

## Pengaturan Parameter Kendali Level pada *Vapor Absorption Chiller* dengan Menggunakan Metode *Tuning Internal Model Control* (IMC)

Profiyanti H. Suharti<sup>1\*</sup>, Khalimatus Sa'diyah<sup>2</sup>, Gagah Arga Raya Saputra<sup>2</sup> dan Meydana Nurriscky<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi D4 Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta 9 Malang

<sup>2</sup>Program Studi D3 Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta 9 Malang

\*E-mail: [profiyanti@polinema.ac.id](mailto:profiyanti@polinema.ac.id), [profiyanti8083@gmail.com](mailto:profiyanti8083@gmail.com)

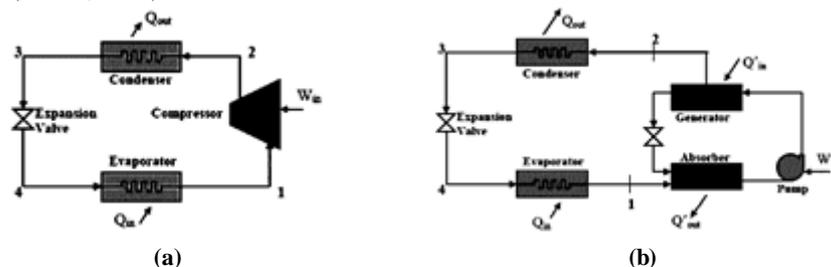
### Abstract

*Vapor Absorption Chiller (VAC)* is one of the equipment in the process of making synthetic fibers, which produce chilled water with energy from heat sources, rather than electricity. The heat source can be steam. VAC works like the concept of a refrigerant compression cycle. one of the equipment in the VAC cycle is the condensate storage tank. This tank has a level control system to control the amount of condensate that is accommodated. In one of the synthetic fiber manufacturing industries, the condensate level control system in VAC (LIC81403) works as non self regulating process. The control process runs following the integrating process character. This control system requires special techniques for tuning the PID control parameters. At present conditions, the control parameters used in LIC81403 are 40% proportional band (Pb) and 4 minutes integral time. These parameters produce oscillating condensate levels, with repeated amplitude waves. Internal model control (IMC) tuning method for integrating process was applied in this controller. The parameters of the tuning results are simulated to find out the LIC81403 controller response. Some parameters were applied at the plant and obtained the best performance with a proportional band (Pb) parameter of 45.45% and an integral time of 4.54 minutes.

**Keywords:** level control system, synthetic fibers, condensate storage tank

### Pendahuluan

*Vapor Absorption Chiller (VAC)* adalah salah satu jenis *chiller* (pendingin) yang berfungsi menghasilkan air pendingin (*chilled water*) dengan energi yang berasal dari sumber panas, dan bukannya aliran listrik. Sumber panas tersebut dapat berupa steam. VAC bekerja seperti halnya konsep siklus kompresi refrigerant. Sistem VAC terdiri dari generator dan absorber sebagai pengganti kompresor, yang biasanya ada dalam siklus kompresi refrigerant, seperti terlihat dalam Gambar 1 (Bhatia, 2012).

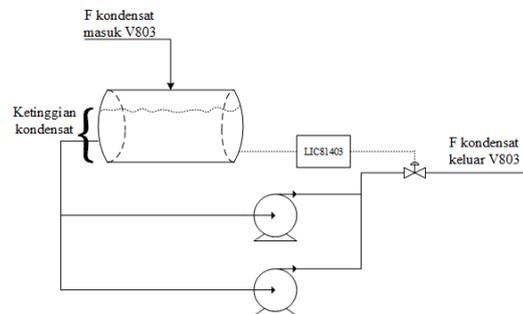


**Gambar 1.** Sketsa siklus kompresi refrigerant (a) dan siklus *vapor absorption* (b) dalam sistem pendingin (*chiller*) (Bhatia, 2012)

