

Pemodelan Kolom Distilasi Pabrik Petrokimia dengan Menggunakan *Distributed Control System*

Hafid S.N. Muzwar, Atindriyo K. Pamososuryo, dan Estiyanti Ekawati
Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung
Email: 1atindriyo.kusumo@students.itb.ac.id

Abstrak

Kolom distilasi merupakan unit proses industri yang sangat penting. Di dalamnya berlangsung pemisahan fisis dua jenis larutan yang berbeda volatilitasnya pada temperatur relatif tinggi dan tekanan rendah. Pada penelitian ini dibangun model matematis dan simulasi rangkaian dua kolom distilasi, yaitu deethanizer dan depropanizer pada pabrik olefin. Parameter proses ini didapatkan dari desain pabrik. Simulasi ini dibangun untuk menampilkan dinamika proses serta penjalaran fluktuasi antar nampai dari satu kolom ke kolom lainnya sehingga dapat digunakan untuk menentukan strategi *alarm management*.

Kata Kunci: kolom distilasi, pemodelan.

Abstract

Distillation column is an important industrial unit process. The column facilitates physical separation of two homogeneous liquids of different volatility at relatively high temperature and low pressure. This study developed mathematical and simulation program for a train of distillation columns in Olefin industry namely, deethanizer and depropanizer. The respective process parameter was based on plant design data. The simulation was developed to show process dynamics and the propagation of process fluctuations across trays and columns. The result facilitated the design of an alarm management system.

Keywords: distillation column, modeling

1 Pendahuluan

Industri proses merupakan industri yang mengolah bahan baku menjadi suatu produk dengan memanfaatkan proses-proses fisis dan kimiawi. Industri petrokimia adalah cabang dari industri proses yang menggunakan bahan baku olefin, minyak bumi, gas alam, dan sebagainya. Bahan baku tersebut diolah untuk menjadi produk dengan nilai ekonomis yang lebih tinggi.

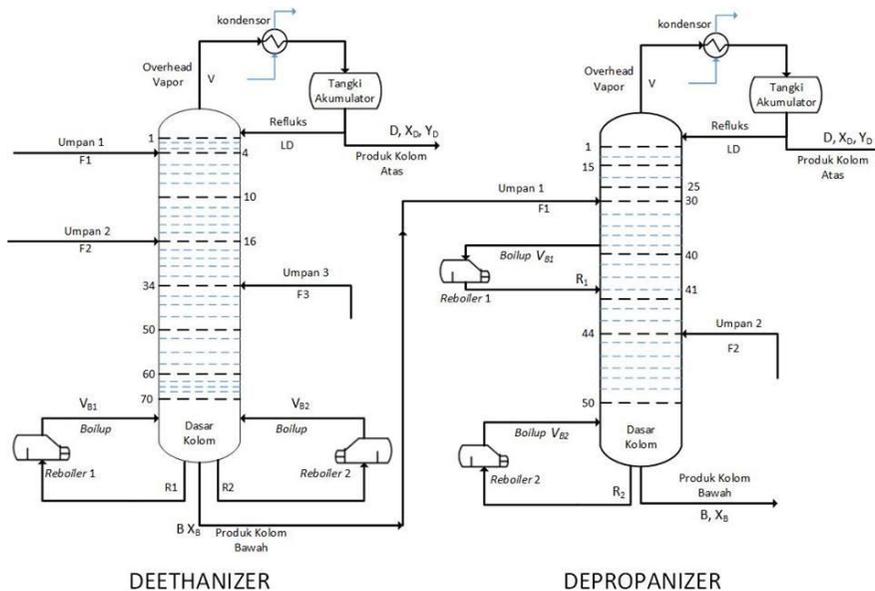
Proses distilasi merupakan proses yang sangat penting dalam industri petrokimia. Tujuan proses distilasi adalah untuk memisahkan komponen-komponen dari satu campuran seperti gas alam, menjadi komponen penyusunnya, seperti metana, etana, propana, butana, pentana, dan sebagainya. Komponen tersebut dipisahkan berdasarkan perbedaan volatilitas, yakni tingkat kemudahan suatu zat untuk menguap. Pada proses distilasi, proses pemisahan dilakukan bertingkat, bergantung pada produk yang akan dihasilkan [2]. Penelitian ini secara khusus menyajikan pemodelan kolom distilasi dengan menggunakan DCS. Penelitian ini memanfaatkan parameter-parameter fisis sistem kolom distilasi berdasarkan penelitian [2].

