



Studi Dinamika Proses Distilasi Reaktif Dalam Produksi 2-Ethylhexyl-Dodecanoate Menggunakan Aspen Plus Dynamics: Fungsi Alih Antara Komposisi Produk Terhadap Beban Reboiler dan Laju Refluks

I Gede Pandega W*, Tedi Hudaya, dan Philander

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Jl. Ciumbuleuit 94, Bandung

*E-mail: pandega.wiratama@unpar.ac.id

Abstract

In chemical industry, control system is one of the most important things to ensure production quality and safety. In designing the control system, dynamics models in the form of transfer functions are required. In a complex process the transfer functions are derived from black box models, in which the relationships between input and output variables are obtained from the dynamic data regression. One of the complex processes that can be found in the chemical industry is reactive distillation (RD). RD control system usually take the products compositions as controlled variable (CV) while manipulated variable or controller output (CO) are reboiler duty and reflux flow rate. This research aims to find the form of the transfer function between CV and CO, as well as the values of the parameters of the transfer function. To achieve this goals, dynamic simulations of RD column was carried out by step test using Aspen Plus Dynamics. The result was then regressed to obtain the most appropriate transfer function. The chemical process that is applied in the column RD is the production of 2-ethylhexyl-dodecanoate, a fatty acid ester which has a high economic value for it is widely used as raw materials of specialty chemical.

Keywords: 2-ethylhexyl-dodecanoate, Aspen Plus Dynamics, reactive distillation, transfer function

Pendahuluan

Dalam sebuah industri proses, sistem pengendalian merupakan salah satu hal terpenting untuk menjamin mutu produksi dan keselamatan kerja. Dalam merancang sistem kendali diperlukan model dinamika proses dalam bentuk fungsi alih, yaitu persamaan yang menggambarkan hubungan antara variabel output terhadap input. Akan tetapi, model dinamika proses umumnya sulit didapat melalui model-model fundamental, terlebih dalam suatu proses yang kompleks. Oleh karena itu, model dinamika suatu proses yang kompleks biasanya merupakan *black box model*, di mana hubungan antara variabel input dan output didapatkan dari regresi data-data dinamik.

Salah satu proses yang kompleks yang bisa didapati di industri kimia adalah *reactive distillation* (RD). RD merupakan intensifikasi proses yang menggabungkan reaktor dan distilasi dalam satu alat. Penggabungan ini mengakibatkan proses pemisahan dan reaksi terjadi dalam satu kolom sehingga metode ini lebih efektif, efisien, dan ekonomis. Sistem kendali dalam kolom RD biasanya meninjau komposisi produk atas dan bawah sebagai output atau *controlled variable* (CV) sedangkan input berupa *disturbance* (D) adalah temperatur umpan, ataupun komposisi umpan. *Manipulated variable* atau *controller output* (CO) yang bisa dipakai untuk mengendalikan komposisi keluaran kolom adalah beban reboiler, beban kondensor, dan/ atau laju alir refluks (Luyben, 2008).

Penelitian ini bertujuan untuk mencari bentuk fungsi alih yang menghubungkan antara CV terhadap CO, serta nilai-nilai parameter fungsi alih tersebut. Untuk mencapai tujuan ini, mula-mula akan dibuat model *steady state* kolom RD dalam Aspen Plus dan akan divalidasi dengan data literatur yang ada. Setelah validasi, akan dilakukan simulasi dinamik dengan cara *step test* menggunakan Aspen Plus Dynamics, sehingga didapatkan data-data dinamik. Kumpulan data tersebut kemudian diregresi menggunakan beragam model fungsi alih sehingga didapatkan model fungsi alih yang paling sesuai untuk menggambarkan hubungan antara CV terhadap CO. Adapun proses kimia yang diaplikasikan dalam kolom RD ini adalah produksi 2-ethylhexyl dodecanoate, sebuah *fatty acid ester*.

Fatty acid ester merupakan salah satu produk kimia yang paling dicari di dunia ini. Harga jual *fatty acid ester* tentunya sudah tidak perlu diragukan lagi, harga *fatty acid ester market* pada tahun 2014 mencapai \$1,830,200,000, pada tahun 2015 mencapai \$1,890,000,000 dan diperkirakan akan terus berkembang hingga mencapai \$2,500,000,000 pada tahun 2022 dengan perkembangan CAGR (*Compound Annual Growth Rate*) sebesar 4% (Market, 2016). Kapasitas yang besar ini dikarenakan *fatty acid ester* memiliki banyak kegunaan, antara lain di bidang kecantikan, kosmetik, pelumas, pengolahan makanan, surfaktan, deterjen, farmasi, dll (Omota, et. al., 2003).



