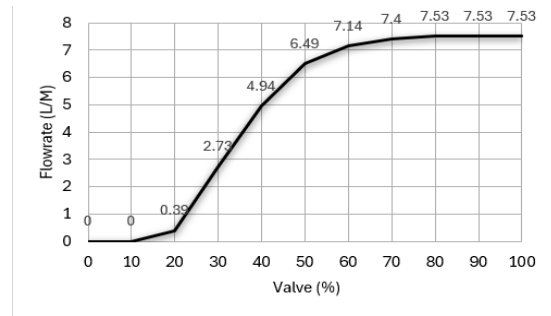
3.2.1. Hasil Pengujian

Hasil dari pengujian *valve* bisa dilihat pada Tabel 5

Tabel 5 Hasil Pengujian Pengujian Valve

No.	Bukaan Valve (%)	Flowrate (LPM)
1	0	0
2	10	0
3	20	0.39
4	30	2.73
5	40	4.94
6	50	6.49
7	60	7.14
8	70	7.4
9	80	7.53
10	90	7.53
11	100	7.53

Pengujian hubungan antara bukaan *valve* dan *flowrate* menunjukkan bahwa aliran mulai terdeteksi pada bukaan 20%, dengan *flowrate* sebesar 0.39 LPM. Seiring bertambahnya bukaan, *flowrate* meningkat secara signifikan hingga mencapai 7.14 LPM pada bukaan 60%. Namun, setelah melewati titik tersebut, peningkatan *flowrate* menjadi sangat kecil meskipun bukaan *valve* terus ditambah hingga 100%, di mana *flowrate* maksimum tercatat sebesar 7.53 LPM. Pola ini menunjukkan bahwa karakteristik *valve* bersifat nonlinier, di mana respons aliran terhadap perubahan bukaan lebih besar pada rentang 20%–60%, sedangkan setelah itu sistem mulai jenuh (saturasi). Hal ini dapat disebabkan oleh keterbatasan kapasitas pompa atau hambatan dari sistem pipa, sehingga bukaan lebih besar tidak lagi berpengaruh signifikan terhadap laju aliran. Gambar 8 menunjukkan grafik respon pengujian valve



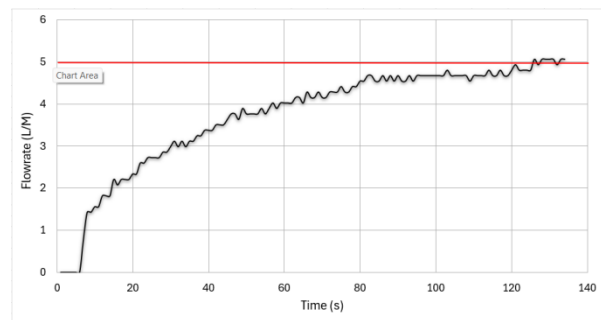
Gambar 8 Grafik Respon Pengujian Valve

3.3 Pengujian Close Loop

Pengujian *close loop* dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem kendali PID dalam menjaga laju aliran air (*Flowrate*) agar sesuai dengan nilai *setpoint*. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengamati bagaimana sistem merespon terhadap perubahan *setpoint* ketika PID diaktifkan, serta untuk menilai karakteristik performa sistem berdasarkan parameter seperti *Overshoot*, *Rise Time*, *Settling Time*, dan *Error Steady-State*. Hasil pengujian ini digunakan untuk memastikan bahwa sistem telah memenuhi kriteria performa yang diharapkan, serta dasar evaluasi apakah penyetelan parameter PID sudah optimal atau masih memerlukan penyesuaian lebih lanjut.

3.3.1. Pengujian Tuning Ziegler-Nichols

Percobaan kendali PID menggunakan tuning Ziegler-Nichols dengan parameter nilai K_p , K_i , dan K_d yang telah ditentukan diatas yaitu, $K_p = 1.2$, $K_i = 0.6$, dan $K_d = 0.6$ dengan *setpoint* 5 LPM. Gambar 9 menunjukkan grafik respon percobaan yang dihasilkan.