2 Proses Pemisahan dengan Kolom Distilasi Biner

Distilasi biner merupakan proses pemisahan secara fisika campuran homogen dua larutan yang berbeda menggunakan temperatur tinggi dan tekanan rendah sehingga terjadi penguapan berdasarkan perbedaan titik didih atau volatilitas komponen tersebut. Kemudian uap yang terbentuk diembunkan dalam kondensor. Di dalam kolom distilasi, komponen yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap, sedangkan komponen yang memiliki titik didih lebih tinggi akan tetap berfase cair. Komponen dengan titik lebih rendah dalam fase gas berakumulasi pada bagian atas kolom distilasi dan menuju kondensor. Komponen dalam fase cair menuju ke bagian bawah kolom menuju proses di unit selanjutnya.

3 Deskripsi Proses Kolom Deethanizer dan Depropanizer

Dalam industri petrokimia, kolom distilasi merupakan salah satu proses yang penting, karena berhubungan dengan produk industri tersebut. Pabrik-pabrik petrokimia dalam proses produksi umumnya menggunakan kolom distilasi bertingkat. Produk dari satu kolom distilasi akan dipergunakan sebagai umpan untuk kolom distilasi selanjutnya sehingga didapatkan pecahan-pecahan hidrokarbon dengan panjang rantai karbon tertentu yang diinginkan. Pada penelitian ini, kolom yang digunakan adalah kolom deethanizer dan depropanizer. Kedua kolom ini terletak bersusun di mana produk bawah kolom deethanizer berperan sebagai umpan pada kolom depropanizer. Ilustrasi susunan kolom deethanizer dan depropanizer pada pabrik petrokimia dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Kolom distilasi pada penelitian

3.1 Kolom Deethanizer

Kolom deethanizer merupakan kolom pemisah etana (C₂H₄) dari hidrokarbon lebih berat lainnya (C₃₊). Etana berperan sebagai komponen ringan (*light component*) dan hidrokarbon

yang lebih berat berperan sebagai komponen berat (*heavy component*). Kolom deethanizer memiliki tiga buah umpan berupa umpan pertama yang berasal dari *green oil effluent pump*, umpan kedua merupakan produk bawah kolom demetanizer, dan umpan ketiga berasal dari *dryer feed chiller*. Bagian bawah kolom deethanizer memiliki 70 buah nampan yang berfungsi untuk membantu proses pemisahan antara fase cair dan uap [2].

3.2 Kolom Depropanizer

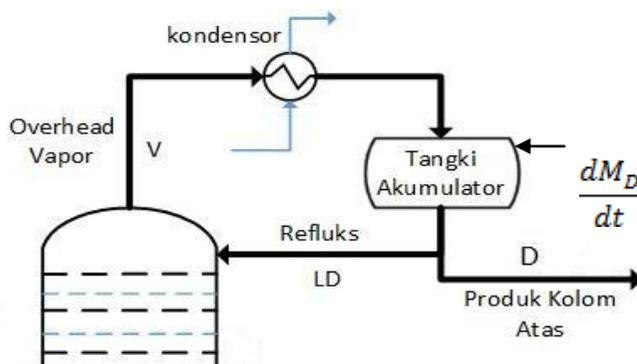
Kolom depropanizer bertugas untuk memisahkan komponen propana (C₃H₈) dari campuran umpan yang mengandung komponen berat lainnya (C₄₊). Untuk menjaga kestabilan suhu operasi di dalam kolom, kolom depropanizer ini menggunakan dua buah *reboiler* yang terdapat pada nampan ke-41 dan ke-50. Secara keseluruhan kolom depropanizer ini memiliki 50 buah nampan dan memiliki dua buah umpan. Umpan pertama berasal dari produk kolom deetanizer dan umpan kedua dari unit lainnya.

4 Pemodelan Distilasi

Pemodelan proses distilasi dilaksanakan menggunakan Persamaan kesetimbangan massa [3][4]. Pemodelan dinamika proses pada bagian-bagian utama kolom distilasi akan dijelaskan pada butir-butir berikut.

