



Rancang Bangun Kendali Tekanan Uap Air pada Tangki Pemanas Menggunakan Pengendali PID Berbasis PLC

Steam Pressure Control Design in the Heating Tank using PID Controller Based on PLC

Sofian Yahya*, Sarjono Wahyu Jadmiko, Adnan Rafi Al Tahtawi dan Reza Apriyanti

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga Kab. Bandung Barat, Indonesia

Informasi artikel

Diterima:
06/07/2021
Direvisi:
07/07/2021
Disetujui:
08/07/2021

Abstract

Process control is needed in various types of industries for production. The controlled process variables can be temperature, flow, pressure, and level. For this reason, an automatic control system with the right method is needed to produce quality products. This study aims to design and implement a steam pressure control system on a prototype heating tank using PID controller based on PLC. The pressure in the heating tank will be controlled to a set point of 10 kPa with a maximum steady-state error of 3%. PID control is designed using the Ziegler Nichols method which is then implemented on the PLC Omron CP1H with an MPX5500DP sensor to detect pressure. The results of the research obtained are that the PI controller can produce a better response when compared to the P and PID controllers. PI controller with parameters $K_p = 1.23$, $T_i = 860$, and $T_d = 0$ can produce a response with a rise time of about 300 seconds and a steady-state error of 3.3%.

Keywords: heating tank, pressure control, PID, PLC.

Abstrak

Kendali proses diperlukan pada berbagai jenis industri untuk kebutuhan produksi. Variabel proses yang dikendalikan dapat berupa suhu, aliran, tekanan, dan level. Untuk itu diperlukan sistem kendali otomatis dengan metode yang tepat untuk menghasilkan produk yang berkualitas. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kendali tekanan uap air pada purwarupa tangki pemanas dengan metode kendali PID berbasis PLC. Tekanan pada tangki pemanas akan diatur dengan setpoint 10 kPa dengan *error steady state* maksimal 3%. Kendali PID dirancang menggunakan metode Ziegler Nichols yang kemudian diimplementasikan pada PLC Omron CP1H dengan sensor MPX5500DP untuk mendeteksi tekanan. Hasil penelitian yang diperoleh adalah pengendali PI mampu menghasilkan respon yang lebih baik jika dibandingkan dengan pengendali P dan PID. Pengendali PI dengan parameter $K_p = 1,23$, $T_i = 860$, dan $T_d = 0$ mampu menghasilkan respon dengan *rise time* sekitar 300 detik dan *error steady state* 3,3%.

Kata Kunci: tangki pemanas, kendali tekanan, PID, PLC.

*Penulis Korespondensi. Tel: -; Handphone: +62 812 2118 150
email : sofianyahya@polban.ac.id

1. PENDAHULUAN

Industri seperti penyulingan minyak dan gas, farmasi, *pulp* dan pembuatan kertas, serta industri makanan dan minuman memerlukan kontrol proses untuk pembuatan produk. Penggunaan sistem kontrol otomatis dan metode tingkat pengukuran yang akurat diperlukan untuk memastikan kontrol yang tepat, sehingga mampu mengendalikan biaya, mengurangi pemborosan, dan keamanan terutama saat menangani proses yang berpotensi membahayakan (Joshi, Chopade dan Chhibber, 2017). Untuk memperoleh hasil produk yang baik, proses pemanasan zat cair di dalam sebuah tangki pemanas harus dikontrol dengan baik karena suhu, tekanan, dan volume memiliki keterkaitan. Semakin tinggi suhu di dalam sebuah tempat dengan volume yang sama maka tekanan akan semakin tinggi. Jika pemanasan terus ditingkatkan maka tekanan di dalam tangki pun akan meningkat. Tekanan yang tidak terkontrol dapat menyebabkan ledakan yang sangat berbahaya sehingga bisa mengakibatkan korban jiwa ataupun kerugian material lainnya. Maka dari itu tekanan haruslah dikontrol agar dapat menentukan aksi yang tepat dan menghasilkan produk secara optimal. Untuk pengontrolan tekanan perlu juga dipilih sensor yang tepat. Sensor tekanan dapat diklasifikasikan berdasarkan rentang tekanan yang bisa diukur, rentang suhu pengoperasian, atau jenis tekanan yang akan diukur (Engineer, dkk., 2012).

