

Studi Aplikasi Decoupling Control untuk Pengendalian Komposisi Kolom Distilasi

Lindawati, Agnes Soelistya, Rudy Agustriyanto
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Surabaya
Jl.Raya Kalirungkut, Surabaya 60292
Email: us6193@wolf.ubaya.ac.id

Abstrak

Studi ini mempelajari strategi decoupling control yang diterapkan untuk mengendalikan komposisi pada proses distilasi methanol-air. Suatu simulator kolom distilasi dikembangkan dengan menggunakan Simulink (Transfer Function Based Simulator) untuk keperluan tersebut. Strategi penggunaan decoupler pada sistem multivariable dan perbandingan unjuk kerja sistem pengendalian dengan dan tanpa decoupler baik untuk keperluan 'set point tracking' maupun pada saat terjadi gangguan akan dipresentasikan disini. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan metode tuning yang sama yaitu Ziegler Nichols dan Direct Synthesis untuk kedua kasus tersebut.

Kata Kunci: *decoupling control, distillation composition control, set point tracking, disturbance rejection.*

Abstract

Decoupling control is studied and applied for composition control in the methanol-water distillation process. A transfer function- based simulator is developed in Simulink for this purpose. The strategy of decoupling control and its application for multivariable system and the comparison of control performance with and without decoupler will be presented for both set point tracking and disturbance rejection problems. Ziegler Nichols and Direct Synthesis method are used to tune the controller.

Keywords: *decoupling control, distillation composition control, set point tracking, disturbance rejection.*

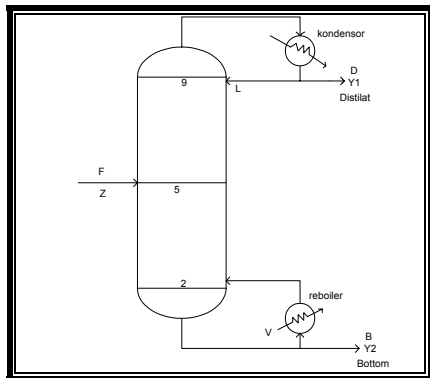
1. Pendahuluan

Banyak proses-proses kimia yang merupakan proses SISO maupun proses MIMO dan proses-proses tersebut selalu membutuhkan pengontrolan untuk mencapai hasil yang diinginkan. Masalah yang dihadapi oleh pengontrolan MIMO (Multiple Input Multiple Output) lebih kompleks daripada masalah yang dihadapi di proses SISO karena interaksi-interaksi proses terjadi antara variabel yang dimanipulasi dan variabel yang dikontrol. Secara umum, suatu perubahan dalam variabel yang dimanipulasi akan mempengaruhi seluruh variabel yang dikontrol dan mengubah kestabilan dari proses. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian lagi terhadap alat kontrol yang digunakan apakah masih sesuai atau tidak, apakah penyetelan ulang saja sudah cukup atau harus menambah/mengganti alat control. Selain itu strategi yang digunakan masih tepat atau tidak, juga harus diperiksa lagi Untuk kolom distilasi, penyetelan ulang baik laju alir refluk atau laju alir steam akan mempengaruhi kedua komposisi distilat dan bottom. Demikian juga dengan perubahan laju alir feed dan komposisinya. Bila efek yang dihasilkan sangat berpengaruh maka perlu dipertimbangkan penggunaan decoupler untuk mengurangi interaksi. Format makalah ini adalah sebagai berikut : pada bagian dua akan dibahas latar belakang permasalahan untuk kolom distilasi metanol-air yang akan ditinjau, sedangkan teori maupun aplikasi penggunaan decoupler akan diuraikan pada bagian tiga dan empat. Hasil simulasi dan pembahasan akan dipaparkan dibagian lima, dan akhirnya beberapa kesimpulan yang diperoleh akan dijelaskan pada bagian enam.

2. Kolom Distilasi Metanol-Air

Kolom destilasi yang ditinjau pada penelitian ini adalah kolom pemisahan metanol-air 8 tray seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Suatu model dinamis antar tray yang non linear telah dikembangkan dengan menggunakan kesetimbangan massa dan energi. Model tersebut telah divalidasi terhadap uji *pilot plant* dan sangat terkenal penggunaannya dalam studi kinerja sistem kontrol. Dalam pembuatan model, asumsi berikut

dipakai : penahanan uap yang dapat diabaikan, pencampuran sempurna pada tiap tray dan *constant liquid hold up*. Kondisi steady state untuk kolom ini ditunjukkan oleh Tabel 1.



