

IMPLEMENTASI KONTROLER PID DENGAN METODE TUNING ZIEGLER-NICHOLS DAN COHEN-COON PADA SISTEM SCADA KENDALI LEVEL AIR

Hadi Supriyanto¹, Fitria Suryatini², Abdur Rohman Harits Martawireja³, Hendy Rudiansyah⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung
Email: ¹hadi.s@ae.polman-bandung.ac.id, ²fitria@ae.polman-bandung.ac.id, ³martawireja@gmail.com, ⁴hendy@ae.polman-bandung.ac.id

Abstrak

Didactic atau *teaching aid mini plant* membantu mahasiswa perguruan tinggi vokasi untuk memahami penggunaan peralatan di industri. Sistem pengendali level air berbasis SCADA merupakan salah satu peralatan *teaching aid* simulator monitoring dan kontrol ketinggian air. Pada penelitian ini digunakan PLC sebagai pengontrol dengan tiga modul I/O berupa modul input digital, output digital, dan input dan output analog. Pengontrol Arduino juga digunakan sebagai converter output analog dari PLC ke aktuator. Metode kendali yang digunakan adalah kendali PID. Pada kendali PID terdapat parameter kendali yaitu Kp, Ki, dan Kd. Ketiga parameter ini ditentukan dengan metode tuning Ziegler-Nichols dan dibandingkan dengan metode Coohen-Coon untuk mendapatkan respon sistem yang diinginkan. *Software* SCADA yang digunakan adalah Wonderware Intouch dihubungkan ke sistem menggunakan kepserver. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode tuning Cohen-Coon untuk parameter kendali proporsional Kp = 1 menghasilkan respon terbaik dalam kontrol level air dengan *settling time* sebesar 21s dan *rise time* sebesar 18s.

Kata Kunci: PID, Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, sistem pengendali level, SCADA

Abstract

Didactics or mini plant teaching aids help students in colleges to understand the use of industrial equipment The SCADA-based water level control system is one of the teaching aid simulator equipment for monitoring and controlling water levels. In this research, PLC is used as a controller with three I/O modules digital input module, digital output, and analog input and output. Arduino is also used as an analog output converter from PLC to actuator. The control method used is PID control. In the PID control, there are control parameters, namely Kp, Ki, and Kd. The third parameter was determined by the Ziegler-Nichols tuning method and compared with the Coohen-Coon method. The SCADA software that used is Wonderware Intouch on a system using a kepserver. The results of this study indicate that the Cohen-Coon tuning method for proportional control Kp = 1 produces the best response in water level control with a settling time of 21s and a rise time of 18s.

Keywords: PID, Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, PLC, SCADA

I. PENDAHULUAN

Salah satu masalah mendasar di industri adalah bagaimana cara mengendalikan ketinggian cairan / *water level control* (Simanullang et al., 2017)-(Sabri & Al-Mshat, 2015). Kendali level ketinggian mempertahankan kondisi air sesuai dengan keperluan yang diatur secara otomatis menggunakan kendali loop tertutup (Simanullang et al., 2017). PID (Proportional, Integral, Derivative) merupakan algoritma kontrol yang banyak digunakan di industri

karena memiliki performa baik dan mudah dalam menentukan parameternya kontrolnya (Pujiati, 2021; Sartika et al., 2019). Lebih dari 90% loop kontrol dalam industri proses diimplementasikan dengan menggunakan pengontrol PID (Daful, 2018; Simanullang et al., 2017; Suksawat & Kaewpradit, 2021). PID di industri dapat diimplementasikan di perangkat keras PLC (Programmable logic controller) yang terintegrasi dengan sistem SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). PLC merupakan perangkat kontrol yang digunakan di

industri karena relatif mudah diprogram, tahan lama dan dapat diintegrasikan dengan perangkat industri lainnya (Sartika et al., 2019). PID terdiri dari tiga parameter tuning yaitu Proportional Gain (K_c), Integral Time (T_i), dan Derivative (T_d) (Jarang & Sondkar, 2017). Banyak cara untuk menentukan parameter kendali PID pada plant / sistem yang tidak diketahui model matematikanya. Dua metode tuning parameter yang biasa digunakan adalah Ziegler-Nichols (ZN) dan Cohen-Coon (CC) dari respon plant / sistem (Joseph & Olaiya, 2018; Pujiati, 2021).

Didactic atau *teaching aid mini plant* membantu mahasiswa terutama di perguruan tinggi vokasi untuk memahami penggunaan peralatan di industri. Beberapa prototipe dan *Teaching Aid* sudah dibuat dan dirancang untuk menerapkan kendali PID terutama pada pengendali level ketinggian cairan menggunakan PLC dan SCADA. Kontroler PID diterapkan pada sistem *level feed water boiler* pada *mini plant* dengan menggunakan PLC Dan HMI telah diterapkan menggunakan metode tuning ZN dan tuning manual yang dihasilkan respon yang kurang baik dari tuning parameter dengan metode ZN (Prasetya et al., 2020). Kelebihan dari metode ZN adalah kemudahan dalam membaca respon sistem Sedangkan kelebihan dari metode CC adalah memberikan nilai overshoot yang minimal dari respon sistem setelah dikendalikan. Kekurangan dari metode ZN adalah rise time yang lebih lama dan kurangan dari metode CC adalah respon sistem membutuhkan settling time yang lama (Suharti & Sa'diyah, 2019).