Pengendali Proporsional-Integral-Derivatif (PID) konvensional banyak digunakan dalam industri kontrol proses karena kesederhanaannya dalam struktur dan kemudahan implementasinya. Meskipun teori dan metode kontrol telah mengalami kemajuan besar, pengontrol PID masih umum dan terkenal. Statistik industri metalurgi, industri kimia dan industri makanan menunjukkan bahwa 97% pengendali memilih struktur PID (Samin, Jie dan Zawawi, 2011). Kontrol PID merupakan sebuah algoritma yang secara komparatif lebih mudah untuk dirancang sebagai algoritma kontrol berbasis model dan untuk menentukan koefisien PID (Siddique, dkk., 2020).

Berbagai metode telah dikembangkan sebelumnya untuk memperoleh sistem pengontrolan tekanan yang paling baik dan efisien. Seperti contoh adalah kontrol otomatis untuk tangki reaksi suhu tinggi dan tekanan tinggi berbasis PLC direalisasikan dalam penelitian yang dilakukan oleh (Feng dan Jiang, 2017). Penelitian tekanan juga dilakukan pada peralatan medis untuk mengembangkan sistem penginderaan tekanan alternatif yang dipasang secara eksternal yang mudah digunakan bagi peneliti medis yang ingin mengurangi cedera terkait tekanan (Lum dkk., 2017). D. Mihai menyajikan rancangan dan eksperimental untuk mengontrol tekanan udara di dalam tangki kecil dengan pengontrol menggunakan mikrokontroler PICTM 16F877 (Mihai, 2016). N. Kanagara dan P. Sivashanmugam meneliti pengontrolan tekanan berbasis mikrokontroler Atmel AT89C51RC menggunakan algoritma kendali *fuzzy* (Kanagaraj dan Sivashanmugam, 2006). Metode pengontrolan tekanan bisa juga dilakukan dengan bantuan pemancar seperti untuk pengamanan jalur pipa dengan pembacaan hasil pengukuran dan semua tahapan dikomunikasikan dengan sistem otomasi menggunakan PLC dan SCADA (Venuprasad dan Narayan, 2016). Selain penelitian mengenai metode yang berkaitan dengan kontrol proses fluida (Yahya, dkk., 2020), penelitian juga dilakukan yang berhubungan dengan kontrolernya seperti penggunaan PLC Omron CP1H yang dapat digunakan untuk kontrol level cairan pada tangki dengan metode PID (Yahya, dkk., 2020). Berdasarkan kajian rujukan tersebut, masalah utama pengendalian tekanan adalah dalam rancangan tangki, pemilihan metode pengendalian parameter, dan jenis kontroler.

Pada penelitian ini akan dirancang kontrol otomatis untuk mengontrol tekanan uap air pada *plant* tangki pemanas sebagai purwarupa dari sebuah *boiler*. Menurut Zhou dan Wang sistem kontrol *boiler* adalah sistem yang kompleks dan nonlinier (Kun-long dan Zai-ying, 2015). Penelitian yang akan dilakukan adalah membuat sistem pengontrolan tekanan uap air pada tangki pemanas untuk modul praktikum kendali

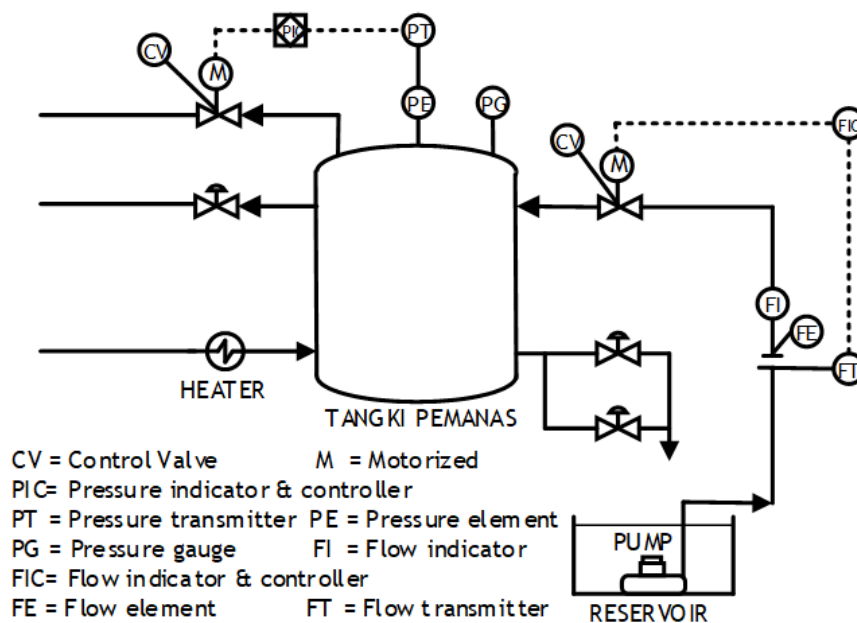
proses berbasis PLC dengan metode PID. Pengendalian dirancang dengan metode Ziegler Nichols agar mencapai tekanan dengan *setpoint* 10 kPa dan *error steady state* maksimal 3%. Sensor tekanan yang akan digunakan adalah MPX5010DP dengan kontroler berbasis PLC Omron CP1H dan jenis aktuator adalah *valve* yang akan dioperasikan oleh motor servo. Adapun kontribusi dan kebaruan dari penelitian ini adalah pengembangan metode kendali PID pada PLC berbasis eksperimen perangkat keras. Selain itu model *plant* yang digunakan dibangun dalam skala laboratorium untuk mempermudah pengembangan tahap berikutnya.