Reaktan yang digunakan untuk memproduksi *2-ethylhexyl dodecanoate* adalah *2-ethyl-1-hexanol* (2-ETH-02) dan asam dodekanoat (N-DOD-01) melalui reaksi esterifikasi dengan bantuan katalis *sulphated zirconia*. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

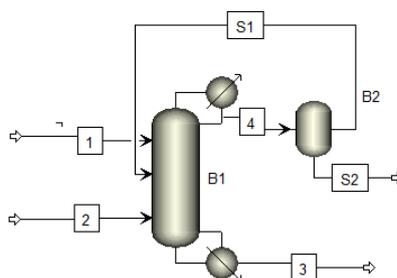


Pada kolom distilasi, asam lemak digunakan sebagai reaktan dengan titik didih tertinggi dan alkohol dengan titik didih terendah. Penggunaan reaktan C_8 dikarenakan C_8 memiliki titik didih tertinggi dari C_1 - C_8 sehingga apabila C_8 berhasil diuapkan dalam kolom, maka C_1 - C_7 tentunya juga dapat digunakan dalam sistem ini dengan produk *fatty acid ester* yang berbeda. Pemilihan *sulphated zirconia* sebagai katalis disebabkan karena *sulphated zirconia* memiliki pori yang besar sehingga meningkatkan efektifitas difusi *fatty acid*, tidak terurai pada kondisi reaksi, dan tidak mendukung terjadinya reaksi samping (J.C.J Bart, et. al., 2010)

Metode Penelitian

Validasi Steady State

Validasi *steady state* merupakan langkah pertama dalam penelitian ini. Validasi ini dilakukan dengan menggunakan bantuan software Aspen Plus V8.8. Validasi dilakukan dengan memasukkan data literatur (Tabel 1 dan Tabel 2) sehingga mencapai hasil *steady state* yang sesuai. Diagram alir yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir distilasi reaktif.

Setelah data-data yang ada di *input*, kemudian dapat dialurkan profil komposisi setiap tahap pada kolom distilasi seperti tertera pada Gambar 2 yang dicocokkan dengan data yang terdapat di literatur.

Tabel 1. Spesifikasi Kolom RD (Omota, et al., 2003)

Tekanan (Kpa)	32
Jumlah tahap (termasuk reboiler & kondensor)	15
Tahap reaktif	13
Jumlah katalis (kg m-3)	175
Total liquid hold-up ^b (m3 m-3)	0,04 (dibandingkan dengan volume kolom RD)
Beban reboiler ^b (kW m-3)	2,39
Rasio reflux	0,0686

Tabel 2. Spesifikasi Umpan Kolom RD (Omota, et al., 2003)

Kategori	Variabel	Nilai
Umpan 1 (asam dodekanoat)	Laju alir ^a (mol m-2 s-1)	0,227
	Temperatur (K)	383
	Tahap masukan umpan	2
Umpan 2 (<i>2-ethylhexanol</i> + <i>recycle</i>)	Laju alir ^a (mol m-2 s-1)	0,314
	Temperatur (K)	420
	Tahap masukan umpan	14

(a) skala berdasarkan *cross-sectional area* pada kolom RD; (b) skala berdasarkan volume kolom RD

Parameter-parameter kinetika yang dibutuhkan dalam penelitian ini telah dikalkulasi dari percobaan-percobaan sebelumnya. Model kinetika yang didapat untuk reaksi esterifikasi asam dodekanoat dengan 2-ethylhexanol berdasarkan percobaan yang dilakukan Omota, et al. (2003) adalah:

$$r=(k_u C_{acid}+k_c C_{catalyst})(C_{acid} C_{alcohol}-\frac{1}{k_x} C_{ester} C_{water})$$

Model di atas mengikuti model kinetika pseudo-homogen. Dapat dilihat berdasarkan model di atas terdapat parameter kinetika k_u (konstanta laju reaksi untuk reaksi tidak berkatalis ($m^6s^{-1}mol^{-2}$)), k_c (konstanta laju reaksi untuk reaksi berkatalis ($m^6s^{-1}mol^{-1}kg^{-1}$)), dan k_x (konstanta kesetimbangan reaksi berdasarkan aktivitas). Nilai konstanta laju reaksi yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter laju reaksi esterifikasi asam dodekanoat dengan 2-ethylhexanol