PID *auto tuning* menggunakan MATLAB untuk monitoring pengendalian ketinggian level air berbasis PLC dihasilkan respon yang cukup baik (Murdiyanto & Supriadi, 2021). Dalam beberapa penelitian dilakukan perbandingan metode tuning parameter PID antara ZN dan CC dengan hasil metode CC lebih baik dari metode ZN (Isdaryani et al., 2020; Joseph & Olaiya, 2018; Suksawat & Kaewpradit, 2021). Perancangan SCADA pada *mini plant* proses pengendalian level telah dilakukan menggunakan PLC sebagai kontroler dan dan Wonderware intouch dan didapatkan hasil yang baik (Mahadiyan, 2015). Pengendalian level air berbasis SCADA juga telah dilakukan dengan menerapkan kendali proposional dan integral (PI) dengan metode tuning ZN berbasis PLC dan Labview hasil penelitian menunjukkan kendali PI memberikan respon yang baik pada sistem dengan dan tanpa diberikan beban (Pancal et al., 2015).

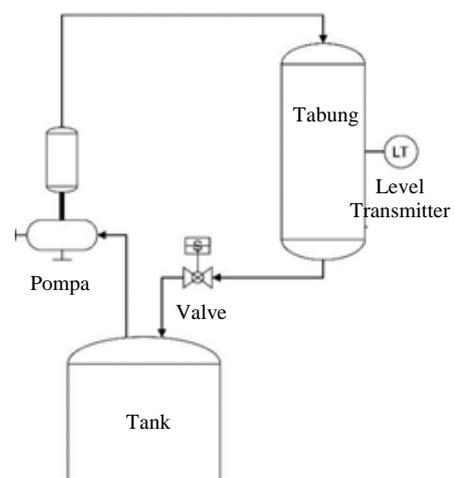
Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan serta pertimbangan untuk meneliti lebih lanjut mengenai kelebihan dan kekurangan dua metode tuning parameter kendali PID, maka dibuat

penelitian tentang “Implementasi Kontroler PID Dengan Metode Tuning ZN dan CC pada Sistem SCADA Kendali Proses Level Air”. Penelitian ini menggunakan PLC sebagai kontroler dengan tambahan pengontrol Arduino sebagai converter output analog dari PLC. Implementasikan metode tuning ZN akan dibandingkan dengan metode tuning CC untuk menentukan nilai parameter kendali PID. Software SCADA yang akan digunakan adalah Wonderware Intouch dihubungkan ke sistem kendali level air menggunakan Kepservers.

II. METODE

Perancangan Sistem SCADA Kendali Proses Level Air

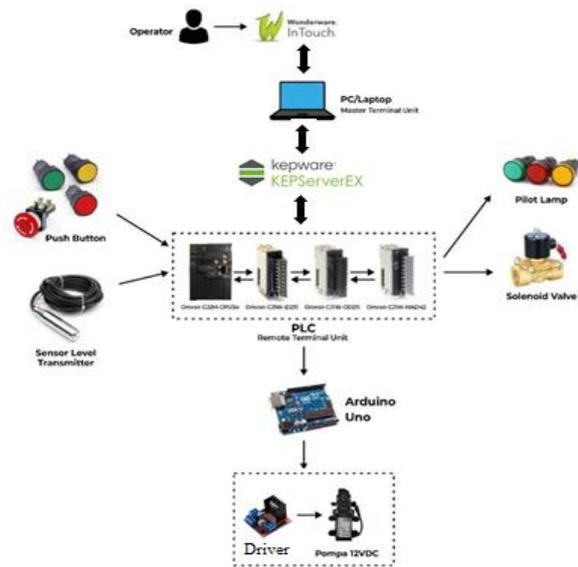
Rancang bangun sistem kendali level terdiri dari kontroler PLC, *Panel Control*, Sensor, Aktuator serta sistem SCADA sebagai sistem monitoring data dan pengontrolan. Gambar 1 merupakan gambaran umum dari sistem kendali level air yang dirancang. Plant yang digunakan adalah sebuah tangki yang dapat menampung air yang akan dikendalikan ketinggiannya. Pada plant terdapat juga tangki sebaga penampung sumber air. *Level transmitter* dipasang pada tabung air yang digunakan untuk mengukur ketinggian air. Sistem terdiri dari dua buah aktuator, yaitu pompa air dan *solenoid valve*. Pompa air berfungsi untuk memompa air dari tangki menuju tabung dimana putaran pompa dapat diatur menggunakan kendali PID. Sedangkan *solenoid valve* berfungsi sebagai katup pembuangan air dari tabung kembali ke tangki. Alat ini terdapat pengaman yang langsung mematikan pompa dan membuka katup *solenoid valve* jika air yang masuk ke dalam tabung melebihi kapasitas yang seharusnya.



