

Rancang Bangun Pengendalian Flow Menggunakan Orifice dengan Metoda PID Controller

Trian Juvita Putri¹, Mochammad Rizky Pradana¹, Suka Handaja^{1*}

¹ Program Studi Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas
Jl. Sorogo No.38 Cepu – Blora – Jawa Tengah, 58311, INDONESIA

*Corresponding Author: suka.budi@esdm.go.id

DOI: <https://doi.org/10.53026/inhardware.v3i1.65>

Article Info

Received: 11st June 2025

Accepted: 28th June 2025

Available online: 30th June 2025

Keywords

Flow, Orifice Plate, PID Controller, ISO 5167, HMI Nextion

Abstrak

Ketidakstabilan aliran fluida akibat perubahan tekanan, gangguan eksternal, serta ketidakakuratan dalam penyesuaian laju aliran terhadap nilai set point menjadi permasalahan umum dalam pengendalian flow. Untuk mengatasi hal tersebut, dirancang sistem pengendalian flow menggunakan orifice dengan metode PID Controller. Sistem ini bertujuan menjaga laju aliran fluida dalam pipa agar sesuai dengan nilai set point yang diinginkan. Orifice plate yang digunakan bertipe concentric berbahan stainless steel dengan diameter lubang 0,54-inch dan ketebalan 2,1 mm, dipasang pada pipa berdiameter 1 inch. Perbedaan tekanan antara sisi hulu dan hilir orifice digunakan untuk menghitung flow rate. Perancangan prototipe meliputi tahapan mekanik, wiring, dan sistem interface menggunakan HMI Nextion sebagai media monitoring lokal secara real time. Parameter PID diperoleh menggunakan metode Ziegler-Nichols 1 dengan analisis kurva-S dari uji bump test. Hasil menunjukkan bahwa kontrol PI ($K_p=1,8$; $T_i= 6,6$) memberikan respon yang lebih stabil meskipun terdapat offset, tanpa overshoot.

Abstract

Fluid flow instability due to pressure changes, external disturbances, and inaccuracies in adjusting the flow rate to the set point value are common problems in flow control. To overcome this, a flow control system using an orifice with the PID Controller method is designed. This system aims to maintain the fluid flow rate in the pipe to match the desired set point value. The orifice plate used is a concentric type made of stainless steel with a hole diameter of 0.54 inches and a thickness of 2.1 mm, installed on a 1-inch diameter pipe. The pressure difference between the upstream and downstream sides of the orifice is used to calculate the flow rate. The prototype design includes mechanical, wiring, and system interface stages using the Nextion HMI as a local monitoring medium in real time. PID parameters are obtained using the Ziegler-Nichols 1 method with S-curve analysis from the bump test. The results show that PI control ($K_p = 1.8$; $T_i = 6.6$) provides a more stable response even though there is an offset, without overshoot.

This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license.



1. PENDAHULUAN

Penggunaan kontrol otomatis dalam bidang instrumentasi dan pengendalian memiliki peran yang vital dalam berbagai proses industri. Berbagai parameter seperti suhu, tekanan, level, aliran, tingkat keasaman (pH), dan sejenisnya memerlukan pengaturan yang tepat [1]. Salah satunya pengendalian *flow* yang merupakan proses penting dalam berbagai aplikasi industri seperti sistem perpipaan dan pengelolaan aliran fluida atau gas. Kontrol yang tepat terhadap aliran fluida dapat meningkatkan efisiensi proses, menjaga kualitas produk, dan memastikan keselamatan operasi. Untuk mencapai pengendalian *flow* yang optimal, seringkali digunakan sensor untuk mengukur laju aliran, kontroler untuk menganalisis data dari sensor, dan aktuator untuk mengatur aliran fluida sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan.

Pengukuran aliran dapat dilakukan dengan berbagai metode, termasuk penggunaan alat seperti *orifice flow meter*. *Orifice flow meter* merupakan sebuah meter skid, dimana *orifice meter* ini akan diletakkan pada sebuah pipa untuk menghambat aliran yang lewat dan menimbulkan pressure drop antara dua sisi, kemudian menghasilkan perbedaan tekanan. Nilai perbedaan tekanan tersebut yang digunakan untuk menghitung laju alir pada *orifice flow meter* [2].

