

## Simulasi *Steady State* dan *Dynamic* pada Kolom *De-isobutanizer* dengan Penambahan *Invers Decoupling* pada Sistem *Closedloop*

**Zahrotul Azizah**

Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo, Sidoarjo, Indonesia  
azizah.tkm@unusida.ac.id, zahrotul.azz@gmail.com

### OPEN ACCESS

**Citation:** Zahrotul Azizah. 2021. Simulasi *Steady State* dan *Dynamic* pada Kolom *De-isobutanizer* dengan Penambahan *Invers Decoupling* pada Sistem *Closedloop*. *Journal of Research and Technology* Vol VII (2021): Page 9–22.

### Abstract

*Degenerative Control in the Multi Input Multi Output (MIMO) system is an important topic of process control in industry. The interaction between variables in the process becomes a challenge in designing controllers for MIMO systems. Unwanted interactions cause reduced system performance which results in waste. The addition of inverse decoupling is a new strategy in reducing interactions in the process. The proposed strategy was tested on a de-isobutanizer distillation column. The results obtained were that the IAE value in the inverse decoupling added to the 2DoF IMC structure using the Mp-GM tuning method was smaller than the 2DoF IMC structure without inverse decoupling. This structure could reduce the interaction between variables in the MIMO 2×2 process.*

**Keywords:** *De-isobutanizer, Interaction, Inverse Decoupling.*

### Abstrak

*Pengendalian pada sistem Multi Input Multi Output (MIMO) menjadi topik penting pada proses pengendalian di industri. Adanya interaksi antar variabel pada proses menjadi tantangan dalam mendesain pengendali untuk sistem MIMO. Interaksi yang tidak diinginkan menyebabkan performa sistem berkurang yang mengakibatkan pemborosan. Penambahan invers decoupling merupakan strategi baru dalam mengurangi interaksi pada proses. Strategi yang diusulkan diuji pada kolom distilasi de-isobutanizer. Hasil yang didapatkan yaitu nilai IAE pada invers decoupling yang ditambahkan pada struktur 2DoF IMC, dengan menggunakan metode tuning Mp-GM lebih kecil dibandingkan struktur 2DoF IMC tanpa invers decoupling. Struktur ini mampu mengurangi interaksi antar variabel pada proses MIMO 2×2.*

**Kata Kunci:** *De-isobutanizer, Interaksi, Invers Decoupling.*

## 1. Pendahuluan

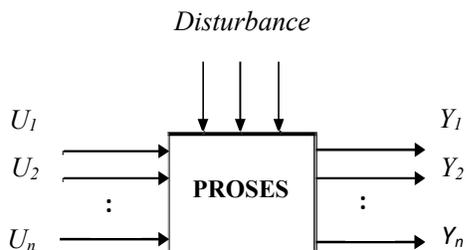
Industri kimia terdiri dari banyak variabel proses yang saling terhubung antara variabel satu dan lainnya. Interaksi antar variabel merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi oleh proses di industri, sedangkan proses dituntut dapat berjalan sesuai target agar produk dapat diterima konsumen. Pengendali handal sangat dibutuhkan untuk mengatasi masalah tersebut. Banyak metode yang telah dikembangkan untuk mengatasi masalah interaksi diantaranya adalah metode *decoupling*. Metode *decoupling* merupakan metode untuk menghilangkan interaksi antar variabel pada sistem MIMO, sehingga sistem bekerja seolah-olah sebagaimana sistem *Single Input Single Output* (SISO) (Bharathi & Selvakumar, 2012).

Sutikno et al. (2019) menggunakan 2DoF IMC dengan penambahan invers *decoupling* yang diujikan pada struktur MIMO 2×2 *Wood&Berry* dan *Wardle&Wood*. Hasil yang didapatkan mampu mengurangi interaksi secara signifikan. Azizah et al. (2020) menambahkan invers *decoupling* pada struktur pengendali 1DoF IMC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *Integral Absolute Error* (IAE) yang dihasilkan pada penambahan invers *decoupling* lebih kecil daripada tanpa penambahan invers *decoupling*.

Kehandalan pengendali selanjutnya diujikan pada proses yang ada di lapangan. Luyben (2013) mengemukakan strategi baru berupa penambahan kondensor kedua pada kolom distilasi. Distilasi *de-isobutanizer* dipakai untuk membuktikan bahwa pemakaian kondensor ganda mampu memberikan keuntungan dari segi ekonomi. Beban kondensor dan beban *reboiler* menjadi lebih kecil daripada kondensor tunggal sehingga *capital investment*, *total energy cost*, dan *total annual cost* menjadi lebih rendah.

Pada penelitian ini, simulasi proses menggunakan kolom *de-isobutanizer* yang dikemukakan oleh Luyben (2013). Skema pengendalian berupa penambahan invers *decoupling* pada struktur 2DoF IMC. *Tuning* parameter pengendali menggunakan metode Mp-GM (Sutikno et al., 2013). Skema tersebut diaplikasikan pada bagian *composition control* 1 dan 2, sehingga membentuk sistem MIMO 2×2.

Sistem pengendali yang memiliki lebih dari satu variabel yang dikendalikan atau Y dan variabel yang dimanipulasi atau U dapat dikatakan sebagai sistem *Multi Input Multi Output* (MIMO). Secara umum, perubahan yang terjadi pada variabel yang dimanipulasi, misal pada  $U_1$ , akan berpengaruh pada semua variabel yang dikendalikan ( $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ ) (Seborg et al., 2011). Contoh skema pada Gambar 1 yang mewakili sistem MIMO 2×2 yaitu memiliki dua variabel yang dikendalikan ( $Y_1$  dan  $Y_2$ ) dan dua variabel yang dimanipulasi ( $U_1$  dan  $U_2$ ).