Gambar 1. Gambaran Umum Sistem

Pada penelitian ini digunakan PLC Omron CJ2M sebagai pengontrol dengan tiga modul I/O berupa modul input digital, output digital, dan input dan output analog. Pengontrol Arduino juga digunakan sebagai *converter output* analog dari PLC ke aktuator. Aktuator yang dikendalikan adalah Motor Pompa DC 12V. Motor pompa dikendalikan kecepatan putarnya melalui sinyal PWM output dari sinyal kendali PID. *Level transmitter* dihubungkan dengan PLC Omron sebagai sensor pendeteksi ketinggian level air. Komponen-komponen ini disusun pada sebuah panel kontrol yang dilengkapi dengan tombol-tombol untuk *ON/OFF* manual dan tombol *emergency* serta lampu sebagai indikator. Arsitektur sistem ditunjukkan pada gambar 2.

Sistem dirancang untuk dapat mengendalikan dan memonitoring pengendalian level air melalui sistem SCADA dengan antarmuka yang dibuat menggunakan Wonderware InTouch dan KEPServerEX sebagai penghubung antara PLC dan Wonderware. Pada antarmuka yang dibuat terdapat fitur-fitur untuk mengoperasikan sistem atau I/O yang terhubung ke *Plant*, seperti mengatur nilai *setpoint*, parameter PID, tombol *start*, *stop*, dan *emergency*. Pada sistem SCADA dilengkapi juga dengan *Window* grafik yang berfungsi untuk menampilkan grafik respon sistem, yang merupakan *trend real time* dan *value display* dari nilai *set point* dan *current level*.

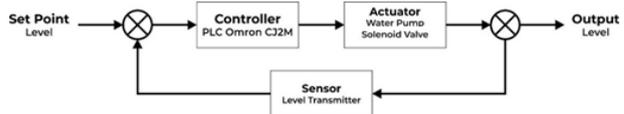


Gambar 2. Arsitektur Sistem

Perancangan Kontroler PID dengan Metode Tuning Ziegler-Nichols dan Cohen-Coon

Sistem kendali proses level air menggunakan *close loop control* dengan metode kontroler PID. *Set point* pada sistem adalah level air yang diinginkan. Sensor *level transmitter* berfungsi sebagai pendeteksi ketinggian air di dalam tangki. Sensor ini

membaca tekanan hidrostatik fluida yang ada di dalam tabung. *Output* yang dikeluarkan oleh sensor tersebut berbentuk sinyal analog arus 4-20mA. Kemudian keluaran yang terbaca oleh sensor akan dimasukkan ke analog *input* PLC dan dikonversi menjadi besaran ketinggian. Nilai yang didapat oleh sensor dijadikan umpan balik atau *feedback* yang akan dikomparasi dengan *set point*. Jika terdapat *error* maka akan diperbaiki oleh *controller* menggunakan metode PID. Sinyal kontrol yang dihasilkan akan dilanjutkan ke aktuator untuk mencapai level sesuai dengan *set point*. Diagram blok sistem kendali proses level air terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok Diagram Sistem Kendali Level Air

Pada kontroler PID terdapat parameter K_p , K_i , dan K_d yang harus diatur dengan tepat agar respon sistem sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Terdapat beberapa metode untuk mendapatkan nilai parameter K_p , K_i , dan K_d . Pada penelitian ini digunakan metode tuning ZN dan CC. Kedua metode ini akan dibandingkan sehingga dapat diketahui metode mana yang paling sesuai dengan respon yang diinginkan.

Kontroler PID dengan Metode Tuning Ziegler-Nichlos dan Cohen-Coon

Pengendali PID sangat banyak penggunaannya dalam dunia industri karena memiliki nilai presisi yang cukup tinggi, mudah diaplikasikan dan handal. Pengendalian dilakukan dengan mengurangi sinyal kesalahan pada saat sistem bekerja, serta mampu memberikan keluaran sinyal yang memiliki respon yang cepat, *error* kecil, dan meminimalisir terjadinya *overshoot*. Semakin kecil nilai error yang terjadi maka semakin lancar unjuk kerja sistem kendali yang digunakan (Pujiati & Risfendra, 2021).