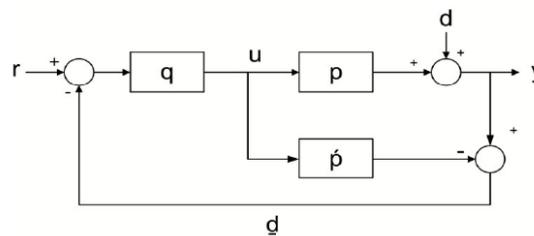
Dalam siklus VAC tersebut terdapat tangki penampung kondensat, di mana terdapat sistem pengendali level untuk mengendalikan jumlah kondensat yang ditampung. Di salah satu industri pembuatan serat sintesis, sistem kendali level kondensat di VAC (LIC 81403) beroperasi secara *non self regulating*. Proses *non self regulating* dapat terjadi karena proses kendali memiliki karakter *integrating* maupun *runway*. *Integrating process* timbul karena respon umpan balik (*feedback*) tidak bersifat menetap (Couper dkk., 2012). Proses kendali ketinggian kondensat di LIC 81403 berjalan mengikuti karakter *integrating process* di mana respon proses (ketinggian/level kondensat) terus berubah

apabila tidak dikendalikan. Proses tersebut membutuhkan teknik khusus dalam proses pengaturan parameter kendali yang digunakan.

Sistem kendali ketinggian kondensat di LIC 81403 secara sederhana disajikan dalam Gambar 2. Gambar tersebut menunjukkan bahwa laju alir kondensat yang keluar dari tangki penampung menjadi *manipulated variable* untuk menjaga agar ketinggian kondensat tetap berada dalam rentang nilai yang diinginkan. LIC 81403 adalah pengendali *proportional integral derivative* (PID Control) yang dioperasikan dengan parameter pengendali berupa *proportional band* ( $P_b$ ) 40% dan *integral time* ( $\tau_i$ ) 4 menit. Parameter tersebut menghasilkan level kondensat yang berosilasi, dengan gelombang amplitudo berulang. Metode *tuning internal model control* (IMC) untuk *integrating process* diterapkan dalam pengendali tersebut. IMC adalah salah satu metode *tuning* sistem kontrol berbasis model yang digagas oleh Garcia dan Morari pada tahun 1982. *Tuning* dengan metode IMC banyak dilakukan pada proses-proses industri yang memiliki *dead time* (Wahyudi dkk., 2017). *Tuning* ini dilakukan dengan cara menambahkan model proses ke dalam sistem pengendali, di mana model proses tersebut dapat menghasilkan respon pengendali yang *robust* (Muhammad dkk., 2010). Model proses ditambahkan ke sistem pengendali seperti terlihat pada gambar 3, di mana  $p$  adalah fungsi hantar proses, dan  $\hat{p}$  adalah model proses yang ditambahkan.



Gambar 2. Sketsa proses kendali level kondensat di LIC 81403



Gambar 3. Diagram blok sistem pengendali untuk *tuning* metode IMC (Muhammad dkk., 2010)

## Metode Penelitian

Sistem pengendali level/ketinggian kondensat LIC 81403 memiliki karakter *integrating proses* di mana respon proses (level/ketinggian kondensat) terus mengalami kenaikan, walaupun perubahan *manipulated variable* sudah tidak lagi diberikan. Variabel-variabel proses dalam sistem pengendali LIC 81403 terdiri dari (1) *process variable* berupa ketinggian/level dari kondensat di dalam tangki penampung, (2) *manipulated variable* berupa laju alir kondensat yang keluar dari tangki penampung, dan (3) *disturbance* berupa laju alir kondensat yang masuk ke dalam tangki penampung. Ketika *set point* belum tercapai, maka *control valve* akan mengurangi prosentase bukaan sehingga *manipulate variable* berupa laju alir kondensat yang keluar dari tangki penampung akan berkurang. Parameter pengendali PID akan menentukan kecepatan proses untuk mencapai *set point* yang diinginkan apabila terjadi perubahan *set point* maupun terjadi gangguan.

*Tuning* metode *integral model control* (IMC) dilakukan untuk mendapatkan parameter pengendali LIC 81403 yang memberikan respon lebih baik daripada parameter yang sedang digunakan. Kegiatan dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu (1) menentukan fungsi hantar yang menggambarkan proses kendali level/ketinggian kondensat, (2) menentukan persamaan model yang memenuhi kriteria, (3) melakukan *tuning* metode IMC, (4) melakukan aplikasi parameter pengendali, dan (5) melakukan analisis terhadap respon pengendali yang dihasilkan.

