

STABILISASI SISTEM NONLINIER DENGAN PENGENDALI SWATALA

Nur Alif Mardiyah¹

ABSTRACT

This research studied the design of a adaptive control for nonlinier system that is reactor process which has multiple steady states, two stable steady states and one unstable steady state. The study is based on a simulation of adaptive pole placement control system using MATLAB ver 5.3. The pole placement adaptive controller can only control the reactor process at range of 330.9°K up to 350°K in the range of 390°K up to 404.9°K.

1. PENDAHULUAN

Didalam operasi suatu sistem yang paling penting adalah pengendalian sistem. Pengendalian sistem dilakukan dengan harapan kestabilan operasi kerja suatu sistem dapat terjaga sehingga kontinuitas dan keandalan sistem sesuai dengan yang diharapkan. Pengendalian sistem linier cukup dengan menggunakan analisis dan perancangan pengendalian konvensional, karena karakteristik pada satu keadaan steady state dengan satu keadaan steady state yang lain tidak banyak berubah. Sedangkan pada sistem non linier ketika ditentukan satu daerah kerja karakteristiknya belum tentu mencerminkan karakteristik keadaan steady state yang lain, sehingga pemodelan dan perancangan pengendali harus dilakukan setiap terjadi perubahan daerah kerjanya (Amotrong KJ, 1997)

Dengan kemajuan teknologi komputer digital telah dikembangkan sistem yang mampu beradaptasi terhadap perubahan-perubahan parameter sistem yang terjadi, estimator akan mengestimasi parameter-parameter sistem berdasarkan pada data masukan dan data keluaran yang didapat dari suatu sistem secara *on-line* maupun *off-line* (K.S Novendra, 1994 ; Armstrong K.J)

Pada penelitian ini , sistem non linier yang dikendalikan adalah proses reaktor yang mempunyai keadaan *multi steady state* dimana

salah satu keadaan steady state sistem mempunyai keadaan non linier yang tinggi sehingga sistem reaktor berbeda dengan sistem yang keadaan *steady state* tunggal walaupun tidak linier. Kebanyakan proses industri kimia merupakan proses non linier atau memiliki karakteristik proses yang bervariasi terhadap waktu. Berdasarkan analisis karakteristik dinamik reaktor , unjuk kerja reaktor dapat merupakan *multiple steady state* dimana salah satu keadaan *steady statenya* dapat merupakan kondisi stabil atau tidak stabil (Uppal A, 1974, Willis, MJ). Model yang telah dibuat menunjukkan bahwa proses reaktor kontinyu dengan pengaduk merupakan fungsi non linier, dimana jika dikendalikan dengan pengendali konvensional maka akan membutuhkan identifikasi model untuk menala ulang pengendali reaktor setiap terjadi perubahan pada sistem.

2. METODE PENELITIAN

Sistem Reaktor Kontinyu

Sistem nonlinier merupakan system reaktor dengan proses kerja seperti berikut ini (WU, 1986 ; Willis.MJ) aliran reaktan secara kontinyu mengalir kedalam reaktor dengan kecepatan F_i dan besarnya konsentrasi C_{Ai} dengan temperatur T_i . Dengan adanya pengaduk, reaktan tercampur sempurna dalam reaktor, sehingga konsentrasinya sebesar C_A dengan temperatur T menyebar merata dalam reaktor. Hasil produksi berupa konsentrasi C_A bertemperatur T

¹ Nur Alif Mardiyah. Fakultas Teknik. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Muhammadiyah Malang
Alamat Korespondensi : Jl. Merpati Utara 25. Rt.1 Rw. 5 Sukun Malang
Tlp. 0341-368587, Hp. 08123312287.
Email. nuralif@umm.ac.id

secara kontinyu keluar dari reaktor dengan kecepatan F , dimana besarnya F sama dengan F_i . Reaksi yang terjadi dalam reaktor bersifat eksoterm dimana ketika bereaksi mengeluarkan panas, maka untuk menjaga panas pada reaktor tetap, reaktor dilapisi jaket yang berfungsi mengalirkan cairan pendingin dengan