Dalam dunia elektronika terdapat mikrokontroler, salah satunya adalah ESP 32 yang digunakan sebagai pengontrol otomatis. Mikrokontroler ESP32 adalah suatu sistem kontrol yang berperan sebagai chip pengendali dalam rangkaian elektronik. Dilengkapi dengan modul WiFi dan bluetooth bawaan, mikrokontroler ini menawarkan antarmuka yang komprehensif. Keberadaan modul WiFi yang sudah terintegrasi menjadikannya cocok digunakan sebagai perangkat demonstrasi untuk *Internet of Things* [3]. Pada penelitian ini akan menggunakan HMI *Nextion* sebagai media interfacenya. HMI *Nextion* adalah salah satu jenis HMI yang menggabungkan papan prosesor dan memory layar sentuh dengan perangkat lunak *Nextion Editor* untuk pengembangan desain proyek GUI (*Graphic User Interface*).

Pengontrol PID adalah bentuk pengontrol yang paling umum digunakan dalam industri untuk mengatur variabel proses pada sistem *control* dan secara luas telah banyak digunakan di industri (Saeful Bahri1, 2014). Menurut, [4] metode kontrol PID telah terbukti menjadi pendekatan yang efektif dalam mengendalikan variabel proses di industri. Namun, penyetelan parameter PID (K_p , K_i , dan K_d) bisa menjadi tantangan karena memerlukan pemahaman yang mendalam tentang karakteristik sistem yang dikendalikan. Proses penyetelan yang tidak tepat dapat menghasilkan kinerja yang buruk, seperti *overshoot*, osilasi, atau waktu penyesuaian yang lambat [5].

Dari penjelasan yang telah saya jabarkan di atas, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pengendalian *flow* menggunakan *orifice flow meter* dengan metode PID berbasis mikrokontroler. Untuk memenuhi keperluan ini pengendalian *flow* akan diimplementasikan menggunakan metode pid *controller* yang dioperasikan melalui mikrokontroler sebagai alat control, serta menggunakan HMI *Nextion* sebagai interface untuk memantau *flow* yang sedang diatur.

2. METODA

Perancangan Sistem

Perancangan sistem pengendalian flow menggunakan orifice dengan metode PID controller dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

- Identifikasi: Menentukan kebutuhan komponen utama seperti orifice flow meter, flow conditioner, sensor pressure, pompa dan HMI.
- Perancangan Blok diagram: Menyusun diagram blok pengendalian flow mencakup sensor, mikrokontroler, dan final control element.
- Pemilihan Komponen: Memilih komponen yang sesuai berdasarkan dengan kebutuhan sistem yang akan dibuat.
 - a. ESP 32
Mikrokontroler atau komponen pengendali utama yang dibekali dengan konektivitas Wi-Fi, berfungsi sebagai pusat pengendali yang mengumpulkan data dari sensor dan mengirimkannya ke Database (Firebase) [6].
 - b. Orifice flow meter
Orifice plate yang akan digunakan dalam penelitian ini menggunakan diameter pipa 1 inch dan diameter lubang *orifice plate* 0,54 inch dengan ketebalan 2,1 mm. Untuk ukuran tersebut telah disizing sesuai dengan standart ISO 5167-2 [7].
 - c. Flange PVC
Kemudian *flange* yang merupakan penghubung antara *upstream* dan *downstream orifice*. *Flange* yang digunakan adalah flange pvc yang telah dicustom dilubangi sebagai tapping dari tekanan.
 - d. Flow Conditioner

Membantu mengurangi turbulensi dan tidak meratakan aliran yang bisa mempengaruhi akurasi pengukuran aliran yang dilakukan oleh *orifice flow meter*.