Gambar 9 Grafik Respon Metode Ziegler-Nichols Sebelum Manual Tuning

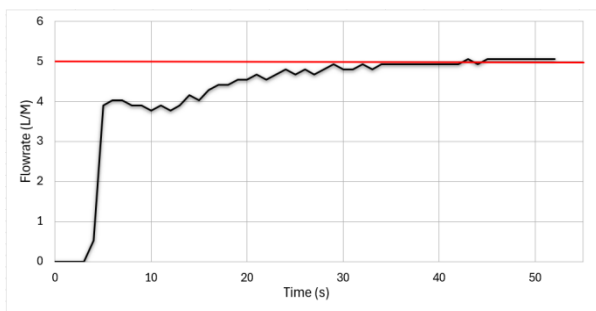
Berdasarkan grafik respon hasil pengujian diatas dapat dilakukan pengukuran terhadap parameter-parameter performa sistem kontrol. Hasil dari masing-masing parameter tersebut disajikan pada Tabel 6

Tabel 6 Hasil Respon Metode Ziegler-Nichols Sebelum Manual Tuning

Setpoint 5 LPM				
Kp = 1.2, Ki = 0.6, Kd = 0.6				
<i>Overshoot</i> (%)	<i>Error</i> Steady State (%)	<i>Rise</i> Time (s)	<i>Settling</i> Time (s)	<i>Steady</i> State (LPM)
0	1.2	73	120	5.06

3.2.2. Manual Tuning

Setelah dilakukan pengujian menggunakan metode Ziegler-Nichols, diperoleh bahwa performa sistem belum sepenuhnya memenuhi spesifikasi yang ditargetkan. Oleh karena itu, dilakukan penyetelan ulang secara manual (manual tuning) dengan cara menyesuaikan nilai parameter Kp, Ki, dan Kd secara bertahap hingga sistem mencapai kinerja yang diinginkan. Melalui proses tuning ini, diperoleh nilai parameter optimal yaitu Kp = 6, Ki = 3, dan Kd = 3, Gambar 10 menunjukkan grafik respon percobaan yang dihasilkan.



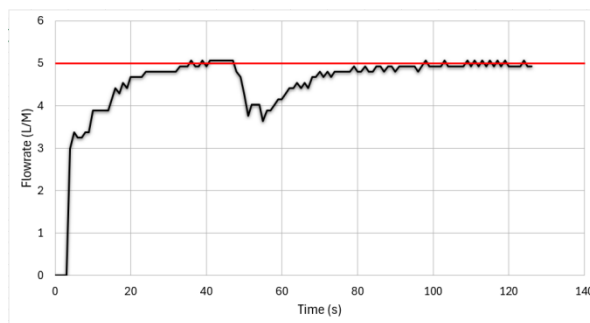
Gambar 10 Grafik Respon Metode Ziegler-Nichols Setelah Manual Tuning

Berdasarkan grafik respon hasil pengujian diatas, dapat dilakukan pengukuran terhadap parameter-parameter performa sistem kontrol, yaitu *Overshoot*, *Rise Time*, *Settling Time*, *Error Steady-State*, dan *time steady-state*. *Tabel 7* menunjukkan hasil pengukuran dari masing-masing parameter tersebut

Tabel 7 Hasil Respon Metode Ziegler-Nichols Setelah Manual Tuning

Setpoint 5 LPM				
Kp = 6, Ki = 3, Kd = 3				
<i>Overshoot</i> (%)	<i>Error</i> Steady State (%)	<i>Rise</i> Time (s)	<i>Settling</i> Time (s)	<i>Steady</i> State (LPM)
0	1.2	15	27	5.06

Adapun percobaan gangguan pada sistem ini dengan respon ditunjukkan pada Gambar 11



Gambar 11 Grafik Respon Ketika diberi Gangguan

Gambar diatas menunjukkan respon sistem kendali PID terhadap aliran air dengan nilai *setpoint* sebesar 5 LPM. Pada awalnya, sistem berhasil menaikkan *flowrate* dari 0 hingga mendekati *setpoint* dalam waktu yang cukup singkat. Setelah mencapai nilai *setpoint*, sistem menunjukkan kestabilan dengan fluktuasi kecil yang masih berada dalam batas toleransi.

Namun, sekitar waktu 47(s), terlihat adanya gangguan yang menyebabkan nilai *flowrate* menurun secara signifikan dibawah *setpoint*. Pada sistem ini gangguan tersebut berasal dari bukaan *valve* manual sebagai analogi jika ada kebocoran pipa.

Meskipun terjadi gangguan, sistem berhasil melakukan penyesuaian dan koreksi secara otomatis. Hal ini ditunjukkan dengan kembalinya nilai *flowrate* secara bertahap menuju *setpoint* awal. Respons ini menunjukkan bahwa sistem kendali PID yang digunakan mampu menstabilkan kembali nilai *flowrate* setelah adanya gangguan, sesuai dengan fungsinya sebagai sistem kendali.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan terhadap sistem kendali PID untuk mengatur aliran air, dapat disimpulkan bahwa sistem kendali PID yang dituning menggunakan metode Ziegler-Nichols 1 berhasil mengatur laju aliran (*flowrate*) mendekati *setpoint* sebesar 5 LPM. Sistem ini mampu memenuhi kriteria performa yang telah ditentukan, dengan hasil berupa *Overshoot* sebesar 0%, *Error Steady-State* sebesar 1,2%, *Rise Time* selama 15 detik, dan *Settling Time* selama 27 detik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung atas bantuan pendanaan yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini berdasarkan surat keputusan direktur Politeknik Negeri Bandung Nomor 317 /PL1 /HK.02/2025 kelompok pembiayaan A1.

