

Perbandingan Performansi Antara Kontroler Kaskade dan Kontroler Loop-Tunggal Pada Sistem Sistem Pengaturan Tekanan

Katjuk Astrowulan¹⁾, Ali Fatoni²⁾, Risfendra³⁾

1,2)Jurusan Teknik Elektro FTI ITS, Surabaya 60111,email: katjuk , fatoni @ee.its.ac.id

3)Jurusan Teknik Elektro –Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

Abstrak- Makalah ini membahas perbandingan performansi dalam hal mereduksi gangguan antara kontroler kaskade dan kontroler single-loop pada sistem pressure process trainer Feedback 38-714. Struktur kontroler yang digunakan adalah kaskade PI-PI yang merupakan struktur kontroler kaskade yang populer dan umum digunakan pada sistem proses. Hasil simulasi menunjukkan performansi kontroler kaskade yang lebih baik bila dibandingkan dengan kontroler tunggal PI maupun PID, baik kemampuan mereduksi gangguan maupun kecepatan respon transienya.

Kata kunci : kontroler single-loop , kontroler kaskade, pressure process trainer

1. PENDAHULUAN

Sistem kontrol pneumatik bertekanan rendah secara luas telah diterapkan pada teknologi sistem kontrol industri. Adapun alasan pemakaian yang luas ini termasuk antara lain sifat tahan ledakan, kesederhanaan dan perawatan yang mudah [5].

Katup pneumatik banyak digunakan untuk pengaturan aliran fluida pada berbagai industri proses. Hal ini karena konstruksinya yang memungkinkan untuk melakukan aksi kontrol yang bagus. Katup pneumatik bekerja dengan mengatur tekanan sehingga dia dapat melakukan aksi buka tutup.

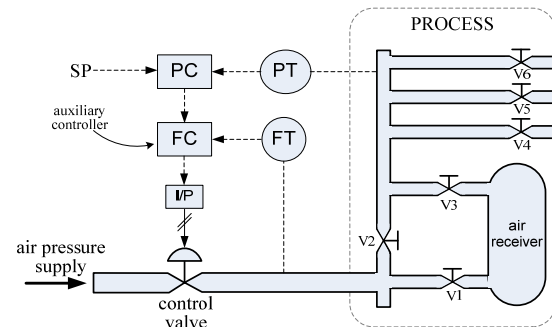
Perkembangan teknologi sistem kontrol proses di industri dewasa ini menuju penerapan teknologi elektro-pneumatik, yaitu pengendalian sinyal dan komponen pneumatik melalui sinyal listrik. Dengan demikian pengendalian dapat dilakukan secara elektrik dengan bantuan rangkaian elektronik atau komputer.

Dalam sistem pengendalian proses, masalah gangguan beban menjadi perhatian utama, oleh sebab itu diperlukan suatu disain kontroler yang memiliki performansi bagus dan mampu mereduksi pengaruh gangguan yang terjadi akibat perubahan beban. Struktur kontroler *single loop*, khususnya PID, telah menjadi standar otomasi industri karena kelebihannya yang mudah diimplementasikan dan relatif mudah pula untuk ditala, namun di sisi lain tidak mampu mengeliminasi pengaruh gangguan yang terdapat pada

sistem proses. Struktur kontrol kaskade (*Cascade control*) sangat efektif dalam mereduksi efek gangguan yang terjadi pada sistem proses [3]. Di samping itu kontrol kaskade juga memiliki kelebihan untuk meningkatkan respon sistem [7].

2. IDENTIFIKASI SISTEM DAN STRUKTUR KONTROLER

Procon 38 Series System adalah peralatan yang digunakan untuk mempelajari pengendalian proses. Diagram dari sistem ini ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Sistem pengendalian proses tekanan udara Feedback 38-714

Pada *trainer* terdapat *pneumatic control valve*, *orifice block*, dan *pressure tapings* yang terhubung pada saluran pipa udara. Setelah melewati keseluruhan proses, aliran udara dapat dibuang langsung keluar atau ditampung ke *air receiver* yang terdapat pada bagian belakang *trainer* untuk pengamatan respon proses yang lebih lambat. Pemasangan *air receiver* dapat dilakukan secara seri ataupun paralel.

