

ANALISIS KINERJA SIMULASI MODUL PENGENDALI TEKANAN UDARA PCT-14 BERBASIS PLC DENGAN BERBAGAI METODA TUNING

Profiyanti Hermien Suharti¹⁾, Ade Sonya Suryandari²⁾, dan Rahma Nur Amalia³⁾

^{1,2}Teknologi Kimia Industri, Politeknik Negeri Malang

³Sistem Kelistrikan, Politeknik Negeri Malang

^{1,2,3}Jl. Soekarno Hatta 9, Malang, 6141

E-mail: profiyanti@polinema.ac.id¹⁾, ade.sonya@polinema.ac.id²⁾, rahmapolinema@gmail.com³⁾

ABSTRAK

Pembelajaran pada situasi pandemi Covid-19 menjadi tantangan tersendiri bagi perguruan tinggi vokasi (PTV). PTV harus memastikan bahwa kompetensi mahasiswa memenuhi capaian pembelajaran yang telah ditetapkan. Simulasi dari pembelajaran praktikum menjadi jawaban atas tantangan tersebut. Simulasi dari modul pengendali tekanan PCT-14 disusun untuk memberikan gambaran proses sistem kendali kepada mahasiswa yang tidak dapat melakukan praktikum secara luring. Kestabilan model simulasi diuji dengan membandingkan kinerja model simulasi menggunakan parameter pengendali hasil dari beberapa metode *tuning*. Beberapa metode *tuning* tersebut diterapkan untuk melihat respon simulasi modul pengendali tekanan udara PCT-14 dalam mengatasi perubahan *set point* (*servo system*). Metode *tuning* yang diterapkan, yaitu metode Cohen – Coon – CC, Ziegler Nichols – ZN, Good – Gain – GG, dan Skogestad's. Kinerja model simulasi dilihat dari nilai *settling time*, *rise time*, *overshoot* dan *offset* dari masing-masing respon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua metode *tuning* menghasilkan parameter pengendali yang memberi respon stabil untuk simulasi modul pengendali tekanan udara (PCT-14). Respon terbaik dihasilkan ketika menggunakan parameter PID hasil *tuning* metode Skogestad's untuk *PI controller* dan *tuning* metode GG untuk *PID controller*. Kinerja respon dengan parameter pengendali tersebut menunjukkan nilai *settling time* 14 detik untuk *PID controller* dan 13 detik untuk *PI controller*, dengan sedikit *offset* (1%).

Kata Kunci: Pembelajaran praktikum, Perubahan set point, Respon cepat, Respon proses, Settling time, Offset

1. PENDAHULUAN

Pengendali tekanan udara ini merupakan salah satu sistem kendali yang sangat umum aplikasinya di dunia industri. Secara dasar, terdapat dua jenis aplikasi pengendali tekanan udara tersebut, yaitu *hydro mechanical pressure control* dan *electro-hydraulic pressure control*. Sebagian besar pengendali tersebut menggunakan pengendali *proportional, integral and derivative* – PID dengan metode *trial and error* untuk mendapatkan parameter pengendali yang terbaik (Liermann, 2013).

Modul pengendali tekanan udara (PCT – 14), yang dimiliki Laboratorium Pengendalian Proses – Jurusan Teknik Kimia Polinema, telah memberikan gambaran nyata kepada mahasiswa bagaimana sistem pengendali (*control process*) bekerja. Modul ini telah dilengkapi dengan *Programmable Logic Controller* (PLC) yang dilengkapi dengan *Human Machine Interface* (HMI) yang bekerja secara *online* dan *real time* ketika membaca data dari sistem yang dikendalikan.

Pembelajaran pada situasi pandemi Covid-19 menjadi tantangan tersendiri bagi perguruan tinggi vokasi (PTV). PTV harus memastikan bahwa kompetensi mahasiswa memenuhi capaian pembelajaran yang telah ditetapkan. Modul pengendali tekanan udara (PCT – 14) merupakan salah satu modul pembelajaran praktikum dengan capaian pembelajaran yang menyatakan bahwa

mahasiswa harus mampu mendapatkan parameter pengendali dengan kinerja terbaik melalui kegiatan *tuning* (pengaturan parameter kendali). Kondisi pandemi menyebabkan mahasiswa menjadi terbatas mengakses modul pengendali udara PCT-14 secara langsung. Simulasi dari modul tersebut menjadi jawaban untuk memastikan capaian pembelajaran tetap terpenuhi.

