

## TEKNIK KENDALI *ADAPTIVE POLE PLACEMENT* PADA PROSES *NON LINEAR MULTI VARIABLE*

Ahmad Faizal

Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Suska Riau  
email : ahmadfaizal03@gmail.com

### ABSTRAK

Kendali *adaptive pole placement* dapat mengatasi masalah non linieritas, dimana kendali *adaptive pole placement* ini dapat mengatasi kelemahan yang terdapat dipengendali *pole placement*. Matlab-Simulink versi 7.0 digunakan untuk merancang pengendali *adaptive pole placement* pada *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR). Simulink dilakukan untuk menganalisa performansi sistem. Karakteristik performansi yang dianalisa adalah persen waktu lewatan maksimum dan waktu tetapan. Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh menunjukkan bahwa pengendali *adaptive pole placement* yang dirancang pada penelitian ini mampu menghasilkan performansi yang baik setelah diberi masukan *step*. Setelah dilakukan perbandingan dengan pengendali *pole placement*, respon sistem CSTR dengan pengendali *adaptive pole placement* lebih baik dari pada *pole placement*. Persen lewatan maksimum menurun hingga 13.6% menjadi 12% dan waktu tetapan menjadi lebih cepat, yakni dari 130 detik menjadi 100 detik.

**Kata Kunci** : CSTR, pengendali *adaptive pole placement*, performansi

### ABSTRACT

*Adaptive control system can be solved like non linear. The control technique which is used in this research is adaptive pole placement controller, to be able to overcome the weakness of pole placement controller. The designed adaptive pole placement controller has been applied to CSTR by using Matlab-Simulink version 7.0. Simulink was done in order to analyze system performance. The performance characteristics to be analyzed are maximum overshoot and settling time. The simulation showed that the designed adaptive pole placement controller perform well in CSTR response to a unit-step input. Comparing the result between pole placement and adaptive pole placement controller showed that response system with adaptive pole placement controller is better than pole placement. The maximum overshoot decrease from 13.6% to 12% and settling time could be reached at 130 second instead of 100 second*

**Key word** : *Adaptive pole placement controller, CSTR, performance*

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Sistem kendali yang canggih dapat digunakan untuk mengendalikan suatu proses yang berubah-ubah, khususnya di dunia industri yang menggunakan masukan yang berubah-ubah, dimana semua sistem kendali memiliki proses dan pemodelan. Pengendali biasanya menggunakan model yang akan di kendalikan, sehingga perlu dilakukan pemodelan proses yang akan dikendalikan.

Umumnya pemodelan dapat dilakukan dengan menggunakan hukum-hukum alam, seperti fisika, kimia, atau dengan melakukan proses identifikasi sistem, atau dengan menggunakan kombinasi keduanya (Ljung, 1987). Berdasarkan hal tersebut, untuk

memaksimalkan pengendalian di suatu industri diperlukan suatu pengendali yang dapat mengendalikan suatu proses yang berubah-ubah pada suatu proses. Di industri pada saat ini banyak menggunakan pengendali untuk mengendalikan suatu proses, adapun jenis-jenis pengendali yaitu : pengendali Proporsional Integral (PI), pengendali Proporsional Integral Derivatif (PID), dan lain-lain. Pengendali PI dapat menghasilkan performansi yang baik tetapi *maximum overshoot* masih cukup besar sehingga kestabilan sistem belum terjaga dengan baik (Lestari, 2008), pengendali PID dapat menghasilkan performansi sistem menjadi lebih baik daripada pengendali PI dengan syarat penalaan parameter-parameter diatur dengan baik (Mursyitah, 2009).

Sistem *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) merupakan salah satu alat pada proses kimia industri yang memerlukan pengendalian dalam prosesnya. Pada CSTR terdapat dua laju aliran yang memiliki konsentrasi yang berbeda, yang selanjut akan disatukan menjadi satu larutan dan memiliki satu konsentrasi. Umumnya aplikasi CSTR ini dapat ditemukan pada industri-industri yang memerlukan pencampuran dua atau lebih fluida, seperti industri pembuatan minuman.