Sumber: Seborg, 2011

Gambar 1. Proses MIMO

Berdasarkan skema yang ditampilkan pada Gambar 1, proses memiliki empat transfer fungsi pada Persamaan 1-4:

$$G_{11}(s) = \frac{Y_1(s)}{U_1(s)} \quad (1)$$

$$G_{21}(s) = \frac{Y_2(s)}{U_1(s)} \quad (3)$$

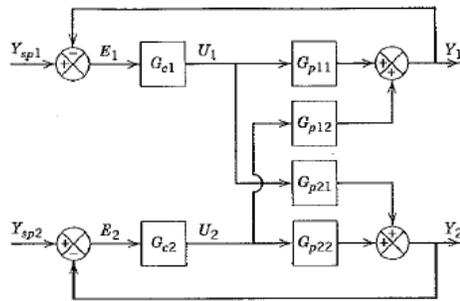
$$G_{12}(s) = \frac{Y_1(s)}{U_2(s)} \quad (2)$$

$$G_{22}(s) = \frac{Y_2(s)}{U_2(s)} \quad (4)$$

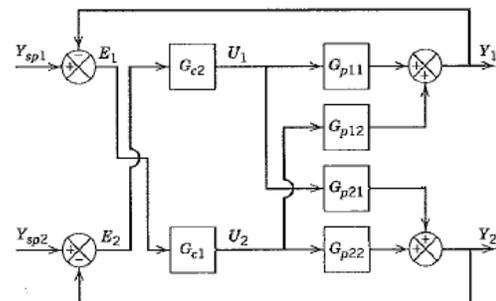
Apabila diubah ke dalam bentuk matriks menjadi:

$$\begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Pada sistem MIMO  $2 \times 2$ , terdapat dua alternatif pasangan (*pairing*) antara variabel yang dimanipulasi dan variabel yang dikendalikan yaitu *pairing* 11 dan 22 serta 12 dan 21.



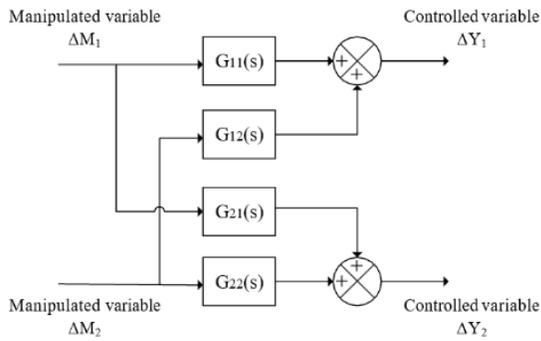
Sumber: Seborg, 2011  
Gambar 2. *Pairing* 11 dan 22



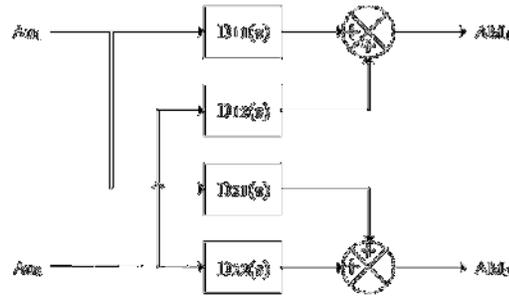
Sumber: Seborg, 2011  
Gambar 3. *Pairing* 12 dan 21

Pada Gambar 2, apabila  $Y_1$  menyimpang dari  $Y_{sp1}$ , aksi korektif akan dilakukan oleh pengendali  $G_{c1}$  dengan cara mengatur  $U_1$  sehingga  $Y_1$  akan kembali ke  $Y_{sp1}$ . Namun demikian aksi tersebut menyebabkan  $U_1$  mempengaruhi  $Y_2$  (karena melewati  $G_{p21}$ ) yang menyebabkan  $Y_2$  menyimpang dari  $Y_{sp2}$ . Aksi korektif akan dilakukan pengendali  $G_{c2}$  dengan cara mengatur  $U_2$  agar  $Y_2$  kembali ke  $Y_{sp2}$ . Aksi tersebut juga menyebabkan  $U_2$  mempengaruhi  $Y_1$  (karena melewati  $G_{p12}$ ) yang menyebabkan  $Y_1$  menyimpang dari  $Y_{sp1}$ . Begitu seterusnya sampai *steady state* tercapai.

Pada Gambar 3, apabila  $Y_1$  menyimpang dari  $Y_{sp2}$ , aksi korektif akan dilakukan oleh pengendali  $G_{c2}$  dengan cara mengatur  $U_1$  sehingga  $Y_1$  akan kembali ke  $Y_{sp2}$ . Namun demikian aksi tersebut menyebabkan  $U_1$  mempengaruhi  $Y_2$  (karena melewati  $G_{p21}$ ) yang menyebabkan  $Y_2$  menyimpang dari  $Y_{sp1}$ . Aksi korektif akan dilakukan pengendali  $G_{c1}$  dengan cara mengatur  $U_2$  agar  $Y_2$  kembali ke  $Y_{sp1}$ . Aksi tersebut juga menyebabkan  $U_2$  mempengaruhi  $Y_1$  (karena melewati  $G_{p12}$ ) yang menyebabkan  $Y_1$  menyimpang dari  $Y_{sp2}$ . Begitu seterusnya sampai *steady state* tercapai.