Parameter	Nilai	Satuan
A (tanpa katalis)	1.634×10^5	$m^6s^{-1}mol^{-2}$
A (dengan katalis)	3.277×10^3	$m^6s^{-1}mol^{-1}kg^{-1}$
Ea (tanpa katalis)	65.5	kJ/mol
Ea (dengan katalis)	55.5	kJ/mol

Berdasarkan parameter di atas maka nilai k_u dan k_c kemudian akan dapat dihitung menggunakan persamaan Arrhenius pada berbagai temperatur. Untuk nilai parameter k_x didapat dari percobaan (Omota, et al., 2003) dengan mengkalkulasi data hasil eksperimen pada saat setimbang pada berbagai temperatur. Data yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter konstanta kesetimbangan reaksi esterifikasi asam dodekanoat dengan 2-ethylhexanol

Temperatur (K)	k_x
333.15	0.79
353.15	1.37
373.15	1.21
398.15	2.95
423.15	4.10
443.15	5.36

Data k_x tersebut kemudian di regresi non-linier menggunakan *software* Matlab untuk mendapatkan nilai parameter laju reaksi (A dan Ea). Model yang digunakan pada regresi non-linier tersebut mengikuti persamaan Arrhenius yaitu:

$$k_x=A_x \cdot \exp\left(-\frac{E_{a_x}}{RT}\right)$$

Hasil parameter yang didapat ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil regresi non-linier menggunakan Matlab.

Parameter	Nilai	Satuan
A_x	0.2426×10^4	-
E_{a_x}	2.2496×10^4	kJ/mol

Simulasi Dinamik

Simulasi dinamik dilakukan dengan mengubah secara *step-up* dan *step-down* nilai beban reboiler dan laju alir massa refluks sebesar 10%. Beban reboiler dan laju refluks merupakan variabel yang umum digunakan sebagai *manipulated variable* dalam sistem distilasi. Dengan adanya perubahan nilai beban reboiler dan laju massa refluks, maka beberapa besaran pun akan berubah, dua diantaranya adalah kemurnian/ fraksi mol 2-ethylhexyl-dodecanoate di aliran produk bawah dan kemurnian 2-ethylhexanol keluaran dekanter yang dikembalikan ke dalam kolom. Kemurnian dua senyawa inilah yang menjadi *controlled variable* yang diamati respons dinamikya terhadap perubahan *manipulated variable*.

Data respons dinamik kemudian diregresi dengan beberapa macam model fungsi alih dengan pendekatan *black box model*. Model fungsi alih sistem distilasi reakti yang merupakan model fungsi alih orde tinggi dapat didekati dengan model alih orde lebih rendah dengan tambahan atau perubahan nilai dead time. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, model yang dicoba adalah *First Order Plus Dead Time* (FOPDT), *Second Order Plus Dead Time Underdamped* (SOPDT-U), *Second Order Plus Dead Time Overdamped* (SOPDT-O), dan/ atau SOPDT dengan *lead*

time (SOPDT-L) –sesuai dengan bentuk kurva yang didapatkan. Melalui regresi tersebut, didapat parameter-parameter fungsi alih setiap model yang kemudian akan dipilih model paling cocok (R^2 yang paling mendekati 1).

Tabel 6. Model-model Fungsi Alih yang Digunakan

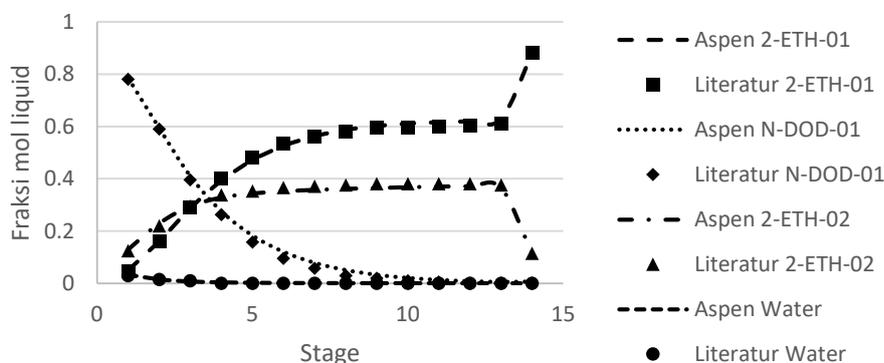
Nama	Bentuk
FOPDT	$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K_p e^{-\theta_p s}}{\tau_p s + 1}$
SOPDT	$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K_p e^{-\theta_p s}}{(\tau_{p1} s + 1)(\tau_{p2} s + 1)}$
SOPDT-L	$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K_p (\tau_I s + 1) e^{-\theta_p s}}{(\tau_{p1} s + 1)(\tau_{p2} s + 1)}$
SOPDT-U	$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K_p e^{-\theta_p s}}{(\tau_x^2 s^2 + 2\zeta\tau_x s + 1)}$