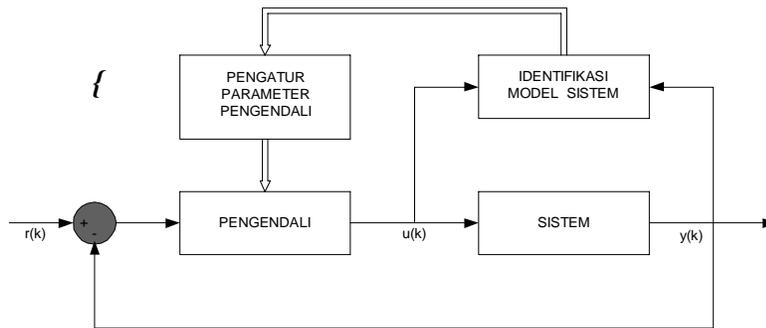
kecepatan F_j . Sehingga dengan temperatur jaket T_j yang lebih rendah dari pada temperatur dalam reaktor T , energi panas yang ditimbulkan karena proses reaksi berpindah dari reaktor ke lapisan jaket. Reaksi pada reaktor merupakan reaksi derajat satu, dan persamaan dinamik sistem seperti berikut ini (Willis, MJ)

$$V \frac{dC_A}{dt} = F(C_{Ai} - C_A) - V k_0 \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) C_A \quad (2.1)$$

$$V \rho C_p \frac{dT}{dt} = \rho C_p F (T_i - T) + \frac{(-\Delta H)}{\rho C_p} V k_0 \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) C_A - \frac{\alpha F_j^{\beta+1} (T - T_{ji})}{F_j + \frac{\alpha F_j^{\beta}}{2 \rho_j C_{pj}}} \quad (2.2)$$

Pengendalian Swatala

Susunan dasar pengendalian swatala seperti ditunjukkan pada Gambar 1. berikut ini.



Gambar 1. Susunan dasar pengendalian swatala

Identifikasi Sistem

Algoritma yang digunakan untuk mengidentifikasi sistem adalah *recursive least square*, dimana dalam mengidentifikasi sistem digunakan faktor pelupa yang akan membuang (melupakan) data-data yang tidak

signifikan lagi sehingga estimasi diharapkan mampu merespon dan peka terhadap perubahan sistem.

Pada estimasi ini fungsi alih sistem dinyatakan dalam bentuk seperti persamaan berikut ini, (Amstrong KJ, 1997; Welstead. PE, 1995, Ggregoric, 1994)

$$y(k) = \frac{z^{-k} B}{A} u(k) \quad (2.3)$$

dengan

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_{na} z^{-na} \quad (2.4)$$

$$B(z^{-1}) = b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_{nb} z^{-nb} \quad (2.5)$$

dimana $y(k)$ dan $u(k)$ adalah harga masukan dan keluaran, sedangkan $A(z^{-1})$ dan $B(z^{-1})$ merupakan polinomial berderajat n_a dan n_b . Dengan operator z waktu tunda dinyatakan sebagai z^{-k}

Dalam melakukan estimasi pasti akan terjadi kesalahan dimana besarnya perkiraan besarnya kesalahan ini dinyatakan dengan $e(k)$ yang menyatakan besarnya kesalahan (*error*) yang terjadi pada saat estimasi, sehingga persamaan (2.3) menjadi

$$y(k) = x^T(k) \theta + e(k)\theta \quad (2.6)$$

Karena sistem telah berjalan selama selang waktu tertentu, maka pada saat k terkumpul sebanyak N buah pasangan data. Berdasarkan data tersebut dapat disusun suatu vektor kolom sebagai berikut

$$L(k+1) = \frac{\mathbf{P}(k)x(k+1)}{\lambda + x^T(k+1)\mathbf{P}(k)x(k+1)} \quad (2.7)$$

dengan matriks *covariance*

$$\mathbf{P}(k+1) = \frac{\mathbf{P}(k)}{\lambda} [\mathbf{I}_m - L(k+1)x^T(k+1)] \quad (2.8)$$

dan

$$\theta(k+1) = \theta(k) + L(k+1)e(k+1) \quad (2.9)$$

Kecepatan adaptasi ini dinyatakan dengan persamaan :

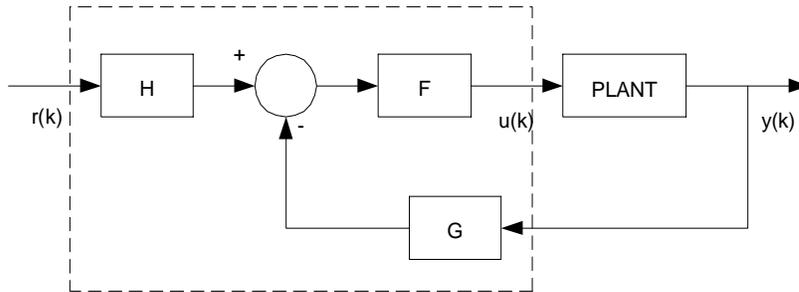
$$(2.10)$$

Dan λ adalah faktor pelupa yang harganya berkisar antara 0 hingga 1.