2. METODOLOGI

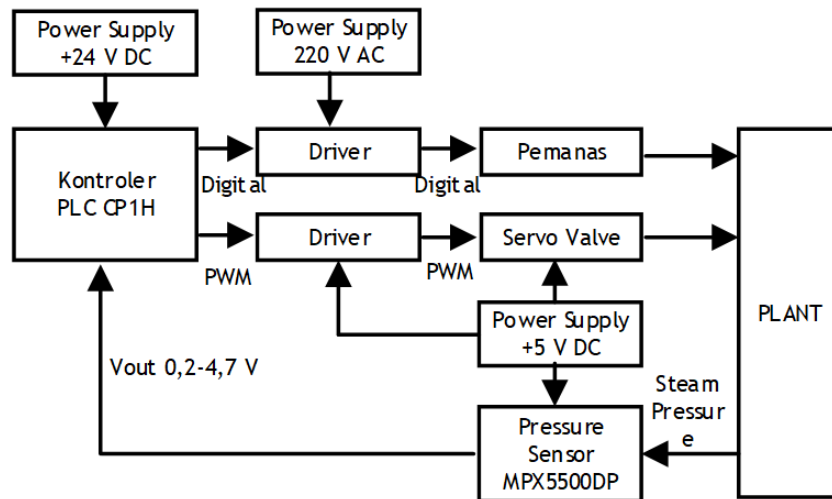
Sistem kendali tekanan pada tangki ini berfungsi untuk mempertahankan tekanan pada kondisi tertentu. Maka dibutuhkan sebuah tangki yang bersifat vakum terhadap udara luar. Kemudian elemen yang dapat menaikkan tekanan yaitu pemanas serta elemen yang dapat melepaskan tekanan di dalam tangki yaitu *valve*, serta indikator dan transmiter yang sebagai *feedback* agar tekanan di dalam tangki dapat diketahui.

Gambar 1 memperlihatkan gambar *piping and instrumentation diagram* (P&ID) model *plant* yang digunakan pada penelitian ini. Gambar 2 memperlihatkan diagram blok perangkat keras pengendali tekanan uap yang terdiri dari blok pengendali tekanan dengan, dua unit aktuator, dan input *setpoint* diprogram dalam PLC.

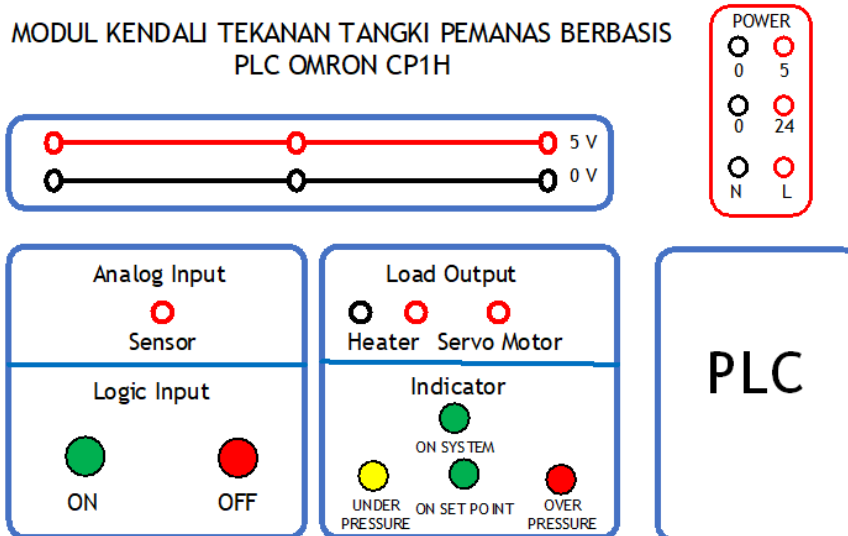
Saat sistem diberikan nilai *setpoint* 0-10 kPa kemudian dinyalakan, maka kompor listrik yang membutuhkan tegangan 220 VAC akan langsung menyala dan dibuat *standby ON* selama sistem menyala. Kompor ini akan menaikkan suhu air dan membuat air menjadi uap sehingga tekanan di dalam tangki akan bertambah. Perubahan tekanan di dalam tangki akan dideteksi oleh sensor MPX500DP yang membutuhkan tegangan 5 VDC. Sensor digunakan sebagai *feedback* untuk mengurangi *error* sistem. Sensor ini mengirimkan tegangan 0,2-4,7 VDC langsung ke pin analog *input* PLC. Dengan ADC internal, maka tegangan analog 0,2-4,7 VDC ini akan diubah ke dalam digital yaitu 0-6000 desimal. PLC yang membutuhkan tegangan 24 VDC akan memproses angka tersebut dan memperbaiki *error* dengan metode pengontrolan PID.