Y = controlled variable; U = manipulated variable

Hasil dan Pembahasan

Validasi Steady State

Gambar 2 menunjukkan bahwa fraksi produk *2-ethylhexyl dodecanoate* yang didapat dari simulasi Aspen sekitar 0.88 sesuai dengan literatur. Untuk komponen lain juga terlihat bahwa besar fraksi yang didapat setiap tahap sudah mirip dengan yang literatur sehingga *trend* grafik yang dilampirkan juga memiliki bentuk yang sama dengan literatur. Oleh karena itu validasi *steady state* yang dilakukan ini dapat dikatakan sudah berhasil.



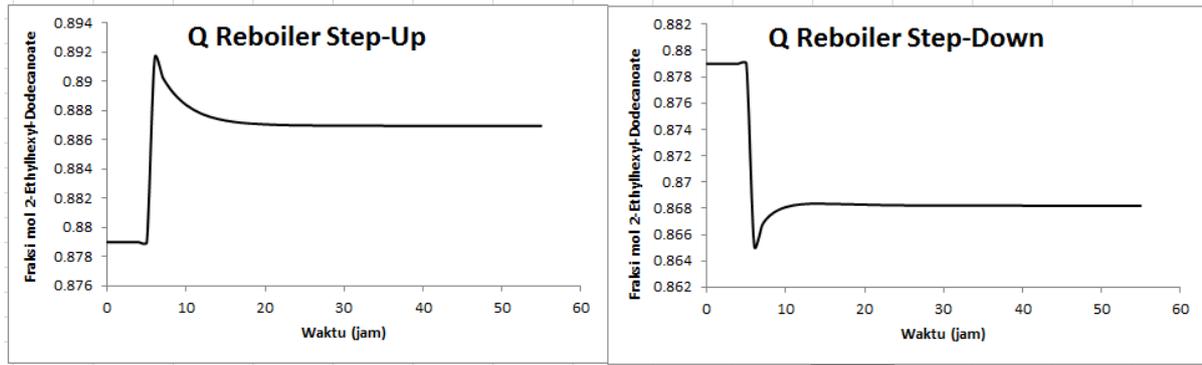
Gambar 2. Profil Fraksi Mol Semua Senyawa Setiap Tahap Pada Aspen dan Literatur

Pada Gambar 2 tersebut terlihat bahwa terjadi kenaikan secara drastis untuk fraksi *2-ethylhexyl dodecanoate* dan penurunan drastis untuk fraksi *2-ethylhexanol* di tahap 13 menuju 14. Hal ini terjadi karena tahap tersebut merupakan tahap pemisahan bagian bawah menggunakan *reboiler*, oleh karena itu terjadi peningkatan temperatur yang besar yang menyebabkan *2-ethylhexanol* akan menguap dalam jumlah yang besar dan terpisah dari *2-ethylhexyl dodecanoate* sehingga fraksi *2-ethylhexyl dodecanoate* yang didapat pada tahap 14 akan meningkat dan fraksi *2-ethylhexanol* pada tahap 14 akan menurun secara signifikan.

Simulasi Dinamik

Simulasi dinamik perubahan beban reboiler

Kurva respons fraksi *2-ethylhexyl dodecanoate* terhadap perubahan beban reboiler (Q Reboiler) sebesar 10% dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan respons fraksi *2-ethylhexanol* dapat dilihat di Gambar 4. Dari kurva tersebut, dapat dilihat bahwa kenaikan nilai beban reboiler akan mengakibatkan kenaikan kemurnian *2-ethylhexyl dodecanoate* dan begitu juga sebaliknya. Hal ini terjadi karena semakin tinggi nilai beban reboiler maka pemanasan yang terjadi semakin besar sehingga senyawa-senyawa yang lain cenderung bergerak ke atas kolom. Hal ini juga terlihat dari kemurnian *2-ethylhexanol* keluaran dekanter semakin menurun karena adanya senyawa-senyawa lain yang lebih banyak teruapkan dan masuk ke dekanter akibat kenaikan beban reboiler, demikian juga sebaliknya.