Penentuan fungsi hantar dilakukan dengan melakukan *step test* pada sistem pengendali LIC 81403 yang berada dalam kondisi manual. *Step test* dilakukan dengan beberapa perubahan. Fungsi hantar diperoleh berdasarkan kurva reaksi yang diperoleh ketika dilakukan *step test* tersebut. Secara umum, proses mengikuti karakter *integrating process* dengan *dead time* sehingga fungsi hantar proses mengikuti persamaan (1).

$$G_p = \frac{k_p}{s} e^{-t_d s} \quad (1)$$

Berikutnya berdasarkan persamaan fungsi hantar tersebut dipilih persamaan model yang sesuai untuk melakukan *tuning* metode IMC. (Seborg dkk., 2003) menyebutkan ada dua pilihan pengendali bagi proses yang memiliki karakter *integrating process*, yaitu pengendali *proportional – integral* (PI) dan pengendali *proportional – integral – derivative* (PID). Dalam penelitian ini, jenis pengendali yang dipilih untuk sistem kendali level/ketinggian kondensat LIC 81403 adalah pengendali PI. Pilihan ini menyesuaikan dengan jenis pengendali yang banyak digunakan untuk pengendali level/ketinggian di industri, seperti dipaparkan oleh (Seborg dkk., 2003). Pengendali level/ketinggian di industri kebanyakan menggunakan pengendali P dan Pengendali PI, karena biasanya *offset* tidak terlalu bermasalah untuk jenis pengendali ini (Seborg dkk., 2003).

Persamaan yang digunakan untuk melakukan *tuning* IMC bagi pengendali PI disajikan dalam persamaan (2), (3) dan persamaan (4) (Seborg dkk., 2003).

$$K_c = \frac{1}{K_p} \frac{2 \cdot \tau_c + t_d}{(\tau_c + t_d)^2} \quad (2)$$

$$\tau_i = 2 \cdot \tau_c + t_d \quad (3)$$

$$\tau_c = t_d / 3 \quad (4)$$

Parameter pengendali PI yang diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan di atas kemudian diaplikasikan dalam simulasi sistem pengendali. Sistem pengendali LIC 81403 disimulasikan mengalami perubahan *set point* (*Servo problem*) dengan persamaan fungsi hantar *overall* mengikuti persamaan (5).

$$\frac{H(s)}{HSP(s)} = \frac{G_c \cdot G_v \cdot G_p}{1 + G_c \cdot G_v \cdot G_p \cdot G_m} \quad (5)$$

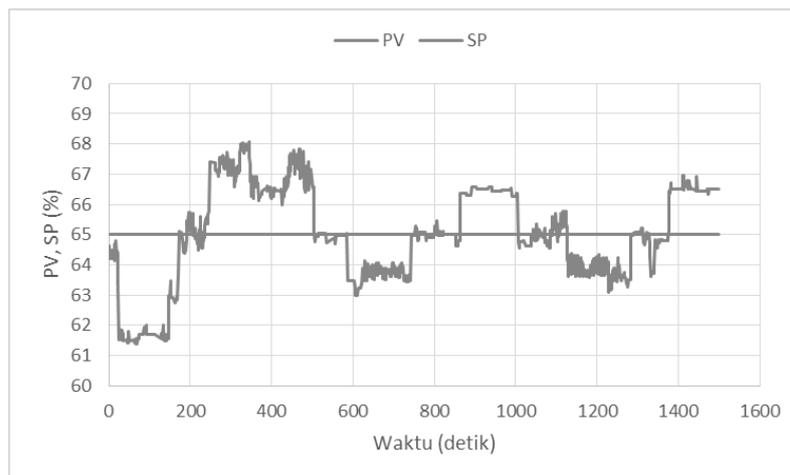
Respon pengendali hasil simulasi, dengan menggunakan parameter hasil *tuning* IMC, dianalisis kinerjanya untuk mendapatkan parameter yang memberikan respon terbaik. Analisis respon dilakukan dengan memperhatikan beberapa parameter, yaitu: *overshoot*, *period of oscillation* dan *sum squared of error* (SSE). SSE didefinisikan sebagai jumlah kuadrat dari selisih respon terhadap *set point* dan dihitung mengikuti persamaan (6).

$$SSE = \sum_{i=1}^n (H_i - H_{sp})^2 \quad (6)$$

Tahap akhir dari penelitian ini adalah aplikasi parameter kendali, yang memberikan respon pengendali hasil simulasi dengan kinerja terbaik, di sistem pengendali level/ketinggian kondensat LIC 81403.