Gambar 1. Kolom Distilasi

Table 1. Kondisi Steady State

Parameter	Nilai
* Jumlah tray teoritis (termasuk boiler dan kondensor), N	10
* Tray tempat umpan masuk (NF)	5
* Komposisi umpan (Z)	50 %
* Laju alir umpan (F)	18.23 g/s
* Komposisi produk atas (Y1)	95 %
* Komposisi produk bawah (Y2)	5 %
* Laju alir destilate (D)	9.13 g/s
* Laju alir bottom (B)	9.1 g/s
* Refluk (L)	10 g/s
* Laju alir steam (V)	13.8 g/s

Pada konfigurasi LV, komposisi distilat dikendalikan oleh laju alir refluks, sedangkan komposisi bottom dikendalikan dengan laju alir steam. Komposisi produk diukur dan diasumsikan bahwa terdapat *time delay* selama lima menit untuk analisa komposisi. Perubahan step diberikan pada refluks, steam, umpan dan komposisi umpan kemudian dianalisa pengaruh interaksi pada komposisi produk.

Fungsi hantar proses dan gangguan didapatkan melalui serangkaian step test response dan diprediksi dengan model orde 1 plus time delay (FOPTD). Hasilnya adalah sebagai berikut:

Fungsi hantar proses:

$$G_{11} = \frac{1.0926e^{-5s}}{5.5096s + 1} \quad G_{12} = \frac{-1.3032e^{-5s}}{13.7174s + 1}$$

$$G_{21} = \frac{2.2676e^{-5s}}{17.1527s + 1} \quad G_{22} = \frac{-7.1829e^{-5s}}{29.4985s + 1}$$

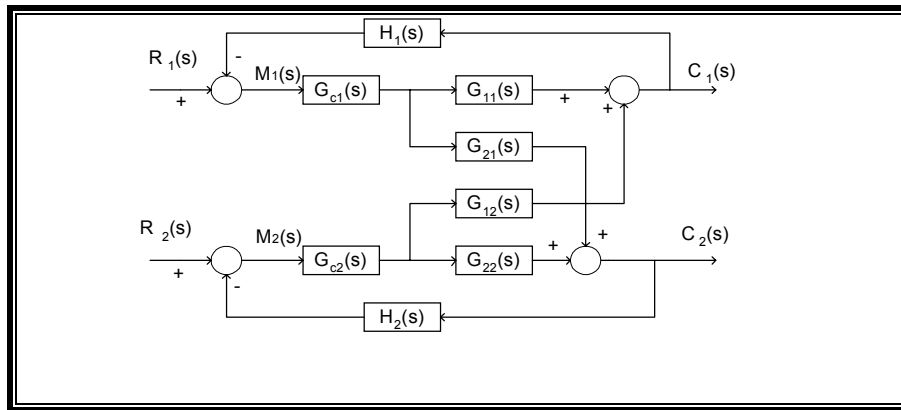
Sedangkan fungsi hantar gangguan adalah sebagai berikut:

$$G_{d11} = \frac{0.33616e^{-5s}}{89.2857s + 1} \quad G_{d12} = \frac{10.8503e^{-5s}}{15.4321s + 1}$$

$$G_{d21} = \frac{2.6383e^{-5s}}{16.6667s + 1} \quad G_{d22} = \frac{70.2625e^{-5s}}{26.2467s + 1}$$

3. Pengendalian dengan decoupling

Sistem distilasi metanol-air ini merupakan proses MIMO yang antara satu input dengan yang lainnya saling berinteraksi (sistem kontrol 2x2) seperti gambar berikut :



Gambar 2. Blok Diagram Sistem Kontrol 2x2 Dengan Interaksi

Decoupler harus didesain sedemikian rupa sehingga suatu perubahan pada output kontroler 1 [$M_1(s)$] menghasilkan perubahan pada $C_1(s)$ tapi tidak pada $C_2(s)$. Demikian pula suatu perubahan pada output kontroler 2 [$M_2(s)$] akan menghasilkan perubahan pada $C_2(s)$ tapi tidak pada $C_1(s)$. Cara lain untuk menginterpretasikan decoupler ialah dengan menganggapnya sebagai suatu bagian dari kontroler sehingga kombinasi kontroler decoupler menjadi kontroler yang berinteraksi. Dengan demikian kita harus mendesain suatu kontroler untuk menghasilkan suatu sistem yang tidak berinteraksi.

