

# UNJUK KERJA PROSES MULTIVARIABEL REAKTOR KONTINYU DENGAN PENGENDALI LOGIKA FUZZY

Agus Suprajitno

## ABSTRAK

*Reaktor kimia proses kontinyu dapat dibuat model matematikanya berdasarkan hukum kesetimbangan konsentrasi, kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi.*

*Pada pemodelan reaktor ini diasumsikan proses bersifat kontinyu, homogen dan endoterm, dengan dua reaktan dan satu hasil reaksi. Hasil pemodelan menunjukkan pengaruh dari konsentrasi reaktan dan temperatur jaket terhadap konsentrasi dan temperatur hasil reaksi mengikuti persamaan orde dua yang saling berinteraksi membentuk sistem yang multivariabel. Pengaruh interaksi dapat dikurangi atau dihilangkan dengan proses dekopling. Sistem ini dikendalikan oleh pengendali logika fuzzy dengan aturan mamdani.*

*Proses merupakan sistem multivariabel yang memiliki interaksi antara dua masukan dan dua keluaran. Interaksi konsentrasi reaktan terhadap temperatur produk sebesar 26 % dari masukan, interaksi temperatur jaket terhadap konsentrasi produk sebesar 2 % dari masukan yang ditunjukkan pada grafik hasil simulasi respon lingkaran terbuka tanpa dekopler.*

*Kata kunci : CSTR, RGM, dekopling*

### 1. Latar Belakang

Dalam industri proses kimia, kegiatan produksi yang terdiri dari operasi dan perawatan dimana di dalam operasi terdapat hal yang sangat penting yaitu pengendalian proses. Pengendalian proses menjamin kualitas produk tetap terjaga. Pada industri kimia banyak sekali parameter proses yang harus dikendalikan secara otomatis, misalnya kecepatan aliran masuk reaktan, temperatur reaktan, konsentrasi produk, tekanan dalam reaktor dan volume reaktor.

Reaktor kimia merupakan salah satu bagian yang penting pada industri kimia. Pada suatu reaktor akan terjadi proses reaksi kimia antara dua unsur atau lebih dan akan menghasilkan bahan hasil reaksi sesuai dengan keperluan industri. Reaktor kimia yang banyak digunakan di industri menggunakan reaktor kontinyu dengan jenis eksoterm. Dari model reaktor jenis ini menggunakan dua masukan yaitu kecepatan aliran masuk reaktan ke reaktor dan temperatur jaket, dan dua keluaran berupa konsentrasi produk dan temperatur produk. Sehingga dapat dikatakan bahwa proses yang terjadi pada reaktor tersebut merupakan proses yang multivariabel [Har98]

Sistem kendali dapat dibagi dalam dua klasifikasi yaitu sistem kendali konvensional dan modern. Sistem kendali konvensional meliputi pengendali PI dan PID. Sedangkan sistem kendali modern diantaranya meliputi pengendali jaringan saraf tiruan dan pengendali logika Fuzzy.

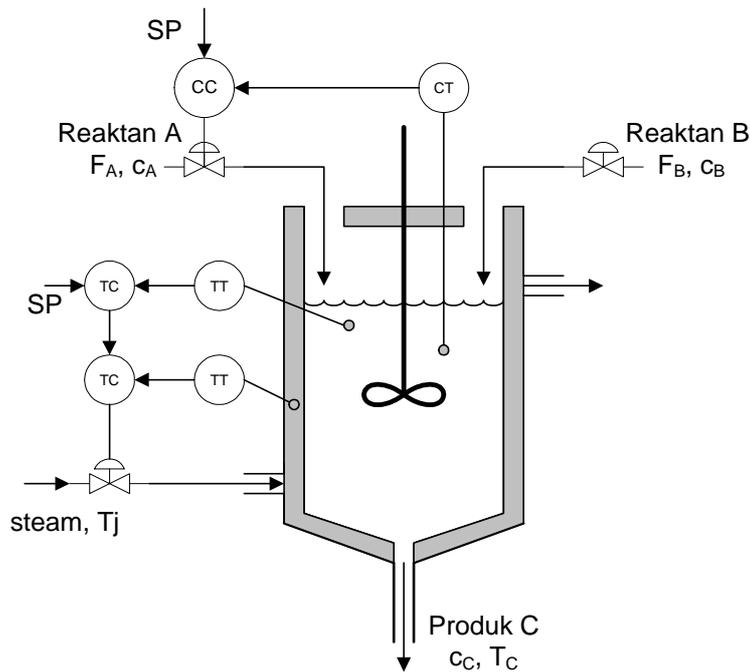
Pengembangan teori logika fuzzy yang diperkenalkan pertama kali oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 telah menarik perhatian dari pakar sistem kendali untuk memanfaatkannya dalam pengendalian sistem. Kehadiran pengendali logika fuzzy sebagai salah satu pengendali yang tidak membutuhkan model matematis tetapi cukup hanya dengan data-data, pengetahuan pakar dan praktisi pengendali memberikan terobosan baru pada sistem kendali secara umum[Sand97].

Akan tetapi tidak berarti kehadiran pengendali logika fuzzy secara mutlak menggantikan keberadaan sistem kendali konvensional. Perkembangan yang ada pada beberapa aplikasi, dipergunakan gabungan antara pengendali logika fuzzy dan pengendali konvensional yang menjadi bentuk kendali baru yang handal.

## 2. Pemodelan Reaktor

Pemodelan suatu sistem reaktor dapat dilakukan dengan dua macam cara yaitu dengan membuat skala kecil atau dengan cara menurunkan persamaan matematik untuk menjelaskan dinamika reaktor tersebut [Bern85][Bosc94]. Pada pemodelan reaktor ini akan dilakukan dengan penurunan persamaan matematik berdasarkan hukum kesetimbangan massa, kesetimbangan energi dan kesetimbangan konsentrasi.

Reaktor yang akan dibuat model matematiknya adalah jenis proses kontinyu dan homogen dan berbentuk tangki teraduk dengan sifat reaksi endoterm artinya memerlukan energi dalam bentuk panas dari luar selama proses berlangsung. Energi ini diberikan dengan jalan mengalirkan uap panas ke dalam jaket yang terdapat di bagian luar dinding reaktor.