Pengendali Swatata Penempatan Kutub

Susunan sistem dan pengendali dalam lingkaran tertutup digambarkan seperti pada Gambar 2. berikut ini.

Pengendali



Gambar 2. Rangkaian lingkaran tertutup sistem dengan pengendali

Berdasarkan gambar diatas dapat didefinisikan persamaan berikut ini :

$$Fu(k) = Hr(k) - Gy(k) \quad (2.11)$$

Persamaan karakteristik lingkaran tertutup dari kombinasi persamaan (2.3) dan persamaan (2.9) diatas

didapat persamaan untuk lingkaran tertutup sistem seperti berikut ini

$$(2.12)$$

Persamaan (2.12) adalah persamaan Diophantine [7,8], dengan mengasumsikan $n_a = n_b = n$ dan $n_f = n_g = n-1$, maka persamaan (2.12) dapat dinyatakan dalam bentuk matrix seperti berikut ini :

$$\begin{bmatrix} a_0 & 0 & \dots & 0 & b_0 & 0 & \dots & 0 \\ a_1 & a_0 & & \vdots & b_1 & b_0 & & \vdots \\ a_2 & a_1 & \ddots & 0 & b_2 & b_1 & & \vdots \\ \vdots & a_2 & & a_0 & \vdots & b_2 & b_0 & \\ a_n & \vdots & & a_1 & b_n & \vdots & b_1 & \\ & a_n & & a_2 & & b_n & b_2 & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ 0 & 0 & \dots & a_n & 0 & 0 & \dots & b_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ \vdots \\ f_{n-1} \\ g_0 \\ g_1 \\ \vdots \\ g_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_0 \\ t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_n \\ \vdots \\ t_{2n-1} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

atau $\mathbf{A} \mathbf{x} = \mathbf{b} \quad (2.14)$

Jika matrix \mathbf{A} tidak singular maka parameter pengendalinya dapat ditentukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Besarnya konsentrasi dan temperatur didapatkan dengan menyelesaikan persamaan variabel keadaan . Dalam hal ini dilakukan perhitungan untuk tiga kondisi awal (X_{oi}) yang berbeda seperti berikut :

$X_{01} = [C_{A01}; T_{01}] = [9 ; 300]$; konsentrasi besar dan temperatur rendah

$X_{02} = [C_{A01}; T_{01}] = [1 ; 420]$; konsentrasi kecil dan temperatur tinggi

$X_{03} = [C_{A01}; T_{01}] = [5 ; 342]$; konsentrasi dan temperatur sedang

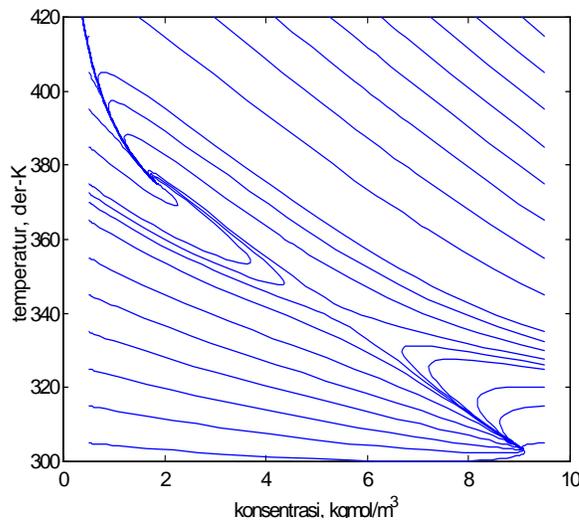
Dengan fasilitas program penyelesaian untuk persamaan nonlinier yang ada pada MATLAB didapatkan nilai konsentrasi dan temperatur (X_i) pada saat steady state untuk ketiga keadaan diatas sebesar :

$$\begin{aligned} X_1 &= [C_{A1}, T_1] = [9,06 ; 303,5] \\ X_2 &= [C_{A2}, T_2] = [1,86 ; 375] \\ X_3 &= [C_{A3}, T_3] = [5,3 ; 340,6] \end{aligned}$$

Untuk mengetahui kestabilan sistem dilakukan analisis harga eigen untuk ketiga kondisi yang diuji tersebut.