Output dari $M_2(s)$ berpengaruh pada variabel control pertama seperti pada persamaan berikut :

$$C_1(s) = [D_{12}(s)G_{p11}(s) + D_{22}(s)G_{p12}(s)] M_2(s) \quad (1)$$

Sama seperti $M_1(s)$ berpengaruh pada $C_2(s)$ seperti pada persamaan berikut :

$$C_2(s) = [D_{21}(s)G_{p22}(s) + D_{11}(s)G_{p21}(s)] M_1(s) \quad (2)$$

Karena kita mempunyai 2 persamaan dan 4 variabel yang tidak diketahui maka 2 dari variabel tersebut harus ditentukan sebelum menghitung yang lainnya. Biasanya yang dipilih adalah $D_{11}(s)$ dan $D_{22}(s)$ ditetapkan bernilai 1. Sehingga persamaannya menjadi :

$$C_1(s) = [D_{12}(s)G_{p11}(s) + G_{p12}(s)] M_2(s) \quad (3)$$

$$C_2(s) = [D_{21}(s)G_{p22}(s) + G_{p21}(s)] M_1(s) \quad (4)$$

Tujuannya sekarang adalah untuk mendesain $D_{12}(s)$ sehingga ketika output dari kontroler kedua berubah, variabel kontrol pertama tetap. Jika variabel kontrol ini tetap maka $C_1(s) = 0$ kemudian dari persamaan (3) kita memperoleh :

$$0 = [D_{12}(s)G_{p11}(s) + G_{p12}(s)] M_2(s) \quad (5)$$

$$D_{12}(s) = - \frac{G_{p12}(s)}{G_{p11}(s)} \quad (6)$$

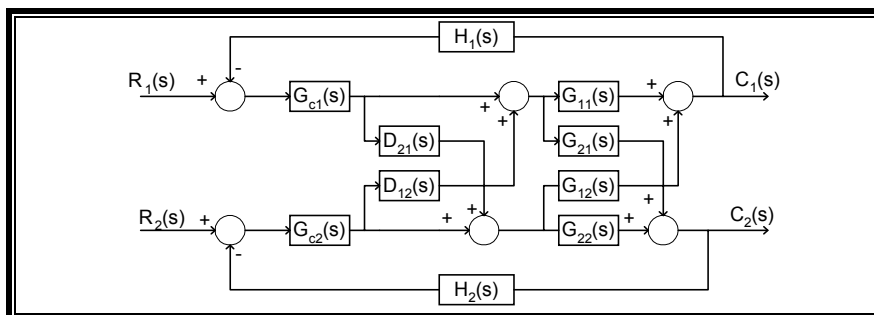
Demikian juga $D_{21}(s)$ dapat didesain sehingga ketika $M_1(s)$ berubah $C_2(s)$ tetap nol. Dari persamaan diatas diperoleh :

$$0 = [D_{21}(s)G_{p22}(s) + G_{p21}(s)] M_1(s) \quad (7)$$

$$D_{21}(s) = - \frac{G_{p21}(s)}{G_{p22}(s)} \quad (8)$$

Persamaan (6) dan (8) adalah persamaan desain decoupler untuk sistem 2x2.

Sehingga gambarnya berbentuk demikian :



Gambar 3. Blok Diagram Sistem Kontrol 2x2 Dengan Decoupling

Ada dua macam decoupler yang biasa digunakan yaitu :

1. *Statik decoupling*

Pendekatan statik decoupling disebut juga statis decoupling. Persamaan desain untuk decoupler statik ideal hanya menggunakan gain dari matrik saja karena diset $s = 0$. Sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut:

$$D_{21} = -\frac{Kp_{21}}{Kp_{22}} \quad (9)$$

$$D_{12} = -\frac{Kp_{12}}{Kp_{11}} \quad (10)$$

Keuntungan dari statik decoupling adalah dibutuhkan informasi yang lebih sedikit yaitu perolehan dari keadaan steady state daripada model dinamik yang lengkap. Kerugiannya adalah interaksi kontrol loop masih terjadi selama kondisi transient (sementara).

2. *Dynamic decoupling*

Persamaan untuk dynamic decoupling adalah dengan menggunakan fungsi transfer secara keseluruhan sehingga didapat persamaan seperti dinyatakan oleh persamaan (6) dan persamaan (8).