Gambar 1. P&ID model *plant*



Gambar 2. Diagram blok sistem kendali tekanan



Gambar 3. Rancangan modul kendali tekanan tangki pemanas

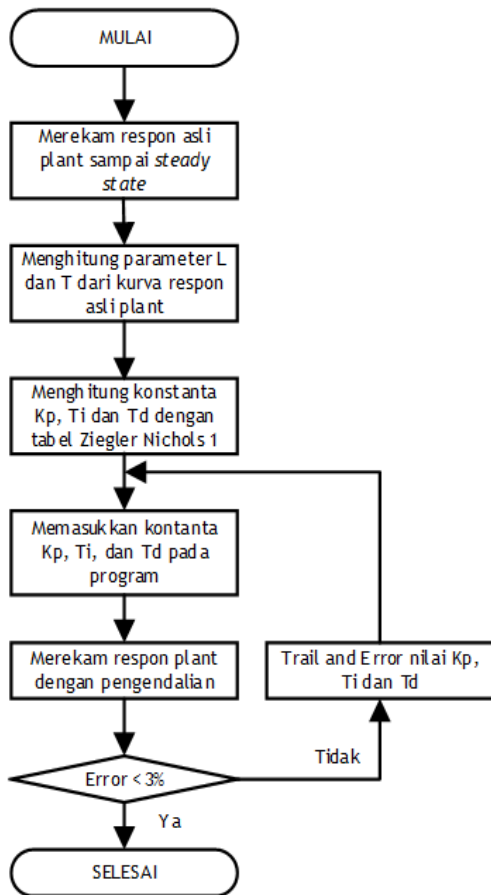
Sinyal keluaran dari pengendali ini akan memerintahkan servo yang diberi tegangan 5 VDC untuk menggerakkan valve ke posisi yang akan membuat *plant* mencapai *setpoint* dengan gerakan 0-90°. Sinyal keluaran PLC ini berupa PWM yang akan masuk ke pin data servo melalui sebuah *driver*. *Driver* ini terdiri dari resistor *optocoupler* untuk memisahkan rangkaian kontrol dan daya sehingga jika terdapat *error* di salah satunya maka sisi lain tidak akan terpengaruh karena hanya dihubungkan secara tidak langsung oleh LED infra merah.

Gambar 3 memperlihatkan rancangan modul kendali. Modul kendali ini digunakan sebagai tempat utama kendali pada sistem.

Bagian depan modul kendali ini terdapat PLC sebagai kontroler, *push button* untuk menyalakan dan mematikan sistem manual, lampu indikator *ON system*, *under pressure*, *on setpoint*, *over pressure*, dan *port-port* untuk *wiring* ke *plant*, serta diagram blok dari sistem. Di bagian belakang modul terdapat komponen-komponen yang dipasang serta *wiring*-nya.