Penelitian sebelumnya (Lestari, 2009), merancang pengendali *pole placement* yang dirancang untuk proses *nonlinear multivariable* yang diterapkan pada proses CSTR. Hasil dari penelitian sebelumnya masih terdapat nilai *maximum overshoot* yang tinggi dan *settling time* yang masih lama dalam mencapai waktu menetap dari *setpoint* yang diinginkan. Berdasarkan hal tersebut, penulis tertarik untuk mengembangkan penelitian tentang simulasi pengendalian *pole placement* yang dirancang untuk proses *nonlinear multivariable* yang diterapkan pada proses CSTR dengan menambahkan kendali *adaptive* agar dapat menghasilkan performansi yang lebih baik untuk *setpoint* yang berubah-ubah. Tujuan penelitian ini adalah dapat membuat suatu simulasi pengendali *adaptive pole placement* pada proses *nonlinear multivariable* dengan menggunakan program Matlab 7.0.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian sebelumnya (Lestari, 2009), merancang pengendali *pole placement* yang dirancang untuk proses *nonlinear multivariable* yang diterapkan pada proses CSTR. Respon proses dapat di ketahui setelah melakukan simulasi dengan program Matlab-Simulink. Peneliti sebelumnya (Faizal, 2008), merancang sistem kendali adaptif model acuan SKAMA (*model reference adaptive control*) untuk kendalian (*plant*) tak linier.

Hasil dari penelitian sebelumnya masih terdapat nilai *maximum overshoot* yang tinggi dan *settling time* yang masih lama dalam mencapai waktu menetap dari *setpoint* yang diinginkan. Berdasarkan hal tersebut, penulis tertarik untuk mengembangkan penelitian tentang simulasi pengendalian *pole placement* yang dirancang untuk proses *nonlinear multivariable* yang diterapkan pada proses

CSTR dengan menambahkan kendali adaptif agar dapat menghasilkan performansi yang lebih baik untuk *setpoint* yang berubah-ubah.

## Sistem Kendali

Sistem kendali pada dasarnya memiliki makna memerintah, mengatur, dan mengarahkan baik secara aktif maupun dinamis. Sehingga perancangan sistem kendali tergantung pada elemen apa yang hendak diatur, diperintah maupun diarahkan sesuai keinginan siperancang. (Ogata, 2002).

## Jenis-Jenis Sistem Kendali Kendali Adaptif

Sistem kendali adaptif adalah sistem kendali yang dapat beradaptasi terhadap perubahan lingkungan eksternal maupun internalnya untuk dapat mempertahankan kinerja dan stabilitas sistem. Sistem kendali adaptif secara garis besar terdiri atas berbagai tipe, di antaranya kendali adaptif model acuan (*model reference adaptive control*), kendali adaptif swatata (*self-tuning adaptive control*), penjadwalan *gain* adaptif (*adaptive gain scheduling*), dan kendali adaptif fungsi dualitas (*dual-adaptive control*).

Kendali adaptif model acuan adalah sistem kendali yang memiliki pengendali dengan parameter yang dapat beradaptasi sesuai mekanisme adaptasi yang telah ditetapkan. Mekanisme ini berjalan seiring dengan adanya upaya untuk memaksakan sebuah kendalian yang berkinerja lebih buruk (atau bahkan tidak stabil) agar mengikuti perilaku sebuah model acuan yang memiliki kinerja yang lebih baik (dan tentu saja stabil)