Sumber: Bharathi & Selvakumar, 2012  
Gambar 4. Blok Diagram Sistem MIMO 2×2



Sumber: Bharathi & Selvakumar, 2012  
Gambar 5. Blok Diagram Decoupling 2×2

Berdasarkan Gambar 4, sistem interaksi yang terjadi dapat ditulis pada Persamaan 6 dan 7:

$$\Delta Y_1(s) = G_{11}(s)\Delta M_1(s) + G_{12}(s)\Delta M_2(s) \tag{6}$$

$$\Delta Y_2(s) = G_{21}(s)\Delta M_1(s) + G_{22}(s)\Delta M_2(s) \tag{7}$$

Pada Gambar 5,  $\Delta u_1$  dan  $\Delta u_2$  (variabel manipulasi fiktif) merupakan input *decoupling*, dan  $\Delta M_1$  dan  $\Delta M_2$  (variabel manipulasi nyata) merupakan *output*.

Pada Gambar 5, persamaan *decoupling* dapat ditulis pada Persamaan 8 dan 9:

$$\Delta M_1(s) = D_{11}(s)\Delta u_1(s) + D_{12}(s)\Delta u_2(s) \tag{8}$$

$$\Delta M_2(s) = D_{21}(s)\Delta u_1(s) + D_{22}(s)\Delta u_2(s) \tag{9}$$

Dalam merancang *decoupling*, diasumsikan  $D_{11}(s) = D_{22}(s) = 1$ , dengan demikian persamaan *decoupling* dapat ditulis pada Persamaan 10 dan 11:

$$\Delta M_1(s) = \Delta u_1(s) + D_{12}(s)\Delta u_2(s) \tag{10}$$

$$\Delta M_2(s) = D_{21}(s)\Delta u_1(s) + \Delta u_2(s) \tag{11}$$

Substitusi persamaan (10) dan (11) ke Persamaan 6 dan 7 menjadi Persamaan 12 dan 13:

$$\Delta Y_1(s) = (G_{11} + G_{12}D_{21})\Delta u_1 + (G_{11}D_{12} + G_{12})\Delta u_2 \tag{12}$$

$$\Delta Y_2(s) = (G_{21} + G_{22}D_{21})\Delta u_1 + (G_{21}D_{12} + G_{22})\Delta u_2 \tag{13}$$

Pada *decoupling*,  $\Delta u_1$  akan mempengaruhi  $\Delta Y_1$  dan  $\Delta u_2$  akan mempengaruhi  $\Delta Y_2$ , sehingga persamaan *decoupling* dapat ditulis pada Persamaan 14 dan 15:

$$D_{12} = -\frac{G_{12}(s)}{G_{11}(s)} \tag{14} \quad D_{21} = -\frac{G_{21}(s)}{G_{22}(s)} \tag{15}$$

Persamaan 14 dan 15 merupakan persamaan *decoupling* untuk sistem MIMO 2x2.

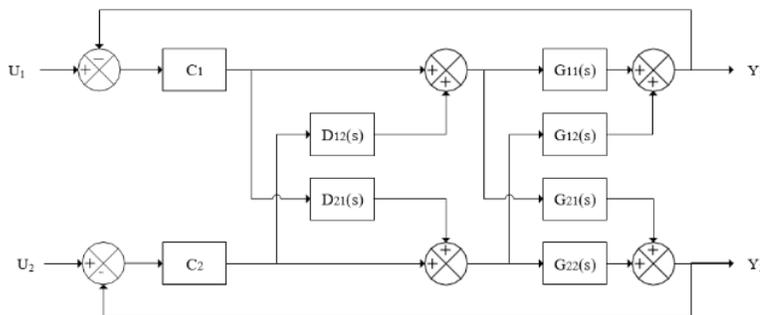
Elemen *decoupling* tidak dapat terealisasi bila ditemukan bentuk  $e^{+\theta s}$  pada transfer fungsi dimana  $\theta > 0$ .

Terdapat beberapa konfigurasi agar elemen *decoupling* dapat terealisasi (Wade, 1997):

1. Jika  $\theta_{11} \leq \theta_{12}$  dan  $\theta_{22} \leq \theta_{21}$  maka  $G_{12}/G_{11}$  dan  $G_{21}/G_{22}$  disebut *realizable*.
2. Jika  $\theta_{11} \geq \theta_{12}$  dan  $\theta_{22} \geq \theta_{21}$  maka  $G_{12}/G_{11}$  dan  $G_{21}/G_{22}$  disebut *non realizable*, selanjutnya diubah ke bentuk invers menjadi  $G_{11}/G_{12}$  dan  $G_{22}/G_{21}$ , dengan demikian akan menjadi *realizable*.
3. Jika  $\theta_{11} = \theta_{12}$  dan  $\theta_{22} = \theta_{21}$  maka *pairing* dari kedua elemen adalah  $[(G_{12}/G_{11}), (G_{21}/G_{22})]$  dan  $[(G_{11}/G_{12}), (G_{22}/G_{21})]$  disebut *realizable*.
4. Jika tidak ada elemen satupun yang *realizable* pada masing-masing *pairing*  $[(G_{12}/G_{11}), (G_{21}/G_{22})]$  dan  $[(G_{11}/G_{12}), (G_{22}/G_{21})]$  maka menambahkan *time delay* pada konfigurasi *decoupling*.

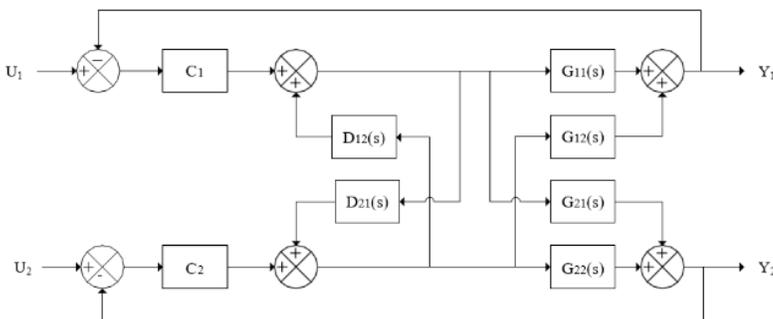
Terdapat contoh: Jika  $\theta_{11} > \theta_{12}$  dan  $\theta_{21} > \theta_{22}$  maka *pairing*  $G_{12}/G_{11}$  dan  $G_{21}/G_{22}$  disebut *non realizable*. Hasil pengurangan *time delay* pada  $\theta_{11} - \theta_{12}$  lebih kecil dari  $\theta_{21} - \theta_{22}$  maka *pairing*  $G_{21}/G_{22}$  semakin *non realizable* daripada *pairing*  $G_{12}/G_{11}$ , dengan demikian *time delay* ditambahkan secara seri dengan  $G_{11}$  dengan  $\theta_x = \theta_{11} - \theta_{12}$ .