Gambar 1. Reaktor kontinu berpengaduk

## 2.1 Fungsi alih reactor

Dalam pengendalian proses reaktor kimia dibutuhkan dua buah katup, yaitu satu untuk pengaturan konsentrasi reaktan dan satu lagi untuk pengaturan laju aliran uap panas ke dalam jaket reaktor. Dengan menganggap bahwa kedua katup memiliki karakteristik yang sama, dengan tetapan waktu sebesar 30 detik dan penguatan statik 0,16 maka fungsi alih dua katup tersebut dapat ditulis dengan persamaan berikut ini :

$$K_{v1} = K_{v2} = \frac{0,16}{30s+1} \quad (1)$$

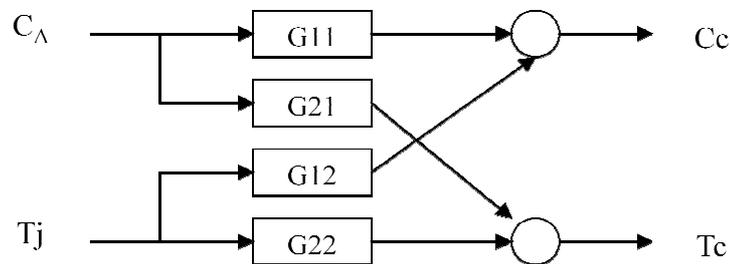
Dalam simulasi proses kontinu reaktor hanya melihat pengaruh dari konsentrasi reaktan A dan pengaruh temperatur jaket, sehingga dinamika reaktor hanya terdiri dari dua masukan dan dua keluaran. Fungsi alih reaktor dengan menambahkan fungsi alih katub sehingga didapatkan persamaan:

$$C_C(s) = \frac{g_1}{\tau_1 s + 1} \frac{g v_1}{\tau_{v1} s + 1} C_A(s) + \frac{\alpha(\bar{c}_A + \bar{c}_B)}{0,8\tau_1 s + 1} \frac{g v_2}{\tau_{v2} s + 1} Tj(s) \quad (2)$$

$$T_C(s) = \frac{g_5}{\tau_2 s + 1} \frac{g v_1}{\tau_{v1} s + 1} C_A(s) + \frac{g_4}{\tau_2 s + 1} \frac{g v_2}{\tau_{v2} s + 1} Tj(s)$$

## 2.2 Fungsi Alih Sistem Multivariabel Reaktor Kontinyu

Sistem Reaktor Kontinyu ini memiliki dua variabel masukan dan dua variabel keluaran ( *Multiple Input Multiple Output* ). Untuk variabel-variabel masukan,  $C_A$  merupakan variabel yang mempresentasikan konsentrasi reaktan yang masuk dalam tangki dan  $T_j$  merupakan variabel yang mempresentasikan temperatur yang masuk dalam jaket tangki, sedangkan untuk variabel-variabel keluaran,  $C_c$  merupakan variabel yang mempresentasikan hasil konsentrasi reaktan dalam tangki dan  $T_c$  merupakan variabel yang mempresentasikan temperatur reaktan dalam tangki. Gambar 2 merupakan diagram blok fungsi alih sistem multivariabel reaktor kontinyu berpengaduk yang disimulasikan.



Gambar 2. Diagram blok fungsi alih sistem multivariabel Reaktor Kontinyu

$$C_c(s) = G_{11}(s) C_A(s) + G_{12}(s) T_j(s) \quad (3)$$

$$T_c(s) = G_{21}(s) C_A(s) + G_{22}(s) T_j(s)$$

Dengan notasi matrik :

$$\begin{bmatrix} C_c(s) \\ T_c(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_A(s) \\ T_j(s) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} G_{11}(s) &= \frac{g_1}{\tau_1 s + 1} \frac{g v_1}{\tau_{v1} s + 1} & G_{12}(s) &= \frac{\alpha(\bar{c}_A + \bar{c}_B)}{0,8(\tau_1 s + 1)} \frac{g v_2}{\tau_{v2} s + 1} \\ G_{21}(s) &= \frac{g_5}{\tau_2 s + 1} \frac{g v_1}{\tau_{v1} s + 1} & G_{22}(s) &= \frac{g_4}{\tau_2 s + 1} \frac{g v_2}{\tau_{v2} s + 1} \end{aligned} \quad (5)$$

## Parameter reaktor kontinyu

Nilai parameter yang akan digunakan dalam simulasi reaktor kontinyu adalah sebagai berikut :

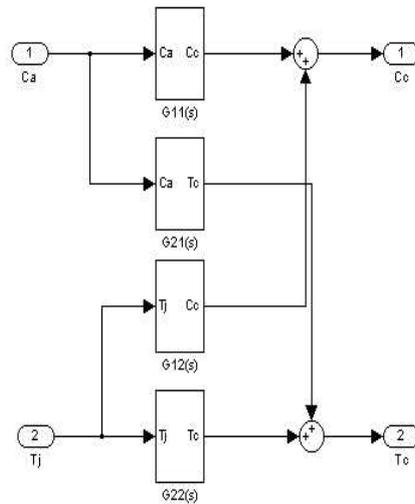
$V=1 \text{ m}^3$ ,  $A=3.5 \text{ m}^2$ ,  $F_a=F_b=0.011 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $k=0.15$ ,  $U=850 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$ ,  $c_p=418 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ,  $\alpha=0,2$  (kemiringan linear),  $g_{v1}=g_{v2}=0.16$ ,  $\tau_{v1}=\tau_{v2}=10$ ,  $\lambda=86.6 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ,  $c_a=c_b=0.25 \text{ kmole/m}^3$ ,  $\rho=0.9 \text{ kg/m}^3$ .

dimana :

- V = volume cairan tangki
- A = luas penampang tangki
- U = koefisien pemindahan panas keseluruhan
- Fa dan Fb = laju aliran cairan
- Cp = koefisien kapasitas panas pada tekanan tetap
- $g_{v1}$  dan  $g_{v2}$  = koefisien penguatan katub
- k = koefisien perubahan temperatur
- a = kemiringan pada perubahan temperatur
- $c_a$  dan  $c_b$  = konsentrasi pada keadaan mantap
- $\rho$  = berat jenis cairan
- $\tau_{v1}$  dan  $\tau_{v2}$  = konstanta waktu katub
- l = koefisien pemindah panas jaket.