Pada penelitian ini dilakukan perancangan pengendali untuk sistem nonlinier multivariabel dengan menggunakan pengendali adaptif dengan mengambil contoh kasus sistem CSTR dengan dua masukan dan dua keluaran. Perancangan pengendali untuk sistem nonlinier multivariabel CSTR tersebut dilakukan dengan menggunakan model dinamika SISO (*single input single output*) CSTR terlinierisasi. Penggunaan teknik adaptif bertujuan agar sistem kendali dapat beradaptasi terhadap perubahan daerah operasi kerjanya. Pendekatan kendali adaptif yang digunakan adalah sistem kendali adaptif tak langsung, dimana untuk menentukan parameter pengendali digunakan metoda peletakan akar. Sistem multi lup SISO

diperoleh dengan mengabaikan model dinamika interaksi sistem yang terjadi dengan menggunakan metoda *relative gain array*. Model-model dinamika SISO tersebut kemudian diestimasi dengan menggunakan teknik identifikasi parameter kuadrat terkecil dengan faktor pembobot.

Dalam perkembangannya, pada metoda ini telah dilakukan suatu modifikasi, yaitu dengan mengintroduksi suatu faktor pembobot, yang bertujuan agar dapat menentukan model matematik dari suatu sistem dimana parameter sistem tersebut berubah terhadap waktu.

Model sistem yang akan diestimasi parameternya dapat dinyatakan dalam persamaan diferensial orde  $n$  berikut

$$y^{(n)} + a_{n-1}y^{(n-1)} + \dots + a_0y = b_{n-1}u^{(n-1)} + b_{n-2}u^{(n-2)} + \dots + b_0u \quad (1)$$

Jika semua parameter pada (1) dikumpulkan dalam vektor parameter

$$\theta^* = [b_{n-1}, b_{n-2}, \dots, b_0, a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_0]^T,$$

dan semua sinyal masukan-keluaran beserta turunannya dalam vektor sinyal

$$Y = [u^{(n-1)}, u^{(n-2)}, \dots, u, -y^{(n-1)}, -y^{(n-2)}, \dots, -y]^T \\ = [\alpha_{n-1}^T(s)u, -\alpha_{n-1}^T(s)y]^T,$$

dengan  $\alpha_{n-1}(s) \triangleq [s^i, s^{i-1}, \dots, 1]^T$ , persamaan (1) dapat dinyatakan dalam bentuk yang lebih kompak,

$$y^{(n)} = \theta^{*T}Y \quad (2)$$

Karena pada kebanyakan aplikasi, sinyal yang tersedia untuk diukur adalah masukan  $u$  dan keluaran  $y$  dan penggunaan diferensiator tidak diinginkan, maka penggunaan sinyal  $y^{(n)}$  dan  $Y$  harus dihindari. Hal tersebut dapat dihindari dengan memfilter setiap sinyal pada (2) dengan sebuah filter stabil orde  $n$   $1/\Lambda(s)$  sehingga diperoleh

$$z = \theta^{*T}\phi \quad (3)$$

dengan

$$z \triangleq \frac{1}{\Lambda(s)} y^{(n)} = \frac{s^n}{\Lambda(s)} y, \\ \phi \triangleq \begin{bmatrix} \frac{\alpha_{n-1}^T(s)}{\Lambda(s)} u & -\frac{\alpha_{n-1}^T(s)}{\Lambda(s)} y \end{bmatrix}^T,$$

dan

$$\Lambda(s) = s^n + \lambda_{n-1}s + \dots + \lambda_0.$$

adalah polinomial Hurwitz sebarang dalam operator  $s$ . Dari (3) terlihat jelas bahwa sinyal skalar  $z$  dan sinyal vektor  $\phi$  dapat dihasilkan, tanpa menggunakan diferensiator, dengan memfilter masukan  $u$  dan keluaran  $y$  menggunakan filter stabil proper  $s^i/\Lambda(s)$ ,  $i = 0, 1, \dots, n$ .