- e. Sensor Pressure
Sensor untuk mengukur tekanan pada suatu alat, dapat digunakan untuk fluida padat maupun cair. *Pressure sensor* pada project ini berfungsi sebagai *Differential pressure transmitter* dan *pressure transmitter*.
- f. Servo Valve
Servo valve merupakan sebuah katup yang bertugas mengatur aliran fluida yang masuk dan keluar.
- g. Pompa DC
Pompa ini digunakan untuk mengalirkan dan memindahkan fluida dari suatu lokasi ke lokasi yang diinginkan. Penulis menggunakan Pompa DC 12 Volt digunakan untuk memompa air untuk dialirkan dalam pipa.
- h. Modul ADS1115
ADS1115 adalah sebuah *analog-to-digital converter* (ADC) beresolusi 16-bit yang digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi data digital yang dapat diproses oleh mikrokontroler atau sistem digital lainnya.
- i. Relay
Komponen elektronik yang berfungsi sebagai saklar elektromekanis yang memungkinkan pengendalian perangkat listrik berdaya tinggi menggunakan sinyal berdaya rendah dari mikrokontroler ESP32. Dalam sistem hidroponik modul relay digunakan untuk mengendalikan pompa air secara otomatis berdasarkan data sensor atau perintah dari aplikasi.
- j. Power Supply
Catu daya, yang juga dikenal sebagai power supply, merupakan sebuah perangkat elektronik yang bertugas mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC).
- k. Software Arduino IDE
Arduino IDE, singkatan dari *Integrated Development Environment*, adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke board Arduino [8] .
- l. HMI Nextion
Pada control *flow* kali ini penulis menggunakan antarmuka lokal agar nilai pembacaan variabel dapat ditampilkan di lapangan, sehingga memerlukan HMI (*Human Machine Interface*) atau sebuah layar penampil yaitu HMI *Nextion*. HMI *Nextion* digunakan sebagai *Display Local Monitoring* nilai yang terbaca dari *sensor pressure*, *differential pressure* dan *flowrate* serta melakukan setting kp, ki dan kd untuk proses *control* [9] .

Implementasi Sistem

Proses implementasi dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- Perakitan Perangkat Keras atau Hardware:
 - Orifice flow meter dipasang dengan ukuran bore orifice 0,54 inch tebal 2,1 mm.
 - Sensore pressure dipasang disisi upstream dan sisi downstream untuk mendapatkan nilai perbedaan tekanan yang nantinya akan dikalkulasikan untuk menghasilkan nilai laju aliran.
 - Flange PVC dipasang sebagai perekat dari orifice dipasang pada sisi upstream dan sisi downstream.
 - HMI Nextion digunakan sebagai tampilan lokal yang dipasang dipanel
 - ESP 32 dikonfigurasi sebagai pengendali atau control utama yang menerima maupun mengirim data dari sensor, final control elemet (servo valve) dan pompa [10] .
- Pemrograman Mikrokontroller :
 - ESP 32 diprogram untuk membaca data sensor
 - Algoritma control diterapkan untuk menyesuaikan kerja pompa dan final control element (servo valve).
 - Integrasi antara ESP 32 dengan HMI Nextion sebagai tampilan lokal [11] .

Pengolahan Data

Pengolahan dan Analisis Data :

- Data yang dihasilkan digunakan sebagai analisis untuk mengoptimalkan control dari flow.
- Tampilan Interface :
HMI Nextion digunakan untuk menampilkan kondisi sistem dan memungkinkan pengguna untuk mengendalikan flow [12] .

Pengujian serta Evaluasi

- Pengujian Fungsional :

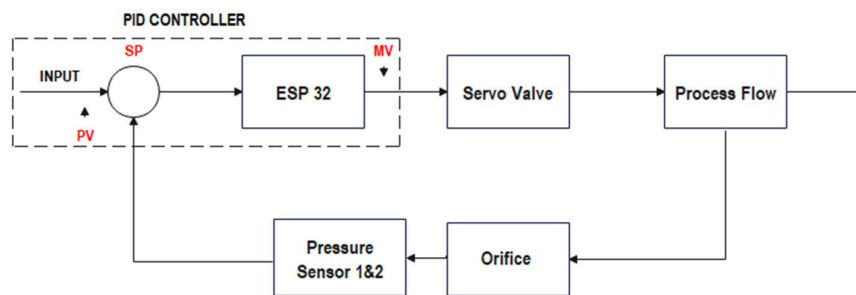
- Menguji konektivitas sistem.
- Mengukur akurasi nilai pembacaan dan error pada sensor [13] .
- Menguji kinerja servo valve dan pompa berdasarkan nilai setpoint.
- Pengujian Kinerja Sistem :
 - Mengevaluasi kenadalan sistem dalam menjaga control flow agar nilai selalu dalam setpoint yang diinginkan [14].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Alat

Seluruh komponen hardware yang dirangkai pada sistem pengendalian flow menggunakan orifice dengan metode PID controller meliputi ESP 32, Orifice Flow Meter, Flange PVC, Flow Conditioner, Sensor Pressure, Servo Valve, Pompa DC, Modul ADS1115, Relay, Power Supply, dan HMI Nextion.