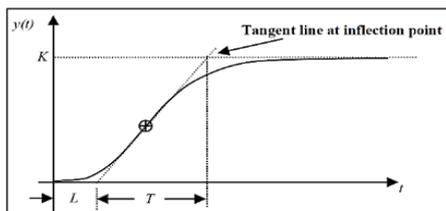
Kendali PID mempunyai respon yang cepat dan mencapai respon *steady state error* nol. Keluaran sinyal kendali PID dirumuskan pada persamaan berikut :

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) + K_d \cdot de(t)/dt \quad (1)$$

kontroler ini mempunyai nilai parameter proporsional sebagai nilai pengali error untuk nilai perbaikan. Nilai parameter integral sebagai pelurusan kekeliruan *steady state* mencapai nol. Nilai standar diferensial sebagai perbaikan respon trasien dan meredam osilasi (Pujiati & Risfendra,

2021). Dalam menentukan nilai dari parameter PID tersebut dapat menggunakan banyak metoda. Beberapa penelitian terdahulu telah menerapkan metode-metode dalam menentukan parameter PID. Dalam penelitian (Pujiati & Risfendra, 2021) menggunakan kontroler PID pada sistem kendali level cairan dengan metode tuning ZN berbasis Arduino dimana hasil penelitian menunjukkan sistem bekerja dengan sangat baik untuk menstabilkan keadaan. Metode lain yang dapat digunakan untuk menentukan parameter PID adalah metode CC. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Isdaryani, et al (2020) dan penelitian yang dilakukan Suksawat & Kaewpradit (2021) membandingkan metode *tuning parameter* PID antara ZN dan CC, hasil penelitian menyatakan bahwa metode CC lebih baik dari metode ZN metode sedangkan CC memberikan respon yang baik tanpa *time delay*, *overshoot* dan *steady-state error*, serta menghasilkan *rise time* dan *settling time* yang lebih kecil dari kendali PI ZN.

Metode ZN adalah metode untuk penalaan parameter kendali PID dengan cara melakukan percobaan secara eksperimen respon plant terhadap masukan unit-step yang akan menimbulkan kurva S seperti gambar 4.



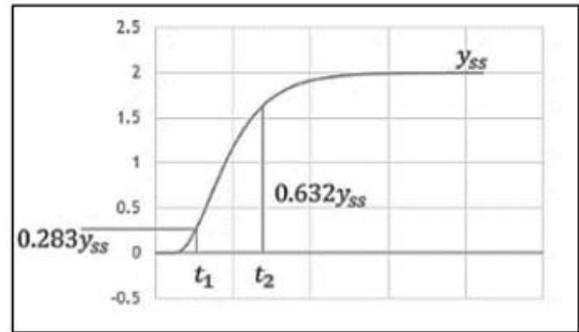
Gambar 4. Kurva Reaksi Ziegler-Nichols (Nugroho, 2019)

Kurva berbentuk S mempunyai kareakteristik dengan memiliki dua buah parameter, yaitu waktu tunda L dan konstanta waktu T. Kedua parameter tersebut didapatkan dengan menggambar garis tangensial pada titik infleksi kurva S untuk menghasilkan perpotongan garis tangensial dengan garis axis waktu dan garis $c(t) = K$. Selanjutnya untuk menentukan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d , nilai L dan T dimasukkan ke rumus yang terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Metode Tuning Ziegler-Nichols (Nugroho, 2019)

Type of controller	K_p	T_i	T_d
P	T/L	∞	0
PI	$0.9 T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1.2 T/L$	$2L$	$0.5L$

CC merupakan pengembangan metode penyetelan PID metode ZN. Metode ini mirip dengan metode ZN tetapi perbedaannya adalah CC memberikan waktu naik yang lebih cepat. Tabel 2 merupakan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi CC pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Reaksi Cohen-Coon (Isdaryani et al., 2020)

dengan :

$$\tau_m = \frac{3}{2}(t_2 - t_1) \tag{2}$$

$$\tau_d = t_2 - \tau_m \tag{3}$$

Tabel 2. Metode Tuning Cohen-Coon (Isdaryani et al., 2020)

Type of controller	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{\tau_m}{Kt_d} (1 + \frac{t_d}{3\tau_m})$	-	-
PI	$\frac{\tau_m}{Kt_d} (0.9 + \frac{t_d}{12\tau_m})$	$t_d \left(\frac{30 + 3t_d/\tau_m}{9 + 20t_d/\tau_m} \right)$	-
PD	$\frac{\tau_m}{Kt_d} (1.25 + \frac{t_d}{6\tau_m})$	-	$t_d \left(\frac{6 - 2t_d/\tau_m}{22 + 3t_d/\tau_m} \right)$
PID	$\frac{\tau_m}{Kt_d} (1 + \frac{t_d}{3\tau_m})$	$t_d \left(\frac{32 + 6t_d/\tau_m}{13 + 8t_d/\tau_m} \right)$	$t_d \left(\frac{4}{11 + 2t_d/\tau_m} \right)$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Implementasi

Gambar 6 memperlihatkan hasil dari pembuatan *plant* SCADA pengatur *level*. Panel kendali berfungsi untuk menyimpan komponen-komponen supaya tertata lebih rapi dan mudah untuk diperbaiki pada saat terdapat kerusakan pada komponen. Selain itu, panel kendali berfungsi untuk menghidupkan

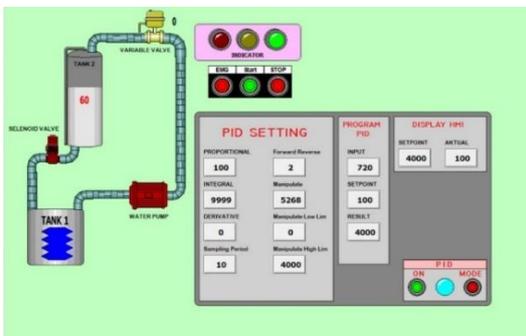
dan mematikan sistem *plant* SCADA pengatur level ini.