Beberapa perangkat lunak dapat digunakan untuk membangun model-model simulasi untuk perangkat pembelajaran, diantaranya adalah Aspen Plus®, Hysys®, Matlab® dan Scilab®. Pembelajaran tentang penggunaan perangkat lunak tersebut menjadi salah satu materi yang diperkenalkan kepada mahasiswa dalam materi kuliah tentang sistem kendali (Vieira dkk., 2019). Secara umum, terdapat dua kategori pengembangan model simulasi, yaitu berdasarkan bahasa pemrograman dan berdasarkan blok-blok model. Pengembangan simulasi berdasar bahasa pemrograman membutuhkan persamaan-persamaan matematis yang biasanya cenderung lebih sulit untuk dilakukan penyesuaian. Sisi lain, pengembangan model simulasi berdasarkan blok-blok model lebih mudah digunakan (Ospino, Sánchez and Secchi, 2017). Pengembang model simulasi cukup memilih blok-blok yang bersesuaian dan menggabungkannya menjadi rangkaian yang dapat menggambarkan proses yang diinginkan (Vieira dkk., 2019).

Perangkat lunak berbasis bahasa pemrograman, seperti Matlab® dan Scilab®, juga menyertakan pengembangan simulasi berdasarkan blok-blok model. Perangkat lunak Matlab® menyertakan Simulink®, sedangkan Scilab® memperkenalkan Xcos®. Perangkat lunak Scilab® memiliki kelebihan sebagai simulator karena merupakan perangkat lunak yang bersifat *open source* serta tidak membutuhkan tempat penyimpanan yang besar di dalam komputer. Perangkat lunak yang bersifat *open source* menjadi pilihan bagi mahasiswa *engineering* untuk mengembangkan pembelajaran (Bui, 2020).

Perangkat lunak berbasis blok-blok model, seperti Xcos®, telah digunakan dalam proses pembelajaran, khususnya pembelajaran tentang sistem kendali proses, seperti disampaikan oleh (González-Vargasi dkk., 2019) Vieira dkk. (2019), Merzlikina dan Prochina (2020), (Bui, 2020) dan (Ospino, Sánchez and Secchi, 2017). Perangkat lunak Xcos® juga digunakan untuk menggambarkan proses-proses di luar proses pembelajaran. Hermawan dkk. (2020) menggunakan Xcos® untuk menggambarkan proses dinamika dari dua tangki berpemanas yang memiliki *dead time*, sedang Utomo, Siwindarto dan Setyawati (2020) menggunakannya untuk menggambarkan fenomena yang terjadi dalam pengendalian proses pelapisan dalam pembuatan perhiasan (*electrodeposition*). Kurniawan dkk. (2020) juga memanfaatkan Xcos® untuk mempelajari karakteristik pengendali PID pada *servo* motor.

Perangkat lunak berbasis blok-blok model lainnya yang sering digunakan adalah Simulink®, yang dikembangkan dalam perangkat lunak Matlab®. Penelitian yang menggunakan Simulink® untuk menggambarkan sistem kendali, antara lain dilakukan untuk mendapatkan parameter kendali PID pada *pressure process training system* (Iyswariya dkk., 2015), pada proses pasteurisasi susu (Alamirew, Balaji and Gabbeye, 2017), pada motor AC induksi kecepatan tinggi (Pohny, 2017) serta untuk *pressure stabilizer* pada reaktor pembangkit listrik tenaga nuklir (Nie dkk., 2020).

Dengan demikian, perangkat lunak Scilab®, dengan fitur Xcos® dipilih dalam pengembangan model simulasi dari modul pengendali tekanan udara (PCT-14) berbasis PLC yang dimiliki Jurusan Teknik Kimia. Modul ini dapat dikategorikan sebagai alat pengendali dengan respon cepat. Alat ini merespon perubahan yang terjadi dengan cepat, dan menuju ke kondisi *steady* baru. Modul pengendalian tekanan udara (PCT-14) dapat dioperasikan dengan menggunakan tangki udara maupun tanpa tangki udara.

Kestabilan model simulasi yang dibangun untuk modul pengendali tekanan udara (PCT-14) diuji dengan cara membandingkan kinerja model simulasi menggunakan parameter pengendali hasil dari beberapa metode *tuning*. Penentuan parameter pengendali yang terbaik, atau dikenal dengan istilah *tuning*, merupakan

upaya untuk mendapatkan sistem kendali dengan kinerja (*performance*) yang baik (Joseph and Olaiya, 2018).

Tuning untuk pengendali PID dapat dilakukan dengan menggunakan lup tertutup (*closed loop*) maupun (*open loop*). Teknik *tuning closed loop* dilakukan ketika sistem kendali berada dalam mode/kondisi otomatis dan pengendali PID sedang berfungsi. Untuk teknik *tuning open loop* dilakukan ketika sistem kendali berada dalam kondisi manual (Anusha, Karpagam and Bhuvaneshwari, 2014).

Salah satu metode *tuning* yang biasa digunakan adalah metode *tuning* Ziegler – Nichols (ZN). Metode *tuning* ini sering digunakan apabila model matematika dari sistem kendali tidak dapat diperoleh (Kumar and Patra, 2016). *Tuning* metode ZN termasuk kategori teknik *tuning close loop*, yang dilakukan dengan cara mendapatkan parameter kendali yang bisa menghasilkan respon kendali yang berosilasi pada amplitudo yang konstan (*constant amplitudo oscillation*). Parameter kendali PID dikondisikan berada dalam mode *P controller* hingga mendapat respon kendali dengan *constant amplitudo oscillation* (Liu dkk., 2014).