4.1 Tangki Akumulator

Uap yang mengalir menuju nampan paling atas disalurkan menuju kondenser (V₁) sehingga fasenya akan berubah menjadi cair secara keseluruhan. Produk yang berfase cair kemudian dibagi dua menjadi refluks (L_D) yang akan kembali kepada kolom distilasi dan distilat (D). Persaman perhitungan untuk akumulator adalah sebagai berikut:



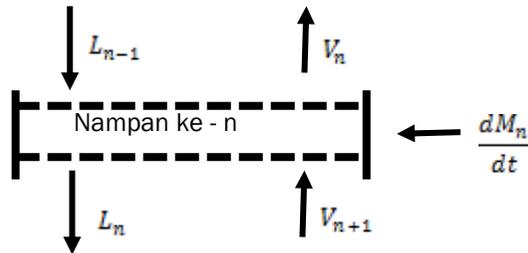
Gambar 2 Diagram kesetimbangan massa kolom distilasi pada nampan teratas dan akumulator

$$\frac{dM_D}{dt} = (V_1 - L_D - D) \tag{1}$$

$$\frac{dx_D}{dt} = \frac{(V_1 \cdot y_1 - L_D \cdot x_D - D \cdot x_D)}{M_D} \tag{2}$$

4.2 Nampan Selain Nampan Umpan

Pada setiap nampan selain nampan umpan, komponen berfase cair bergerak menuju bagian bawah kolom dan komponen berfase uap bergerak menuju bagian atas kolom. Persamaan perhitungan berdasarkan kesetimbangan massa yang digunakan sebagai berikut:



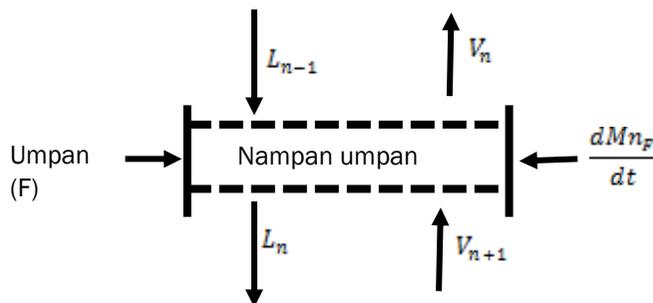
Gambar 3 Diagram kesetimbangan massa pada nampan selain nampan umpan

$$\frac{dM_n}{dt} = (L_{n-1} + V_{n+1} - L_n - V_n) \tag{3}$$

$$\frac{dx_n}{dt} = \frac{(L_{n-1}x_{n-1} + V_{n+1}y_{n+1} - L_nx_n - V_ny_n)}{M_n} \tag{4}$$

4.3 Nampan Umpan

Prinsip kesetimbangan massa yang berlaku pada nampan umpan sama dengan nampan selain umpan ditambah dengan masukan umpan. Persamaan yang diturunkan dapat dilihat sebagai berikut:



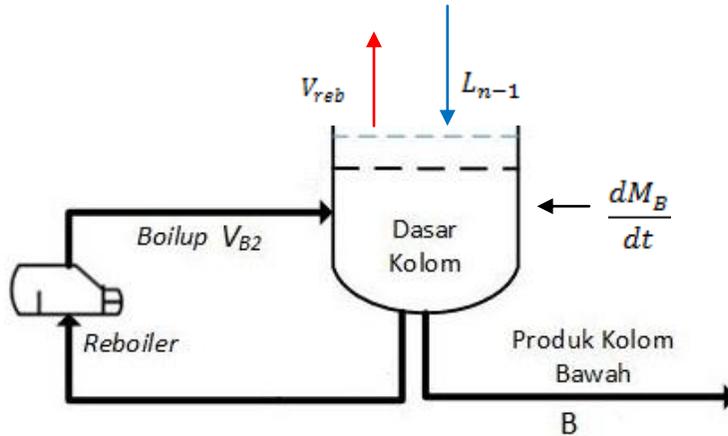
Gambar 4 Diagram kesetimbangan massa pada nampan ke-4, -16, dan -34 (Deethanizer), nampan ke-30 dan ke-44 (Depropanizer)

$$\frac{dM_{nF}}{dt} = (L_{n-1} + V_{n+1} - L_{nF} - V_{nF} + F \cdot Q_F) \tag{5}$$

$$\frac{dx_{nF}}{dt} = \frac{=(L_{n-1}x_{n-1}+V_{n+1}y_{n+1}-L_{nF}x_{nF}-V_{nF}y_{nF}+F_QF x_F)}{M_{nF}} \tag{6}$$

4.4 Bagian Bawah Kolom

Pada nampan terbawah kolom distilasi terdapat *reboiler* yang berperan sebagai penjaga suhu operasi. Jumlah dan konfigurasi dari *reboiler* beragam tergantung fungsi tujuan dari kolom distilasi. Persamaan yang diturunkan sebagai berikut:



Gambar 5 Diagram kesetimbangan massa pada bawah kolom

$$\frac{dM_B}{dt} = (L_{n-1} - V_{reb} - B) \tag{7}$$

$$\frac{dx_B}{dt} = \frac{(L_{n-1}x_{n-1} - V_{reb}y_{reb} - Bx_B)}{M_B} \tag{8}$$

Secara keseluruhan, dengan demikian model kolom deethanizer terdiri dari 144 Persamaan diferensial, sedangkan depropanizer terdiri dari 58 Persamaan differensial.