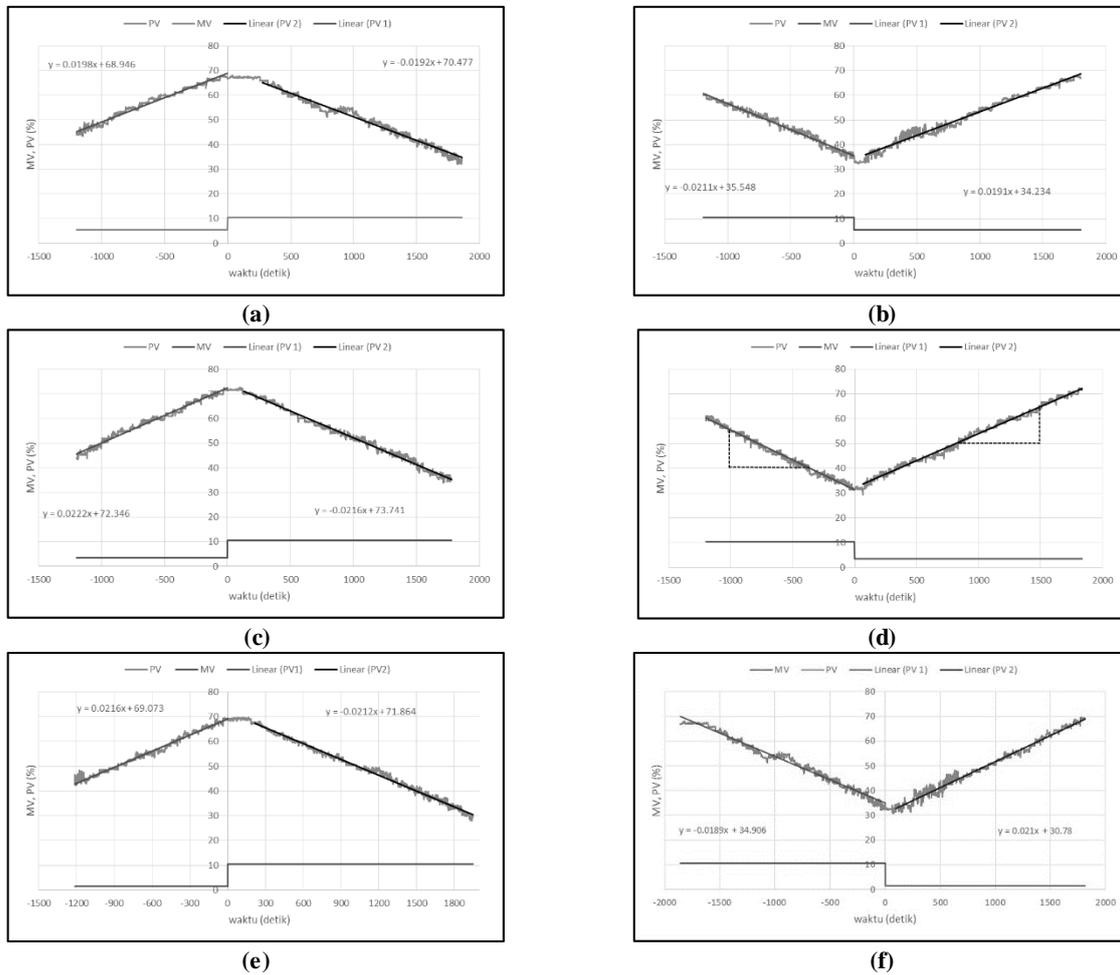
## Hasil dan Pembahasan

Sistem pengendali level/ketinggian kondensat LIC 81403 yang terdapat dalam rangkaian *vapor absorption chiller* tidak bekerja dengan optimal, bahkan cenderung menghasilkan respon yang osilatif, seperti terlihat dalam Gambar 4. Dalam gambar tersebut terlihat bahwa *set point* 65% ketinggian tidak dapat tercapai karena respon pengendali terus berubah. Parameter pengendali yang digunakan adalah 40% *proportional band* (Pb) dan *integral time* sebesar 4 menit. Dengan demikian *sum square of error* (SSE) untuk respon tersebut menunjukkan nilai yang tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan kinerja dari pengendali sehingga *setpoint* dapat tercapai dan nilai SSE cenderung menurun.



**Gambar 4.** Kurva respon pengendali LIC 81403 sebelum dilakukan *tuning*

Sebelum *tuning* metode IMC dilakukan, karakter proses pengendali harus dipahami dengan benar. Karakter proses pengendali tersebut dinyatakan sebagai fungsi hantar. Fungsi hantar proses dapat diperoleh dengan melakukan *step test* ketika pengendali berada dalam kondisi manual. *Step test* dilakukan dengan memberikan perubahan fungsi *step* dengan cara mengubah persen bukaan dari *control valve*. Persen bukaan *control valve* ini memberi dampak pada perubahan *manipulated variable* yaitu laju alir kondensat yang keluar dari tangka penampung. *Step test* dilakukan untuk beberapa perubahan persen bukaan valve, yaitu (a) dari 5,5% menjadi 10,5%; (b) dari 3,5% menjadi 10,5% (c) dari 1,5% menjadi 10,5%, dan kebalikannya. Kurva respon dari hasil *step test*, dikenal sebagai kurva reaksi, disajikan secara lengkap di Gambar 5.