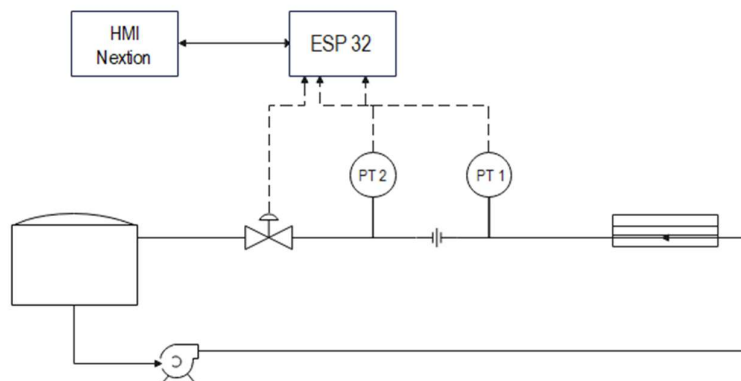
• Blok Diagram Sistem



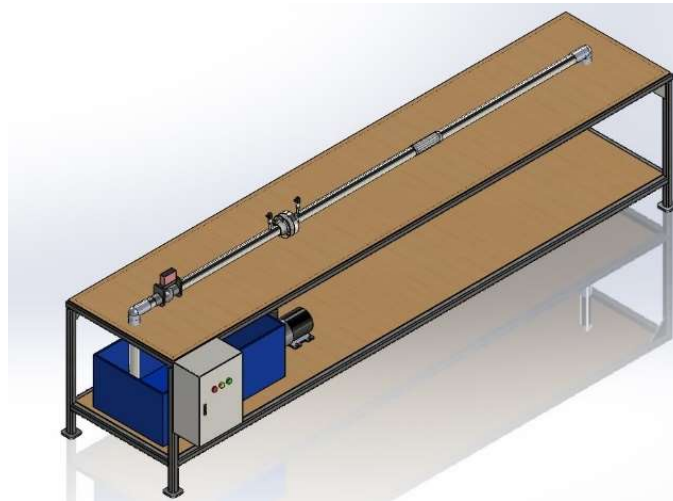
Gambar 1. Blok Diagram Sistem

• Perancangan Sistem Keseluruhan

Perancangan sistem keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.2 dan Gambar 1.3 Rancangan prototype pengendalian *flow* menggunakan *orifice* dengan metode *PID controller* dapat dilihat pada gambar dibawah. Rancangan ini merupakan gabungan antara rancangan *hardware* dan *software* sehingga dapat dilihat secara keseluruhan pada proses yang akan diteliti. Proses ini berawal dari aliran air yang dipompa dari *storage tank* lalu melewati *flow conditioner* dimana alat ini membantu mengurangi turbulensi dan memastikan aliran yang stabil, sehingga membantu meningkatkan akurasi pengukuran dengan memberikan kondisi aliran yang teratur dan terkendali dengan menggunakan sensor *orifice flow meter*.



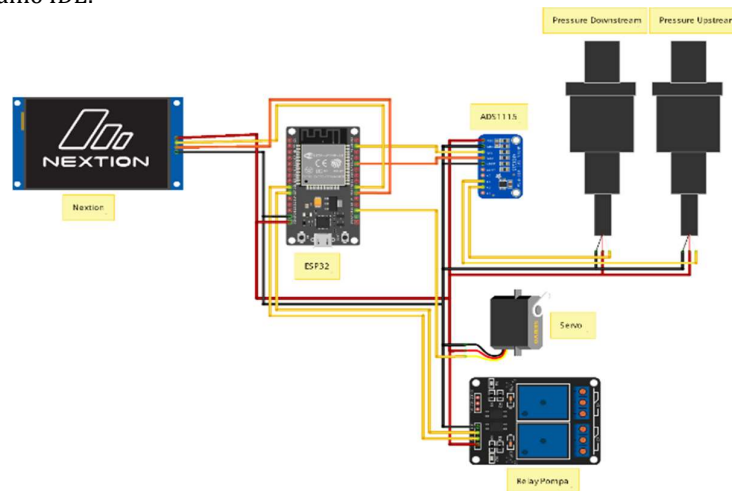
Gambar 2. Piping & Instrumentation Diagram (P&ID)