5 Pembangunan Simulasi

Pembangunan simulasi ini dilakukan dalam beberapa tahapan, sebagaimana dapat dilihat dalam Gambar 6.



Gambar 6 Diagram alir pembangunan simulasi *alarm management system*

5.1 Pemodelan Proses dengan MATLAB

Pemodelan proses distilasi pada kolom deethanizer dan depropanizer berdasarkan pustaka [3] dan dituliskan dalam bentuk Persamaan diferensial massa dan konsentrasi hasil distilasi pada Persamaan (1)-(8). Persamaan-Persamaan tersebut kemudian diimplementasikan dalam program simulasi MATLAB. Masukan dari sistem MATLAB kolom distilasi ini adalah saluran umpan dan refluks, sedangkan hasil dari sistem ini adalah saluran *top product* dan *bottom product* dari kolom. Gangguan (*disturbance*) diberikan pada model melalui umpan. Keluaran dari model ini adalah *hold up* likuid dan fraksi mol komponen ringan.

Pembuatan model MATLAB pada penelitian ini secara garis besar dibagi menjadi 3 bagian utama:

1. program utama yang mengandung segala nilai parameter dan nilai awal;
2. program 'model' yang mengandung perhitungan-perhitungan dari Persamaan (1)-(8);
3. program 'events' yang menghasilkan informasi atau menterminasi simulasi bila kondisi tertentu dipenuhi.

5.2 Pembuatan Project Baru pada DCS

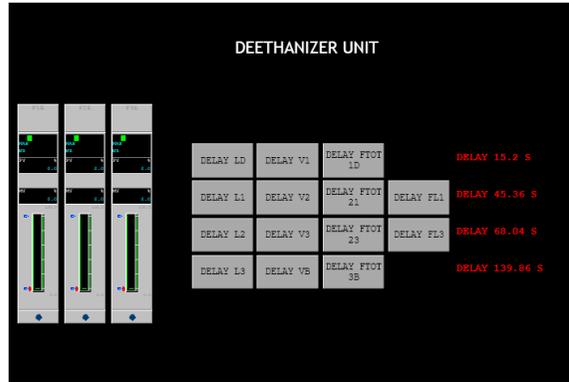
Untuk memfasilitasi pelatihan operator, dibangun pula simulasi pada platform *Distributed Control System* (DCS). DCS yang digunakan pada penelitian ini adalah Centum VP dan pemrograman dilakukan di fasilitas *function block* DCS tersebut. Langkah pertama pembuatan model simulasi pada DCS dengan membuat *project* yang dapat diakses pada menu *System View - File - Create New - Project*.

5.3 Pembuatan *Function Block*

Pembuatan *control drawing* dilakukan pada menu 'FUNCTION_BLOCK'. 'FUNCTION_BLOCK' sendiri dapat ditemukan pada menu 'FCS' dari *project* yang dibuat. *Control drawing* akan dibuat berdasarkan Persamaan diferensial dinamika proses yang telah dituliskan pada subbab 4. Terdapat lima tipe *function block* yang digunakan pada pengerjaan penelitian ini, yaitu blok 'CALCU', 'INTEG', 'MLD-PVI', 'PVI', dan 'DLAY'. Persamaan dinamika seperti dm/dt dan dx/dt akan dihitung pada blok 'CALCU'. Operasi integrasi akan dilakukan pada blok 'INTEG'. Untuk parameter yang akan diubah secara manual oleh pengguna digunakan blok 'MLD-PVI'. Blok 'PVI' digunakan untuk memberikan alarm pada variabel proses tertentu.