**Gambar 5.** Kurva reaksi hasil *step test* untuk perubahan persen bukaan *control valve* (a) dari 5,5% → 10,5% (b) dari 10,5% → 5,5% (c) dari 3,5% → 10,5% (d) dari 10,5% → 3,5% (e) dari 1,5% ke 10,5% (f) dari 10,5% → 1,5%

Gambar 5 menunjukkan bahwa semua respon mengikuti karakter *integrating process* di mana perubahan respon terus terjadi walaupun perubahan *manipulated variable* sudah berhenti. Selain itu, gambar tersebut juga menunjukkan adanya keterlambatan respon sesaat setelah perubahan diberikan. Dengan demikian maka fungsi hantar yang menggambarkan respon proses dari sistem kendali LIC 81403 mengandung *dead time*. Dari gambar 5 juga terlihat bahwa delta *input* yang bernilai positif (persen bukaan *control valve* diperbesar) menyebabkan respon proses menurun (ketinggian kondensat di dalam tangka menjadi berkurang), demikian juga sebaliknya. Kondisi ini menghasilkan *gain process* yang bernilai negatif. Fungsi hantar yang diperoleh dari kurva reaksi di atas mengikuti persamaan (1) dan hasilnya disajikan di Tabel 1.

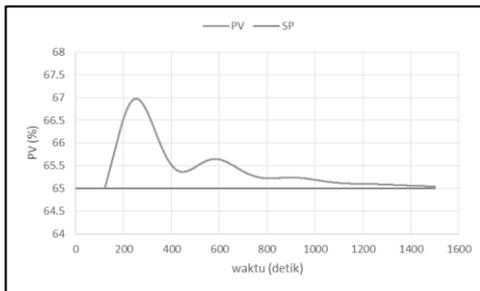
**Tabel 1.** Fungsi Hantar Proses Sistem Kendali LIC 81403

No.	Perubahan persen bukaan control valve	$\Delta$ input	$K_p$	$t_d$	Fungsi Hantar
1	10,5% $\rightarrow$ 5,5%	+5%	-0,00804	32,68	$\frac{-0,00804}{s} e^{-32,68s}$
2	5,5% $\rightarrow$ 10,5%	-5%	-0,00780	39,25	$\frac{-0,0078}{s} e^{-39,25s}$
3	10,5% $\rightarrow$ 3,5%	+7%	-0,00674	30	$\frac{-0,00674}{s} e^{-30s}$
4	3,5% $\rightarrow$ 10,5%	-7%	-0,00626	31,85	$\frac{-0,00626}{s} e^{-31,85s}$
5	10,5% $\rightarrow$ 1,5%	+9%	-0,00443	104,96	$\frac{-0,00443}{s} e^{-104,96s}$
6	1,5% $\rightarrow$ 10,5%	-9%	-0,00475	65,21	$\frac{-0,00475}{s} e^{-65,21s}$

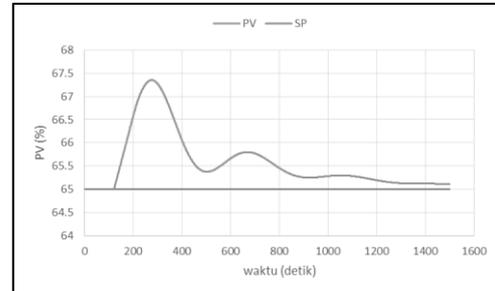
Tuning metode IMC dilakukan untuk mengatasi gangguan yang terjadi (*disturbance rejection*), bukan perubahan *setpoint*. Kondisi ini dipilih dengan pertimbangan bahwa respon sangat sensitif terhadap perubahann gangguan, seperti terlihat dalam Gambar 4. Walaupun kondisi *setpoint* dipertahankan tetap ternyata respon proses tetap beresilasi ketika ada gangguan. Hasil perhitungan parameter pengendali PI dengan metode IMC disajikan di Tabel 2. Berdasarkan parameter tersebut dilakukan simulasi sistem kendali level LIC 81403, dengan *disturbance rejection*. Hasil simulasi disajikan di Gambar 6.