Tuning metode Cohen-Coon (CC), yang merupakan teknik *tuning open loop*, sering digunakan sebagai pembandingan *tuning* metode ZN (Rao, Subramanyam and Satyaprasad, 2014), (Joseph and Olaiya, 2018), (Azman dkk., 2017), (Isdaryani, Feriyonika and Ferdiansyah, 2020). Parameter pengendali dalam *tuning* metode CC diperoleh secara empiris berdasar data eksperimen. Parameter tersebut diarahkan untuk mendapatkan respon dengan *decay ratio* $\frac{1}{4}$ (Rao, Subramanyam and Satyaprasad, 2014).

Metode *tuning* lain yang telah digunakan adalah metode *Good Gain* (Suharti and Irfin, 2017) dan metode *Skogsted's* (Irfin, Suharti and Moentamaria, 2017). Kedua metode tersebut telah diaplikasikan secara eksperimental untuk modul pengendali tekanan udara (PCT-14) yang dimiliki Laboratorium Pengendalian Proses – Jurusan Teknik Kimia Polinema. Dalam penelitian ini, kedua metode juga diterapkan untuk menguji kestabilan dari model simulasi yang disusun.

Model simulasi disusun dan divalidasi berdasarkan respon hasil pembacaan PLC yang telah terintegrasi dengan modul PCT-14. Dengan model simulasi tersebut, kinerja sistem kendali PCT-14 dapat dipelajari untuk berbagai metode *tuning*. Selain itu, model simulasi tersebut dapat digunakan dalam pembelajaran praktikum apabila mahasiswa tidak dapat mendapatkan akses secara langsung terhadap modul tersebut. Mahasiswa yang berada di luar laboratorium tetap mendapatkan gambaran tentang kinerja sistem kendali PCT-14 dengan adanya model simulasi tersebut. Kinerja model simulasi dilihat dari nilai parameter *settling time*, *rise time*, *overshoot* dan *offset*.

2. RUANG LINGKUP

Penelitian ini menyajikan model simulasi dari modul pengendali tekanan udara (PCT-14), yang dimiliki

Tabel 1. Persamaan Tuning Metode CC.

Pengendali	K_c	τ_i	τ_D
CC – P controller	$\frac{1}{K_p} \frac{\tau_p}{t_d} \left(1 + \frac{t_d}{3\tau_p} \right)$	-	-
CC – PI controller	$\frac{1}{K_p} \frac{\tau_p}{t_d} \left(0,9 + \frac{t_d}{12\tau_p} \right)$	$t_d \frac{30+3 \cdot t_d/}{9+20 \cdot t_d/}$	-
CC – PID controller	$\frac{1}{K_p} \frac{\tau_p}{t_d} \left(\frac{4}{3} + \frac{t_d}{4\tau_p} \right)$	$t_d \frac{32+6 \cdot t_d/}{13+8 \cdot t_d/}$	$t_d \frac{4}{11+2 \cdot t_d/\tau_p}$

(Anusha, Karpagam and Bhuvaneshwarri, 2014)

Tabel 2. Persamaan Tuning Metode ZN

Pengendali	K_c	τ_i	τ_D
ZN – P controller	$\frac{1}{2} \cdot K_{cu}$	-	-
ZN – PI controller	$\frac{1}{2,2} \cdot K_{cu}$	$\frac{P_u}{1,2}$	-
ZN – PID controller (original)	$0,66 \cdot K_{cu}$	$\frac{P_u}{2}$	$\frac{P_u}{8}$
ZN – PID controller (Mod1)	$0,33 \cdot K_{cu}$	$\frac{P_u}{2}$	$\frac{P_u}{3}$
ZN – PID controller (Mod2)	$0,22 \cdot K_{cu}$	$\frac{P_u}{2}$	$\frac{P_u}{3}$

(Anusha, Karpagam and Bhuvaneshwarri, 2014)

Tabel 3. Persamaan Tuning Metode GG dan Skogestad's

Pengendali	K_c	τ_i	τ_D
GG – PID controller ¹⁾	$0,8 K_{pGG}$	$1,5 T_{ou}$	$0,25 \cdot \tau_i$
Sk – PI controller ²⁾	$\frac{T}{K(T_c + \tau)}$	$\text{Min} [T, K(T_c + \tau)]$	-

¹⁾ (Suharti and Irfan, 2017); ²⁾ (Irfan, Suharti and Moentamaria, 2017)