Blok diagram struktur *decoupling* pada Gambar 6.



Gambar 6. Blok Diagram *Decoupling*

Gambar 7 merupakan invers *decoupling* yang menjadi alternatif struktur *decoupling* yang lain yaitu struktur *decoupling* yang dibalik.



Gambar 7. Blok Diagram Invers *Decoupling*

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Simulasi *Steady State*

Simulasi *steady state* merupakan tahap awal memulai simulasi yang ditandai dengan sistem telah stabil sebelum diberi *disturbance* pada proses. Terdapat beberapa tahap pada simulasi *steady state*, yaitu:

1. Menginputkan komponen.
2. Menginputkan *property* termodinamika.
3. Membuat *flowsheet*.
4. Menginputkan kondisi operasi dan komposisi aliran.
5. Menjalankan program yang sudah dibuat.
6. Melakukan validasi hasil dengan literatur.

### 2.2 *Sizing* Alat

*Sizing* alat bertujuan menambahkan spesifikasi pada peralatan utama sebagai syarat untuk dapat masuk ke *dynamic mode*. Tahap *sizing* alat yaitu:

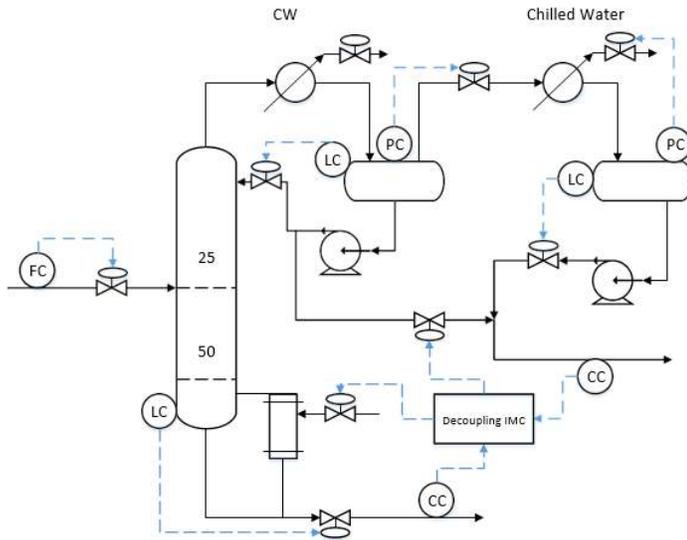
1. Mengubah simulasi ke *dynamic mode*.
2. Menginputkan data-data *sizing* khususnya pada alat utama.

### 2.3 Perendaman Umbi Porang dengan Variasi Suhu Larutan Perendam

Pada simulasi *dynamic*, semua pengendali dipasang dan selanjutnya dilakukan *tuning* pengendali untuk mendapatkan parameter pengendali yang sesuai. Tahap-tahap simulasi *dynamic*:

1. Melakukan pengaktifan pada *pressure checker*.
2. Memilih *Pressure Driven*.
3. Menyimpan file baru dengan mode *dynamic*.
4. Pada tampilan file mode *dynamic*, pengendali tekanan 1 dan 2 secara *default* telah terpasang. Pengendali lain diinputkan pada proses dengan rincian:
  - a. *Flow control*: mengendalikan *flow* yang masuk
  - b. *Level control 1*: mengendalikan *base level*
  - c. *Level control 2*: mengendalikan level pada *flash drum 1*
  - d. *Level control 3*: mengendalikan level pada *flash drum 2*
  - e. *Pressure control 1*: mengendalikan tekanan pada *flash drum 1*
  - f. *Pressure control 2*: mengendalikan tekanan pada *flash drum 2*
  - g. *Composition control 1*: mengendalikan n-butana pada *top product*
  - h. *Composition control 2*: mengendalikan isobutana pada *bottom product*.
5. Melakukan *tuning* pengendali.
6. Menjalankan program dan analisa hasil simulasi.

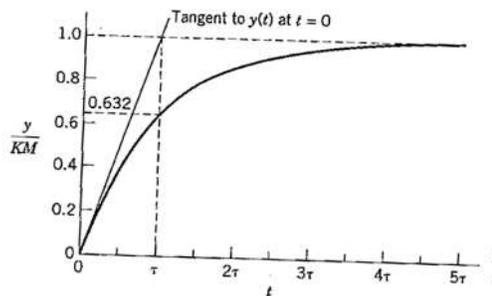
Skema pengendalian pada kolom distilasi *de-isobutanizer* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema Pengendalian pada Kolom Distilasi *de-isobutanizer*

## 2.4 Identifikasi Transfer Fungsi

Identifikasi transfer fungsi menggunakan *step test* pada saat proses telah *steady*, pengendali diubah ke mode manual kemudian diberi perubahan *step*.