Gambar 6. Plant SCADA pengatur level

Hasil Implementasi SCADA pada Wonderware Intouch

Gambar 7 menunjukkan *Window control* dan monitor berfungsi untuk mengontrol dan memonitoring sistem. Jadi pada *window* ini terdapat fitur-fitur untuk mengoperasikan sistem atau I/O yang terhubung ke *hardware*.



Gambar 7. Tampilan window control dan monitor pada SCADA Wonderware Intouch

Gambar 8 berupa *Window* grafik berfungsi untuk menampilkan grafik hasil bacaan dari sistem. Disini terdapat *trend real time* dan *value display* dari level berupa nilai *set point* dan *current level*.



Gambar 8. Tampilan window grafik

Pengujian Respon Open Loop Sistem

Parameter pada tuning ZN dan CC diperoleh dari respon open loop sistem. Oleh karena itu, tahapan awal adalah mengambil data respon open loop sistem. Grafik open loop sistem ditunjukkan pada Gambar 9.

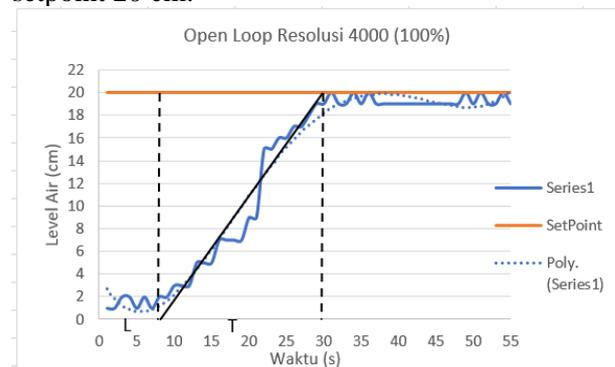


Gambar 9. Respon Open Loop Sistem

Respon open loop sistem saat diberikan output sebesar 100% diperoleh nilai time konstan 21.5 s.

Tuning Ziegler-Nichlos I

Metode tuning ZN pada plant kendali level air dilakukan juga pada *output* 100% ditunjukkan Gambar 10. *Tuning parameter* pada respon open loop sistem *output* 100% diperoleh nilai K sebesar 20, L sebesar 8, dan T sebesar 22. Setelah itu dimasukkan ke persamaan yang ditunjukkan pada tabel 1 dengan hasil tuning ditunjukkan pada tabel 3. Tuning ZN 1 pada plant kendali level air dengan setpoint 20 cm.



Gambar 10. Tuning Zigler-Nichols 1
Tabel 3. Hasil Tuning Kendali PID dengan Ziegler-Nichols 1

Type of controller	K_p	T_i	T_d
P	2.8	∞	0
PI	2.475	26.7	0
PID	3.3	16	4

Pengujian Kendali Level Menggunakan Tuning Ziegler-Nichlos I

Setelah diperoleh parameter-parameter PID seperti yang terdapat pada Tabel 3, selanjutnya diimplementasikan pada sistem kendali level air. Parameter PID tersebut diinputkan melalui *software* SCADA yang telah dibuat dan dapat dilihat hasilnya pada trend grafik yang terdapat pada *software* SCADA tersebut.

Kontroler P

Berdasarkan hasil *tuning parameter* yang ditunjukkan pada tabel 3 diperoleh nilai K_p sebesar 2.8 karena program pada PLC adalah integer dan tidak bisa data float maka nilai K_p yang dibulatkan menjadi 3. Hasil respon ditunjukkan pada Gambar 11. Berdasarkan data pada Gambar 11, dapat diketahui *error steady state* sebesar 0 artinya sistem dapat mencapai set point. Respon transien sistem menunjukkan *settling time* sebesar 21.5 s dan *rise time* sebesar 19.5 s.



Gambar 11. Hasil Respon Kendali P dengan $K_p = 3$

Kontroler PI

Berdasarkan hasil *tuning parameter* kontroler PI yang ditunjukkan pada Tabel 3, diperoleh nilai K_p sebesar 2.475 dan t_i sebesar 26.7. dilakukan pembulatan parameter kendali menjadi K_p sebesar 2 dan t_i sebesar 27. Hasil respon ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil Respon Kendali PI dengan $K_p = 2$ dan $T_i = 27$

Berdasarkan Gambar 12, tidak terdapat *error steady state* atau 0 artinya sistem mencapai setpoint namun masih terdapat osilasi. Respon transien sistem menunjukkan *settling time* sebesar 18.15 s dan *rise time* sebesar 18 s.