**Tabel 2.** Parameter Pengendali PI Hasil Tuning dengan Metode IMC

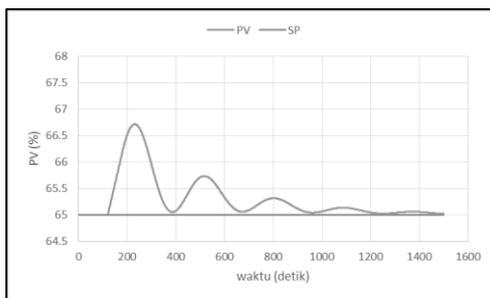
No.	Perubahan persen bukaan control valve	$\Delta$ input	$K_c$	$P_b = \frac{100}{K_c}$	$\tau_i$	Kurva
1	10,5% $\rightarrow$ 5,5%	+5%	-1,66	-60,24	3,81	(i)
2	5,5% $\rightarrow$ 10,5%	-5%	-1,43	-69,93	4,58	(ii)
3	10,5% $\rightarrow$ 3,5%	+7%	-2,16	-46,29	3,50	(iii)
4	3,5% $\rightarrow$ 10,5%	-7%	-2,2	-45,45	4,54	(iv)
5	10,5% $\rightarrow$ 1,5%	+9%	-0,94	-106,38	12,24	(v)
6	1,5% $\rightarrow$ 10,5%	-9%	-1,41	-70,92	7,61	(i)



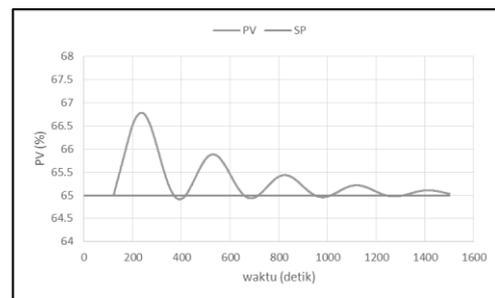
(a)



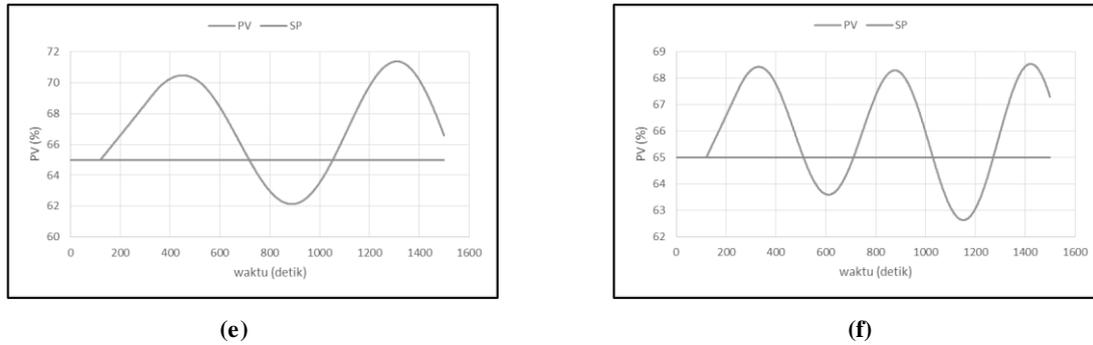
(b)



(c)



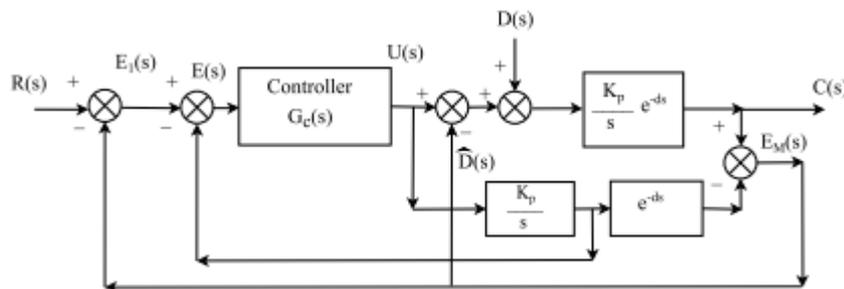
(d)