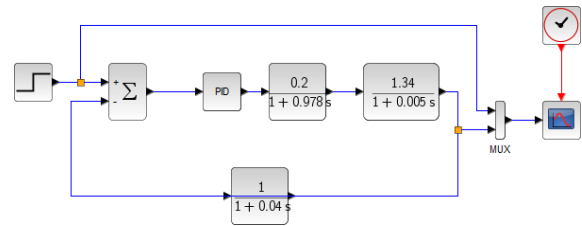
Settling time menunjukkan waktu yang dibutuhkan oleh respon untuk kembali *steady* setelah ada perubahan, sedangkan *rise time* adalah waktu ketika respon pertama kali mencapai *set point* setelah perubahan terjadi. Nilai *overshoot* menunjukkan seberapa besar respon melewati *set point* dan *offset* adalah nilai *error* (selisih *process variable* – PV dengan *set point*) ketika respon sudah mencapai kondisi *steady* setelah perubahan terjadi (Fadali and Visioli, 2020).

4. PEMBAHASAN

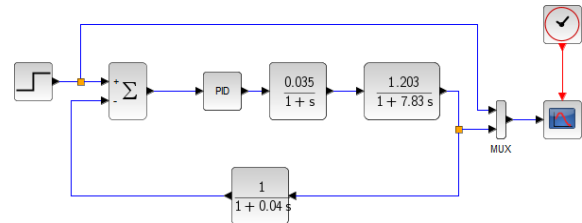
Model simulasi dari sistem kendali *closed loop system* PCT-14 dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Xcos®-Scilab® 6.1, menggunakan persamaan model yang tersaji di Gambar 2. Gambar 2 menampilkan analogi dari uraian proses yang tersaji dalam Gambar 1 menjadi bentuk diagram blok.

Setelah model tersusun maka dilakukan validasi untuk memastikan bahwa model yang disusun sesuai

dengan kondisi peralatan yang ada. Validasi dilakukan dengan parameter kendali sesuai dengan hasil pengujian sebelumnya. Apabila hasil simulasi belum sesuai maka dilakukan pengaturan konstanta dari masing-masing diagram blok. Hasil penyesuaian konstanta dari masing-masing diagram blok disajikan di Gambar 3. Hasil validasi di Gambar 3 menunjukkan bahwa fungsi hantar yang menggambarkan karakter proses dan *control valve* berbeda dari model sebelumnya, yang tersaji di Gambar 2.

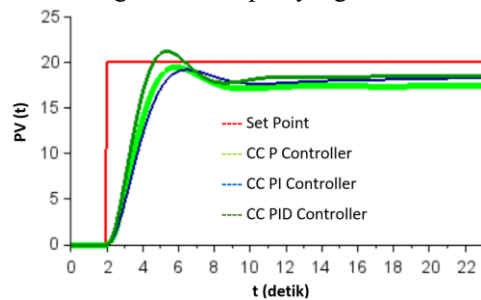


Gambar 2. Diagram Simulasi Sistem Kendali PCT-14 Close Loop System dengan PID Controller.