Pengoperasian *process control trainer* 38-714 memerlukan beberapa peralatan pendukung lainnya yaitu *Process Interface* 38-200, *Process Controller* 38-300, *Pressure Transmitter* 38-461, *Differential Pressure Transmitter* 38-462, *Digital Display Module* 38-490 dan *Compressor Unit* 38-820.

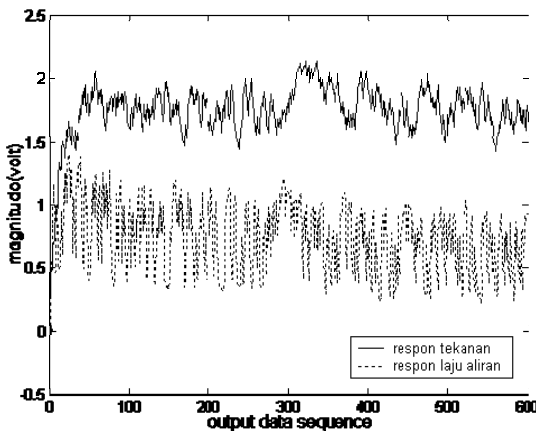
Katup pneumatik pada *trainer* dioperasikan dari *current to pressure converter* (I/P) yaitu alat pengubah sinyal listrik menjadi sinyal pneumatik. I/P Converter menerima sinyal kontrol sebesar 4-20 mA dari *process interface* 38-200 dan mengubahnya menjadi sinyal pneumatik sebesar 3-15 psi.

Berikutnya adalah sensor *direct pressure* untuk mengukur tekanan udara dan sensor *differential pressure* sebagai pengukur aliran udara (*flow*). Masing-masing sensor tersebut sudah dilengkapi dengan rangkaian pengkondisi sinyal (*signal conditioning* 38-461 and 38-462) agar sesuai dengan tegangan dan arus kerja *Process Interface* 38-200.

• **Model Matematik Sistem**

Model matematik untuk sistem ini diperoleh melalui identifikasi dan estimasi parameter. Proses identifikasi ini memerlukan sinyal uji yang memiliki spektrum frekuensi yang lebar. Oleh sebab itu digunakan sinyal *pseudo random binary sequence* (PRBS). Dengan demikian respon keluaran *pressure process trainer* dapat memberikan informasi yang cukup untuk menentukan model dari *plant* secara akurat. Pada penelitian ini dipilih sinyal PRBS 10 bit (01110111010), katup kontrol dioperasikan disekitar 50 persen dengan tegangan antara 3 sampai 2 volt.

Hasil identifikasi yang diperoleh berupa kumpulan data keluaran tegangan sensor tekanan dan sensor laju aliran seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.2.

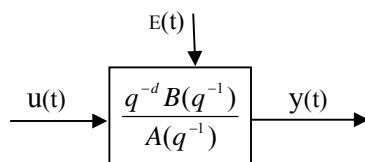


Gambar 2.2. Hasil identifikasi

Data hubungan respon keluaran dan sinyal masukan digunakan dalam estimasi untuk mendapatkan model matematik *plant*. Adapun struktur model yang digunakan adalah struktur ARX, yaitu struktur model yang digunakan untuk menunjukkan efek dari kontrol dan *disturbance* pada *output* dari *plant*. Pembangkitan proses ARX diilustrasikan sebagai berikut :

$$y(t) = -\sum_{i=1}^n a_i y(t-1) + e(t) \tag{2.1}$$

Persamaan tersebut dapat ditulis : $A(Q^{-1})y(t)=e(t)$



Gambar 2.3. Pembangkitan Proses Random ARX

Dengan $A(Q^{-1}) = 1 + \sum_{i=1}^n a_i Q^{-i}$ merupakan suatu polinomial sehingga semua akar-akarnya yang terletak dalam unit *circle* ($A(Z^{-1}) = 0 \rightarrow |Z| < 1$).