Fungsi alih sistem multivariabel

$$G(s) = \begin{pmatrix} \frac{1.0909}{454.545s^2 + 55.4545s + 1} & \frac{0.016}{363.636s^2 + 44.3636s + 0.8} \\ \frac{0.2621}{1.261s^2 + 10.1261s + 1} & \frac{1.2653}{1.261s^2 + 10.1261s + 1} \end{pmatrix} \quad (6)$$



Gambar 3. Rangkaian simulink untuk proses

Menghitung interaksi pada sistem multivariabel

Dengan memakai matrik fungsi alih pada persamaan (6) maka urutan metode RGM untuk sistem multivariabel reaktor dapat ditulis sbagai berikut :

Matrik penguatan tunak (SSGM) sistem adalah :

$$K_{ij} = \begin{bmatrix} 1.0909 & 0.02 \\ 0.2621 & 1.2653 \end{bmatrix} \quad (7)$$

invers dari matrik penguatan keadaan tunak tersebut

$$K_{ij}^{-1} = \begin{bmatrix} 0.9202 & -0.0145 \\ -0.1906 & 0.7933 \end{bmatrix} \quad (8)$$

transpose dari invers matrik penguatan tunak

$$[K_{ij}^{-1}]^T = \begin{bmatrix} 0.9202 & -0.1906 \\ -0.0145 & 0.7933 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Sehingga dapat dituliskan matrik penguatan relatif (RGM) dari sistem multivariabel reaktor sebagai berikut

$$\mu_{ij} = \begin{bmatrix} 1.004 & -0.004 \\ -0.004 & 1.004 \end{bmatrix} \quad (10)$$

### 2.3. Perancangan dekopler

fungsi alih dekopler statik merupakan penguatan saja, yaitu :

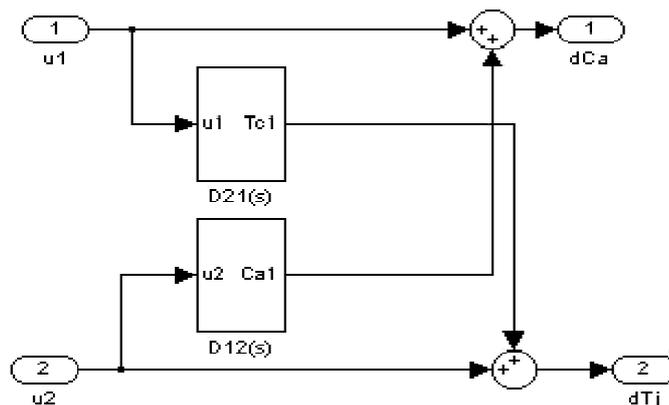
$$d_{12}(s) = 0.018$$

$$d_{21}(s) = 0.207$$

Setelah diperoleh fungsi alih dekopler, maka akan terbentuk fungsi alih baru  $G_B(s)$  bagi sistem multivariabel reaktor kontinyu yang berbentuk persamaan :

$$G_B(s) = G(s) \cdot d(s) \quad (11)$$

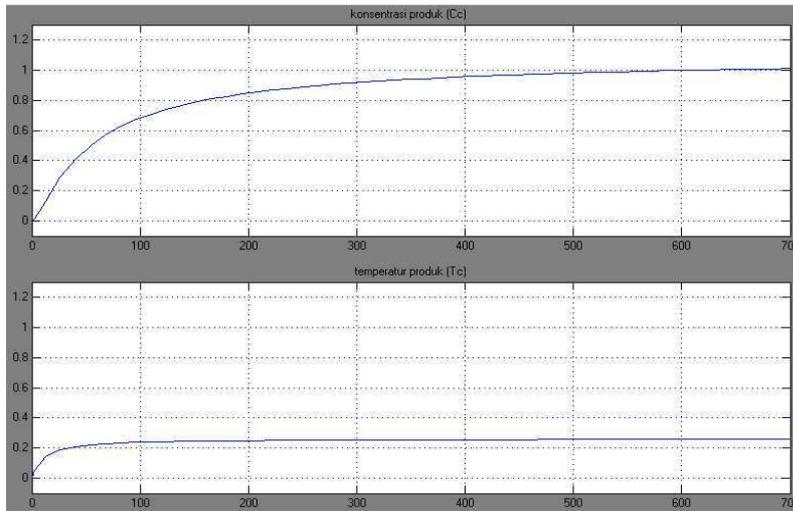
Dengan demikian, sistem yang memiliki dua masukan dan dua keluaran ini dapat disederhanakan sebagai dua buah sistem satu masukan dan satu keluaran (*Single Input Single Output*) yang mana pasangan lingkaran kendali pertamanya terdiri dari masukan  $C_a$  dan keluaran  $C_c$ , sedangkan pasangan lingkaran kendali yang kedua terdiri dari masukan  $T_j$  dan keluaran  $T_c$ .



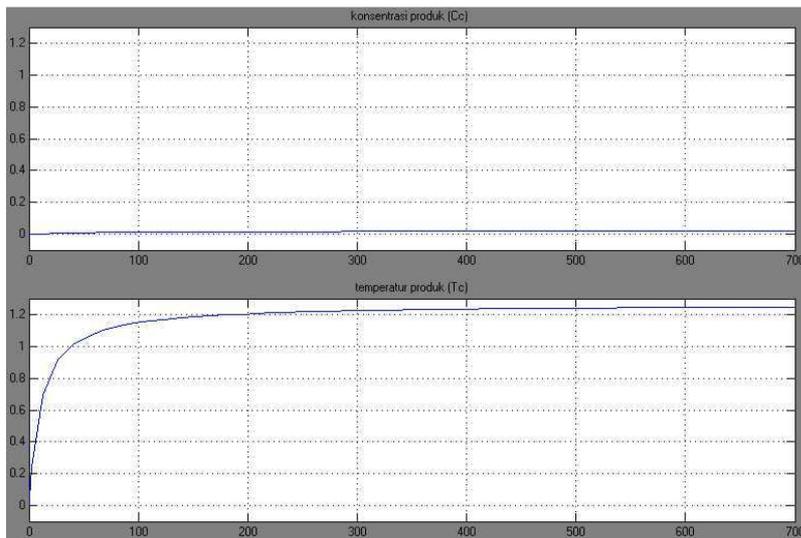
Gambar 4. Rangkaian simulink untuk dekopler

### 2.4 Simulasi dan analisa lingkaran terbuka tanpa dekopling

Uji lingkaran terbuka terhadap sistem multivariabel reaktor tanpa dekopling dilakukan dengan memberikan masukan berupa fungsi step kepada salah satu masukan kendali sistem dimana masukan yang lain tetap konstan.