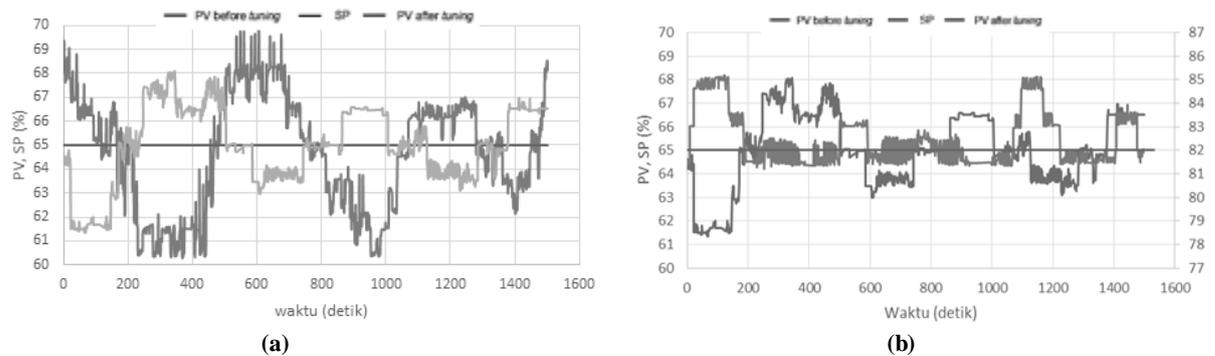
**Gambar 6.** Kurva respon hasil simulasi dengan parameter pengendali (a)  $P_b = -60,24$  dan  $\tau_i = 3,81$  menit (b)  $P_b = -69,93$  dan  $\tau_i = 4,58$  menit (c)  $P_b = -46,29$  dan  $\tau_i = 3,50$  menit (d)  $P_b = -45,45$  dan  $\tau_i = 4,54$  menit (e)  $P_b = -106,38$  dan  $\tau_i = 12,24$  menit (f)  $P_b = -70,92$  dan  $\tau_i = 7,61$  menit

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai *gain process* ( $K_p$ ) yang kecil menghasilkan nilai *integral time* ( $\tau_i$ ) yang besar. Nilai *integral time* ini mempengaruhi proses kendali di LIC 81403 sehingga respon yang dihasilkan semakin osilatif, dan akhirnya menjadi tidak stabil ketika nilai *integral time* lebih dari 5 menit. Kondisi ini sedikit berbeda dengan hasil penelitian (Kadam dan Waghmare, 2013) di mana nilai *integral time* ( $\tau_i$ ) yang besar menyebabkan proses cenderung lebih stabil pada pengendali PI. (Kadam dan Waghmare, 2013) melakukan kendali *integrating process with dead time* (IPDT) menggunakan *Smith Predictor*. Skema diagram blok untuk IPDT yang dikendalikan dengan menggunakan *Smith Predictor* untuk *disturbance rejection* disajikan di Gambar 7. Mekanisme ini dapat dicoba pada penelitian selanjutnya sehingga diharapkan akan diperoleh respon yang lebih stabil.

Respon terbaik hasil simulasi ditunjukkan oleh Gambar 6 (a) dan Gambar 6 (b). Parameter yang diperoleh adalah (a)  $K_c = -1,66$  dan  $\tau_i = 3,81$  menit; dan (b)  $K_c = -1,43$  dan  $\tau_i = 4,58$  menit. Parameter ini diaplikasikan secara langsung di LIC 81403, kurva respon yang dihasilkan disajikan di Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan bahwa kurva respon LIC 81403 masih osilatif. Akan tetapi apabila dibandingkan dengan sebelum *tuning*, respon yang dihasilkan mempunyai *period of oscillation* lebih kecil. Kinerja pengendali LIC 81403 mengalami perubahan, akan tetapi belum mencapai hasil yang optimal. Hal ini disebabkan karena gangguan yang terjadi pada sistem kendali LIC 81403 belum dicari karakteristik fungsinya dan tidak dimodelkan dalam simulasi. Dengan demikian perbedaan antara kondisi simulasi dengan kondisi *real* di lapangan sedikit berbeda. Tahap penelitian berikutnya dapat dilakukan *tracing* fungsi hantar dari gangguan yang terjadi serta melibatkan *Smith Predictor* dalam melakukan *tuning* (Kadam dan Waghmare, 2013).



**Gambar 7.** Proses kendali *integrating process with dead time* (IPDT) menggunakan *Smith predictor* untuk *disturbance rejection* (Kadam dan Waghmare, 2013).