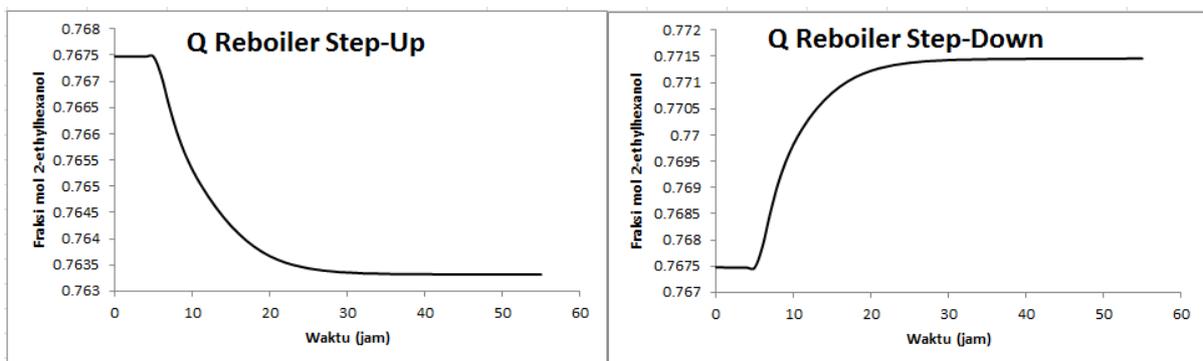
Gambar 3. Kurva Respons Dinamik Fraksi *2-ethylhexyl dodecanoate* Terhadap Perubahan Beban Reboiler

Respons dinamik kemurnian *2-ethylhexyl dodecanoate* terhadap kenaikan beban reboiler memiliki satu puncak sebelum turun kembali sedikit dan menjadi konstan. Demikian juga saat beban reboiler diturunkan, kemurnian *2-ethylhexyl dodecanoate* turun lalu naik sedikit dan menjadi konstan. Hal ini menunjukkan kemungkinan adanya *zeros* di fungsi alih ataupun kemungkinan terdapat *poles* berupa bilangan imajiner. Oleh karena itu model fungsi alih yang dipilih untuk menggambarkan respons dinamik kemurnian *2-ethylhexyl dodecanoate* terhadap perubahan beban reboiler adalah SOPDT-L dan SOPDT-U. Hasil regresi kedua model ini ditampilkan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Regresi Fungsi Alih Fraksi *2-ethylhexyl dodecanoate* Terhadap Beban reboiler

Q Reboiler Step-Up				Q Reboiler Step-Down			
SOPDT-L		SOPDT-U		SOPDT-L		SOPDT-U	
K_p	0.1053	K_p	0.1045	K_p	0.1373	K_p	0.1369
τ_{p1}	0.1	τ_p	0.7681	τ_{p1}	0.1	τ_p	0.6801
τ_{p2}	0.1	ζ	0.2004	τ_{p2}	0.1	ζ	0.2915
θ_p	1	θ_p	0	θ_p	1.03	θ_p	0
τ_L	0.5027	τ_L	-	τ_L	0.5074	τ_L	-
R^2	0.9385	R^2	0.9112	R^2	0.9958	R^2	0.9663

Berdasarkan nilai R^2 , maka bisa disimpulkan bahwa SOPDT-L lebih akurat dalam menggambarkan respons dinamik kemurnian *2-ethylhexyl dodecanoate* terhadap perubahan beban reboiler. Nilai K_p yang didapatkan pada saat beban reboiler di-*step-up* dan di-*step-down* cukup berbeda signifikan. Hal ini menunjukkan adanya ketidak-linearitas respons yang diakibatkan karena kekompleksan sistem RD di mana pemisahan dan reaksi berjalan secara simultan. Nantinya, ketidak-linearitas ini akan mempengaruhi perancangan pengendali.



Gambar 4. Kurva Respons Dinamik Fraksi *2-ethylhexanol* Terhadap Perubahan Beban Reboiler

Respons dinamik kemurnian *2-ethylhexanol* adalah naik atau turun, berbanding terbalik dengan beban reboiler, lalu cenderung konstan. Respons seperti ini mendekati kelakuan FOPDT atau SOPDT dengan *poles* berupa bilangan real. Oleh karena itu model fungsi alih yang dipilih untuk menggambarkan respons dinamik kemurnian *2-*

ethylhexanol terhadap perubahan beban reboiler adalah FOPDT dan SOPDT. Hasil regresi kedua model ini ditampilkan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Regresi Fungsi Alih Fraksi *2-ethylhexanol* Terhadap Beban Reboiler