Struktur model ARX dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$A(Q)y(t) = B(Q)u(t-nk) + e(t) \tag{2.2}$$

Model ARX diperoleh menggunakan estimasi dengan metode *least square*, dengan

$$A(Q) = 1 + a_1 Q^{-1} + \dots + a_n Q^{-n},$$

dan

$$B(Q) = 1 + b_1 Q^{-1} + \dots + b_n Q^{-n}.$$

Sekumpulan model ARX dengan orde yang berbeda diestimasi untuk mendapatkan model yang benar-benar mendekati respon keluaran *plant*.

Dengan bantuan matlab diperoleh model dengan *norm error* terkecil untuk masing-masing model *outer plant* (tekanan) dan model *inner plant* (laju aliran) adalah :

- o Model *outer plant* :

$$G_1(s) = \frac{0.8}{130s + 1}$$

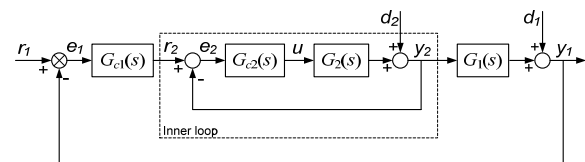
- o Model *inner plant*:

$$G_2(s) = \frac{12s + 1}{s^2 + 63s + 8.4}$$

• **Struktur Kontroler Kaskade**

Kontroler kaskade (*Cascade control*) merupakan teknik kontrol yang sering digunakan pada pengendalian proses karena memungkinkan untuk memperoleh performansi kontroler yang lebih baik bila dibandingkan dengan kontroler tunggal (*single controller*)[9]. Ada dua tujuan dari kontroler kaskade: (1) untuk mengeliminasi pengaruh gangguan (2) meningkatkan atau memperbaiki kedinamisan performansi *control loop*. [3]

Diagram blok sistem kontrol kaskade diilustrasikan pada Gambar 2.3. Kontroler yang terdapat pada *outer loop*, G_{c1} , biasanya disebut sebagai *master* atau *primary controller* (kontroler primer) dan yang terdapat pada *inner loop*, G_{c2} , disebut sebagai *auxiliary* atau *secondary controller* (kontroler sekunder). Dengan kata lain dapat diilustrasikan, bahwa karakteristik dasar dari kontrol kaskade adalah konfigurasi dari dua kontroler, di mana output kontroler yang pertama merupakan *setpoint* untuk kontroler berikutnya.



Gambar 2.3. Sistem dengan Cascade Control

Secara umum, sistem kontrol kaskade memiliki beberapa kelebihan dari sistem kontroler *single loop*, yaitu [7]

- Gangguan yang terjadi pada *inner loop* dapat dikoreksi melalui *auxiliary controller* sebelum berpengaruh terhadap variabel y_1 yang

dikendalikan. Koreksi yang dilakukan akan menjadi lebih baik apabila respon *inner loop* lebih cepat dari pada *outer loop*.

- Kecepatan respon sistem dapat ditingkatkan apabila kecepatan respon yang dihasilkan *auxiliary control loop* melebihi kecepatan respon proses G_2 .
- Karena keberadaan *auxiliary feedback control*, maka variasi parameter yang terjadi pada proses G_2 dapat dikoreksi langsung pada *inner loop* tersebut.