Gambar 3. Design 3D Project

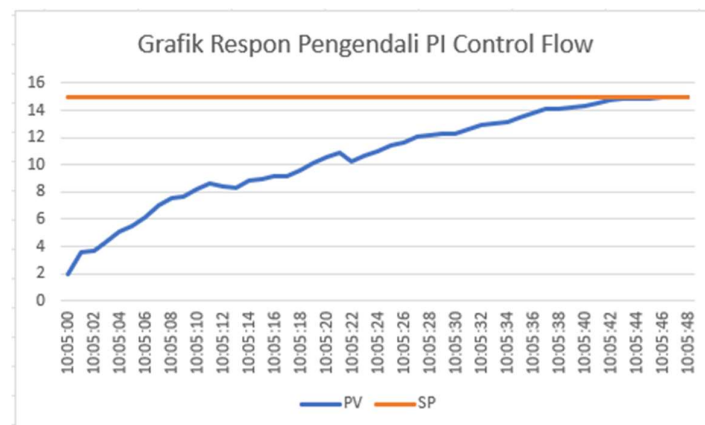
- **Wiring Diagram Sistem**

Wiring diagram sistem meliputi sensor pressure 2 pcs, pompa, servo valve, modul ADS1115, relay dan HMI Nexion yang masing-masing terhubung pin ESP 32 untuk mengirim dan menerima data yang kemudian diolah dan diupload di software arduino IDE.

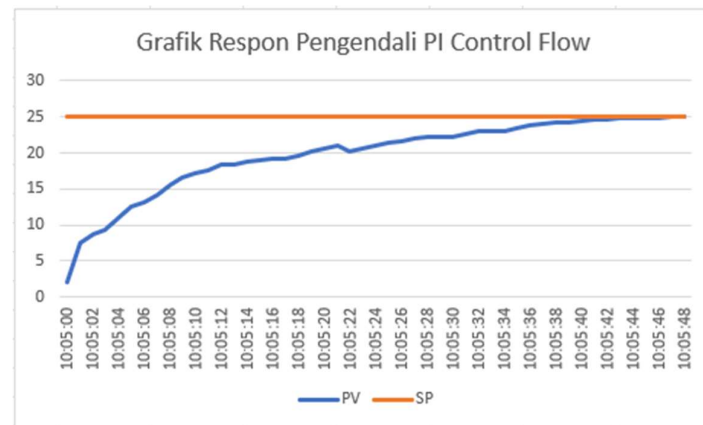


Gambar 4. Wiring Diagram Sistem

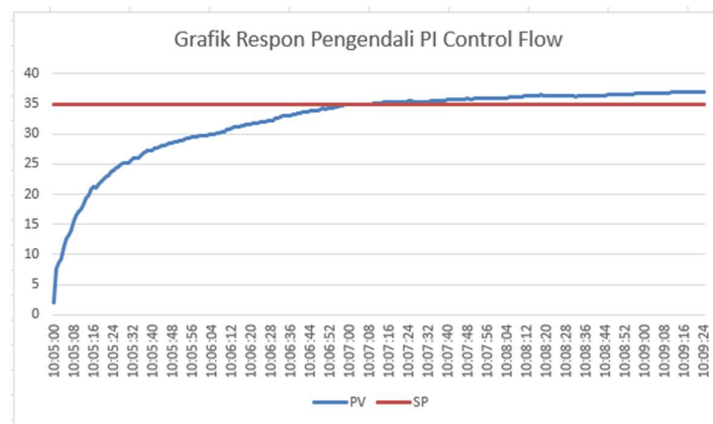
- **Pengujian**



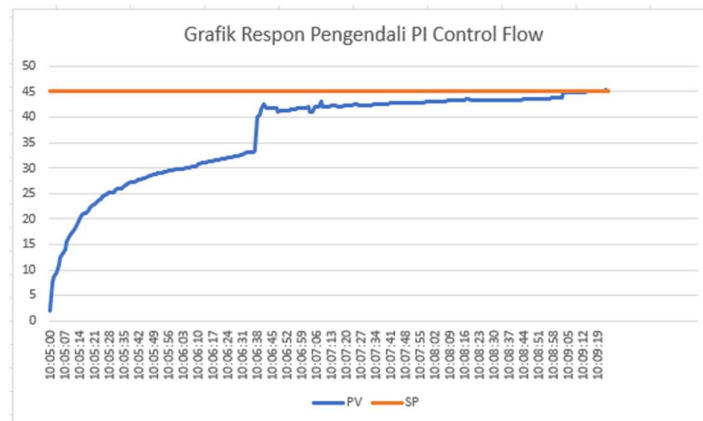
Gambar 5. Grafik Respon Sistem dengan Set Pont 15