(a). unit step diberikan pada masukan  $C_a$ , dimana  $T_j=0$



(b) unit step diberikan pada masukan  $T_j$ , dimana  $C_a=0$

Gambar 6. Respon keluaran  $C_c$  dan  $T_c$  pada uji lingkaran terbuka tanpa dekoupling

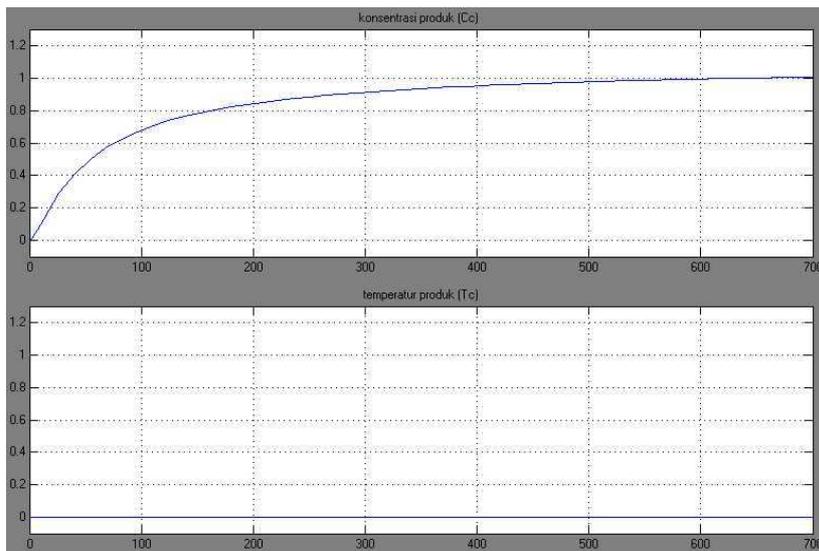
Seperti yang terlihat pada Gambar 6 (a), perubahan yang terjadi pada masukan  $C_a$  selain akan mempengaruhi keluaran konsentrasi  $C_c$  namun juga mempengaruhi keluaran temperatur  $T_c$  sebesar 26 % dari masukan. Begitu pula dalam Gambar 6(b), bahwa perubahan yang terjadi pada masukan  $T_j$  selain akan mempengaruhi keluaran temperatur  $T_c$  juga mempengaruhi keluaran konsentrasi  $C_c$  sebesar 2 % dari masukan. Hal ini sesuai dengan dasar teori yakni adanya interaksi (kopling) pada sistem multivariabel reaktor kontinyu akan mengakibatkan

perubahan yang terjadi pada salah satu masukan kendali akan mempengaruhi pula perubahan keluaran yang bukan pasangan masukan kendali tersebut.

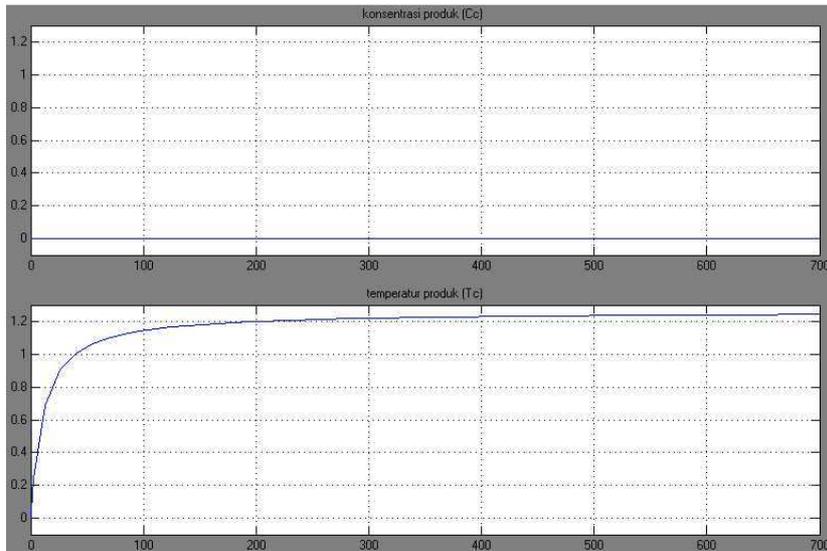
Oleh karena didalam sistem kendali multivariabel reaktor kontinyu adanya sifat interaksi yang tidak menguntungkan bagi pengendalian konsentrasi dan temperatur, maka untuk menghilangkannya dirancangkanlah suatu dekopler. Dengan demikian pengaruh suatu masukan pada keluaran-keluaran yang tidak diinginkan pada sistem pengendalian konsentrasi atau temperatur akan dapat dikurangi atau dihilangkan.

## 2.5 Simulasi dan analisa lingkaran terbuka dengan dekopling

Uji lingkaran terbuka terhadap sistem multivariabel reaktor dengan dekopling dilakukan dengan memberikan masukan berupa fungsi step kepada salah satu masukan kendali sistem dimana masukan yang lain tetap konstan.



(a). unit step diberikan pada masukan  $C_a$ , dimana  $T_j=0$



(b) unit step diberikan pada masukan  $T_j$ , dimana  $C_a=0$

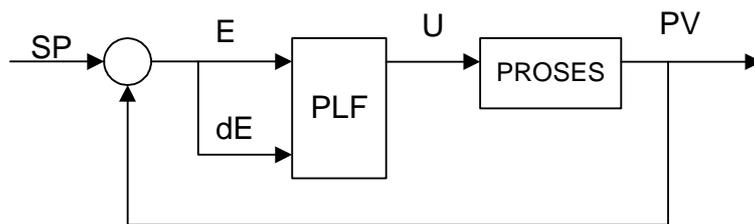
Gambar 7. Respon keluaran  $C_c$  dan  $T_c$  pada uji lingkaran terbuka dengan dekoupling

Pada Gambar 7 diperlihatkan bahwa dengan perancangan dekoupler pada sistem multivariabel reaktor kontinu akan mengakibatkan perubahan yang terjadi pada masukan  $C_a$  hanya akan mempengaruhi keluaran dari pasangannya yaitu konsentrasi  $C_c$ , sedangkan pengaruh masukan  $C_a$  kepada keluaran temperatur  $T_c$  akan menjadi kecil dalam orde  $10^{-4}$  seperti yang ditunjukkan dalam respon keluaran pada gambar 7(a).. Begitu pula yang terjadi pada masukan  $T_j$  hanya akan mempengaruhi keluaran temperatur  $T_c$ , dimana pengaruh masukan  $T_j$  terhadap keluaran konsentrasi  $C_c$  akan menjadi kecil dalam orde  $10^{-4}$  seperti yang ditunjukkan pada respon keluaran pada gambar 7(b). Menurut hasil respon pada gambar 7, dapat dikatakan bahwa interaksi dapat ditekan kurang lebih 99 %.

Berdasarkan analisa tersebut, maka dapat disimpulkan tujuan perancangan dekoupler telah terpenuhi, dan dapat diterapkan pada sistem multivariabel reaktor kontinu yang memiliki interaksi (kopling) antara masukan terhadap keluaran lain yang bukan pasangannya.