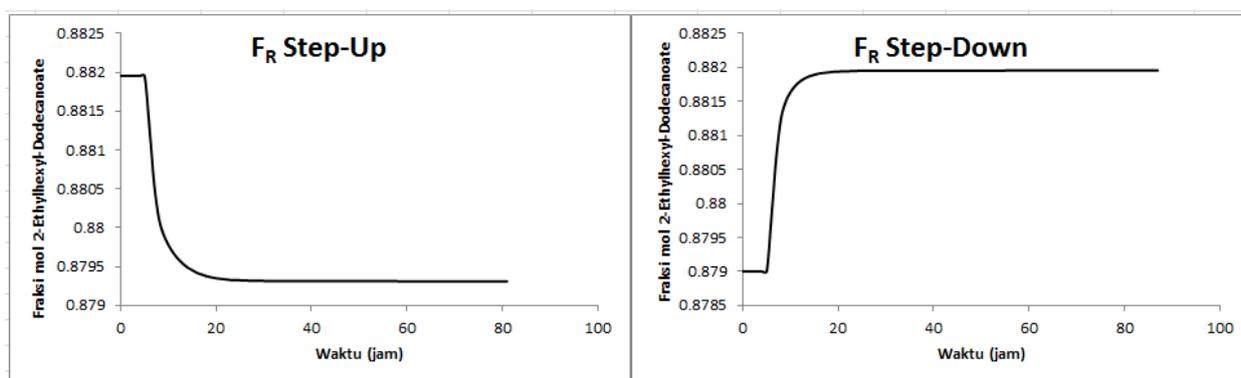
Q Reboiler Step-Up				Q Reboiler Step-Down			
FOPDT		SOPDT		FOPDT		SOPDT	
K_p	-0.0531	K_p	0.053	K_p	-0.0505	K_p	-0.0505
τ_{p1}	6.27	τ_{p1}	0.1	τ_{p1}	5.19	τ_{p1}	0.1
τ_{p2}	-	τ_{p2}	6.2	τ_{p2}	-	τ_{p2}	5.17
θ_p	0.9357	θ_p	0.8796	θ_p	0.9373	θ_p	0.8463
τ_L	-	τ_L	-	τ_L	-	τ_L	-
R^2	0.9997	R^2	0.9996	R^2	0.9999	R^2	0.9999

Dilihat dari nilai R^2 -nya, kedua model sama-sama baik dalam menggambarkan respons dinamik kemurnian *2-ethylhexanol* terhadap perubahan beban reboiler. Adanya perbedaan nilai-nilai parameter fungsi alih yang didapat pada saat beban reboiler di-*step-up* dan di-*step-down* menunjukkan bahwa respons yang didapat tidak linear.

Nilai *gain* pada fungsi alih kemurnian *2-ethylhexyl dodecanoate* lebih besar dibanding nilai *gain* pada fungsi alih kemurnian *2-ethylhexanol*, sedangkan nilai *time constant*-nya lebih kecil. Hal ini berarti respons kemurnian *2-ethylhexyl dodecanoate* terhadap perubahan beban reboiler lebih sensitif (semakin besar *gain* semakin sensitif) dan responsif (semakin kecil *time constant*, semakin responsif) daripada respons kemurnian *2-ethylhexanol*. Peristiwa ini sangat wajar, mengingat *2-ethylhexyl dodecanoate* merupakan produk bawah yang bersinggungan langsung dengan reboiler, sementara *2-ethylhexanol* adalah produk keluaran dekanter, sehingga memerlukan waktu yang lebih lama untuk merespons perubahan beban reboiler.

Simulasi Dinamik Perubahan Laju Massa Refluks

Kurva respons fraksi *2-ethylhexyl dodecanoate* terhadap laju massa refluks (F_R) sebesar 10% dapat dilihat pada Gambar 5, sedangkan respons fraksi *2-ethylhexanol* dapat dilihat di Gambar 6. Pada kurva respons terlihat kecenderungan data dimana kenaikan nilai F_R akan mengakibatkan penurunan kemurnian *2-ethylhexyl dodecanoate* yang didapat dan begitu juga sebaliknya. Hal ini terjadi karena semakin tinggi nilai F_R maka semakin banyak senyawa-senyawa yang lain yang dikembalikan ke dalam kolom, sehingga akan menurunkan kemurnian produk bawah. Sebaliknya, laju refluks yang semakin besar akan meningkatkan kualitas proses *enriching*, sehingga kemurnian produk atas (*2-ethylhexanol*) semakin tinggi.