Kontroler PID

Berdasarkan hasil *tuning parameter* kontroler PID yang ditunjukkan pada Tabel 3, diperoleh nilai K_p sebesar 3.3, t_i sebesar 16, dan t_d sebesar 4 dan dilakukan pembulatan nilai parameter kendali K_p sebesar 3, t_i sebesar 16, dan t_d sebesar 4. Hasil respon ditunjukkan pada Gambar 13.

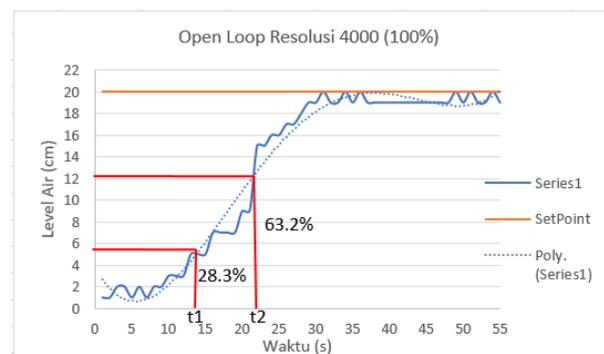
Berdasarkan data pada Gambar 13, dapat diketahui terdapat *error steady state* sebesar 10% artinya sistem melebihi nilai *set point* sebesar 2 cm jadi *final value* respon sistem berada di 22 cm sedangkan *setpoint*-nya adalah 20cm. Respon transien sistem menunjukkan *settling time* sebesar 29.5 s dan *rise time* sebesar 21.5 s.



Gambar 13. Hasil Respon Kendali PID dengan $K_p = 3$, $t_i = 16$, dan $t_d = 4$

Tuning Cohen-Coon

Metode tuning CC pada plant kendali level air dilakukan juga pada output 100% ditunjukkan Gambar 14.



Gambar 14. Tuning Cohen-Coon

Tabel 4. Hasil Tuning Cohen-Coon pada plant Kendali Level Air dengan Set point 20 cm

Type of controller	K_p	T_i	T_d
P	0.0072	∞	0
PI	0.0054	12.325	0
PD	0.077	0	1.731
PID	0.072	18.928	14.528

Berdasarkan data pada Gambar 14 dapat diperoleh nilai K sebesar 20, t_1 sebesar 14, dan t_2 sebesar 21.5. Setelah itu dimasukkan ke persamaan yang ditunjukkan pada tabel 2 diperoleh τ_m sebesar 11.25 dan τ_d sebesar 10.25. Hasil *tuning* ditunjukkan pada Tabel 4.

Pengujian Kendali Level Menggunakan Tuning Cohen-Coon

Setelah diperoleh parameter-parameter PID seperti yang terdapat pada Tabel 4 selanjutnya diimplementasikan pada sistem kendali level air.

Kontroler P

Berdasarkan hasil *tuning* parameter yang ditunjukkan pada Tabel 4 diperoleh nilai K_p sebesar 0.072 dan dibulatkan menjadi 1. Hasil respon sistem saat diberikan kontroler P sebesar 1 pada set point 20 cm, ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Respon Sistem untuk $k_p = 1$

Berdasarkan data pada Gambar 15 dapat diketahui *error steady state* sebesar 0 artinya sistem dapat mencapai *set point* namun ada satu gelombang osilasi. Respon transien sistem menunjukkan *settling time* sebesar 21 s dan *rise time* sebesar 18 s.

Kontroler PI

Berdasarkan hasil *tuning* parameter kontroler PI yang ditunjukkan pada Tabel 4 diperoleh nilai K_p sebesar 0.054 dan t_i sebesar 12.325, dilakukan pembulatan parameter K_p sebesar 1 dan t_i sebesar

12. Hasil respon sistem saat diberikan kontroler PI dengan nilai K_p sebesar 1 dan t_i sebesar 12 pada set point 20 cm, ditunjukkan pada Gambar 16.

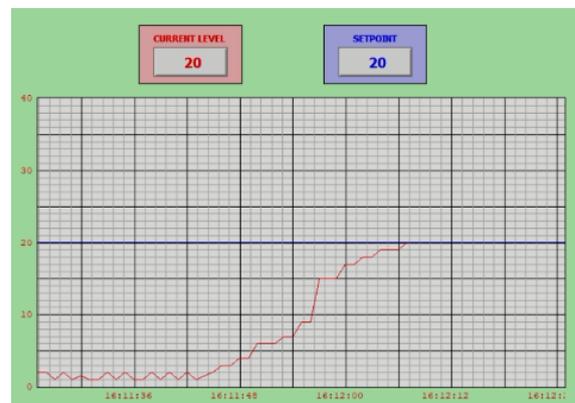


Gambar 16. Respon Sistem untuk $K_p = 1$ dan $t_i = 12$

Berdasarkan data pada Gambar 16 dapat diketahui terdapat *error steady state* sebesar 0% artinya sistem mencapai setpoint namun terdapat osilasi. Respon transien sistem menunjukkan *settling time* sebesar 19.5 s dan *rise time* sebesar 18 s.