Parameter sistem (1) kemudian dapat diestimasi menggunakan metoda kuadrat terkecil sedemikian sehingga meminimalkan fungsi harga berikut (Ioannou dkk, 1996)

$$J(\theta) = \frac{1}{2} \int_0^t e^{-\beta(t-\tau)} \frac{[z(\tau) - \theta^T(t)\phi(\tau)]^2}{m^2(\tau)} d\tau \\ + \frac{1}{2} e^{-\beta t} (\theta - \theta_0)^T Q_0 (\theta - \theta_0) \quad (4)$$

dengan  $Q_0 = Q_0^T > 0$ ,  $\beta \geq 0$ ,  $\theta_0 = \theta(0)$ .

Minimalisasi fungsi harga (4) menghasilkan hukum adaptif kuadrat terkecil dengan faktor pembobot

$$\dot{\theta} = P \epsilon \phi,$$

$$P = \begin{cases} \beta P - P \frac{\phi \phi^T}{m^2} P, & \text{jika } \|P(t)\| \leq R_0 \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (5)$$

$P(0) = P_0$ , dengan

$$m^2 = 1 + n_s^2, n_s^2 = \alpha \phi^T \phi \text{ atau } n_s^2 = \phi^T P \phi,$$

$$\beta > 0, R_0 > 0 \text{ skalar, } P_0 = P_0^T > 0,$$

$$\|P(t)\| \leq R_0.$$

$\beta$  adalah faktor pembobot yang digunakan agar metoda kuadrat terkecil dapat menjejaki parameter sistem yang berubah terhadap waktu dan  $P$  adalah matriks kovarian.

### Kendali Pole Placement

Tinjau model sistem linier SISO (1) yang ditulis kembali

$$y_p = G_p(s)u_p \quad G_p(s) = \frac{Z_p(s)}{R_p(s)} \quad (6)$$

dengan  $G_p(s)$  adalah proper dan  $R_p(s)$  adalah polinomial monik serta  $Z_p(s)$  dan  $R_p(s)$  koprima dengan derajat( $Z_p(s)$ )  $< n$ . Tujuan pengendali dengan metoda peletakan akar adalah memilih sinyal kontrol proses  $u_p$  agar pole-pole lup tertutup yang diinginkan dapat dihasilkan. Pole-pole lup tertutup tersebut dinyatakan dalam polinomial Hurwitz  $A^*(s)$  dan dipilih berdasarkan performansi lup tertutup yang diinginkan. Agar tujuan tersebut dapat

dihasilkan, sinyal kendali yang diberikan ke proses dihitung dengan menggunakan hukum kendali berikut (Ioannou dkk, 1996)

$$Q_m(s)L(s)u_p = -P(s)y_p + M(s)y_m$$

dengan  $P(s)$ ,  $L(s)$ ,  $M(s)$  adalah polinomial-polinomial (dengan  $L(s)$  monik) berderajat  $q+n$ ,  $n-1$ ,  $q+n-1$  yang harus ditentukan dan  $Q_m(s)$  memenuhi hubungan

$$Q_m(s)y_m = 0$$

dengan  $Q_m(s)$  dan  $Z(s)$  adalah koprima.

Substitusi persamaan (7) ke (6) menghasilkan persamaan lup tertutup sistem

$$y_p = \frac{Z_p M}{LQ_m R_p + PZ_p} y_m \quad (8)$$

yang mempunyai persamaan karakteristik

$$LQ_m R_p + PZ_p = 0 \quad (9) \text{ berderajat } 2$$

$n + q - 1$ . Tujuan sekarang adalah untuk memilih  $P$ ,  $L$  sedemikian sehingga

$$LQ_m R_p + PZ_p = A^*$$

Koefisien-koefisien  $P(s)$  dan  $L(s)$  dapat dihitung dengan menyelesaikan persamaan aljabar berikut

$$S_l \beta_l = \alpha_l^* \quad (11)$$

dengan  $S_l$  adalah matriks Sylvester dari  $Q_m$ ,  $R_p$ ,  $Z_p$  berdimensi  $2(n+q) \times 2(n+q)$ ,