Referensi

- [1] A. Fauzi and R. Aisuwarya, "Sistem Kendali Jarak Jauh dan Monitoring Penggunaan Listrik pada Pompa Air melalui Smartphone," *JITCE (Journal of Information Technology and Computer Engineering)*, vol. 4, no. 01, pp. 32–39, Mar. 2020, doi: 10.25077/jitce.4.01.32-39.2020.
- [2] A. D. Putri, F. Politeknik, and N. Malang, "SISTEM PENGENDALIAN ALIRAN AIR LAUT PADA ALAT PEMBUAT GARAM MENGGUNAKAN KONTROL PID," vol. 03, no. 01, 2024.
- [3] K. Astrom and T. Hagglund, "PID Controllers: Theory, Design, and Tuning," p. 354.
- [4] D. Rudiansyah, "PERANCANGAN PENGENDALI KETINGGIAN AIR BERBASIS HMI (HUMAN MACHINE INTERFACE) SYSTEM DAN PLC (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER)," 2022.
- [5] M. Z. Shaikh, M. Hussain, D. Kumar, F. A. Memon, B. Rustam, and E. N. Baro, "Design and implementation of PID based flow rate control using PLC," *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 42, no. 4, p. 115, Oct. 2023, doi: 10.22581/muet1982.2304.2515.
- [6] F. Suryatini and A. Firasanti, "KENDALI P, PI, DAN PID ANALOG PADA PENGATURAN KECEPATAN MOTOR DC DENGAN PENALAAAN ZIEGLER-NICHOLS," *Journal of Electrical and Electronics*, 2018.
- [7] M. N. Athoillah, M. S. Zuhrie, P. W. Rusimamto, and N. Kholis, "RANCANG BANGUN PID CONTROLLER DENGAN TUNING ZIEGLER NICHOLS UNTUK PENGENDALIAN POSISI SUDUT MOTOR DC," *Jurnal Teknik Elektro*, 2021.
- [8] L. M. A. CEng and W. D. J. Ceng, "Electrical Engineer's Reference Book," 2003.
- [9] B. Ahmad and P. Prajitno, "Design of neural network and PLC-based water flow controller," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1528/1/012065.
- [10] K. Falahi Akbar, E. Sulistio Budi, and Yulianto, "Kontrol PID Pada Steam Mini Plant Boiler Menggunakan PLC dan HMI," p. 7, 2020.
- [11] R. Jafari, S. Razvarz, C. Vargas-Jarillo, and W. Yu, *Control of Flow Rate in Pipeline Using PID Controller*. IEEE, 2019.
- [12] A. dian sukowati Sukowati, "Sistem Kendali PID Aplikasi Mini Plant Water Flow Berbasis Arduino," *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 10, no. 3, Nov. 2023, doi: 10.33795/elkolind.v10i3.3677.
- [13] S. Buwarda, M. Mutmainnah, and L. Lutfi, "Rancang Bangun Mini Plant (Water Level Controller) Menggunakan PID Berbasis LabView dan Arduino Uno," *Jurnal Minfo Polgan*, vol. 13, no. 1, pp. 838–845, Jul. 2024, doi: 10.33395/jmp.v13i1.13786.
- [14] I. R. Setiawan, "THE EFFECT OF CHANGES IN WATER FLOW RATE ON THE WATER LEVEL CONTROL CASCADE CONTROL METHOD USING PID CONTROLLER."
- [15] I. Mahfud Widiyantoro and S. dan Darjat, "PERANCANGAN KENDALI VALVE UNTUK LAJU ALIRAN GAS HIDROGEN DAN OKSIGEN BERBASIS MIKROKONTROLER." [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [16] S. W. Tika, S. Baqaruzi, and A. Muhtar, "Perancangan Sistem Pemantauan dan Pengendalian Debit Air Menggunakan Kontrol PID," *ELECTRON: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 41–47, May 2021, doi: 10.33019/electron.v2i1.2372.
- [17] M. Fathan Naqi and M. Jannah, "Sistem PID untuk Pengaturan Aliran Air pada Dua Tangki Penampungan," 2025.
- [18] M. Irsyam, M. Algusri, B. S. Mubarak, T. Elektro, F. Teknik, and U. R. Kepulauan, "ANALISA KETINGGIAN AIR PADA TANGKI BLOWDOWN MENGGUNAKAN METODE ZIEGLER-NICHOLS DI PT MITRA ENERGI BATAM," *Sigma Teknika*, vol. 6, no. 2, pp. 399–409, 2023.