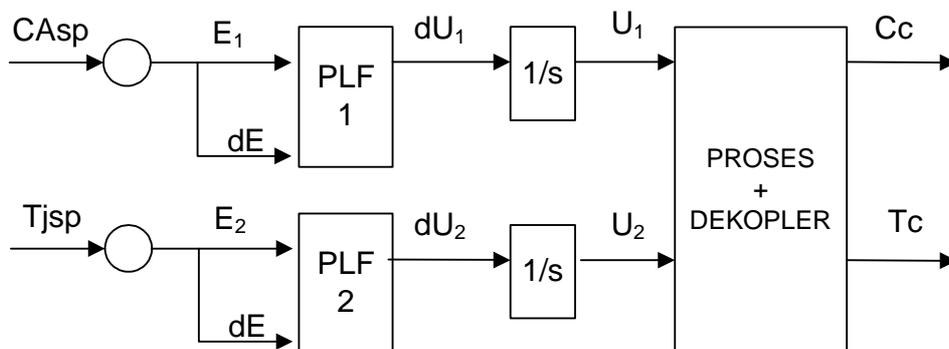
### 3. RANCANGAN PENGENDALI BERBASIS LOGIKA FUZZY

Pada dasarnya pengendali berbasis logika fuzzy (PLF) dapat langsung dipergunakan dalam sistem kendali lingkaran tertutup, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. umumnya variabel masukan pengendali ini ada dua buah yaitu galat dari proses yang dikendalikan ( $E$ ) dan perubahan galatnya ( $dE$ ).



Gambar 8. Sistem kendali logika fuzzy

Pengendali berbasis logika fuzzy (PLF) yang dirancang terdiri dari dua buah masing-masing sebuah untuk tiap pasangannya. Sistem kendali logika fuzzy yang dirancang mempunyai struktur sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Sistem Kendali logika fuzzy pada reaktor kontinu

Variabel masukan dari pengendali yang dirancang meliputi galat ( $E_1$ ) sebagai perbandingan antara konsentrasi produk ( $C_c$ ) dengan konsentrasi acuan ( $C_{asp}$ ), galat ( $E_2$ )

sebagai perbandingan antara temperatur produk ( $T_c$ ) dengan temperatur acuan ( $T_{jsp}$ ), dan perubahan galat ( $dE$ ).

### 3.1 PLF dengan 3 fungsi keanggotaan masukan

Penentuan aturan fuzzy dibuat berdasarkan basis aturan dan basis data yang didapat dari penalaran fisis dari model reaktor kontinyu yang dibuat. Kumpulan aturan-aturan fuzzy ini dapat ditabelkan dalam bentuk Fuzzy Associative Memories (FAM) yang mewakili inferensi fuzzy berdasarkan variabel masukan fuzzy dan variabel keluaran fuzzy. FAM ini berbentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. FAM untuk pengendali konsentrasi dan temperatur

	<b>N</b>	<b>Z</b>	<b>P</b>
<b>N</b>	<b>NM</b>	<b>NS</b>	<b>ZE</b>
<b>Z</b>	<b>NS</b>	<b>ZE</b>	<b>PS</b>
<b>P</b>	<b>ZE</b>	<b>PS</b>	<b>PM</b>

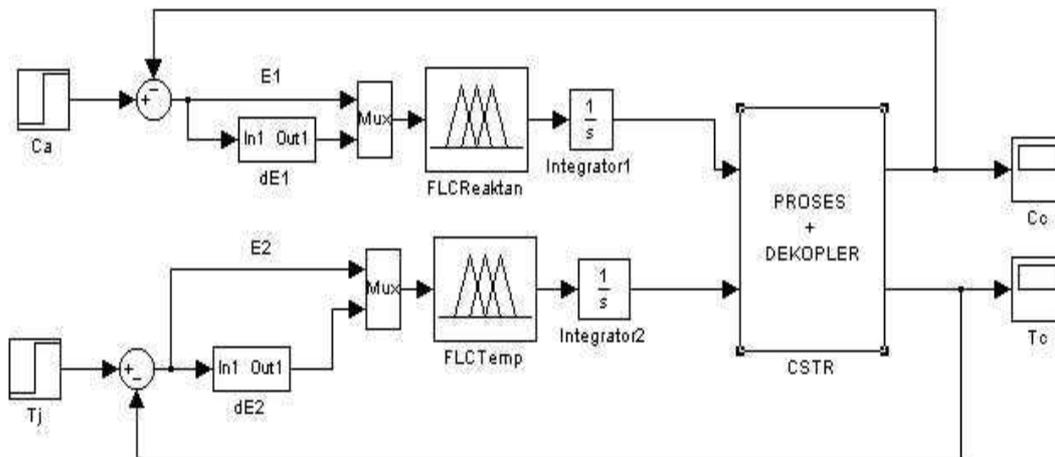
Jadi untuk keseluruhan isi FAM tersebut, setelah dilakukan beberapa pengujian pada model reaktor kontinyu, diperoleh 9 aturan fuzzy yang berpengaruh pada tanggapan sistem yang dikendalikan. Pada Tabel 2. dituliskan kesembilan aturan ini sebagai pengambil keputusan pengendalian yang dirancang.

Tabel 2. Aturan fuzzy yang dirancang

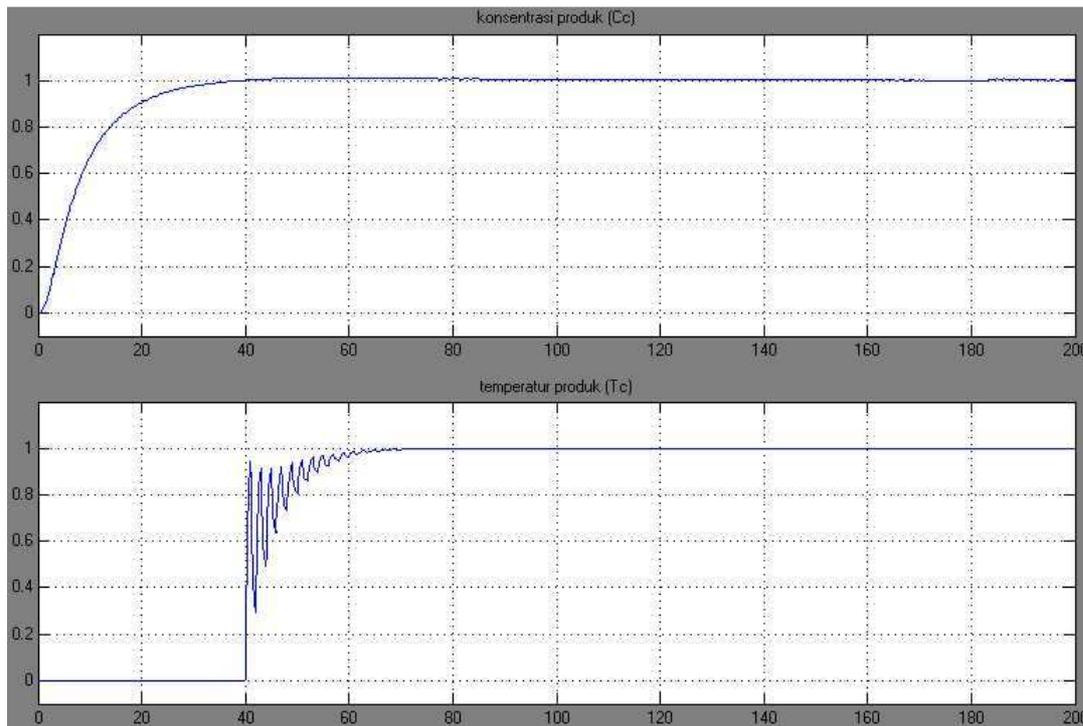
1	If E is N and dE is N then $\Delta U$ is NM
2	If E is N and dE is Z then $\Delta U$ is NS
3	If E is N and dE is P then $\Delta U$ is ZE