4. Hasil dan Pembahasan

Dengan menggunakan persamaan (6) dan (8) maka dapat ditentukan fungsi hantar dynamic decoupler, yaitu sbb:

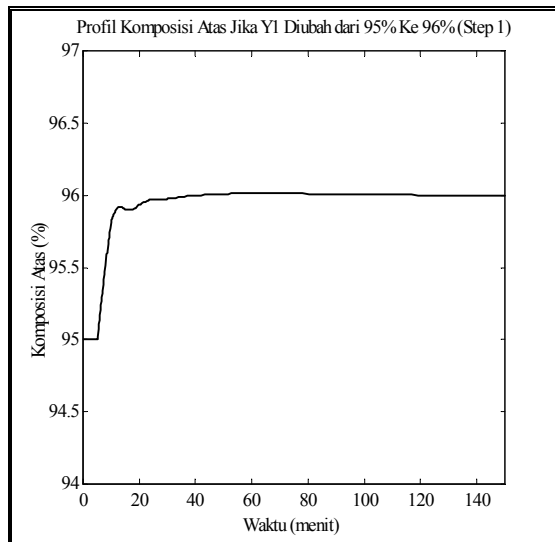
$$D_{12} = \frac{7.1801s + 1.3032}{14.98763s + 1.0926} \quad D_{21} = \frac{66.8908s + 2.2676}{123.20613s + 7.1829}$$

Dengan menggunakan metode tuning Ziegler Nichols & Direct Synthesis maka setting controller untuk sistem dengan dynamic decoupler adalah sbb:

	Ziegler Nichols	Direct Synthesis
Parameter <i>Controller</i> loop atas	P = 1.3326 I = 0.168683544 D = 2.631885	P = 0.98875501143 I = 0.17946039847
Parameter <i>Controller</i> loop bawah:	P = -0.831 I = -0.087936507 D = -1.9632375	P = -0.80524852188 I = -0.0272794809

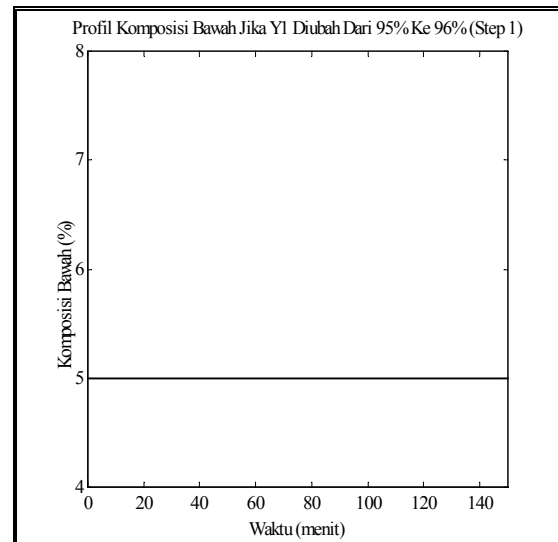
Tabel 2. Setting Pengendali dengan Dynamic Decoupler untuk metode Ziegler Nichols dan Direct Synthesis

Gambar 4 s.d 11 menunjukkan performance komposisi atas dan bawah (Y1 & Y2) untuk perubahan set point maupun ketika terjadi gangguan pada laju alir umpan (F) dan komposisi umpan (Z), dengan setting controller Ziegler Nichols.



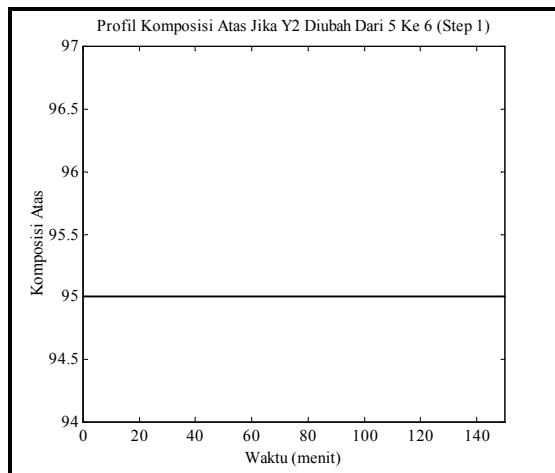
SSE = 30.40

Gambar 4. Profil komposisi atas (Y1) jika Set Point Y1 diubah dari 95% ke 96% (step 1)