Kontroler PD

Berdasarkan hasil *tuning parameter* kontroler PD yang ditunjukkan pada Tabel 4 diperoleh nilai K_p sebesar 0.077 dan t_d sebesar 1.731, dilakukan pembulatan K_p sebesar 1 dan t_d sebesar 2. Hasil respon sistem saat diberikan kontroler PD dengan nilai K_p sebesar 1 dan t_d sebesar 2 pada set point 20 cm, ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Respon Sistem untuk $K_p = 1$ dan $t_d = 2$

Berdasarkan data pada Gambar 17 dapat diketahui terdapat *error steady state* sebesar 0% artinya sistem mencapai setpoint. Respon transien sistem menunjukkan *settling time* sebesar 23.5 s dan *rise time* sebesar 21.5 s.

Kontroler PID

Berdasarkan hasil *tuning parameter* kontroler PID yang ditunjukkan pada Tabel 4 diperoleh nilai K_p sebesar 0.072, t_i sebesar 18.928, dan t_d sebesar 14.528, dilakukan pembulatan K_p menjadi 1, t_i menjadi 19, dan t_d menjadi 15. Hasil respon sistem saat diberikan kontroler PID dengan nilai K_p sebesar 1, t_i sebesar 19, dan t_d sebesar 15, ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Respon Sistem untuk $K_p = 1$, $t_i = 19$, dan $t_d = 15$

Analisa Gambar 18 dapat diketahui terdapat *error steady state* sebesar 15% artinya sistem melebihi nilai set point sebesar 1 cm jadi *final value* respon sistem berada di 23 cm sedangkan setpointnya adalah 20cm, dan sistem berhasil. Respon transien sistem menunjukkan *settling time* sebesar 27.5 s dan *rise time* sebesar 24 s.

Pembahasan

Hasil respon sistem setelah diimplementasikan kendali PID dengan menggunakan metode tuning ZN dan CC pada saat open loop sistem diberikan output 100% ditunjukkan pada Tabel 5. Hasil yang ditunjukkan pada Tabel 5 dapat diketahui sistem dengan kendali PID dapat mempercepat respon sistem. *Settling time* dan *rise time* pada semua percobaan kendali PID pada Tabel 5 menunjukkan waktu tercapai lebih cepat dibanding sebelum diterapkan kendali.

Berdasarkan data pada Tabel 5 dapat diketahui kendali PID dengan metode tuning ZN menunjukkan nilai yang paling optimum ketika menggunakan kendali P saja dengan nilai $K_p = 3$ yang walaupun *settling time* dan *rise time* lebih lama tercapai dibanding kendali PI namun pada kendali P tidak terdapat osilasi. Sedangkan kendali PID dengan tuning CC juga menunjukkan nilai yang paling optimum ketika menggunakan kendali P saja dengan nilai $K_p = 1$ yang menunjukkan walaupun *settling time* dan *rise time* lebih lama dibanding kendali PI, namun tidak osilasi. Kendali P dengan

tuning CC menunjukkan hasil yang lebih baik dari ZN karena mencapai *settling time* dan *rise time* lebih cepat.

Tabel 5. Perbandingan Hasil Respon Sistem menggunakan Tuning Ziegler Nichols dan Cohen-Coon

Type Of Controller	Tuning Ziegler Nichols				
	Nilai Parameter	Ess	Ts	Tr	Osilasi
P	$K_p = 3$	0%	21.5	19.5	Tidak Ada
PI	$K_p = 3$ $T_i = 37$	5%	25.2	22.5	Tidak Ada
PD	Tidak Ada				
PID	$K_p = 4$ $T_i = 22$ $T_d = 5$	15%	35.5	25	Tidak Ada
Tuning Cohen Coon					
P	$K_p = 1$	0%	21	19.2	Tidak Ada
PI	$K_p = 1$ $T_i = 18$	0%	23.5	21.5	Tidak Ada
PD	$K_p = 1$ $T_d = 2$	0%	24	21.5	Tidak Ada
PID	$K_p = 1$ $T_i = 25$ $T_d = 22$	5%	26.5	24	Tidak Ada

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan kontroler PID dengan metode tuning ZN dan CC pada kendali proses level air. Berdasarkan data pada tabel 5 menunjukkan tuning CC lebih baik dari ZN karena mencapai *settling time* dan *rise time* lebih cepat. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Isdaryani, et al (2020) dan penelitian yang dilakukan Suksawat & Kaewpradit (2021) menyatakan bahwa metode CC lebih baik dari metode ZN. Pada penelitian Suksawat & Kaewpradit (2021) sistem diimplementasikan pada MATLAB dan Arduino, sedangkan pada penelitian ini sistem berhasil diimplementasikan pada sistem SCADA berbasis PLC dan Wonderware Intouch.