Untuk keadaan steady state pada kondisi awal pertama (X_{01}) diperoleh nilai lambda sebesar $[-0.8630; -0.07313]$, terlihat bahwa kedua nilai eigen adalah negatip, dimana menunjukkan bahwa akar-akar karakteristiknya berada pada bidang sisi sebelah kiri kedudukan akar, sehingga untuk kondisi pertama sistem reaktor tersebut adalah stabil. Untuk kondisi kedua diperoleh nilai lamda sebesar $[-1,2806 \pm 1,1104 j]$, nilai *eigen* keduanya merupakan bilangan kompleks negatip yang menunjukkan bahwa akar-akarnya berada pada sisi kiri bidang kedudukan akar, walaupun akar-akarnya tidak pada sumbu realnya. kondisinya stabil tetapi berosilasi berosilasi, Sedangkan untuk kondisi ke-tiga, nilai *eigennya* diperoleh sebesar $[-0.4716; 0.0078]$, dimana kedudukan akarnya ada yang berada pada sisi kanan karena salah satu nilai eigen adalah positif maka sistem ini tidak stabil bahwa keadaan steady state kondisi ketiga ini tidak ada.

Untuk keadaan yang telah ditentukan dapat ditunjukkan gambar phase plane seperti pada(gambar3)

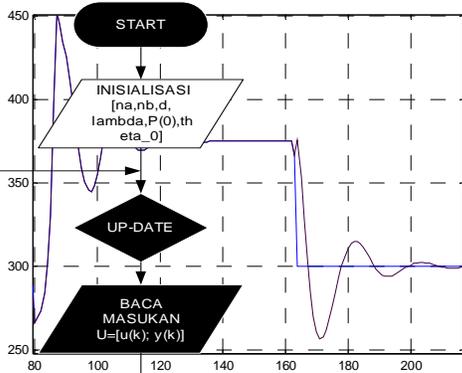


Gambar 3. Diagram *Phase-Plane* proses reaktor pada $T_j = 290$ °K

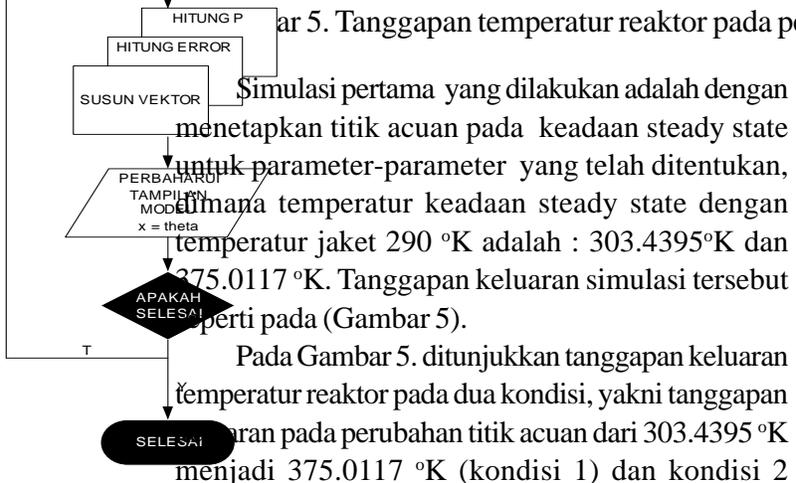
Rangkaian simulasi merupakan blok-blok yang tersusun dari suatu urutan kerja yang sesuai dengan algoritma identifikasi root square untuk pemodelan

system dan algoritma pengendali swatara penempatan kutub seperti pada blok diagram berikut ini

Gambar 4. Diagram alir identifikasi sistem



Gambar 5. Tanggapan temperatur reaktor pada perubahan set point dari 303.4395 °K menjadi 375°K



Simulasi pertama yang dilakukan adalah dengan menetapkan titik acuan pada keadaan steady state untuk parameter-parameter yang telah ditentukan, dimana temperatur keadaan steady state dengan temperatur jaket 290 °K adalah : 303.4395°K dan 375.0117 °K. Tanggapan keluaran simulasi tersebut seperti pada (Gambar 5).

Pada Gambar 5. ditunjukkan tanggapan keluaran temperatur reaktor pada dua kondisi, yakni tanggapan reaktor pada perubahan titik acuan dari 303.4395 °K menjadi 375.0117 °K (kondisi 1) dan kondisi 2

merupakan tanggapan keluaran ketika titik acuan diubah menjadi 303.4395 °K setelah mencapai keadaan steady state pada temperatur reaktor 375.0117 °K. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan steady state pada kondisi 1 sebesar 60 X 0.1 jam, dan overshoot yang terjadi 100 %. Sedangkan pada kondisi 2 overshoot dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan steady state tidak jauh berbeda dengan kondisi 1.