4	If E is Z and dE is N then $\Delta U$ is NS
5	If E is Z and dE is Z then $\Delta U$ is ZE
6	If E is Z and dE is P then $\Delta U$ is PS
7	If E is P and dE is N then $\Delta U$ is ZE
8	If E is P and dE is Z then $\Delta U$ is PS
9	If E is P and dE is P then $\Delta U$ is PM

Dengan menggunakan aturan fuzzy pada tabel 2, maka dilakukan simulasi lingkaran tertutup pada diagram simulink sistem pengendali fuzzy seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Diagram simulink sistem dengan pengendali fuzzy



Gambar 11. Respon sistem pengendali fuzzy dengan 3 fungsi keanggotaan masukan

Gambar 11 menunjukkan bahwa kendali fuzzy dengan 3 (tiga) himpunan fungsi keanggotaan variabel galat ( $E$ ) maupun perubahan galat ( $dE$ ) dari konsentrasi reaktan maupun temperatur, mengalami osilasi pada temperatur produk setelah 40 detik dari awal proses dan kondisi ini tidak diharapkan dalam kendali fuzzy. Dengan kondisi tersebut maka perlu perbaikan pada himpunan fungsi keanggotaan variabel galat ( $E$ ) dan perubahan galat ( $dE$ ) maupun aturannya.

### 3.2. PLF dengan 5 fungsi keanggotaan masukan

Aturan fuzzy dibuat berdasarkan basis aturan dan basis data yang didapat dari penalaran fisis dari model reaktor kontinyu yang dibuat. Kumpulan aturan-aturan fuzzy ini dapat ditabelkan dalam bentuk Fuzzy Associative Memories (FAM) yang mewakili inferensi fuzzy berdasarkan variabel masukan fuzzy dan variabel keluaran fuzzy. FAM ini berbentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. FAM untuk pengendali konsentrasi dan temperatur

	<b>NM</b>	<b>NS</b>	<b>Z</b>	<b>PS</b>	<b>PM</b>
<b>NM</b>	<b>NM</b>	<b>NM</b>	<b>NM</b>	<b>NS</b>	<b>ZE</b>
<b>NS</b>	<b>NM</b>	<b>NM</b>	<b>NS</b>	<b>ZE</b>	<b>PS</b>
<b>Z</b>	<b>NM</b>	<b>NS</b>	<b>ZE</b>	<b>PS</b>	<b>PM</b>
<b>PS</b>	<b>NS</b>	<b>ZE</b>	<b>PS</b>	<b>PM</b>	<b>PM</b>
<b>PM</b>	<b>ZE</b>	<b>PS</b>	<b>PM</b>	<b>PM</b>	<b>PM</b>

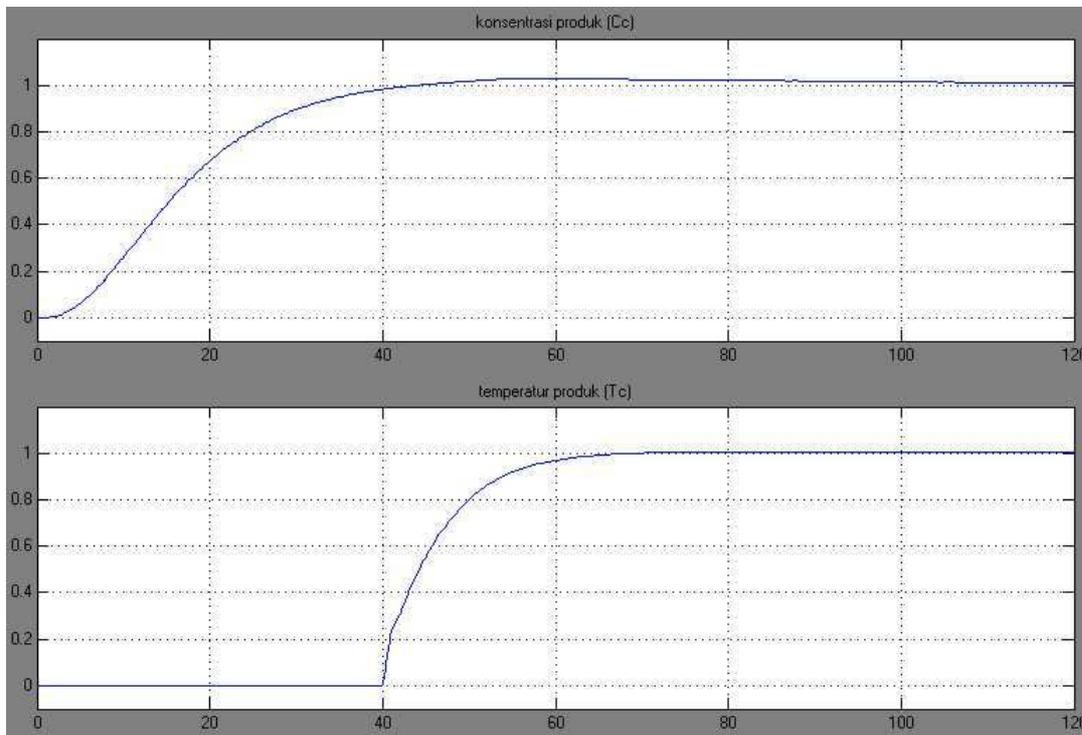
Jadi untuk keseluruhan isi FAM tersebut, setelah dilakukan beberapa pengujian pada model reaktor kontinyu, diperoleh 25 aturan fuzzy yang berpengaruh pada tanggapan sistem yang dikendalikan. Pada Tabel 4 dituliskan duapuluh lima aturan ini sebagai pengambil keputusan pengendalian yang dirancang.