Dari Gambar 2.3, fungsi alih dari *inner loop*, yang dinotasikan sebagai G_i , memiliki persamaan

$$G_i = \frac{Y_2}{R_2} = \frac{G_c2 G_2}{1 + G_c2 G_2} \quad (2.3)$$

dengan demikian maka fungsi alih yang dimiliki sistem *closed-loop* tersebut menjadi

$$G_p = \frac{Y_1}{R_1} = \frac{G_2 G_c1 G_1}{1 + G_2 G_c1 G_1} = \frac{G_c1 G_c2 G_1 G_2}{1 + G_c2 G_2 + G_c1 G_c2 G_1 G_2} \quad (2.4)$$

Untuk sistem yang diberi gangguan, misalnya pada d_2 (gangguan pada *inner loop*), dan $d_1 = 0$, maka fungsi alih keluaran sistem adalah

$$\frac{Y_1}{D_2} = \frac{G_1}{1 + G_c2 G_2 + G_c1 G_c2 G_1 G_2} \quad (2.5)$$

Jika umpan balik pada *inner loop* ditiadakan maka tentulah kontroler G_c2 tidak diperlukan, maka fungsi alih keluaran sistem menjadi

$$\frac{Y_1}{D_2} = \frac{G_1}{1 + G_c1 G_1 G_2} \quad (2.6)$$

terdapat perbedaan pada penyebut pers. (2.5) dan (2.6) yang merupakan persamaan karakteristik masing-masing sistem. Hal ini berarti bahwa terdapat perbedaan respon terhadap gangguan antara sistem kontrol kaskade dengan sistem *single loop*.

3. DISAIN KONTROLER

Kombinasi PI-PI merupakan kombinasi kontroler yang sering digunakan, hal ini disebabkan karena kombinasi ini dapat menjamin kondisi respon *inner-loop* lebih cepat dari respon *outer-loop*, di samping tetap menjaga agar keluaran masing-masing *loop* berada pada *error steady state* (e_{ss}) yang benar-benar mendekati nol.

Adapun persamaan fungsi alih ideal untuk kedua kontroler tersebut adalah

$$G_c1(s) = Kp_p \left(1 + \frac{1}{Ti_p s} \right)$$

dan

$$G_c2(s) = Kp_q \left(1 + \frac{1}{Ti_q s} \right)$$

di mana Kp_p adalah *proportional gain* primer, Ti_p *integral time* primer, Kp_q *proportional gain* sekunder, dan Ti_q adalah *integral time* sekunder.

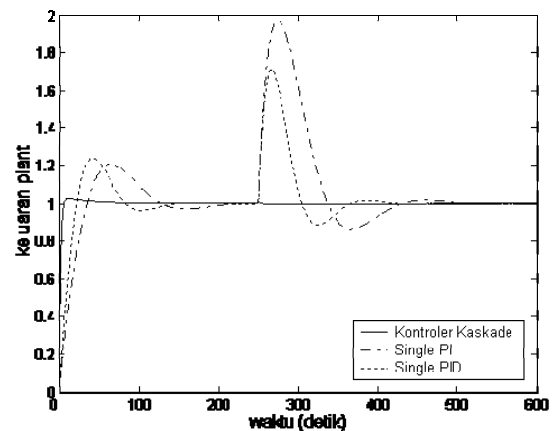
Penalaan parameter kontroler untuk sistem kaskade melalui dua tahap[4]: pertama, menala parameter kontroler sekunder (G_c2); selanjutnya, menala parameter kontroler primer (G_c1). Adapun metoda penalaan parameter kontroler yang digunakan adalah metoda *stability margin* yang diperkenalkan oleh Ziegler and Nichols[6], dan untuk memperoleh nilai penguatan batas kestabilan digunakan metoda *direct substitutions*.

Hasil penalaan parameter kontroler kaskade dan kontroler *single-loop* secara rinci dapat dilihat pada Tabel 3.1.

4. HASIL SIMULASI

Performansi hasil disain dilihat melalui simulasi, dengan model matematik respon sistem terhadap tekanan (G_1) sebagai *plant* primer dan model matematik respon sistem terhadap laju aliran (G_2) sebagai *plant* sekunder. Gangguan terhadap masukan diberikan dengan sinyal *step* sebesar 100 pada saat $t = 250$.