Gambar 9. Respon *Step* pada Sistem Berorde Satu

*Time delay* perlu ditambahkan pada dinamika proses dengan orde lebih dari satu atau lebih tinggi sehingga kecocokan antara model dengan proses meningkat. Tahapan model *first order plus time delay* (FOPTD) apabila diberikan perubahan *step* yaitu:

1. *Gain* proses ( $K$ ) didapatkan dengan cara menghitung rasio perubahan *steady state* ( $y$ ) dengan perubahan *step* ( $M$ ).
2. Garis tangen terletak pada titik belok respon *step*. Titik potong garis tangen dan sumbu  $x(t)$  adalah *time delay* ( $\theta$ ).
3. Garis tangen memotong garis lurus respon *steady state* ( $y=KM$ ), maka titik potong yang tegak lurus dengan sumbu  $x$  adalah  $t = \theta + \tau$ . Sehingga nilai  $\tau = t - \theta$ .

## 2.5 Analisa Interaksi

Pada sistem MIMO 2×2, matriks *gain steady state* ditunjukkan pada Persamaan 16:

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \quad (16)$$

Bila R merupakan matriks transpose dari invers matriks *gain steady state* (K):

$$R = (K^{-1}) \quad (17)$$

Maka hasil perkalian tiap elemen dengan R adalah:

$$\lambda_{11} = \frac{1}{1 - \frac{K_{12}K_{21}}{K_{11}K_{22}}} \quad (18) \quad \lambda_{11} = \frac{K_{11}K_{22}}{K_{11}K_{22} - K_{12}K_{21}} \quad (19)$$

Pada hasil RGA, apabila nilai  $\lambda_{ij}$  mendekati 0, *manipulated variable* berpengaruh kecil terhadap *controlled variable*, sedangkan jika  $\lambda_{ij}$  mendekati 1, *manipulated variable* berpengaruh besar terhadap *controlled variable*. Hasil metode RGA yang dipilih adalah variabel yang menghasilkan harga elemen RGA mendekati 1 dan positif.

## 2.6 Setting Parameter Pengendali

Rumus yang digunakan untuk melakukan *setting* parameter pengendali, *Maximum Peak (Mp) tuning* (Hidayah et al., 2016):

$$\frac{Y_1}{Y_{sp1}} = \frac{G_{c1}G_{p11}}{1 + G_{c1}(G_{p11} - G_{pm11})} \quad (20) \quad \frac{Y_2}{Y_{sp2}} = \frac{G_{c2}G_{p22}}{1 + G_{c2}(G_{p22} - G_{pm22})} \quad (21)$$

$$\frac{Y_1}{Y_{sp1}} = \frac{G_{c1}G_{p11} + G_{c1}G_{c2}(G_{p11}G_{p22} - G_{p12}G_{p21})}{(1 + G_{c1}G_{p11})(1 + G_{c2}G_{p22}) - G_{c1}G_{c2}G_{p12}G_{p21}} \quad (22)$$

$$\frac{Y_2}{Y_{sp2}} = \frac{G_{c2}G_{p22} + G_{c1}G_{c2}(G_{p11}G_{p22} - G_{p12}G_{p21})}{(1 + G_{c2}G_{p22})(1 + G_{c1}G_{p11}) - G_{c1}G_{c2}G_{p12}G_{p21}} \quad (23)$$

*Gain Margin (GM) tuning* (Hidayah et al., 2016):

$$Gol_1 = G_{c11}G_{c12}(G_{p11} - G_{pm11}) \quad (24) \quad Gol_2 = G_{c21}G_{c22}(G_{p22} - G_{pm22}) \quad (25)$$

## 2.7 Simulasi Closedloop

Simulasi dijalankan setelah proses dipasang pengendali. Kemudian dilakukan analisa hasil respon.

## 2.8 Menghitung IAE

Rumus yang digunakan untuk menghitung *Integral Absolut Error (IAE)* yaitu:

$$IAE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (26)$$

### 3. Hasil dan Pembahasan

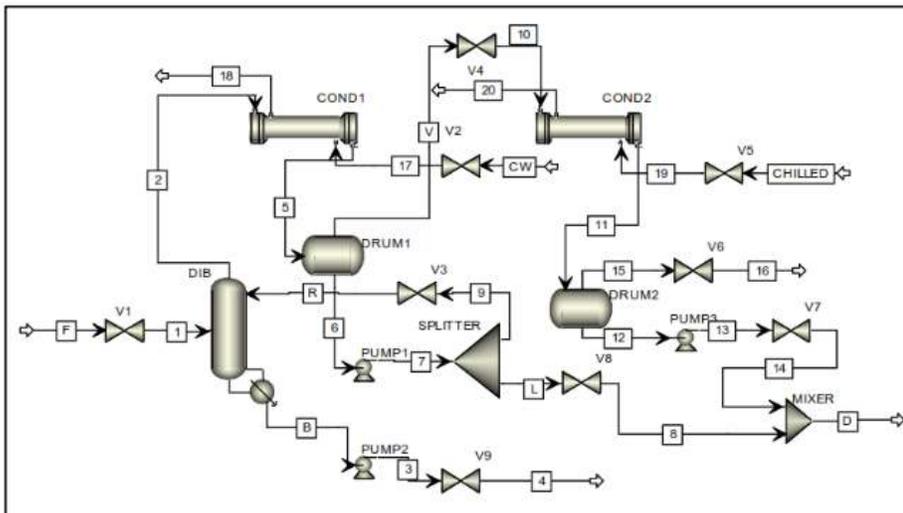
#### 3.1 Simulasi *Steady State*

Simulasi *steady state* bertujuan mengetahui kestabilan sistem sebelum diberi *disturbance* pada proses. Pada tahap awal simulasi, melakukan *input* komponen yang terdiri dari tiga senyawa kimia yaitu etana, isobutana, dan n-butana. *Property* termodinamika yang dipilih adalah *Chao-Seader*, karena hampir semua sistem hidrokarbon dapat tertangani oleh *Chao-Seader* (Luyben, 2013). *Property* termodinamika yang tepat akan menghasilkan simulasi yang sesuai dengan kondisi aktual.