5.4 Pembuatan *Human Machine Interface* (HMI)

HMI adalah sebuah bentuk antar-muka antara manusia dengan DCS. HMI dibuat pada bagian HIS pada *project*. Dengan HMI ini, diharapkan proses pembelajaran menjadi lebih mudah tanpa harus memanggil satu-persatu *tag name* dari *function block* dalam memahami proses. HMI dalam penelitian ini meliputi *faceplate*, *tuning window*, *graphic window*, dan *trend group*.



Gambar 6 Tampilan HMI

5.5 Pembuatan Simulasi Kolom Distilasi

Kondisi awal dari simulasi merupakan kondisi kolom distilasi saat umpan tengah mengalir dengan laju sesuai data pabrik petrokimia. Parameter beserta nilai-nilai yang digunakan dalam simulasi dapat dilihat pada Tabel 1-Tabel 3.

Tabel 1 Nilai laju aliran umpan pada deethanizer dan depropanizer saat kondisi awal

Deethanizer	Lokasi	Laju Aliran Umpan (mol/detik)	Depropanizer	Lokasi	Laju Aliran Umpan (mol/detik)
	Umpan ke-1	90,5		Umpan ke-1	240,167
Umpan ke-2	316,167	Umpan ke-2	199,167		
Umpan ke-3	132,667				

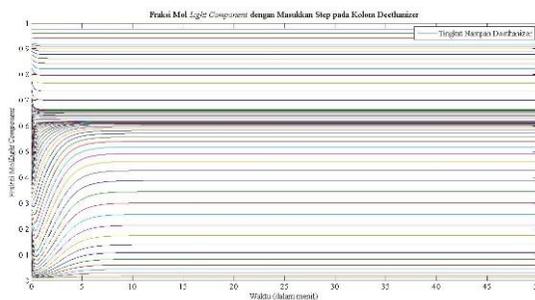
Tabel 2 Nilai fraksi mol komponen ringan pada deethanizer dan depropanizer saat kondisi awal

Deethanizer	Lokasi	Fraksi mol komponen ringan (mol%)	Depropanizer	Lokasi	Fraksi mol komponen ringan (mol%)
	Akumulator	0.976		Akumulator	0.999
Umpan ke-1	0.934	Umpan ke-1	0.719		
Umpan ke-2	0.766	Umpan ke-2	0.606		
Umpan ke-3	0.514	Bawah kolom	0.595		
Bawah kolom	0.01				

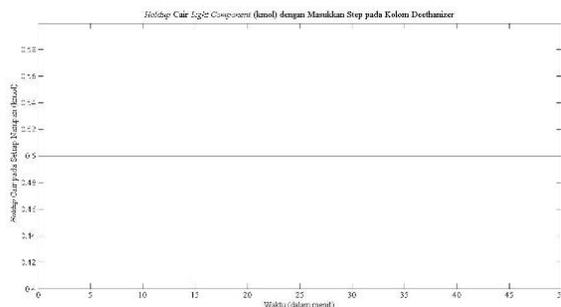
Tabel 3 Parameter beserta nilai yang digunakan dalam simulasi

No.	Parameter	Nilai
1	Nilai <i>hold up</i> cair pada dua kolom distilasi	500 mol
2	Delay time antar nampai	0,063 menit = 3,78 detik
3	Aliran refluks nominal	2,70629 x total laju aliran umpan
4	Aliran pendidih ulang/ <i>reboiler</i> nominal	3,20629 x total laju aliran umpan
5	Nilai volatilitas relatif (α)	1,5

6 Hasil Simulasi

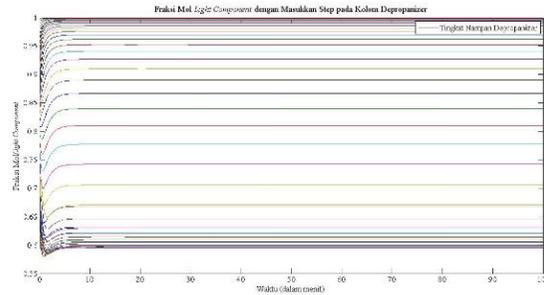


Gambar 7 Grafik fraksi mol komponen ringan pada kolom deethanizer dalam keadaan operasi normal & Grafik massa *hold up* pada kolom deethanizer dalam keadaan operasi normal