Tabel 4. Aturan fuzzy yang dirancang

1	If E is NM and dE is NM then $\Delta U$ is NM
2	If E is NM and dE is NS then $\Delta U$ is NM
3	If E is NM and dE is Z then $\Delta U$ is NM
4	If E is NM and dE is PS then $\Delta U$ is NS
5	If E is NM and dE is PM then $\Delta U$ is ZE
6	If E is NS and dE is NM then $\Delta U$ is NM
7	If E is NS and dE is NS then $\Delta U$ is NM

8	If E is NS and dE is Z then $\Delta U$ is NS
9	If E is NS and dE is PS then $\Delta U$ is ZE
10	If E is NS and dE is PM then $\Delta U$ is PS
11	If E is Z and dE is NM then $\Delta U$ is NM
12	If E is Z and dE is NS then $\Delta U$ is NS
13	If E is Z and dE is Z then $\Delta U$ is ZE
14	If E is Z and dE is PS then $\Delta U$ is PS
15	If E is Z and dE is PM then $\Delta U$ is PM
16	If E is PS and dE is NM then $\Delta U$ is NS
17	If E is PS and dE is NS then $\Delta U$ is ZE
18	If E is PS and dE is Z then $\Delta U$ is PS
19	If E is PS and dE is PS then $\Delta U$ is PM
20	If E is PS and dE is PM then $\Delta U$ is PM
21	If E is PM and dE is NM then $\Delta U$ is ZE
22	If E is PM and dE is NS then $\Delta U$ is PS
23	If E is PM and dE is Z then $\Delta U$ is PM
24	If E is PM and dE is PS then $\Delta U$ is PM
25	If E is PM and dE is PM then $\Delta U$ is PM

Dengan menggunakan aturan fuzzy pada tabel 4, maka dilakukan simulasi lingkaran tertutup pada diagram simulink sistem pengendali fuzzy seperti pada gambar 12.



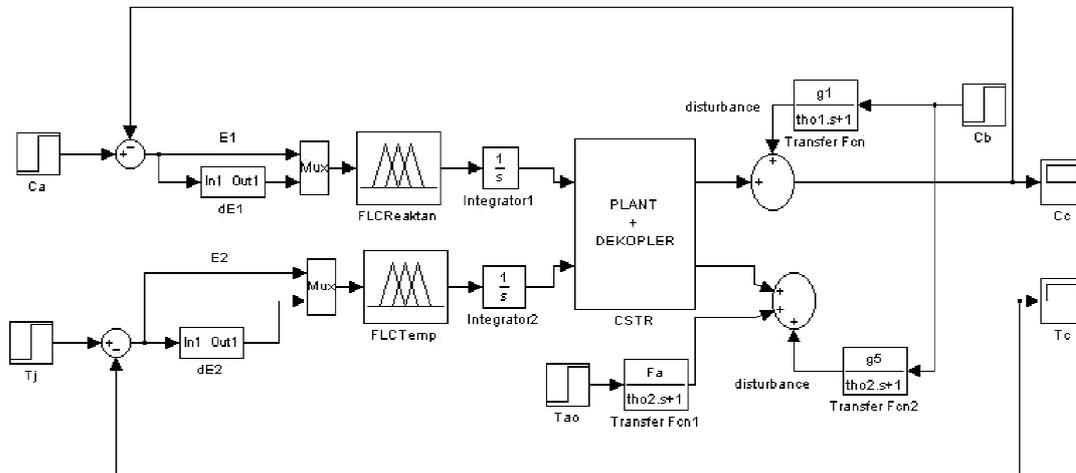
Gambar 12. Respon sistem pengendali Fuzzy

Gambar 12 menunjukkan bahwa respon konsentrasi produk menuju *settingtime* sekitar 40 detik dan respon temperatur produk menuju *settlingtime* sekitar 20 detik.

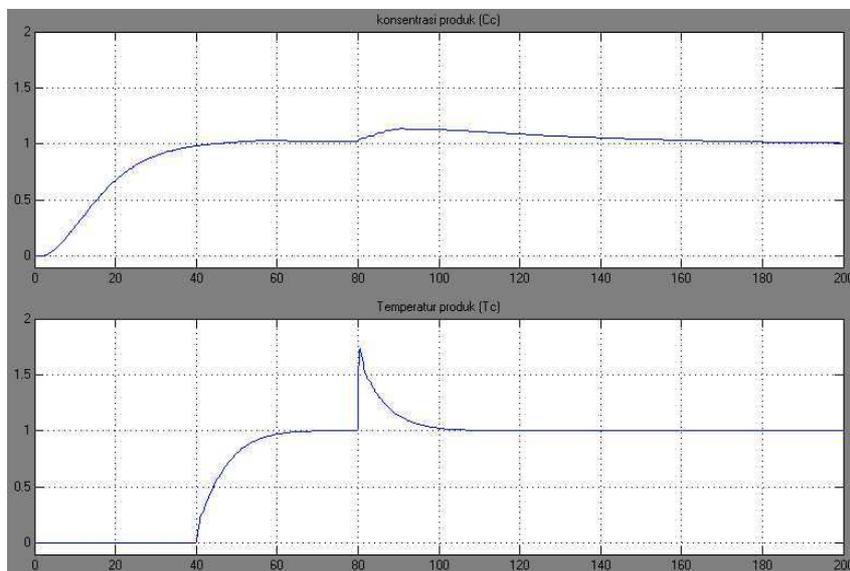
### 3.3 Respon sistem terhadap gangguan

Simulasi yang telah dilakukan merupakan simulasi sistem yang ideal karena proses dianggap linear disekitar titik kerja dan telah diasumsikan bahwa enam parameter yaitu temperatur reaktan A dan reaktan B, konsentrasi reaktan A dan reaktan B, kecepatan aliran masuk reaktan A dan reaktan B, dan kecepatan reaksi pada keadaan tetap. Enam parameter yang diasumsikan tetap dapat berubah dan akan mempengaruhi konsentrasi produk dan temperatur

produk. Untuk melakukan simulasi tanpa asumsi dari enam parameter tersebut harus mengikuti fungsi alih dengan diagram simulasi pada Gambar 13

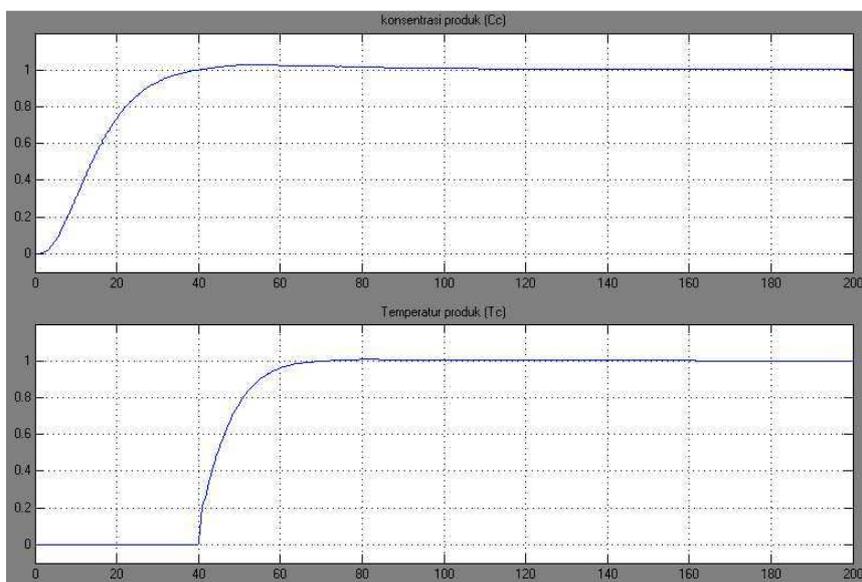


Gambar 13. Diagram simulink pengaruh gangguan dari  $C_B$  dan  $T_{A0}$  pada sistem dengan pengendali fuzzy