Kondisi operasi pada kolom distilasi meliputi laju alir *feed* 500 kmol/jam, tekanan 6,8 atm, temperatur 322 K, refluks rasio sebesar 6,79 dengan komposisi aliran 2% mol etana, 49% mol isobutana, dan 49% mol n-butana.

Setelah alat maupun *stream* berwarna biru, artinya *input* data sudah lengkap, selanjutnya program dijalankan. Bila terdapat tanda seru berwarna kuning (*warning*) atau tanda silang berwarna merah (*error*) pada alat atau *stream*, maka perlu dilakukan pengecekan ulang pada alat atau *stream* tersebut. Pada Gambar 10, simulasi *steady state* kolom *de-isobutanizer* telah berhasil dijalankan.

Langkah selanjutnya yaitu validasi hasil simulasi *steady state*, hal ini penting untuk membandingkan hasil simulasi dan data desain di literatur. Hasil simulasi dan data desain ditampilkan pada Tabel 1, pada tabel tersebut *error* yang didapatkan maksimal hanya 2,4%.



Gambar 10. Simulasi *Steady State De-isobutanizer* dengan Kondensor Ganda

Tabel 1. Validasi Hasil Simulasi *Steady State*

Komponen	Data Desain	Hasil Simulasi	Error (%)
Laju Alir <i>Feed</i> (kmol/hr)	500	500	0
<b>Komposisi <i>feed</i> (fraksi mol)</b>			
etana	0,02	0,02	0
isobutana	0,49	0,49	0
n-butana	0,49	0,49	0
Laju alir produk atas (kmol/hr)	255	254,98	-0,01

Komponen	Data Desain	Hasil Simulasi	Error (%)
<b>Komposisi distilat (fraksi mol)</b>			
etana	0,039	0,038	-2,296
isobutana	0,913	0,914	0,113
n-butana	0,048	0,048	-0,191
Laju alir produk bawah (kmol/hr)	245	245,03	0,012
<b>Komposisi produk bawah (fraksi mol)</b>			
etana	0	2,96E-24	0
isobutana	0,05	0,0499	-0,0004
n-butana	0,95	0,95	0
Beban panas Kondensor 1 (MW)	9,378	9,467	0,949
Beban panas Kondensor 2 (MW)	0,419	0,429	2,387
Beban panas Reboiler (MW)	9,929	9,949	0,201
Refluk rasio	6,790	6,857	0,987

Sumber: Luyben, 2013

### 3.2 Sizing Alat

Sebelum masuk ke mode *dynamic*, terdapat langkah yang harus diselesaikan terlebih dahulu yaitu melakukan *sizing* alat. *Sizing* dilakukan pada alat utama yaitu *flash drum* 1 dan 2 serta kolom distilasi.

Pertama, waktu tinggal yang digunakan pada simulasi ini yaitu 10 menit. Selanjutnya berdasarkan hasil simulasi *steady state*, laju alir pada kolom distilasi sebesar 0,07 m<sup>3</sup>/s. Volume didapatkan dengan cara mengalikan laju alir dan waktu tinggal, sehingga diperoleh hasil:

$$V = 0,069 \frac{m^3}{detik} \times \frac{60 \text{ detik}}{1 \text{ menit}} \times 10 \text{ menit} = 41,64 \text{ m}^3 \quad (27)$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung L dan D:

$$V = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) L \quad (28)$$

Asumsi L = 2D, maka rumusnya menjadi:

$$V = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) 2D \quad (29)$$

Hal yang sama digunakan untuk menghitung diameter dan tinggi *flash drum* 1 dan 2. Tabel 2, menunjukkan hasil *sizing*.

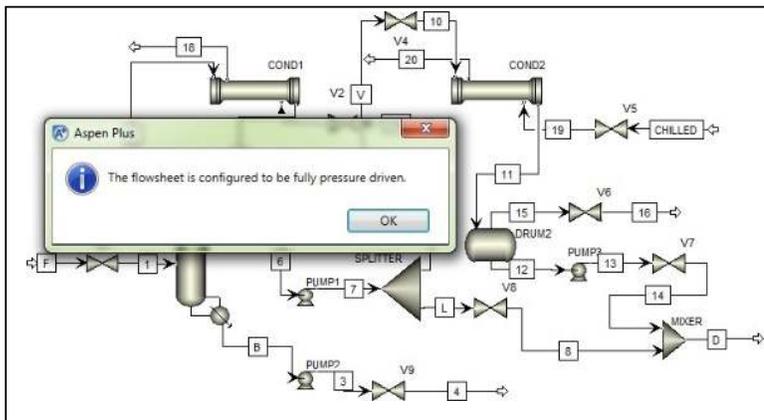
Tabel 2. Data Sizing Alat

Parameter	Data
Laju alir <i>base column</i> (m <sup>3</sup> /s)	0,07
L (m)	5,96
D (m)	2,98
Laju alir <i>Flash Drum</i> 1 (m <sup>3</sup> /s)	0,13

Parameter	Data
L (m)	7,42
D (m)	3,71
Laju alir <i>Flash Drum 2</i> (m <sup>3</sup> /s)	0,0029
L (m)	2,06
D(m)	1,03