Gambar 4 memperlihatkan diagram alir perancangan pengendali PID berbasis PLC. Penentuan parameter-parameter untuk pengendalian dengan metode PID ini dilakukan dengan metode Ziegler-Nichols jerat terbuka atau kurva reaksi. Pada metode jerat terbuka, *plant* ditetapkan pada satu titik

setpoint kemudian akan direkam respon aslinya tanpa memasukkan satu parameter pun, sehingga akan diperoleh grafik atau kurva yang menyerupai huruf S. Dari kurva ini hitung waktu tunda (*delay time*) atau L dan *time constant* atau T-nya. Nilai L dan T yang diperoleh dari kurva serta penguatan Ks selanjutnya akan digunakan untuk menghitung parameter kendali dengan perhitungan Ziegler-Nichols seperti ditunjukkan Tabel 1.



Gambar 4. Diagram alir perancangan pengendali PID

Tabel 1. Perhitungan parameter PID Ziegler Nichols

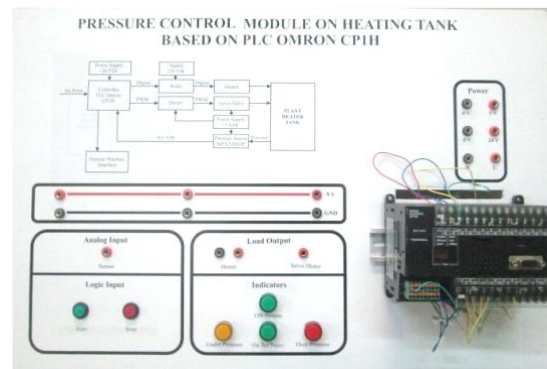
Tipe Pengendali	Kp	Ti	Td
P	T/L	∞	0
PI	0.9T/L	L/0.3	0
PID	1.2T/L	2L	0.5L

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 5 memperlihatkan realisasi simulator tangki pemanas sebagai *plant* dan Gambar 6 menampilkan modul kendali yang berfungsi sebagai panel kendali dari *plant*. Pada bagian depan terdapat *port* untuk *wiring* ke modul *power* dan *plant*. Terdapat juga lampu indikator dan *push button* ON serta OFF dari sistem, serta kontroler PLC. PLC diletakan di bagian depan untuk memudahkan saat melakukan pengawatan (*wiring*).



Gambar 5. Realisasi simulator tangki pemanas



Gambar 6. Realisasi modul pengendali tekanan

Pengujian Sensor MPX5500DP

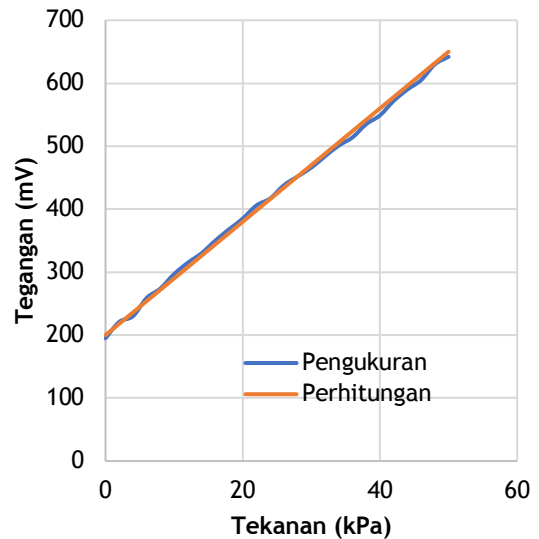
Pengujian sensor MPX5500DP dilakukan untuk mengetahui *error* dari sensor terhadap nilai aktual tekanan yang ditampilkan oleh *pressure gauge*. Tujuan pengujian ini untuk memperoleh data berupa nilai tegangan analog yang dikeluarkan oleh sensor MPX5500DP dengan rentang 0,2-4,7 VDC serta nilai ADC yang terbaca oleh PLC. Nilai tegangan ini akan dibandingkan dengan nilai

tegangan linier hasil perhitungan, kemudian dilakukan perhitungan *error* untuk mengetahui kondisi dari sensor, sehingga pembacaan tekanan pada PLC yang berdasarkan pembacaan tegangan sensor dapat di-*scaling* dengan benar. Adapun hasil pengujian ditampilkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian sensor MPX5500DP

Nilai Tekanan Aktual (kPa)	Nilai Tegangan (mV)	ADC	
		Hexa	Desimal
0	195	F0	240
4	249	127	295
8	290	160	352
12	320	17D	381
16	350	1A8	424
20	385	1D5	469
24	417	1FA	506
28	452	226	550
32	484	24E	590
36	514	271	625
40	549	29C	668
44	590	2CA	714
48	630	2F3	766
50	642	309	777