Gambar 5. Kurva Respons Dinamik Fraksi *2-ethylhexyl dodecanoate* Terhadap Perubahan Laju Massa Refluks

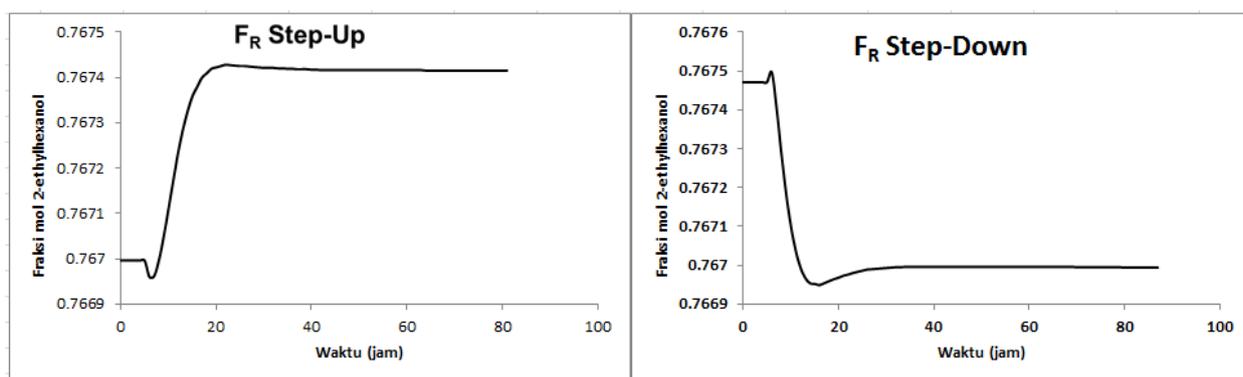
Kurva respons kemurnian *2-ethylhexyl dodecanoate* terhadap perubahan F_R mengikuti bentuk FOPDT atau SOPDT dengan *poles* berupa bilangan real. Oleh karena itu model fungsi alih yang dipilih untuk menggambarkan respons kemurnian *2-ethylhexyl dodecanoate* terhadap perubahan F_R adalah FOPDT dan SOPDT. Hasil regresi kedua model ini ditampilkan dalam Tabel 9.

Dilihat dari nilai R^2 -nya, kedua model sama-sama baik dalam menggambarkan respons kemurnian *2-ethylhexyl dodecanoate* terhadap perubahan F_R . Adanya perbedaan nilai *time constant* dan *dead time* pada fungsi alih yang didapat pada saat F_R di-*step-up* dan di-*step-down* menunjukkan bahwa respons yang didapat tidak linear.

Tabel 9. Hasil Regresi Fungsi Alih Fraksi 2-ethylhexyl dodecanoate Terhadap Laju Massa Refluks

F _R Step-Up				F _R Step-Down			
FOPDT		SOPDT		FOPDT		SOPDT	
K _p	-1.12	K _p	-1.12	K _p	-1.13	K _p	-1.13
τ _{p1}	2.49	τ _{p1}	0.1	τ _{p1}	1.81	τ _{p1}	0.1
τ _{p2}	-	τ _{p2}	2.62	τ _{p2}	-	τ _{p2}	1.88
θ _p	0.7983	θ _p	0.5627	θ _p	0.9857	θ _p	0.7733
τ _L	-	τ _L	-	τ _L	-	τ _L	-
R ²	0.9981	R ²	0.9978	R ²	0.9996	R ²	0.9992

Kurva respons kemurnian 2-ethylhexanol terhadap perubahan F_R mengikuti bentuk fungsi alih yang memiliki zeros atau memiliki poles berupa bilangan imajiner. Oleh karena itu model fungsi alih yang dipilih untuk menggambarkan respons kemurnian 2-ethylhexanol terhadap perubahan F_R adalah SOPDT-L dan SOPDT-U. Hasil regresi kedua model ini ditampilkan dalam Tabel 10.



Gambar 5. Kurva Respons Dinamik Fraksi 2-ethylhexanol Terhadap Perubahan Laju Massa Refluks

Dilihat dari nilai R²-nya, kedua model sama-sama baik dalam menggambarkan respons kemurnian 2-ethylhexanol terhadap perubahan F_R. Adanya perbedaan nilai parameter-parameter fungsi alih yang didapat pada saat F_R di-step-up dan di-step-down menunjukkan ketidak-linearitas sistem.