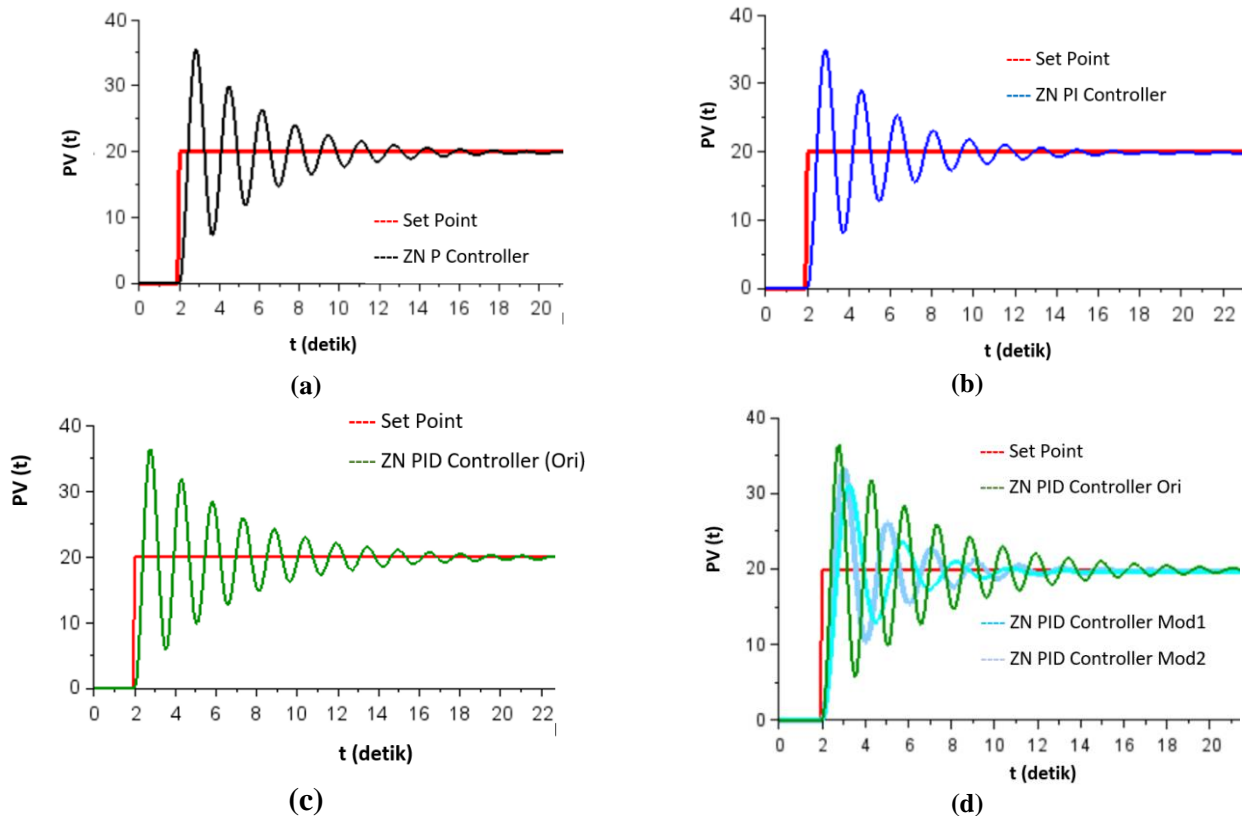


Gambar 3. Diagram Simulasi Sistem Kendali PCT-14 Close Loop System dengan PID Controller setelah validasi model.

Parameter pengendali (K_c , τ_i dan τ_D) yang diperoleh dari hasil perhitungan *tuning* diaplikasikan pada model simulasi Xcos® dan dilakukan analisis terhadap masing-masing respon yang dihasilkan. Respon simulasi menggunakan parameter pengendali hasil *tuning* metode CC disajikan di Gambar 4, sedangkan respon simulasi menggunakan parameter pengendali hasil *tuning* metode ZN disajikan di Gambar 5. Gambar 4 membandingkan respon simulasi P, PI dan PID controller dengan parameter pengendali yang diperoleh dari *tuning* metode CC. Respon yang memiliki nilai *offset* terkecil di Gambar 4 adalah respon simulasi PID controller. Akan tetapi, respon tersebut memiliki osilasi yang lebih besar apabila dibandingkan dua respon yang lain.



Gambar 4. Respon model simulasi menggunakan parameter pengendali hasil tuning metode CC.



Gambar 5. Respon model simulasi menggunakan parameter pengendali hasil *tuning* metode (a) ZN P Controller, (b) ZN PI Controller, (c) ZN PID Controller Ori dan (d) ZN PID Controller Modifikasi

Gambar 5 menyajikan respon-respon simulasi P, PI dan PID *controller* dengan parameter pengendali yang diperoleh dari *tuning* metode ZN, baik dengan perhitungan yang berasal dari persamaan *tuning* ZN orisinal maupun dengan modifikasi.

Semua respon menunjukkan bahwa hasil *tuning* metode CC memberikan respon yang cenderung lebih stabil dan tanpa osilasi. Kondisi ini sejalan dengan hasil penelitian (Joseph and Olaiya, 2018) yang menyatakan bahwa *tuning* metode CC dapat menurunkan *overshoot* dan *rise time* yang tinggi, ketika pengendali PID menggunakan parameter hasil *tuning* metode ZN. (Joseph and Olaiya, 2018) mengaplikasikan kedua metode *tuning* pada peralatan *kiln* di industri yang mengikuti karakter proses orde dua.

(N.n, 2016) juga menyampaikan hasil yang sama, bahwa *tuning* metode CC bekerja dengan baik untuk proses-proses dengan respon sangat cepat. Data fungsi hantar proses dari modul pengendali tekanan udara (PCT-14) menunjukkan bahwa *time constant process* hanya bernilai 7,83 detik.

Nilai overshoot untuk respon yang tersaji di Gambar 5, yang bernilai antara 60,00 – 75,00% (dapat dilihat di Tabel 4), berkurang dengan diterapkannya *tuning* metode CC. Akan tetapi, *tuning* metode CC masih menyisakan *offset*, walaupun nilainya hanya berkisar 1,5 – 2,5%. Modifikasi terhadap *tuning* metode CC perlu dilakukan

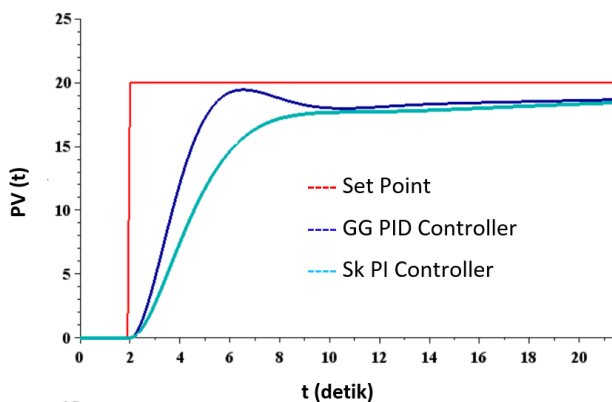
apabila dikehendaki untuk mendapatkan nilai *offset* yang minimum atau bahkan tanpa *offset* (N.n, 2016).