Pada Tabel 1 terlihat ketika tekanan masih 0 kPa tegangan yang terbaca oleh sensor adalah sebesar 195 mV. Hal ini diakibatkan oleh karakteristik *output* sensor yang mempunyai rentang tegangan 0,2-4,7 VDC, sehingga nilai ADC yang terbaca tidak dimulai dari 0 tetapi dimulai dari F0 (heksa). Untuk itu maka perlu dilakukan proses interpolasi untuk menghindari kesalahan pembacaan nilai ADC yang dapat mengakibatkan kesalahan nilai tekanan. Nilai yang dihasilkan sensor kemudian dibandingkan dengan nilai pengukuran seperti diperlihatkan gambar 7. Terlihat pada gambar garis kurva pengukuran sensor sangat mendekati garis kurva perhitungan, hal ini berarti pengukuran dikatakan hampir sama dengan hasil perhitungan, karena rata-rata *error* pengukuran mendekati 0 %, sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor dalam keadaan baik.



Gambar 7. Kurva perbandingan hasil pengukuran dengan perhitungan

Pengujian Motor Servo dan Servo Valve

Pengujian servo ini dilakukan untuk mengetahui *duty cycle* dari sinyal PWM yang dibutuhkan oleh servo yang untuk bergerak ke derajat yang diinginkan. Pada pengujian ini akan didapatkan nilai *duty cycle* yang diwakili oleh hexadecimal yang diberikan PLC. Nilai *duty cycle* ini telah dilakukan pendekatan terhadap karakteristik servo terlebih dahulu.

Tabel 3 memperlihatkan data hasil dari pengujian motor servo yang mengukur nilai hexadecimal dari *duty cycle* yang dibutuhkan motor servo untuk bergerak ke derajat sudut yang diinginkan. Berdasarkan pengujian gerakan derajat servo dari 0-180° dapat diperintahkan dengan program PWM PLC dengan memasukkan *duty cycle* 40-9F heksadesimal.

Pengujian servo *valve* ini dilakukan untuk mengetahui derajat yang diwakili oleh nilai ADC saat *valve* terbuka seluruhnya sampai tertutup seluruhnya. Tabel 4 memperlihatkan data hasil pengujian yang memperlihatkan besarnya derajat servo yang diwakili oleh nilai ADC yang digunakan untuk membuka dan menutup *valve*, rentang *duty cycle* yang dipakai untuk membuka dan menutup *valve* adalah 9F-73 heksadesimal.

Tabel 3. Pengujian motor servo

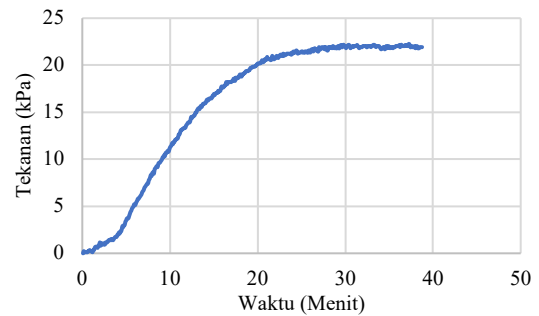
Hex	Dec	Derajat Servo (°)	Duty Cycle (%)	Teg. Servo (V)
40	64	0	93.3	3.43
4A	74	18	92.3	3.4
53	83	37	91.4	3.36
5D	93	54	90.4	3.33
66	102	71	89.5	3.29
70	112	90	88.6	3.26
79	121	105	87.6	3.23
83	131	122	86.6	3.19
8C	140	144	85.7	3.16
96	150	159	84.8	3.12
9F	159	180	83.3	3.09

Tabel 4. Pengujian servo valve

Posisi Valve	Derajat Servo (°)	Duty Cycle (%)	Dec	Hex
Full Open	173	15,9	159	9F
Full Close	100	11,8	115	73

Pengujian Respon Asli Plant

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon asli dari *plant* terhadap bukaan *valve* sebagai parameter untuk menghitung konstanta PID. Adapun hasil pengujian kurva respon *open loop* dari *plant* dapat dilihat pada Gambar 8. Mengacu pada gambar respon asli *plant* tersebut dapat dilihat bahwa respon tekanan mengalami kondisi *stady-state* pada menit ke-30 pada tekanan 22 kPa. Respon yang dihasilkan sesuai dengan karakteristik tekanan yang memiliki respon *transien* yang lama seperti suhu. Kemudian dapat dihitung parameter L atau *dead time*, T atau *rise time*, serta $K_s = 1$ untuk dimasukkan ke dalam tabel Ziegler Nichols. Hasilnya parameter L yaitu 260 detik dan T yaitu 792 detik. Berdasarkan perhitungan dengan memasukkan nilai L dan T pada tabel Ziegler Nichols diperoleh nilai konstanta Kp, Ti, dan Td seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.