Gambar 6. Grafik Respon Sistem dengan Set Point 25



Gambar 7. Grafik Respon Sistem dengan Set Point 35



Gambar 8. Grafik Respon Sistem dengan Set Point 45

Analisis Data/Evaluasi

Dalam pengujian jenis control yang digunakan, terdapat perbedaan karakteristik keluaran sesuai dengan jenis *control* yang diterapkan pada prototipe yaitu *control* PI dan PID. Pengujian dilakukan dengan nilai *set point* yang sama untuk setiap jenis kontrolnya yaitu 35 Pa dan dimulai dari 0 Pa. Pengamatan menggunakan tiga parameter yang dilihat pada grafik respon yang dihasilkan oleh sistem, yaitu *rise time*, *time constant*, dan *settling time*. Berikut tabel pengamatan yang digunakan.

Tabel 1. Respon Kurva Pengendali PI

Performa Respon Kurva	Hasil
τ (time constant)	40 detik
τ_R (rise time)	1 menit 24 detik
τ_s (settling time)	1 menit 48 detik

Tabel 2 Respon Kurva Pengendali PID

Performa Respon Kurva	Hasil
τ (time constant)	0 detik
τ_R (rise time)	1 menit 27 detik
τ_s (settling time)	1 menit 30 detik

Dari hasil pengujian dua jenis kontroler yaitu PI dan PID dapat dilihat bahwa kontroler tipe PI memiliki respon lebih cepat untuk mencapai kestabilan, Pada kedua kontroler ini control PI menghasilkan grafik yang lebih halus tanpa *overshoot* sedangkan *control* PID masih menghasilkan sedikit *overshoot*, namun keduanya menghasilkan stabilitas yang cukup baik disekitar *set point*.

Parameter PID yang berbeda akan menghasilkan *respons* proses yang berbeda. Sistem pengendalian *flow* pada *prototipe* ini bekerja berdasarkan nilai *set point flow* keluaran yang telah ditentukan. Untuk mencapai *set point* tersebut, nilai yang akan dideteksi adalah nilai *pressure* oleh sensor *pressure* sehingga mendapatkan nilai *differential pressure* untuk dibandingkan dengan *set point* serta parameter PID yang akan diperhitungkan. Ketika nanti ada nilai *error*, pengendali PID akan melakukan koreksi dengan mengubah nilai *manipulated variable* pada *servo valve*. Oleh karena itu parameter PID dalam proses ini mempengaruhi hasil respon dari pengendalian *flow*.