Tabel 4. Analisa respon

Pengendali	Settling time [detik]	Rise time [detik]	Overshoot [%]	Offset [%]
CC – P controller	11	-	-	2,5
CC – PI controller	21	-	-	1,8
CC – PID controller	11	2,5	0,05	1,5
ZN – P controller	11	-	-	2,5
ZN – PI controller	15	0,3	75,00	0
ZN – PID controller (original)	11	0,2	75,00	0
ZN – PID controller (Mod1)	13	0,3	75,00	0
ZN – PID controller (Mod2)	10	0,3	60,00	0
GG – PID controller	14	-	-	1,0
Sk – PI controller	13	-	-	1,0

Tuning metode GG tidak memerlukan model matematika dari sistem kendalinya, tetapi membutuhkan respon sistem kendali yang memenuhi kondisi *acceptable stability*. Dalam aplikasinya *tuning* metode GG mirip dengan *tuning* metode ZN. Kedua metode memerlukan *trial and error* parameter (Suharti and Irfin, 2017). Sedangkan *tuning* metode *Skogestad's* membutuhkan persamaan model yang menggambarkan kondisi sistem kendali. Persamaan model yang digunakan dapat diperoleh dari penurunan persamaan secara matematis atau dari perhitungan parameter respon proses meliputi (*gain*, *time constant* dan *dead time*) yang diperoleh secara eksperimen (Irfin, Suharti and Moentamaria, 2017). Dalam penelitian ini, persamaan model yang digunakan dalam perhitungan *tuning* metode *Skogestad's* merupakan persamaan fungsi hantar seperti tersaji dalam Gambar 3. Respon model simulasi menggunakan parameter pengendali hasil *tuning* metode GG dan *Skogestad's* disajikan di Gambar 6.

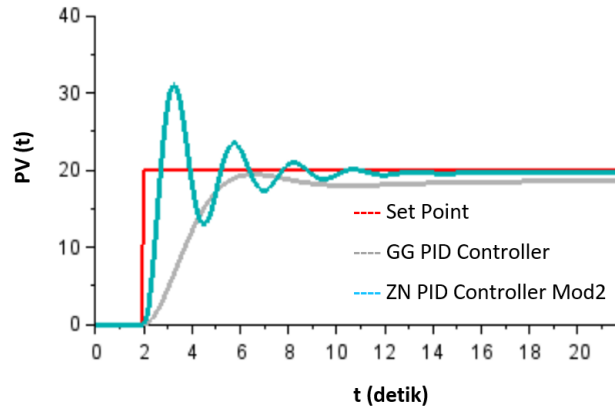
Modul pengendali tekanan udara (PCT – 14), yang dimiliki Laboratorium Pengendalian Proses – Jurusan Teknik Kimia Polinema, merupakan pengendali yang merespon perubahan dengan cepat. Dengan demikian, *tuning* metode GG dan *Skogestad's* hanya menghasilkan satu jenis parameter pengendali. Untuk *tuning* metode GG hanya menghasilkan parameter untuk PID *controller*, sedang *tuning* metode *Skogestad's* menghasilkan parameter PI *controller*.



Gambar 6. Respon model simulasi menggunakan parameter pengendali hasil *tuning* metode GG dan *Skogestad's*

Gambar 6 menunjukkan bahwa respon model simulasi menggunakan parameter pengendali hasil *tuning* metode GG cenderung membentuk osilasi apabila dibandingkan dengan hasil *tuning* metode *Skogestad's*. Akan tetapi osilasi yang terjadi masih termasuk dalam kategori minimal, apabila dibandingkan dengan respon model simulasi menggunakan parameter pengendali hasil *tuning* metode ZN (Gambar 7). Dengan demikian, *tuning* metode GG dapat digunakan sebagai alternatif metode *tuning* untuk sistem kendali yang berespon cepat, seperti Modul pengendali tekanan udara (PCT – 14) ini. *Trial and error* parameter kendali dalam *tuning* metode GG

tidak perlu sampai mencapai kondisi kritis (*constant amplitudo oscillation*), sehingga durasi waktu *tuning* dapat lebih singkat.