Kontroler PID diterapkan menggunakan PLC dan HMI pada sistem pengendalian level telah diterapkan pada penelitian Prasetya et al. (2020) dan Mahadiyan (2015) menggunakan metode tuning ZN, sedangkan pada penelitian ini dibandingkan dengan tuning CC untuk mendapatkan hasil penerapan kontroler PID yang menghasilkan respon lebih baik.

IV. PENUTUP

Kesimpulan

Kendali level air menggunakan kendali PID dengan tuning ZN dan CC berdasarkan *input* dari sensor level *transmitter* dan aktuator dari pompa berhasil diimplementasikan. Hasil perbandingan

tuning parameter PID menggunakan metode CC menunjukkan hasil yang lebih baik dari tuning ZN. Kendali terbaik untuk sistem pengendali ketinggian level menggunakan parameter kendali proporsional mendapatkan hasil respon transien sistem menunjukkan *settling time* sebesar 21 s dan *rise time* sebesar 18 s.

Saran

Saran pengembangan untuk penelitian selanjutnya adalah dapat membuat sistem SCADA dengan menambah beberapa pengontrolan lainnya seperti pressure dan flow dengan menambah beberapa plant pengendalian tersebut dan dihubungkan dengan *software* SCADA untuk monitoring terpusat serta dapat dimonitoring dan dikendalikan secara jarak jauh melalui web maupun aplikasi android berbasis industri 4.0.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih, disampaikan kepada P4M Politeknik Manufaktur Bandung yang telah membiayai penelitian.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Daful, A. G. (2018). Comparative study of PID tuning methods for processes with large & small delay times. *2018 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICASET.2018.8376915>
- Isdaryani, F., Feriyonika, F., & Ferdiansyah, R. (2020). Comparison of Ziegler-Nichols and Cohen Coon tuning method for magnetic levitation control system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1450(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1450/1/012033>
- Jarang, M., & Sondkar, S. (2017). PID Tuning and Implementation for Level Control Loop Using Delta V DCS. *2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2017.8463641>
- Joseph, E., & Olaiya, O. O. (2018). Cohen-Coon PID Tuning Method: A Better Option to Ziegler Nichols-Pid Tuning Method. *Computer Engineering and Intelligent Systems*, 9(5). www.iiste.org
- Mahadiyan, D. (2015). Perancangan SCADA pada Mini Plant Proses Pengendalian Level. *Jurnal Telekomunikasi Dan Komputer*, 6(2).
- Murdiyanto, A., & Supriadi, D. (2021). Perancangan Pengembangan Kontrol PID pada Monitoring Pengendalian Ketinggian Berbasis PLC CP1E-NA20DR-A. *TEDC*, 15(3).
- Nugroho, R. F. (2019). Sistem Pengendalian Motor Dc Menggunakan Pid Dengan Metode Ziegler – Nichols (Implementasi Palang Pintu Parkir). *Foreign Affairs*.
- Pancal, P., Patel, A., & Barve, J. (2015). PI Control of Level Control System using PLC and LabVIEW based SCADA. *International Conference on Industrial Instrumentation and Control (ICIC)*.
- Prasetya, S. D., Budi, E. S., & Yulianto. (2020). Aplikasi PID Controller Level Feed Water Boiler pada Miniplant dengan Menggunakan PLC Dan HMI. *Jurnal Elkolid*, 07(3).
- Pujiati, T., & Risfendra, R. (2021). Penerapan Kontroler PID Pada Sistem Kendali Level cairan Dengan Metode Ziegler-Nichols Berbasis Arduino. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 2(1), 55–60. <https://doi.org/10.24036/jtein.v2i1.123>
- Sabri, L. A., & Al-Mshat, H. A. (2015). Implementation of Fuzzy and PID Controller to Water Level System using LabView. *International Journal of Computer Applications*, 116(11), 975–8887.
- Sartika, E. M., Sarjono, T. R., & Saputra, D. D. (2019). Prediction of PID control model on PLC. *Telkonnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 17(1), 529–536. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v17i1.11589>
- Simanullang, S. andre, Rudati, P. S., & Feriyonika. (2017). Sistem PID Pengendali Level Ketinggian Air Berbasis Modbus/TCP-LCU dan Industrial Field Control Node-RTU. *8th Industrial Research Workshop and National Seminar*.
- Suharti, P. H., & Sa'diyah, K. (2019). Aplikasi Tuning Metode Cohen-Coon pada Pengendali pH di Tangki Netralisasi, Unit Pengolahan Limbah. *Eksergi*, 16(2), 35. <https://doi.org/10.31315/e.v16i2.2993>.
- Suksawat, T., & Kaewpradit, P. (2021). Comparison of Ziegler-Nichols and Cohen-Coon Tuning Methods: Implementation to Water Level Control Based MATLAB and Arduino. *Engineering Journal Chiang Mai University*, 28(1), 153–168.