Gambar 8. Kurva Respon Asli Plant

Tabel 5. Parameter Kp, Ti dan Td hasil perhitungan

Pengendali	Kp	Ti	Td
P	1.3	~	0
PI	1.23	860	0
PID	1.64	520	130

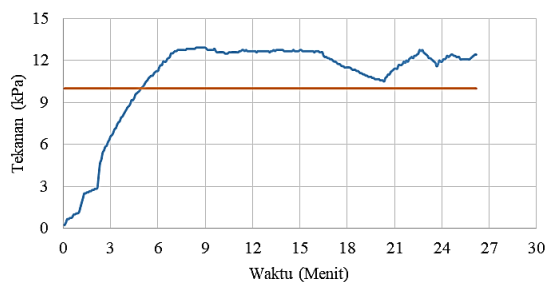
Pengujian Dengan Kendali PID

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai parameter Kp, Ti, dan Td yang sesuai agar sistem memiliki *error* yang kurang dari 3%. Pengujian dilakukan pada tiga jenis pengendali yaitu P, PI, dan PID. Gambar 9 memperlihatkan respon dengan pengendali P, Gambar 10 memperlihatkan respon dengan pengendali PI, dan Gambar 11 memperlihatkan respon dengan pengendali PID.

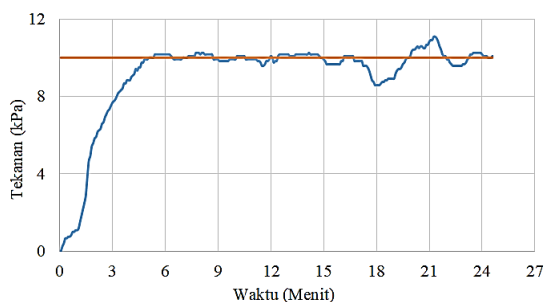
Pada pengujian dengan pengendali P menghasilkan respon yang tidak mampu mencapai *setpoint* yang ditetapkan yaitu 10 kPa. Adapun *rise time* yang dihasilkan adalah 317 detik dengan *error steady state* sebesar 21,2%. Pada pengujian dengan pengendali PI menghasilkan respon yang mampu mencapai *setpoint* yang ditetapkan yaitu 10 kPa meskipun masih terdapat osilasi. Adapun *rise time* yang dihasilkan adalah 312 detik dengan *error steady state* sebesar 3,3%. Pada pengujian dengan pengendali PID menghasilkan respon yang mampu mencapai *setpoint* yang ditetapkan yaitu 10 kPa meskipun memiliki respon yang lebih lambat dan berosilasi. Adapun *rise time* yang dihasilkan adalah 718 detik dengan *error steady state* sebesar 3%. Ketiga hasil pengukuran *rise time* dan *error steady state* pada pengujian pengendali P, PI, dan PID diperoleh berdasarkan pengamatan langsung

dan sesuai dengan kriteria respon transien (Ogata, 2017).

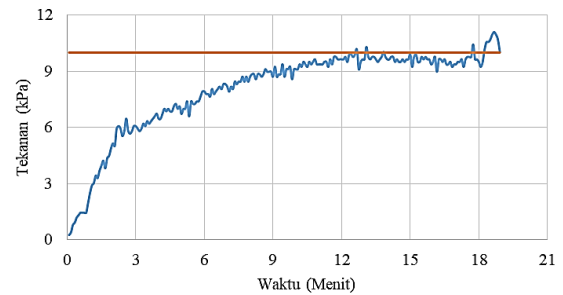
Berdasarkan hasil pengujian dengan kendali P, PI, dan PID pada Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11 dapat dilihat bahwa pengendali P mampu menghasilkan respon tekanan yang cepat. Namun pengendali P tidak mampu mencapai *setpoint* 10 kPa dan menghasilkan *error steady state*. Pada pengendali PI, komponen integral mampu mengeliminasi *error steady state* yang dihasilkan oleh pengendali P. Akan tetapi, adanya komponen integral menyebabkan respon berosilasi pada kondisi keadaan tunak. Pada pengendali PID, komponen derivatif yang ditambahkan mampu mereduksi osilasi keadaan tunak yang dihasilkan pengendali PI. Namun demikian, komponen derivative menyebabkan respon menjadi lebih lambat jika dibandingkan dengan pengendali P dan PI. Metode optimasi Ziegler-Nichols yang diterapkan dianggap belum mampu menghasilkan respon terbaik. Hal ini dapat disebabkan beberapa factor seperti ketidakakuratan model respon *open loop*, penentuan parameter L dan T, serta waktu komputasi. Untuk mendapatkan respon yang lebih baik, maka perlu dikembangkan optimasi pengendali PID.