Gambar 7. Respon model simulasi menggunakan parameter pengendali hasil *tuning* metode GG berbanding hasil *tuning* metode ZN termodifikasi

Apabila memperhatikan nilai *offset* dari masing-masing hasil *tuning*, *tuning* metode ZN menunjukkan kinerja terbaik karena respon hasil simulasi dapat mencapai *set point*. Akan tetapi, respon masih sangat osilatif dengan *overshoot* yang cukup tinggi (mencapai 60,00 – 75,00%). Untuk proses-proses yang dapat mengakomodasi rentang *overshoot* yang cukup tinggi maka metode ZN dapat dipilih. Proses-proses yang sensitif terhadap simpangan respon maka harus dihindari *tuning* metode ZN. *Tuning* metode GG dan *Skogestad's* memberikan nilai *offset* yang cukup rendah untuk simulasi modul pengendali tekanan udara, PCT – 14, ini. Dengan demikian, *tuning* metode GG dapat dipilih apabila diinginkan menggunakan PID *controller* sedang *tuning* metode *Skogestad's* untuk PI *controller*.

Kinerja respon hasil simulasi masih dapat ditingkatkan dengan menggunakan metode *tuning* yang lain. Metode *tuning* lain yang dapat digunakan antara lain *internal model control* – IMC atau *model predictive control* – MPC.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model simulasi yang dibuat menggunakan aplikasi piranti lunak Xcos® dapat beroperasi dengan baik ketika diuji dengan berbagai nilai parameter pengendali yang diperoleh dari metode *tuning* CC, ZN, GG maupun *Skogestad's*. Dengan demikian model simulasi dengan aplikasi Xcos® dapat digunakan dalam proses pembelajaran praktikum di Laboratorium Pengendalian Proses, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang (Polinema).

5. KESIMPULAN

Proses pengendalian tekanan udara yang berlangsung di modul pengendali PCT-14, menunjukkan respon yang bereaksi sangat cepat. Respon proses yang cepat ditunjukkan dengan nilai *time constant* yang kecil, yaitu senilai 7,83 detik.

Hasil *tuning* yang diaplikasikan di modul pengendali PCT-14 menunjukkan bahwa semua parameter pengendali PID yang digunakan menghasilkan respon yang mendekati atau bahkan sama dengan *set point*. Hasil terbaik diperoleh untuk hasil *tuning* dengan metode Skogestad's untuk PI Controller dan metode GG untuk PID Controller. Model simulasi Xcos® dilakukan dengan memberikan perubahan *set point* sebesar 20% (dari %SP 0% menjadi 20%). Parameter pengendali PID yang diperoleh adalah $K_c = 128$; $\tau_i = 4,65$ detik dan $\tau_D = 1,16$ detik (hasil *tuning* metode GG), sedang parameter pengendali PI nya adalah $K_c = 71,5$; $\tau_i = 3,90$ detik dan $\tau_D = 0$ detik (hasil *tuning* metode Skogestad's). Performa respon dengan parameter pengendali tersebut menunjukkan nilai *settling time* 14 detik untuk PID controller dan 13 detik untuk PI controller, dengan sedikit *offset* (1%).