Gambar 14. Respon PLF dengan gangguan pada konsentrasi reaktan B ( $C_B$ )

Gambar 14 merupakan hasil simulasi sistem PLF dengan gangguan pada konsentrasi reaktan B ( $C_b$ ) terhadap konsentrasi produk  $C_c$  dan temperatur produk  $T_c$ . Masukan gangguan berupa fungsi step yang besarnya 50% dari masukan dan waktu masukan awal bervariasi, yaitu 40 detik untuk  $T_j$  dan 80 detik untuk  $C_b$ . Pada gambar 14 menunjukkan konsentrasi produk mengalami kenaikan sebesar 10,5 % dari masukan dan kembali ke harga awal setelah 40 detik, temperatur produk juga mengalami kenaikan sebesar 74 % dari masukan lalu kembali ke harga awal setelah 20 detik.



Gambar 15. Respon PLF terhadap gangguan pada temperatur reaktan A ( $T_{AO}$ )

Gambar 15. merupakan simulasi sistem PLF dengan gangguan pada temperatur reaktan A ( $T_{AO}$ ). Gangguan dari temperatur reaktan hanya mengganggu temperatur produk  $T_c$ . Pada fungsi alih reaktor, bahwa temperatur produk  $T_c$  dapat disimulasikan mengalami gangguan dari temperatur reaktan A dan temperatur reaktan B. Gangguan berupa fungsi step yang besarnya 50% dari masukan dan variasi waktu masukan yaitu 40 detik untuk  $T_j$  dan 80 detik untuk  $T_{AO}$ . Pada simulasi ini hanya dilakukan gangguan dari temperatur reaktan A. Pada gambar 15 menunjukkan konsentrasi produk tidak mengalami gangguan, temperatur produk mengalami kenaikan sebesar 1% dari masukan lalu kembali ke harga awal setelah 1 detik.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan dan simulasi pengendali logika fuzzy ini dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

1. Proses merupakan sistem multivariabel yang memiliki interaksi antara dua masukan dan dua keluaran . Interaksi konsentrasi reaktan terhadap temperatur produk sebesar 26 % dari masukan, interaksi temperatur jaket terhadap konsentrasi produk sebesar 2 % dari masukan yang ditunjukkan pada grafik hasil simulasi respon lingkaran terbuka tanpa dekopler.
2. Dengan melihat hasil perhitungan penguatan relatif (RGM), bahwa masukan konsentrasi reaktan A digunakan untuk mengendalikan keluaran konsentrasi produk dan masukan temperatur jaket digunakan untuk mengendalikan keluaran temperatur produk.
3. Hasil respon sistem pengendali logika fuzzy pada reaktor kontinyu menunjukkan tanggapan waktu redaman yang kritis.
4. Gangguan pada temperatur reaktan A menyebabkan temperatur produk mengalami kenaikan sebesar 1 % untuk PLF .
5. Design PLF dengan tiga fungsi keanggotaan masukan ternyata memberikan unjuk kerja yang kurang memuaskan dan design dengan lima fungsi keanggotaan masukan dapat mengatasi permasalahan tersebut.

## DAFTAR ACUAN

- [Abdr96] Abderrahim A. " New Open-Loop Controller Tuning Method ", Proceedings of ISMM, pp 304-307, April 1996
- [Asch83] Asch, G. " Les Capteurs en Instrumentation Industrielle", Dunod, Paris, 1983.
- [Bosc94] Bosch, V.D., "Modeling, Identification and Simulation", CRC Press, Wahington, 1994
- [Chen86] Cheng, J.J., "Global control of nonisothermal CSTR using a moving model", Chemical Engineering Science, Vol.41, No.10, pp 2457-2461, 1986
- [CoSm85] Coripio, A.B., Smit, C.A., "Principles and Practice of Automatic Process Control", John Wiley and Son, Singapore, 1985.
- [Gup86] Gupta, Madan; Kiszcz; Jerzy B. and Trojan G.M.; "Multivariable of Tuning Control system", 1986. IEEE Transaction on system man, and cybernetics. Vol.SMC-16 No.5 September/Oktobor 1986. p.638-656.
- [Har98] Harwikarya, "Pemodelan dan simulasi reaktor kontinyu menggunakan pengendali multivariabel", Tesis UI, 1998
- [Kar02] Kartika Sekarsari, "Simulasi dan perancangan pengendalian sistem multivariabel couple tank apparatus menggunakan neural network model direct invers control", Tesis UI, 2002
- [Kend95] Kendal, D.C., "Instrument Engineer's Handbook, Process Control", Chilton, Pennsylvania, 1995.
- [Salm88] Salmi, T., "Modeling and simulation of transient states of ideal reactors", Chemical Engineering Science, Vol.43, No.3, 1988
- [Sand97] Sandra Oktaviani, "Pengendali barel extruder dengan menggunakan logika fuzzy", Tesis UI, 1997
- [Smit81] Smith, J.M., "Chemical Engineering Kinetics", Mc Graw Hill, Singapore, 1981
- [Sori96] Soria Lopez, Alberto; "Tuning of a Multivariable Fuzzy Logic Controller", Procs.EUFIT 96. Vol 2. 1996. p.965 - 969
- [Step84] Stephanopoulos, George, "Chemical Process Control: An Introduction to theory and Practice", Prentice-Hall International Editions, 1984.
- [Tham99] Tham, M.T. "Multivariable Control: An introduction to decoupling control", University of Newcastle upon Tyne, 1999
- [Wayn98] Wayne, Bequette, B. "Process dynamics: Modeling, analysis, and simulation", Prentice-Hall International series, 1998.

- [Will99] Willis, M.J. D.R., "*Multivariable Control: An introduction*", University of Newcastle upon Tyne, 1999
- [Yelz94] John Yen, Reza Langari and Lotfi A. Zadeh, "*Industrial Applications of fuzzy Logic and Intelligent Systems*", IEEE Press, 1994
- [Zade96] Lotfi A. Zadeh, "*Fuzzy Logic = Computing with words*", Life Fellow IEEE, pp.103 – 111, 1996