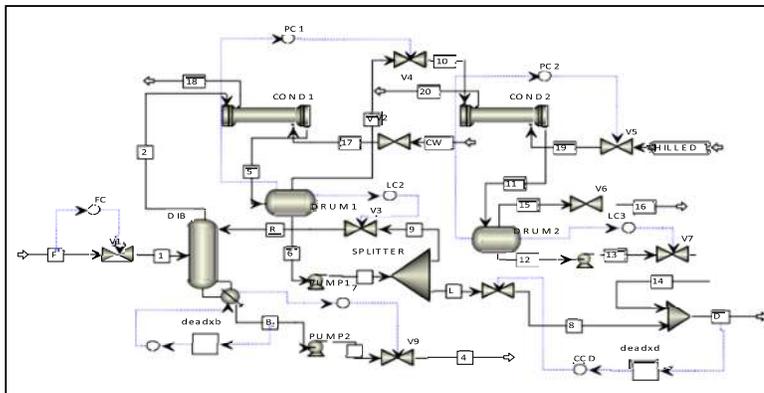
### 3.3 Simulasi *Dynamic*

Setelah *sizing* alat selesai dilakukan, dilanjutkan dengan melakukan pengaktifan pada *pressure checker* untuk mengecek tekanan pada masing-masing alat. Apabila tidak ada *error* maupun *warning* seperti pada Gambar 11, maka simulasi diekspor ke mode *dynamic*.



Gambar 11. Pengaktifan *Pressure Checker*

Selanjutnya Aspen akan membuat file baru berupa *Aspen Plus Dynamics* seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Simulasi *Aspen Plus Dynamic*

### 3.4 Transfer Fungsi

Tahap pengambilan transfer fungsi proses pada *aspen dynamic* dengan cara semua *mode* pengendali diubah menjadi *mode* manual artinya pengendali nonaktif. Selanjutnya *step* diberikan pada saat sistem telah berjalan selama satu jam. Transfer fungsi diambil dari proses

yang akan dikendalikan untuk selanjutnya dipasang *controller* dengan penambahan invers *decoupling*.

$$Gp = \begin{bmatrix} \frac{0,038e^{-3s}}{9,063s+1} & \frac{0,748e^{-16,8s}}{27,085s+1} \\ \frac{-0,057e^{-10,8s}}{134,764s+1} & \frac{-1,804e^{-9,5s}}{81,626s+1} \end{bmatrix} \quad (30)$$

Variabel yang dikendalikan adalah fraksi n-butana pada distilat dan fraksi isobutana pada produk bawah, sedangkan variabel yang dimanipulasi adalah laju alir distilat dari *flash drum* 1 dan *q-reboiler* sehingga menjadi sistem MIMO 2×2.

### 3.5 Analisa Interaksi

Adanya interaksi antar variabel proses mengakibatkan sulitnya mengendalikan proses tersebut sehingga perlu rekomendasi pasangan yang dapat mengurangi interaksi. Metode *Relative Gain Array* (RGA) dipilih untuk menganalisis interaksi pada proses. Hasil metode RGA yaitu pada Persamaan 31:

$$\begin{bmatrix} 2,7 & -1,7 \\ -1,7 & 2,7 \end{bmatrix} \quad (31)$$

Hasil RGA menunjukkan bahwa matriks 11 dan 22 menghasilkan angka positif dan lebih dari satu, sedangkan matriks 12 dan 21 menghasilkan angka negatif, sehingga pasangan yang digunakan adalah 11 dan 22, artinya fraksi distilat (variabel yang dikendalikan) dipasangkan dengan laju alir distilat dari *flash drum* 1 (variabel manipulasi), serta fraksi produk bawah dipasangkan dengan *q-reboiler*.

### 3.6 Parameter Pengendali

Cara mendapatkan parameter Mp didasarkan pada perhitungan nilai λ tanpa memperhitungkan adanya interaksi, kemudian hasil λ SISO dimasukkan untuk perhitungan λ MIMO dimana interaksi diperhitungkan. Tabel 3 merupakan hasil parameter menggunakan *tuning* Mp:

Tabel 3. Parameter Mp

Loop	λ tanpa interaksi (SISO)	λ dengan interaksi (MIMO)
1	4,04	5,36
2	14,64	18,81

Selanjutnya menghitung parameter *Gain Margin* (GM) yang didasarkan pada fungsi transfer *open loop* secara SISO. Hasil perhitungan parameter GM disajikan pada Tabel 4:

Tabel 4. Parameter GM

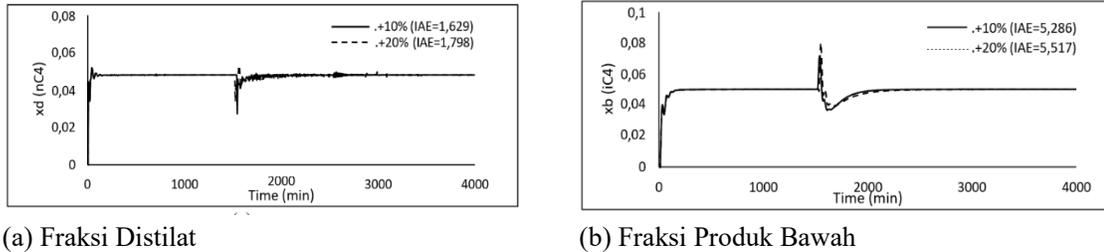
Loop	α	λ
1	1,89	4,83
2	41,49	16,93

Hasil perhitungan *decoupling* pada Persamaan 32 dan 33:

$$D_{12} = -19,67 \frac{9,063s+1}{27,085s+1} e^{-13,8s} \quad (32) \quad D_{21} = -0,032 \frac{81,626s+1}{134,764s+1} e^{-1,3s} \quad (33)$$