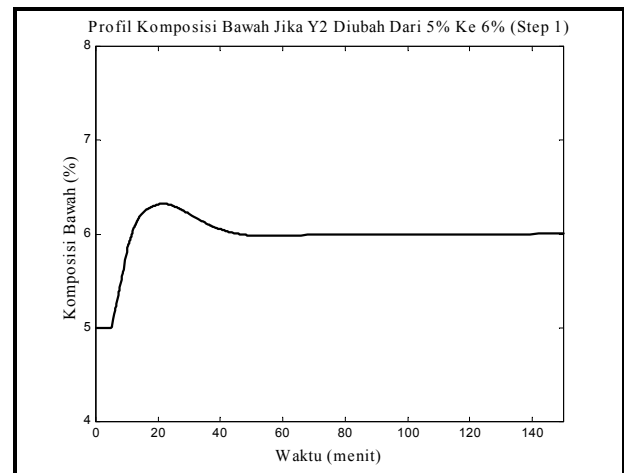
SSE=1.4e-10

Gambar 5. Profil komposisi bawah (Y2) jika Set Point Y1 diubah dari 95% ke 96% (step 1)



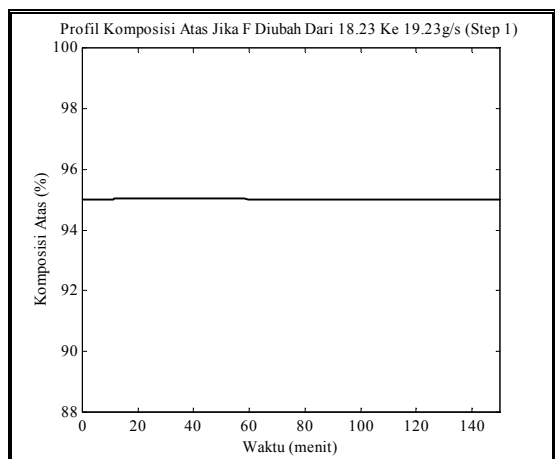
SSE=6.4e-12

Gambar 6. Profil komposisi atas (Y1) jika Set Point Y2 diubah dari 5% ke 6%



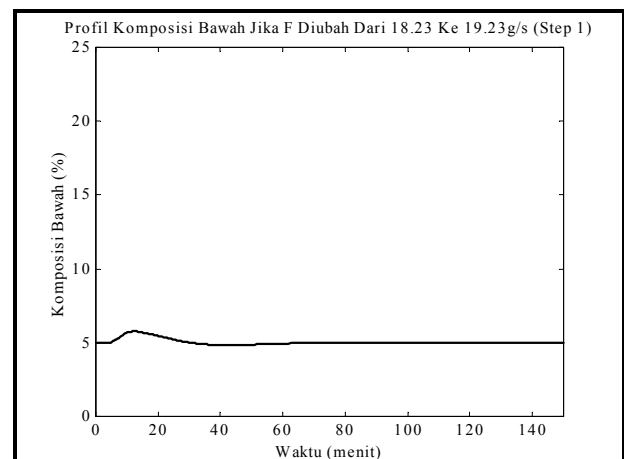
SSE=31.60

Gambar 7. Profil komposisi bawah (Y2) jika Set Point Y2 diubah dari 5% ke 6%



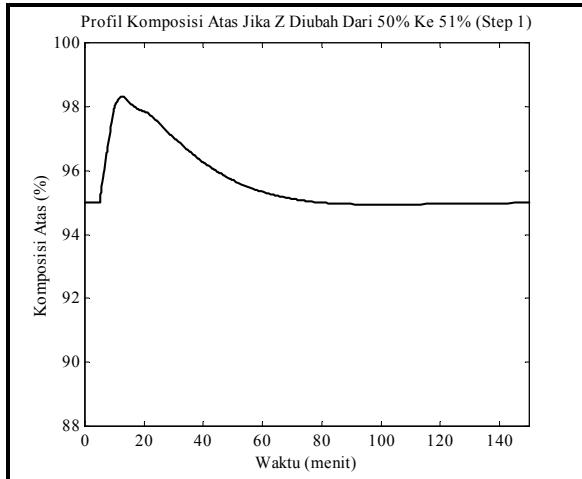
SSE = 0.13

Gambar 8. Profil komposisi atas (Y1) jika laju alir umpan (F) diubah dari 18.23 ke 19.23 g/s



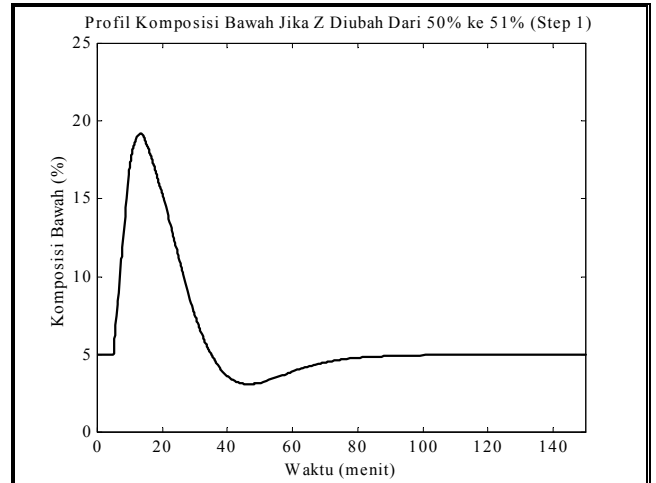
SSE = 48.33

Gambar 9. Profil komposisi bawah (Y2) jika laju alir umpan (F) diubah dari 18.23 ke 19.23 g/s