Gambar 6. Tanggapan Temperatur Reaktor pada 3 set point keadaan steady state sistem reaktor

Simulasi berikutnya adalah dengan menetapkan tiga keadaan steady state temperatur reaktor pada temperatur jaket 290 °K sebagai titik acuan, pada dua titik stabil seperti yang telah disimulasikan sebelumnya, dan pada temperatur reaktor 340 °K yang merupakan titik temperatur reaktor tidak stabil pada rangkaian lingkaran terbuka. Tanggapan pada ketiga titik acuan tersebut digambarkan seperti pada Gambar 6 berikut ini.

Pada gambar 3.4, ditunjukkan tanggapan keluaran temperatur reaktor pada titik acuan 340 °K (kondisi 1), 375 °K (kondisi 2), 340 °K (kondisi 3) dan 303.4395 °K (kondisi 4). Kondisi 1 merupakan tanggapan keluaran pada perubahan titik acuan temperatur reaktor dari 303.4395 °K menjadi 340 °K yang berhasil, untuk mencapai keadaan steady state dibutuhkan waktu lebih dari 80 X 0.1 jam dan overshoot yang terjadi 150 %. Pada kondisi 2 overshoot yang terjadi sebesar 72 %, dan membutuhkan waktu 50 X 0.1 jam untuk mencapai keadaan steady state. Pada kondisi 3, overshoot yang terjadi 25 % sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan steady state adalah lebih dari 8 X 0.1 jam. Perbedaan yang terjadi antara kondisi 1 dan kondisi 3 adalah overshoot pada kondisi 1 lebih besar dari pada overshoot pada kondisi 3. Pada kondisi yang terakhir, yakni kondisi 4, overshoot yang terjadi 20 % dengan waktu untuk mencapai keadaan steady state selama 35 X 0.1 jam.

4 . KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan didalam tesis ini dapat ditarik kesimpulan :

1. Sistem reaktor kontinu merupakan sistem non linier dengan derajat nonlinieritas tinggi yang memiliki karakteristik multiple steady state dengan dua keadaan stabil dan satu keadaan tidak stabil.
2. Dengan pengendali swatela belum mampu beroperasi penuh, sistem reaktor hanya mampu beroperasi pada temperatur reaktor dengan jangkauan 330.9 °K sampai dengan 350 °K dan 390 °K sampai dengan 410 °K.

Saran

Penentuan factor pelupa perlu diubah-ubah sehingga didapatkan identifikasi yang tidak jenuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Van Herdeen, C, *Autothermic Processes : Properties and Reactor Design*, Industrial and Engineering Chemistry, Vol.45, no. 6, 1953
- Uppal,A., Ray w.h. and Poore A.B., *On the Dynamic Behavior of Continuous Stirred*

Tank Reactors, Chemical Engineering Science, Vol. 24, 29, 1974.

Wu, Wen Teng, Cheng, Jing-Jy. *Global Control of a Nonisothermal CSTR Using a Moving Model*, Chemical Engineering Vol. 41, no.10, 1986.

M.Chang, R.A.Smitz, *Feedback Control of Unstable States in a Laboratory Reactor*, Chemical Engineering Science, Vol. 30, 1975.

K.S. Narendra and J. Balakrishnan, *Improving Transient Response of Adaptive Control, System using Multiple Model and Switching*, IEEE Transaction on Automatic Control, vol.39, 9, September, 1994

G. Gregorcic and G. Lightbody, *Simulink Implementation of Adaptive Control and Multiple Model Network Control*, Departement of Electrical Engineering University College Cork, Ireland

K.S Narendra and J. Balakrishnan, *Adaptation and Learning Using Multiple Models, Switching, and Tuning*, IEEE Control Systems, June, 1995

Willis, M.J. *Continuous stirred tank reactor models*, Dept.of chemical and Process Engineering, University of Newcastle

Wellstead, PE, *SelfTuning System: Control and Signal Processing*, Chichester: John Wiley & Sons, Inc. 1995

Rif'an, Muhammad, *.Simulasi Pengendalian dengan Teknik Pole Placement swatata menggunakan GUI matlab 5.0*, Skripsi, Depok: Universitas Indonesia, 1998

Amstrong KJ, Wittenmark B, *Computer Controlled Systems Theory and Design*, Prentice Hall, Inc, 1997.