6. SARAN

Penelitian ini telah membandingkan berbagai metode *tuning* walaupun dilakukan secara simulasi. Respon hasil simulasi telah menggambarkan kondisi dari respon modul pengendali PCT-14. Simulasi hanya dilakukan dengan perubahan *set point* (*set point tracking - servo system*) sebesar 20%. Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan rentang perubahan *set point* yang lebih besar atau untuk perubahan *disturbance* (*disturbance rejection - regulator system*) agar dapat memberikan gambaran yang komprehensif tentang kestabilan model simulasi yang dibangun. Metode *tuning* yang lain juga dapat digunakan, seperti *internal model control - IMC* atau *model predictive control - MPC*.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Alamirew, T., Balaji, V. and Gabbeye, N. 2017. 'Comparison of PID controller with model predictive controller for milk pasteurization process.' *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 6(1), pp. 24–35.
- Anusha, S., Karpagam, G. and Bhuvaneshwarri, E. 2014. 'Comparison of Tuning Methods of Pid Controller'. *BEST: International Journal of Management, Information Technology and Engineering (BEST: IJMITE)*, 2(8), pp. 1–8.
- Azman, A.A. et al. 2017. 'Modeling and comparative study of PID Ziegler Nichols (ZN) and Cohen-Coon (CC) tuning method for Multi-tube aluminum sulphate water filter (MTAS)'. in *Proceedings - 2017 IEEE 2nd International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems, I2CACIS 2017*, pp. 25–30. Available at: <https://doi.org/10.1109/I2CACIS.2017.8239027>.
- Buii, C. 2020. 'a Modelling and Simulation Course for Engineering Students Using Open-Source Programs'. *INTED2020 Proceedings*, 1, pp. 2943–2948. Available at: <https://doi.org/10.21125/inted.2020.0875>.
- Fadali, M.S. and Visioli, A. 2020. 'Analog control system design'. in *Digital Control Engineering*. Academic Press, pp. 141–179. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814433-6.00005-3>.
- González-Vargas, A.M. et al. 2019. 'A low-cost, free-software platform with hard real-time performance for control engineering education'. *Computer Applications in Engineering Education*, 27(2), pp. 406–418. Available at: <https://doi.org/10.1002/cae.22084>.
- Hermawan, Y.D. et al. 2020. 'Process Dynamic of Two-Thermal-Tank-Series with Dead Time'. *Eksergi*, 17(2), p. 45. Available at: <https://doi.org/10.31315/e.v17i2.3700>.
- Irfan, Z., Suharti, P.H. and Moentamaria, D. 2017. 'Optimasi Kinerja Pengendali Tekanan PCT-14 Menggunakan Metoda Tuning Skogestad'. in *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia, ISSN: 2580-6572*, pp. 49–54.
- Isdaryani, F., Feriyonika, F. and Ferdiansyah, R. 2020. 'Comparison of Ziegler-Nichols and Cohen Coon tuning method for magnetic levitation control system'. *Journal of Physics: Conference Series*, 1450(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1450/1/012033>.
- Iyswariya, A. et al. 2015. 'Design of PI Controller using First Order Plus Time Delay Model for Process Control'. *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering (IJARECE)*, 4(3).
- Joseph, E. and Olaiya, O.. 2018. 'Cohen-Coon PID Tuning Method: A Better Option to Ziegler Nichols-Pid Tuning Method'. *Computer Engineering and Intelligent Systems*, 9(5), pp. 33–37.
- Kumar, V. and Patra, A. 2016. 'Application of Ziegler-Nichols Method for Tuning of PID Controller'. *2nd International Conference on Recent Innovations in Science, Technology, Management and Environment*, (2011), pp. 138–149.
- Kurniawan, E. et al. 2020. 'Analysis and Simulation of PI and PID Control Systems Using Xcos Scilab'. *Journal of Technomaterial Physics*, 2(2), pp. 108–116.
- Liermann, M. 2013. 'Pid tuning rule for pressure control applications'. *International Journal of Fluid Power*, 14(1), pp. 7–15. Available at: <https://doi.org/10.1080/14399776.2013.10781064>.
- Liu, Y. et al. 2014. 'IMC-PID Controller and the Tuning Method in Pneumatic Control Valve Positioner'. *The Open Automation and Control Systems Journal*, 6, pp. 1578–1585.
- Merzlikina, E.I. and Prochina, O.G. 2020. 'Laboratory Works on Control Theory Using Scilab/Xcos'. *2020 5th International Conference on Information Technologies in Engineering Education, Inforino 2020 - Proceedings*, pp. 6–9. Available at:



- <https://doi.org/10.1109/Inforino48376.2020.9111704>.
- N.n 2016. *Theoretical Consideration of Retarded Control. Dataforth Application Notes*. Available at: <https://doi.org/10.1115/1.4015451>.
- Nie, W. *et al.* 2020. 'A Tuning Method for PID Controller Parameters based on Particle Swarm Optimization (PSO)'. in *Chinese Automation Congress (CAC)*, pp. 497–501. Available at: <https://doi.org/10.1109/CAC51589.2020.9327536>.
- Ospino, J., Sánchez, M.E. and Secchi, A.R. 2017. 'Implementation of a block-oriented model library for undergraduate process control courses in EMSO simulator'. *Education for Chemical Engineers*, 18, pp. 45–57. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ece.2016.08.002>.
- Pohny, P. 2017. 'Sistem Kendali Metode PID Dan Kombinasi Spesifikasi Pada Kecepatan Tinggi Induksi Motor'. *Sebatik*, 18(1), pp. 17–20. Available at: <https://doi.org/10.46984/sebatik.v18i1.86>.
- Rao, P.V.G.K., Subramanyam, M. V. and Satyaprasad, K. 2014. 'Study on PID controller design and performance based on tuning techniques'. in *International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies, ICCICCT 2014*, pp. 1411–1417. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICCICCT.2014.6993183>.
- Suharti, P.H. and Irfan, Z. 2017. 'Tuning Metode Good Gain pada Sistem Pengendali tanpa Dead Time , Studi Kasus : Modul Pengendali Tekanan (PCT-14)'. in *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia, ISSN: 2580-6572*, pp. 55–60.
- Utomo, A.C., Siwindarto, P. and Setyawati, O. 2020. 'Reduced Overshoot of The Electroforming Jewellery Process Using PID'. *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*, 4(3), pp. 227–234. Available at: <https://doi.org/10.22219/kinetik.v5i3.1059>.
- Vieira, E.B. *et al.* 2019. 'Application of Scilab/Xcos for process control applied to chemical engineering educational projects'. *Computer Applications in Engineering Education*, 27(1), pp. 154–165. Available at: <https://doi.org/10.1002/cae.22065>.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada UPT P2M Politeknik Negeri Malang, yang telah memberikan kepercayaan kepada penulis melalui Dana Penelitian DIPA Reguler Tahun 2021.