SSE= 1887.55

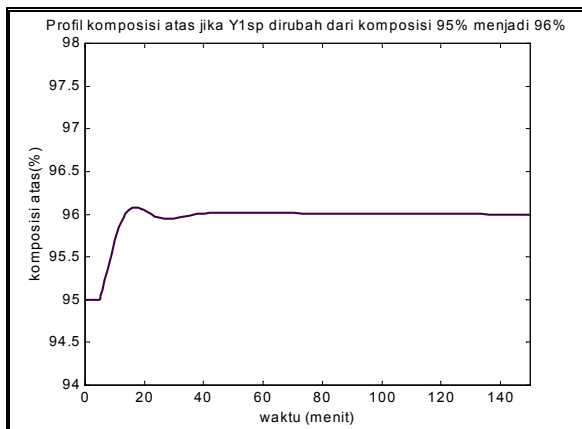
Gambar 10. Profil komposisi atas (Y1) jika komposisi umpan Z diubah dari 50% ke 51%



SSE= 27262.90

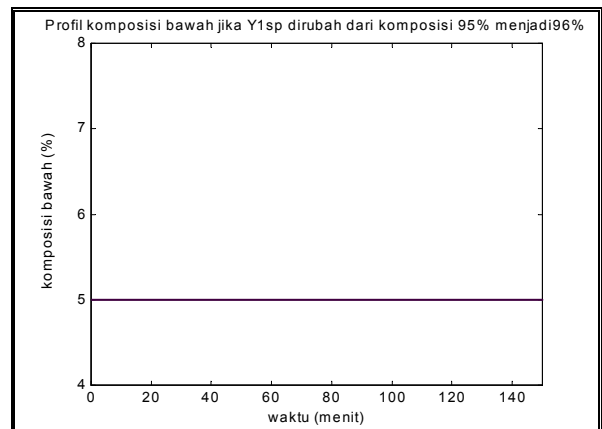
Gambar 11. Profil komposisi bawah (Y2) jika komposisi umpan (Z) diubah dari 50% ke 51% (step 1)

Gambar 12 s.d 19 menunjukkan performance komposisi atas dan bawah untuk perubahan set point (Y1 & Y2) maupun ketika terjadi gangguan pada laju alir umpan (F) dan komposisi umpan, dengan setting controller Direct Synthesis.



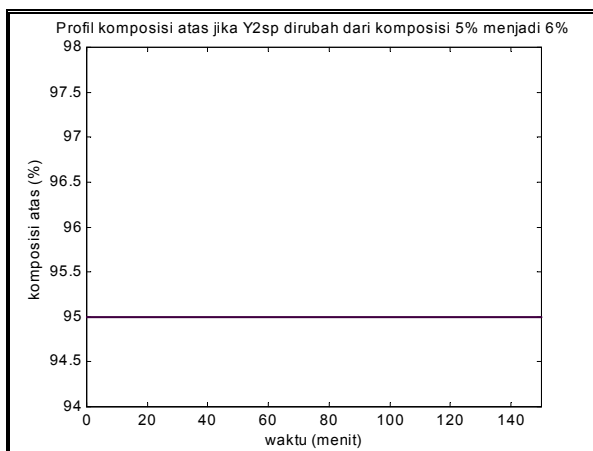
SSE: 16.40

Gambar 12. Profil komposisi atas (Y1) jika Y1sp diubah dari komposisi 95% menjadi 96% (step 1).



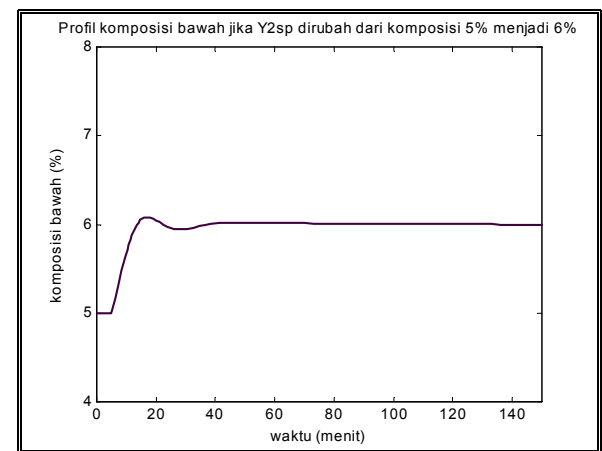
SSE : 3.52e-11

Gambar 13. Profil komposisi bawah (Y2) jika Y1sp diubah dari komposisi 95% menjadi 96% (step 1).