**Gambar 8.** Kurva respon LIC 81403 dengan parameter kendali (a)  $P_b = -46,29$  dan  $\tau_i = 3,50$  menit (b)  $P_b = -45,45$  dan  $\tau_i = 4,54$  menit

### Kesimpulan

Hasil penelitian terkait karakteristik sistem kendali level/ketinggian kondensat (LIC 81403) mendapatkan beberapa kesimpulan, yaitu: (1) respon *controlled variable* (level kondensat) pada LIC 81403 saat dilakukan *step test* mengikuti karakter *integrating process with dead time* (IPDT); (2) Beberapa perubahan nilai *manipulated variable* ( $\Delta MV$ ) yang diberikan ketika *step test* menunjukkan kondisi yang sama. Jika  $\Delta MV$  bernilai negatif, maka ketinggian level kondensat dalam tangki atau  $\Delta PV$  bernilai positif, dan berlaku sebaliknya; (3) *tuning* metode IMC yang dilakukan dengan pengendali PI memberikan hasil kurva respon yang masih osilatif; (4) kondisi terbaik diperoleh ketika parameter pengendali yang digunakan adalah  $P_b = -45,45$  dan  $\tau_i = 4,54$  menit.

### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada PT. South Pacific Viscose yang telah memberikan kepercayaan kepada penulis untuk melakukan eksperimen pada sistem kendali tangki kondensat di unit *Vapor Absorption Chiller* NGBC Plant dan karya tulis ini dapat disajikan pada Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" 2020 – UPN Veteran Yogyakarta.

### Daftar Notasi

- $G_p$  = fungsi hantar proses
- $K_p$  = gain proses [%/%]
- $t_d$  = *time constant* proses [menit]
- $K_c$  = gain pengendali PI
- $P_b$  = *proportional band* pengendali PI =  $\frac{100}{K_c}$
- $\tau_i$  = *integral time* [menit]
- $\tau_c$  = *predicted closed loop time constant* [menit]
- $G_c$  = fungsi hantar pengendali
- $G_m$  = fungsi hantar alat ukur
- $G_v$  = fungsi hantar *control valve*
- SSE = *sum squared of error*

### Daftar Pustaka

- Bhatia A. Overview of vapor absorption cooling systems overview of vapor absorption cooling systems .Continuing Education and Development, Inc. 2012
- Couper J, William P, James F, Stanley W. Chemical process equipment: selection and design. Chp. 03: Process Control. 2012: 31–51. doi: 10.1016/B978-0-12-396959-0.00003-3.
- Kadam SD, Waghmare LM. Control of integrating processes with dead-time using PID controllers with disturbance observer based smith predictor. Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications 2013: 1265–1269. doi: 10.1109/CCA.2013.6662926.
- Muhammad D, Ahmad Z, Aziz N. Implementation of internal model control ( IMC) in Continuous distillation column', in proc. of the 5th international symposium on design, Operation and Control of Chemical Processes 2010: pp. 978–981.
- Seborg DE, Edgar TF, Mellichamp DA. Process Dynamics and Control. 2003



Wahyudi W, Wara BB, Setiyono B. Kinerja kontroler internal model kontrol (IMC) pada plant first orde plus dead time (FOPDT). *Transmisi* 2017; 19(2): 58–64. doi: 10.12777/transmisi.19.2.58-64.



## Lembar Tanya Jawab

**Moderator** : Putri Restu Dewati (UPN "Veteran" Yogyakarta)

**Notulen** : Indriana Lestari (UPN "Veteran" Yogyakarta)

- Penanya** : Putri Restu Dewati (UPN "Veteran" Yogyakarta)

**Pertanyaan** : Apakah sebelum metode MCI pernah digunakan metode lain untuk pengaturan sistem kendali ini?  
Apa yang melatar belakangi pemilihan metode IMC tersebut?  
Saran apakah yang bisa peneliti berikan untuk tahapan selanjutnya?

**Jawaban** : Tidak ada, karena sumber data pada penelitian ini adalah data pabrik. Data tersebut memiliki kurva respon dengan *sum square of error* (SSE) nilai yang tinggi, sehingga tim peneliti memberikan rekomendasi untuk melakukan *auto tuning* menggunakan IMC dan diperoleh kurva respon dengan osilasi sedikit rendah.  
Karena di awal proses, untuk mendapatkan data *tuning* memerlukan data *gain process* ( $K_p$ ) dan *integral time* ( $\tau$ ), sedangkan data  $K_p$  dan  $\tau$  lebih mudah diperoleh dari metode kurva reaksi, sehingga metode IMC yang paling sesuai dengan data-data yang tersedia.  
Saran yang diberikan adalah tetap menggunakan IMC, namun melakukan perubahan pada parameter pengendali atau variabel yaitu dengan memperkecil delta inputan.