$$\beta_l = [l_q^T, p^T]^T, \quad \alpha_l^* = [\underbrace{0, \dots, 0}_q, 1, \alpha_0^*]^T,$$

$$l_q = [\underbrace{0, \dots, 0}_q, 1, l^T]^T \in \mathfrak{R}^{n+q},$$

$$l = [l_{n-2}, l_{n-3}, \dots, l_1, l_0]^T \in \mathfrak{R}^{n-1},$$

$$p = [p_{n+q-1}, p_{n+q-2}, \dots, p_1, p_0]^T \in \mathfrak{R}^{n+q},$$

$$\alpha^* = [\alpha_{2n+q-2}^*, \alpha_{2n+q-3}^*, \dots, \alpha_1^*, \alpha_0^*]^T \in \mathfrak{R}^{2n+q-1}.$$

$l_i, p_i, \alpha_i^*$  adalah koefisien-koefisien dari

$$\begin{aligned} L(s) &= s^{n-1} + l_{n-2}s^{n-2} + \dots + l_1s + l_0 \\ &= s^{n-1} + l^T \alpha_{n-2}(s), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(s) &= p_{q+n-1}s^{q+n-1} + p_{q+n-2}s^{q+n-2} + \dots + p_1s + p_0 \\ &= p^T \alpha_{n+q-1}(s), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A^*(s) &= s^{2n+q-1} + a_{2n+q-2}^*s^{2n+q-2} + \dots + a_1^*s + a_0^* \\ &= s^{2n+q-1} + \alpha^{*T} \alpha_{2n+q-2}(s). \end{aligned}$$

Sifat koprima dari  $Q_m$ ,  $R_p$ ,  $Z_p$  menjamin

bahwa matriks  $S_l$  nonsingular. Oleh karena itu, koefisien-koefisien  $L(s)$ ,  $P(s)$  dapat dihitung menggunakan persamaan

$$(7) \quad \beta_l = S_l^{-1} \alpha_l^*.$$

Dengan menggunakan persamaan (10), persamaan lup tertutup sistem kendali menjadi

$$y_p = \frac{Z_p M}{A^*} y_m \quad (12)$$

dan dari persamaan proses (6) dan hukum kendali (7) dan (10) diperoleh

$$u_p = \frac{R_p M}{A^*} y_m \quad (13)$$

Jika  $y_m \neq 0$ , kesalahan penjejakan  $e_1 = y_p - y_m$  di-berikan oleh

$$\begin{aligned} e_1 &= \frac{Z_p M - A^*}{A^*} y_m \\ &= \frac{Z_p}{A^*} (M - P) y_m - \frac{LR_p}{A^*} Q_m y_m \quad (14) \end{aligned}$$

Agar kesalahan penjejakan (14) sama dengan nol maka dipilih harga  $M(s) = P(s)$  agar suku pertama pada (14) sama dengan nol. Suku kedua dibuat sama dengan nol dengan menggunakan  $Q_m y_m = 0$ . Oleh karena itu, untuk  $M(s) = P(s)$ , diperoleh

$$e_1 = \frac{Z_p}{A^*} [0] - \frac{LR_p}{A^*} [0].$$

Karena  $Z_p/A^*$ ,  $LR_p/A^*$  adalah *proper* dengan *pole-pole* stabil maka  $e_1$  secara eksponensial konvergen menuju nol. Oleh karena itu, tujuan peletakan *pole* dan penjejakan dapat dihasilkan dengan menggunakan hukum kendali.

$$Q_m Lu_p = -P(y_p - y_m) \quad (15)$$

### Model Dinamika Sistem CSTR

Sistem CSTR, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. memiliki dua masukan yaitu aliran  $F_1$  dengan konsentrasi konstan  $c_1$  dan aliran  $F_2$  dengan konsentrasi konstan  $c_2$ . Keluarannya adalah aliran  $F_2$ . Dengan asumsi bahwa fluida dalam tangki teraduk sempurna maka aliran keluaran memiliki konsentrasi  $c(t)$  yang sama dengan konsentasi dalam tangki.