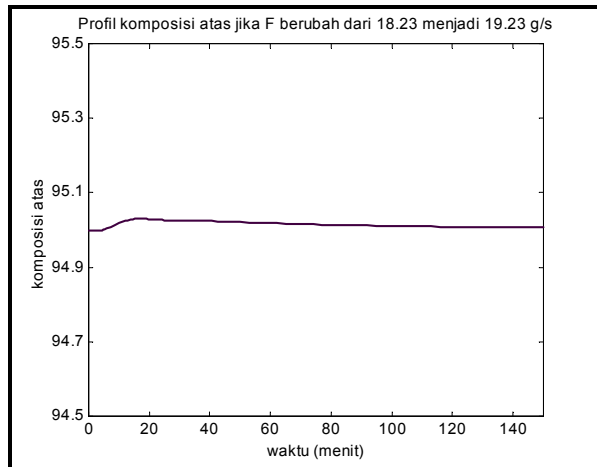
SSE : 1.43e-012

Gambar 14. Profil komposisi atas (Y1) jika Y2sp diubah dari komposisi 5% menjadi 6% (step 1).



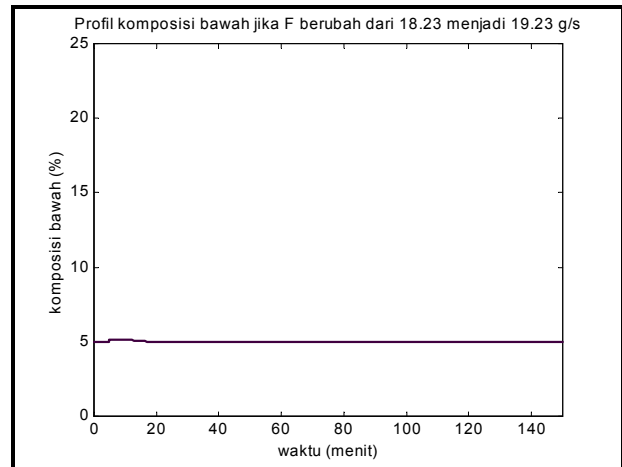
SSE : 15.31

Gambar 15. Profil komposisi bawah (Y2) jika Y2sp diubah dari komposisi 5% menjadi 6% (step 1).



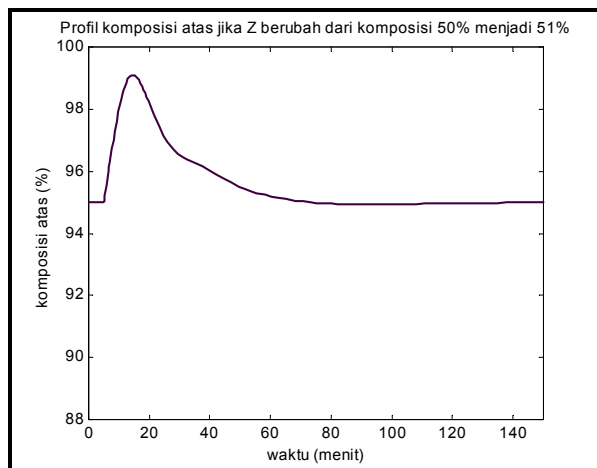
SSE : 0.03

Gambar 16. Profil komposisi atas (Y1) jika F berubah dari laju 18.23 menjadi 19.23 g/s (step 1).



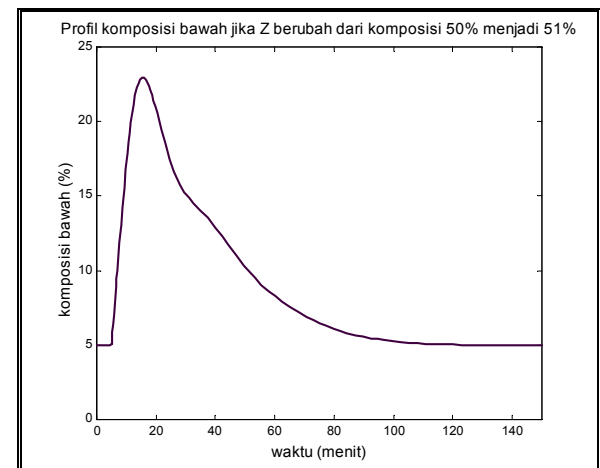
SSE : 0.30

Gambar 17. Profil komposisi bawah (Y2) jika F berubah dari laju 18.23 menjadi 19.23 g/s (step 1).