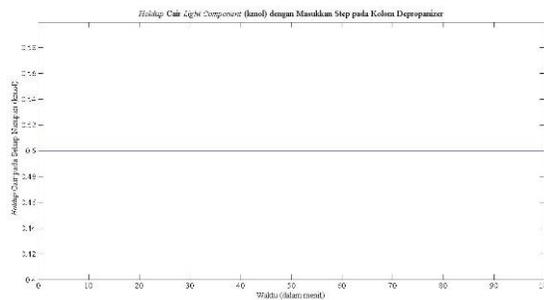


Gambar 8 Grafik fraksi mol komponen ringan pada kolom deethanizer dalam keadaan terganggu & Grafik massa *hold up* pada kolom deethanizer dalam keadaan terganggu

Hasil simulasi pada Matlab ditunjukkan pada Gambar 7. Simulasi ini menunjukkan kondisi operasional kolom deethanizer dan kolom depropanizer yang stabil. Namun apabila mengalami gangguan, seperti ditunjukkan pada Gambar 8 maka fraksi mol maupun *liquid hold up* berfluktuasi dan memburuk saat menjalar ke kolom depropanizer.



Gambar 9 Grafik fraksi mol komponen ringan pada kolom depropanizer dalam keadaan operasi normal & grafik massa *hold up* pada kolom depropanizer dalam keadaan operasi normal



Gambar 10 Grafik fraksi mol komponen ringan pada kolom depropanizer dalam keadaan terganggu & grafik massa *hold up* pada kolom depropanizer dalam keadaan terganggu

Hasil simulasi menunjukkan bahwa dinamika proses dalam kolom distilasi sangat sensitif terhadap gangguan dan cenderung memburuk bila terjadi dalam rangkaian kolom. Fenomena yang tampak ini akan sangat berguna untuk membangun sistem manajemen alarm.

7 Kesimpulan

1. Pada penelitian ini telah dibuat pemodelan kolom distilasi deethanizer dan depropanizer pada platform Matlab dan DCS.
2. Hasil simulasi telah menggambarkan dinamika proses dalam kolom dan siap digunakan untuk perancangan sistem manajemen alarm maupun perancangan sistem kontrol lainnya.

8 Daftar Simbol

B	:	laju aliran massa pada <i>bottom product</i> (kg/s)
D	:	laju aliran massa distilat (kg/s)
F	:	laju aliran umpan (kg/s)

L_D	:	laju aliran massa refluks (kg/s)
$L_{n,n-1,n+1}$:	laju aliran massa fase cair pada nampan ke n, n-1 dan n+1 (kg/s)
M_B	:	massa cairan yang tertampung pada bawah kolom (kg)
M_D	:	massa cairan yang tertampung pada tangki akumulator (kg)
M_n	:	massa cairan yang tertampung pada nampan ke-n (kg)
M_{nF}	:	massa cairan yang tertampung pada nampan umpan (kg)
N	:	jumlah nampan pada kolom distilasi
Q_F	:	persentase jumlah fase cair pada umpan (%)
$V_{n,n-1,n+1}$:	laju aliran massa fase uap pada nampan ke n, n-1 dan n+1 (kg/s)
V_{Reb}	:	laju aliran massa uap pendidih ulang/ <i>reboiler</i> (kg/s)
x_B	:	fraksi mol komponen ringan pada fase cair di bottom uap (% mol)
x_D	:	fraksi mol komponen ringan pada distilat (% mol)
x_F	:	fraksi mol komponen ringan pada umpan (% mol)
x_n	:	fraksi mol komponen ringan pada fase cair di nampan ke-n (% mol)
x_{nF}	:	fraksi mol komponen ringan pada fase cair di nampan umpan (% mol)
y_n	:	fraksi mol komponen ringan pada fase uap di nampan ke-n (% mol)
y_{nF}	:	fraksi mol komponen ringan pada fase uap di nampan umpan (% mol)
y_{Reb}	:	fraksi mol komponen ringan pada fase uap di bagian bawah kolom (% mol)
α	:	volatilitas relatif

9 Daftar Pustaka

- [1] ANSI/ISA-18.2-2009. "Management of Alarm Systems for the Process Industries." 2009.
- [2] Hersaputri, M. 2014. Perancangan Struktur Plant dan Konfigurasi Pengontrol pada High Purity Binary Distillation Columns di Pabrik Petrokimia Olefin. Tug.Tesis pada Sarjana Strata 2 Instrumentasi dan Kontrol ITB Bandung; tidak diterbitkan.
- [3] Skogestad, S. 1997A. Dynamics and Control of Distillation Columns: A Tutorial Introduction, Trans. IchemE, 75, Part A.
- [4] Stephanopoulos, G. 1984. *Chemical Process Control: An Introduction in Theory and Practice*. New Jersey: Prentice Hall.