Untuk sistem CSTR tersebut, persamaan kesetimbangan massanya adalah

$$\frac{dV(t)}{dt} = F_1(t) + F_2(t) - F(t) \quad (16)$$

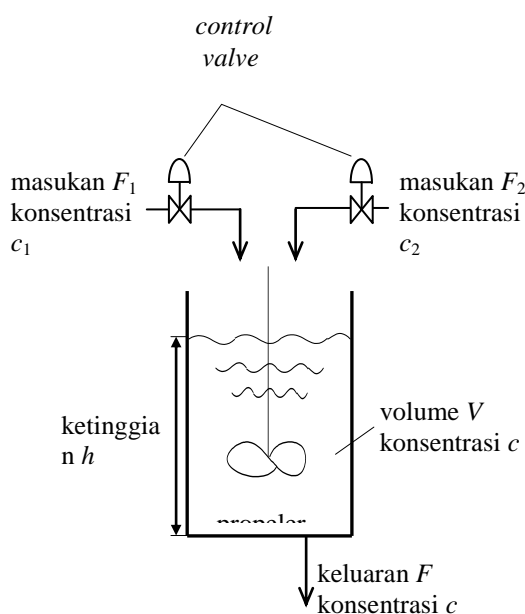
$$\frac{d}{dt}[c(t)V(t)] = c_1F_1(t) + c_2F_2(t) - c(t)F(t) \quad (17)$$

dengan  $V(t)$  adalah volume fluida dalam tangki. Kecepatan aliran keluaran  $F(t)$  tergantung dari ketinggian permukaan fluida dalam tangki  $h(t)$ , yaitu

$$F(t) = k\sqrt{h(t)} \quad (18)$$

dengan  $k$  adalah konstanta eksperimental. Jika tangki memiliki luas permukaan  $A$ , persamaan (18) dapat dituliskan sebagai

$$F(t) = k\sqrt{\frac{V(t)}{A}} \quad (19)$$



Gambar 1. Skema sistem CSTR (Lestari, 2009) Dengan menggunakan persamaan (19), persamaan kesetimbangan massa dapat dituliskan sebagai

$$\frac{dV(t)}{dt} = F_1(t) + F_2(t) - k\sqrt{\frac{V(t)}{A}} \quad (20)$$

$$\frac{d}{dt}[c(t)V(t)] = c_1F_1(t) + c_2F_2(t) - c(t)k\sqrt{\frac{V(t)}{A}} \quad (21)$$

Persamaan dinamika sistem CSTR dinyatakan oleh persamaan (20) dan (21). Dari persamaan tersebut terlihat bahwa dinamika sistem CSTR adalah nonlinier multivariabel.

### Linierisasi Model Dinamika CSTR

Pada kondisi tunak, harga kecepatan aliran, volume, dan konsentrasi dalam tangki

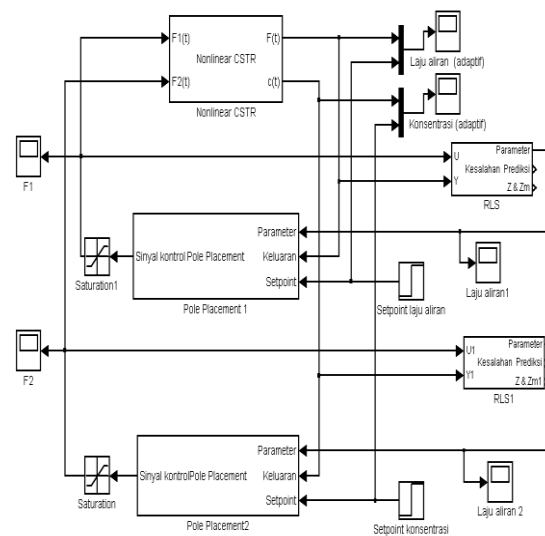
adalah konstan  $F_{10}$ ,  $F_{20}$ ,  $F_0$ ,  $V_0$ , dan  $c_0$ . Pada kondisi ini terdapat hubungan