Hasil simulasi menunjukkan kemampuan kontroler kaskade jauh lebih baik ketika dibandingkan dengan kontroler *single PI* dan *single PID*. Di samping itu kontroler kaskade mampu mereduksi gangguan yang masuk ke *plant* mencapai 99.99%. Secara rinci hasil simulasi diperlihatkan pada Gambar 4.1 dan disajikan pada Tabel 4.1.



Gambar 4.1. Respon Sistem dengan Kontroler yang Berbeda

5. KESIMPULAN

Kontroler kaskade menunjukkan hasil yang signifikan dalam hal mereduksi gangguan yang terdapat pada masukan *plant*, yaitu 99,99% dibandingkan kontroler PID (99,3%) dan kontroler PI (99%).

Dalam hal peningkatan performansi transient, kontroler kaskade juga menunjukkan hasil yang lebih

baik bila dibandingkan dengan kontroler *single* PI dan *single* PID, yaitu :

- rise time (t_r) 3.47 kali lebih cepat daripada PID, dan 5.5 kali lebih cepat daripada PI ;
- Settlingtime (t_s) 1,4 kali lebih cepat daripada PID dan 2,1 kali lebih cepat dari PI
- Maximum overshoot (M_p) 8,57 kali lebih kecil daripada PID, 7.6 kali lebih kecil daripada PI

DAFTAR REFERENSI

- [1] Feedback instrument Ltd, (2003), *PROCON Pressure Control Trainer 38-714 Instruction Manual*, Feedback instrument Ltd., UK
- [2] Landu, Ioan Dore, (1990), *System Identification and Control Design Using P.I.M + Software*, Prentice Hall Inc.
- [3] Luyben, William L., (1997), *Essentials Process Control*, McGraw-Hill, Singapore
- [4] Marlin, Thomas E., (2000), *Process Control: Designing Process and system for dynamic performance*, 2nd edition, McGraw-Hill, Singapore.
- [5] Ogata, Katsuhito, (1997), *Modern Control Engineering*, Prentice-Hall, New Jersey.
- [6] Ogunneike, Babatunde A., (1994), *Process Dynamic Modelling and Control*, Oxford University press, New York.
- [7] Shinskey, F.G., (1979), *Process Control Systems-2nd ed*, McGraw-Hill, New York
- [8] Subiantoro, Aries, (2006), “Disain dan Implementasi Pengendali GPC Swa-tala Pada Sistem Pressure Process Rig”, *Proceedings of International Electronics Seminar*, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-ITS
- [9] Zhuang, M dan Atherton, D.P., (1994), *Optimum Cascade PID Controller Design For SISO System*, IEEE Conference Publication No.389 21-24 March

Tabel 3.1. Parameter kontroler

Kontroler	Proses	Parameter		
		K_p	T_i	T_d
Kaskade G_{c1}	$G_1(s) = \frac{0.8}{130s + 1}$	87.11	39.25	-
Kaskade G_{c2}	$G_2(s) = \frac{12s + 1}{s^2 + 63s + 8.4}$	10	0.2	-
<i>Single</i> PI	$G(s) = \frac{9.6s + 0.8}{130s^3 + 8191s^2 + 1155s + 8.4}$	40.91	17.5	-
<i>Single</i> PID	$G(s) = \frac{9.6s + 0.8}{130s^3 + 8191s^2 + 1155s + 8.4}$	54.54	10.5	0.263

Tabel 4.1. Hasil simulasi

Kontroler	Performansi				Reduksi gangguan (%)
	t_r (dt)	t_s (dt)	t_p (dt)	M_p (%)	
Kaskade PI-PI	6.3	90	12.50	2.8	99.99
<i>Single</i> PID	21.9	130	42.25	24.0	99.3
<i>Single</i> PI	34.7	190	65.00	21.5	99