### 3.7 Hasil Simulasi

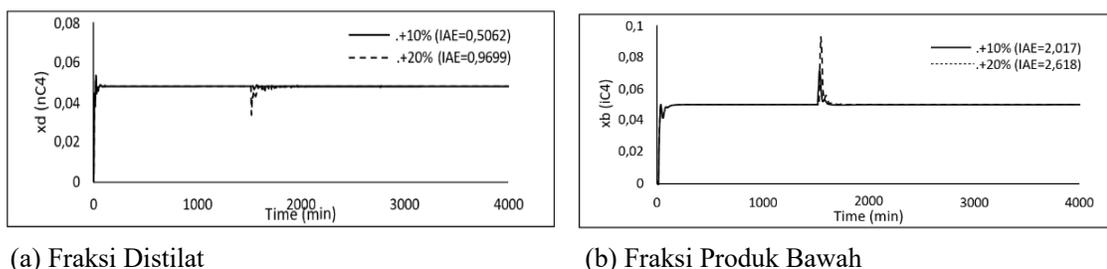
Simulasi dilakukan dengan memasukkan nilai parameter pengendali dan *decoupling* pada struktur *openloop* proses. Struktur *openloop* berubah menjadi *closedloop* setelah dipasang pengendali. Pada tahap awal, proses berjalan stabil dan *tracking setpoint* tercapai. Selanjutnya proses diberi *disturbance* pada komposisi etana di *feed*, yaitu penambahan sebesar 10% dan 20% untuk menguji kehandalan pengendali yang digunakan.



Gambar 13. Hasil Simulasi tanpa Invers *Decoupling*

Hasil simulasi *closedloop* menggunakan pengendali 2DoF IMC tanpa menggunakan *decoupling* ditunjukkan pada Gambar 13. Pemberian *step* dilakukan pada menit ke-1, terlihat di grafik bahwa proses dapat menuju *setpoint* 0,05 dan mencapai *steady state* nya. Selanjutnya diberi gangguan pada menit ke-1.500, hasil respon proses pada fraksi distilat dapat kembali ke *setpoint* pada menit  $\pm 3.000$  sedangkan hasil respon proses pada fraksi produk bawah dapat kembali ke *setpoint* pada menit  $\pm 2.500$ . Pada pemberian *disturbance* berupa penambahan komposisi etana di *feed* sebesar 10% menghasilkan nilai IAE lebih kecil dibandingkan penambahan 20%. Namun perbedaan nilai IAE kecil, artinya pengendali mampu mengatasi gangguan dengan baik.

Simulasi dilanjutkan dengan penambahan invers *decoupling* pada struktur *closedloop* dengan hasil ditunjukkan pada Gambar 14. Pemberian *step* dan gangguan sama seperti simulasi tanpa invers *decoupling*.



Gambar 14. Hasil Simulasi dengan Invers *Decoupling*

Hasil menunjukkan bahwa pada saat diberi gangguan, penambahan invers *decoupling* mampu mempercepat respon untuk kembali ke *setpoint* semula. Pada fraksi distilat maupun fraksi produk bawah, terlihat bahwa proses dapat kembali ke *setpoint* pada menit ke  $\pm 2.000$ .

Apabila dilihat dari nilai IAE secara keseluruhan pada kedua simulasi, pada simulasi tanpa invers *decoupling* menghasilkan IAE yang lebih besar daripada simulasi dengan invers *decoupling*. Nilai IAE yang besar menunjukkan pengendali tidak mampu bekerja maksimal sehingga area di bawah kurva besar. Semakin kecil nilai IAE, semakin handal pengendali tersebut dalam melakukan penolakan gangguan.

#### 4. Kesimpulan

Simulasi *steady state* dan *dynamic* pada distilasi *de-isobutanizer* dapat berjalan dengan baik. Strategi pengendalian diujikan pada MIMO 2×2 yaitu pada *composition control* 1 dan 2. Invers *decoupling* ditambahkan pada struktur 2DoF IMC dengan menggunakan metode *Tuning Mp-GM* dan menghasilkan nilai IAE lebih kecil daripada dengan struktur 2DoF IMC tanpa invers *decoupling*. Struktur ini mampu mengurangi interaksi antar variabel pada proses MIMO 2×2.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Azizah, Z., (2018). *Decoupling IMC Controller untuk Sistem MIMO (Case Study Pengendalian De-isobutanizer Dual Condenser)*. Master Thesis, Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Azizah, Z., Sutikno, J. P., Handogo, R., & Hikmadiyar, R. A. (2020). Inverted decoupling MIMO internal model control using Mp tuning. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 736(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/736/2/022101>.
- Bharathi, M., & Selvakumar, C. (2012). Interaction reducer for closed-loop control of multivariable systems. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 4(4), 1–15. <http://www.ijettjournal.org>.
- Hidayah, N., Juwari, & Handogo, R. (2016). Metode Tuning Maximum Peak–Gain Margin (Mp – GM) untuk Pengendali 2DOF Feedback. *Jurnal Sains dan Terapan Politeknik Hasnur*, 04(April), 840–847.
- Luyben, W. L. (2013). Chemical Engineering and Processing: Process Intensification Design and control of dual condensers in distillation columns. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, 74, 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2013.08.007>.
- Seborg, Edgar, Mellichamp, & Doyle. (2011). *Process Dynamics and Control* (3rd ed.). United States: John Wiley Sons.
- Sutikno, J. P., Aziz, B. A., Yee, C. S., & Mamat, R. (2013). A new tuning method for two-degree-of-freedom internal model control under parametric uncertainty. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 21(9), 1030–1037. [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(13\)60564-9](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(13)60564-9).
- Sutikno, J. P., Azizah, Z., Handogo, R., & Hikmadiyar, R. A. (2019). Inverted Decoupling 2DoF Internal Model Control for MIMO Processes. *International Journal of Technology*, 10(3), 502–511. <https://doi.org/https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i3.2922>.
- Wade, H. L. (1997). Inverted decoupling: a neglected technique. *ISA Transactions*, 36(1), 3–10. [https://doi.org/10.1016/S0019-0578\(97\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S0019-0578(97)00008-6).