$$0 = F_{10} + F_{20} - F_0, \quad (22)$$

$$0 = c_1F_{10} + c_2F_{20} - c_0F_0 \quad (23)$$

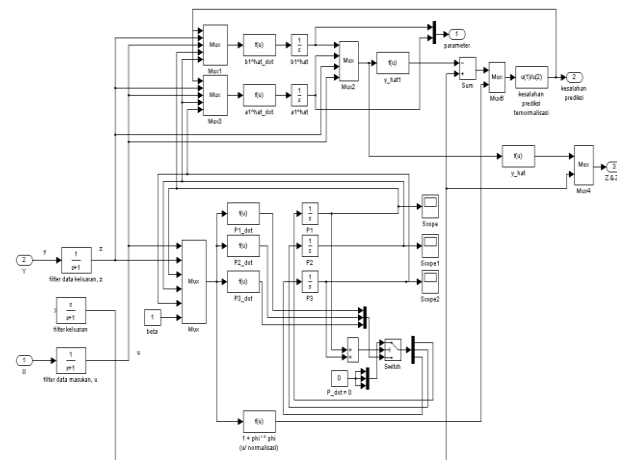
$$F_0 = k\sqrt{\frac{V_0}{S}} \quad (24)$$

### Perancangan sistem kendali adaptive pole placement pada CSTR



Gambar 2. Blok Simulink dengan 2 buah pengendali adaptive pole placement

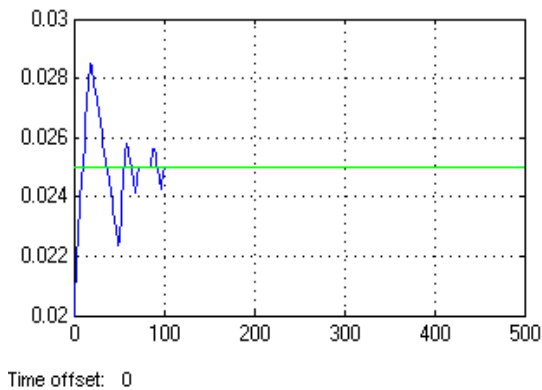
Gambar 2 . menunjukkan blok simulink yang akan digunakan untuk mengetahui respon sistem setelah diberi pengendali adaptive pole placement. Blok simulink pengendali adaptive pole placement 1 dapat terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Blok pengendali adaptive pole placement 1 (flow)

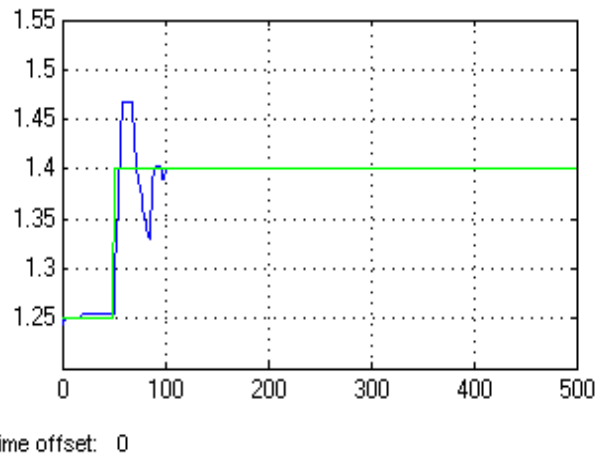
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi dengan menggunakan pengendali *pole placement* menunjukkan bahwa performansi sistem kendali dapat menjejak perubahan *setpoint* laju aliran. Akan tetapi, dari *step* kestabilan pengendali *pole placement* belum menunjukkan hasil yang memuaskan. Respon *step* sistem dengan pengendali *pole placement* dapat terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Respon keluaran F (laju aliran) setelah diberi pengendali *pole placement* dengan perubahan operasi c dan konsentrasi F konstan.