Gambar 9. Kurva pengendalian tekanan dengan pengendali P



Gambar 10. Kurva pengendalian tekanan dengan pengendali PI



Gambar 11. Kurva pengendalian tekanan dengan pengendali PID

4. SIMPULAN

Pengendalian tekanan pada simulator tangki pemanas dengan pengendali PID berbasis PLC telah berhasil dirancang, diimplementasikan, dan diuji pada penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengendali PI yang dirancang dengan metode Ziegler-Nichols mampu menghasilkan respon tekanan yang sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan jika dibandingkan dengan pengendali P dan pengendali PID. Pengendali P mampu menghasilkan respon dengan *rise time* sekitar 300 detik dan *error steady state* sekitar 3%. Namun demikian, diperlukan metode optimasi yang lebih handal untuk menghasilkan respon pengendalian yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Bandung yang telah membiayai penelitian melalui skema Penelitian Mandiri pada tahun anggaran 2021 dengan No. Kontrak: 105.47/PL1.R7/PG.00.03/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Engineer, S. A. dkk., 2012. Liquid-Level Measurement System Uses a Compensated Silicon Pressure Sensor and Precision Delta-Sigma ADCs, *Maxim Integrated*, hal. 1-11.
- Feng, M. dan Jiang, L., 2017. The design of automatic control system for hightemperature and high-pressure reaction tank, in *2017 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*, hal. 933-937. doi: 10.1109/ICMA.2017.8015941.

- Joshi, P. C., Chopade, N. B. dan Chhibber, B., 2017. Liquid Level Sensing and Control Using Inductive Pressure Sensor, in *2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA)*, hal. 1-5. doi: 10.1109/ICCUBEA.2017.8463704.
- Kanagaraj, N. dan Sivashanmugam, P., 2006. An Embedded Fuzzy Controller for Real Time Pressure Control, in *2006 IEEE International Conference on Industrial Technology*, hal. 2023-2027. doi: 10.1109/ICIT.2006.372512.
- Kun-long, Z. dan Zai-ying, W., 2015. Application of boiler superheated steam pressure control which based on IMC-PID, in *The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC)*, hal. 586-589. doi: 10.1109/CCDC.2015.7161789.
- Lum, I. dkk., 2017. Instrument Mounted Liquid-Pressure Sensor System for Biomedical Applications, in *2017 IEEE 7th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, hal. 598-601. doi: 10.1109/CYBER.2017.8446340.
- Mihai, D., 2016. Designing an experimental platform for the air pressure in a small tank by digital control, in *2016 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE)*, hal. 1-8. doi: 10.1109/ICATE.2016.7754615.
- Ogata, K., 2017. *Modern control engineering, Modern Control Engineering*. doi: 10.1201/9781315214573.
- Samin, R. E., Jie, L. M. dan Zawawi, M. A. 2011. PID implementation of heating tank in mini automation plant using Programmable Logic Controller (PLC), in *International Conference on Electrical, Control and Computer Engineering 2011 (InECCE)*, hal. 515-519. doi: 10.1109/INECCE.2011.5953937.
- Siddique, M. A. A. dkk., 2020. Effects of temperatures and viscosity of the hydraulic oils on the proportional valve for a rice transplanter based on PID control algorithm, *Agriculture (Switzerland)*, 10(3), pp. 1-18. doi: 10.3390/agriculture10030073.
- Venuprasad, A. dan Narayan, Y. S., 2016. Automatic Monitoring and Controlling of Pressure using PLC and SACDA, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 5(July), hal. 13671-13677. doi: 10.15680/IJRSET.2016.0507225.
- Yahya, S. dkk., 2020. Design and implementation of training module for control liquid level on tank using PID method based PLC, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830(3), hal. 032065. doi: 10.1088/1757-899X/830/3/032065.
- Yahya, S. dkk., 2020. Liquid Flow Control Design Based on PID-Fuzzy Controller with anti-Windup Compensator, in *2020 7th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, hal. 7-12. doi: 10.1109/ICITACEE50144.2020.9239237.