Setelah dilakukan pengujian pada sistem pengendalian *flow* menggunakan *orifice*, terlihat bahwa *respons control* PI hasil rancangan menggunakan metode Ziegler Nichols mampu mengatur besaran *manipulated variable* sehingga *process variable* dapat mengejar nilai *set point* yang telah ditentukan. Respon yang dihasilkan memiliki *offset* akan tetapi tidak memiliki *overshoot*. Sedangkan *control* PID mampu mengatur besaran *manipulated variable* sehingga *process variable* dapat mengejar nilai *set point* yang telah ditentukan akan tetapi, respon yang dihasilkan memiliki *offset* dan terjadi *overshoot*. Pada pengujian terhadap *set point*, *respons process variable* stabil pada *set point* yang telah ditentukan walaupun masih terjadi *offset* yang kecil, dan pengendali PI dapat mempertahankan *process variable* pada *set point* dengan baik dan grafik respon lebih halus. Sehingga dapat disimpulkan bahwa PI *controller* menggunakan tuning Ziegler-Nichols dengan parameter $K_p = 1,8$, $T_i = 6,6$ sesuai dengan sistem pengendalian *flow* menggunakan *orifice* dan menghasilkan response yang bagus dan cepat, karena response dari *process variable* dapat dipertahankan pada *set point* dengan cukup baik.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian langsung pada prototype membuktikan bahwa performa *response* sistem pengendalian *flow* menggunakan PI *Controller* metode Ziegler Nichols menghasilkan respon yang diinginkan meskipun masih adanya *offset* pada responnya. Hasil perancangan PI *controller* menggunakan metode Ziegler Nichols didapatkan nilai K_p sebesar 1,8 dan T_i sebesar 6,6. Kontrol PI menghasilkan grafik respon yang lebih halus, tidak ada *overshoot* akan tetapi masih memiliki nilai *offset* yang kecil pada saat menuju *set point* stabil jika dibandingkan dengan kontrol PID respon yang dihasilkan masih terjadi *overshoot* sekitar 7% serta *offset*. Hasil menunjukkan bahwa nilai *rise time control* PI lebih cepat dibandingkan dengan PID yaitu di 1 menit 24 detik dan 1 menit 24 detik. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2. Jadi dapat disimpulkan bahwa kontrol PI untuk pengendalian *flow prototype* ini adalah yang paling cocok.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardiliansyah, A. R., Diah Puspitasari, M., Arifianto, T., & Artikel, S. (2021). *Rancang Bangun Prototipe Pompa Otomatis Dengan Fitur Monitoring Berbasis IoT Menggunakan Sensor Flow Meter dan Ultrasonik INFO ARTIKEL ABSTRAK*. <https://doi.org/10.35891/explorit>
- [2] Ferry Agos S. (2017). *RANCANG BANGUN SISTEM PENDENDALIAN FLOW DAN DATA RECONCILIATION PADA MIXING PIPING*.
- [3] Ghuftron Al Kindi, A., Handaja Budi, S., & Kusuma Dewi, A. (2022). *TUNING CONTROL CASCADE LEVEL-FLOW PADA KOLOM DE-ETHANIZER MENGGUNAKAN METODE ZIEGLER NICHOLS* (Vol. 2).

- [4] Gozali, Rbm. (2005). *DESAIN KONTROL PID DENGAN METODA TUNING DIRECT SYNTHESIS UNTUK PENGATURAN KECEPATAN MOTOR DC*.
- [5] Hamid, N., Mansur, A., Dan, P., Mesin, P., & Soroako, A. T. (2021). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2021 Makassar*.
- [6] Handono, K., Cahyono, A., & Kurnianto, K. (2016). *DESAIN KONSEPTUAL SISTEM KENDALI TEMPERATUR DAN LAJU ALIR UNTUK MENDUKUNG DOKUMEN URD HTGR. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir*.
- [7] Nur, N. S., & Totok Ruki Biyanto, S. (2016). *DESIGN OF FLOWRATE MEASUREMENT AND MONITORING SYSTEM ON ORIFACE PLATE USING MPX2010DP SENSOR BASED ON ARDUINO*
- [8] Nurul S Kubangun. (2021). *PERANCANGAN MONITORING INDIKATOR FLOW, PRESSURE, DAN TEMPERATURE SEBAGAI INPUTAN DATABASE METERING SYSTEM BERBASIS IoT SKRIPSI*.
- [9] PRIYADI, I., HADI, F., FAURINA, R., & AGUSTIAN, I. (2022). Ventilator Non-Invasive berbasis Kontrol Volume dengan Orifice Plate Flow Meter. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(2), 259. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v10i2.259>
- [10] Putra Afflin, A., & Utami, E. (2022). TUNING CONTROL AKTUAL TEMPERATUR PADA REBOILER MENGGUNAKAN METODE ZIEGLER-NICHOLS. In *Anugra Putra Afflin, SNTEM* (Vol. 2).
- [11] Razvarz, S., Vargas-Jarillo, C., Jafari, R., & Gegov, A. (2019). Flow Control of Fluid in Pipelines Using PID Controller. *IEEE Access*, 7, 25673–25680. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2897992>
- [12] Saeful Bahri1, H. M. E. D. (2014). *PROTOTIPE SISTEM KENDALI PID DAN MONITORING TEMPERATUR BERBASIS LABVIEW*.
- [13] Wahyu Jadmiko, S., Mickael Eko Putra, dan, Studi, P. D., Otomasi Industri, T., Teknik Elektro, J., & Negeri Bandung Jl Gegerkalong Hilir, P. (2020). *Pengendalian Level Air Pada Coupled Tank Menggunakan Metode PID Berbasis PLC*
- [14] Widharma. (2019). *DASAR PEMROGRAMAN DAN PENERAPAN LAB VIEW I Gede Suputra Widharma*.