Pada gambar 5. merupakan bentuk simulasi pengendali *pole placement* pada CSTR dengan masukan *flow* mula-mula sebesar 0,02 m<sup>3</sup>/detik dan perubahan daerah operasi menjadi 0,025 m<sup>3</sup>/detik dan pada detik 50. Hasil yang diperoleh adalah titik puncak *maximum overshoot* sebesar 0,0285 m<sup>3</sup>/detik dan *settling time* pada detik ke 60. Pada gambar 4.3. merupakan bentuk blok simulink pengendali *pole placement* untuk masukan konsentrasi. Bentuk simulasi pengendali *pole placement* ditunjukkan oleh gambar 6. Hasil yang diperoleh adalah titik puncak *maximum overshoot* sebesar 1,455 koml<sup>3</sup>/detik dan *settling time* sebesar 100 detik.



Gambar 6. Respon keluaran c (konsentrasi) setelah diberi pengendali *pole placement* dengan perubahan daerah operasi c dan laju aliran F konstant

## KESIMPULAN

1. Pengendali *adaptive pole placement* yang dirancang dapat menunjukkan performansi sistem CSTR menjadi lebih baik karena nilai *maximum overshoot*nya sebesar 12%, lebih rendah dibandingkan dengan nilai *maximum overshoot* pada pengendali *pole placement*. Waktu menetap menjadi lebih cepat yakni, pada pengendali *adaptive pole placement* 100 detik sedangkan untuk pengendali *pole placement* 130 detik.
2. Untuk keluaran *flow* yang konstan dan konsentrasi yang berubah pengendali *adaptive pole placement* memiliki nilai *maximum overshoot* yang rendah dibandingkan dengan pengendali *pole placement*, namun pada saat waktu 150 detik terdapat lonjakan karena pengaruh dari perubahan nilai operasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada keluarga orang tua dan istri yang telah memberikan support sehingga jurnal ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Selanjutnya terima kasih kepada jurnal Sitekin yang telah bersedia menerbitkan jurnal ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Åström, K. J. dan B. Wittenmark, (1989). *Adaptive Control*. Addison-Wesley. Massachusetts.
- Faizal A. Samman dan Rhiza S. Sadjad (2008). *Design of Model Reference Adaptive Control For Non Linear Plant*, Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Ioannou, P. dan S. Jing. (1996). *Robust Adaptive Control*. Prentice-Hall. New Jersey.
- Kwakernaak, H. dan R. Sivan. (1972). *Linear Optimal Control System*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Ljung, L. (1987). *System Identification: Theory for the User*. Prentice-Hall. New Jersey.
- Mursyitah, Dian (2009). *Analisa Pengendali Proposional Integral derivatif pada proses mixing tank*. Skripsi UIN Suska Riau, Pekanbaru.
- Lestari, Poppy D (2009). Perancangan Pengendali *Pole Placement* pada Proses Non Linier Multivariabel. Laporan Penelitian UIN Suska Riau, Pekanbaru.
- Luyben, W, “*Process Modeling, Simulation and Control Engineering*”, 2<sup>nd</sup> Edition. Mc Graw Hill, New York.
- Ogata, K. (2002). *Modern Control Engineering*, Prentice-Hall, New Delhi.
- R, Harry, D Yohanes, “*Teknik Pemograman Menggunakan Matlab*”, Grasindo. Jakarta, 2007.
- Stephanopoulos, G. (1984). *Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice*. Prentice-Hall. New Jersey.
- Tham, M. T. (1999), *Multivariabel Control: An Introduction to Decoupling Control*. Dept. Chem. And Process Eng., University of Newcastle upon Tyne.