Tabel 10. Hasil Regresi Fungsi Alih Fraksi 2-ethylhexanol Terhadap Laju Massa Refluks

F _R Step-Up				F _R Step-Down			
SOPDT-L		SOPDT-U		SOPDT-L		SOPDT-U	
K _p	0.1778	K _p	0.1789	K _p	0.1815	K _p	0.1832
τ _{p1}	5.88	τ _p	2.59	τ _{p1}	4.17	τ _p	2
τ _{p2}	5.88	ζ	0.7123	τ _{p2}	4.17	ζ	0.4996
θ _p	4.37	θ _p	3.62	θ _p	7.63	θ _p	1.91
τ _L	9.21	τ _L	-	τ _L	2.46	τ _L	-
R ²	0.9979	R ²	0.9983	R ²	0.9989	R ²	0.9973

Nilai gain pada fungsi alih kemurnian 2-ethylhexyl dodecanoate lebih besar dibanding nilai gain pada fungsi alih kemurnian 2-ethylhexanol, sedangkan nilai time constant-nya lebih kecil. Hal ini berarti respons kemurnian 2-ethylhexyl dodecanoate terhadap perubahan F_R lebih sensitif dan responsif daripada respons kemurnian 2-ethylhexanol. Hal ini mungkin disebabkan karena 2-ethylhexyl dodecanoate merupakan produk bawah kolom RD, sementara 2-ethylhexanol adalah produk keluaran dekanter. Perubahan refluks akan lebih "terasa" di kolom RD itu sendiri dibandingkan di dekanter.



Kesimpulan

1. Respons kemurnian *2-ethylhexyl dodecanoate* terhadap perubahan beban reboiler dapat didekati dengan model fungsi alih SOPDT-L.
2. Respons kemurnian *2-ethylhexyl dodecanoate* terhadap perubahan laju massa refluks dapat didekati dengan model fungsi alih FOPDT ataupun SOPDT.
3. Respons kemurnian *2-ethylhexanol* terhadap perubahan beban reboiler dapat didekati dengan model fungsi alih FOPDT ataupun SOPDT.
4. Respons kemurnian *2-ethylhexanol* terhadap perubahan laju massa refluks dapat didekati dengan model fungsi alih SOPDT-L ataupun SOPDT-U.
5. Respons kemurnian *2-ethylhexyl dodecanoate* lebih sensitif dan responsif dibandingkan respons kemurnian *2-ethylhexanol* baik untuk perubahan beban reboiler maupun perubahan laju massa refluks.

Daftar Notasi

ξ = *damping factor*

θ_p = *dead time*

τ_L = *lead time*

K_p = *process gain*

τ_p = *time constant*

A = konstanta Arrhenius

Ea = energi aktivasi

Daftar Pustaka

- A. Market, "Global Fatty Acid Esters Market Revenue Expected To Grow At a CAGR Of 4.0% From 2015 To 2022: Acute Market Reports," 2016.
- Babatunde A. Ogunnaike, W. Harmon Ray, Process Dynamics, Modeling, and Control, Oxford University Press, Inc, 1994.
- Costin Bildea, Florin Omota, Alexandre Dimian, Alfred Bliet, "Dynamics and Control of a Reactive Distillation Process for Fatty Acid Esterification".
- Dale E. Seborg, Thomas F. Edgar, Duncan A. Mellichamp, Process Dynamics and Control, John Wiley & Sons, Inc, 2004.
- F. Omota, A. C. Dimian, A. Bliet, "Fatty Acid Esterification by Reactive Distillation: Part 2—Kinetics-Based Design for Sulphated Zirconia Catalysts," *Chemical Engineering Science* 58, p. 3175 – 3185, 2003.
- Florin Omota, Alexandre C. Dimian, Alfred Bliet, "Fatty Acid Esterification by Reactive Distillation. Part1: Equilibrium-based Design," *Chemical Engineering Science* 58, p. 3159 – 3174, 2003.
- G. J. Harmsen, "Reactive Distillation: The Front-Runner of Industrial Process Intensification. A Full Review of Commercial Applications, Research, Scale-up, Design and Operation," *Chemical Engineering and Processing* 46, pp. 774-780, 2007.
- Guilherme Duenhas Machado, Donato A. G. Aranda, Marcelo Castier, Vladimir Ferreira Cabral, and Lucio Cardozo-Filho, "Computer Simulation of Fatty Acid Esterification in Reactive Distillation Columns," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2011.
- J.C.J Bart, N Palmeri, S Cavallaro, Biodiesel Science and Technology: From Soil to Oil, Woodhead, 2010.
- R. E. Treybal, Mass-Transfer Operations, McGraw-Hill International Editions, 1981.
- R. Taylor, R. Krishna, "Modelling Reactive Distillation," *Chemical Engineering Science* 55, pp. 5183-5229, 2000.
- T. E. Marlin, Process control: Designing processes and control systems for dynamic performance, McGraw-Hill, 2000.
- William L. Luyben, Cheng-Ching Yu, Reactive Distillation Design and Control, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2008.