SSE : 339.25

Gambar 18. Profil komposisi atas (Y1) jika Z berubah dari komposisi 50% menjadi 51% (step 1).



SSE : 7486.68

Gambar 19. Profil komposisi bawah (Y2) jika Z berubah dari komposisi 50% menjadi 51% (step 1).

Penelitian juga dilakukan untuk sistem pengendalian tanpa decoupler maupun sistem dengan static decoupler. Ketiga sistem tersebut dibandingkan harga SSE nya baik untuk metode tuning Ziegler Nichols maupun Direct Synthesis seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

		Perubahan Step			
		Y1	Y2	F	Z
Tanpa Decoupler	SSE Y1	63.82	14.89	9.66	4856.02
	SSS Y2	112.93	43.64	45.16	31700.77
Static Decoupler	SSE Y1	34.46	11.37	9.16	6605.34
	SSE Y2	13.49	66.51	88.15	5615.39
Dynamic Decoupler	SSE Y1	30.40	6.4e-12	0.13	1887.55
	SSE Y2	1.4e-10	31.6	48.33	27262.9

Tabel 4. Perbandingan Nilai SSE antara Penggunaan Decoupler dan Tanpa Decoupler dengan Tuning Metode Ziegler Nichols

		Perubahan Step			
		Y1	Y2	F	Z
Tanpa Decoupler	SSE Y1	69.14	25.59	0.36	5671.96
	SSS Y2	129.15	63.48	1.12	23766.5
Static Decoupler	SSE Y1	19.39	3.50	0.12	909.58
	SSE Y2	3.79	26.46	0.50	11356.4
Dynamic Decoupler	SSE Y1	16.40	1.43.e-12	0.03	339.251
	SSE Y2	3.52.e-11	15.31	0.30	7486.68

Tabel 4. Perbandingan Nilai SSE antara Penggunaan Decoupler dan Tanpa Decoupler dengan Tuning Metode Direct Synthesis

5. Kesimpulan

- Dari penelitian pada sistem multivariable tanpa decoupling, teknik penyetelan pengendali Ziegler-Nichols dan Direct Synthesis tidak bisa memberikan hasil yang maksimal.
- Adanya interaksi mempersulit penyetelan pengendali. Penambahan decoupler memudahkan penyetelan pengendali karena masing-masing loop dapat dianggap sebagai single loop.
- Penggunaan complete decoupling tipe static decoupler memberikan unjuk kerja yang lebih baik daripada tanpa decoupling, khususnya untuk set point tracking.
- Penggunaan complete decoupling tipe dynamic decoupler, memberikan unjuk kerja yang lebih baik daripada tipe static decoupler, khususnya untuk set point tracking.
- Unjuk kerja yang diberikan decoupler untuk perubahan set point memuaskan namun untuk disturbance rejection, unjuk kerja yang diberikan kurang memuaskan bila dibandingkan dengan perubahan set point. Hal ini sesuai dengan yang dikatakan Luyben bahwa decoupling mungkin menurunkan kemampuan sistem dalam menstabilisasi gangguan (disturbance rejection).

6. Daftar Pustaka

1. Carlos A. Smith and Armando B. Corripio, (1985), "*Principles and Practice of Automatic Process Control*", John Willey & Sons Inc., Chapter 6.
2. Dale E. Seborg, Thomas F. Edgar, and Duncan A. Mellichamp, (1989), "*Proses Dynamic and Control*", John Willey & Sons Inc., Chapter 19.
3. George Stephanopoulos, (1984), "*Chemical Process Control : an Introduction to Theory and Practice*", Prentice-Hall International Edition, Chapter 24.
4. Shinskey F.G., (1988), "*Process Control System Application, Design, and Tuning*", 3rd ed., McGraw-Hill International Edition, Chapter 8 dan 13.
5. Willis M.J, "*Propotional-Integral-Derivatif Control*", Dept. of Chemical and Process Engineering, Universitas of Newcastle.
6. Rudy Agustriyanto, (2000), "*Multivariabel Inferential Feedforward Control*", University of Newcastle, Chapter 3.