

**PENGGUNAAN *DATA DRIVEN SOFT SENSOR*
DALAM PEMISAHAN MULTIKOMPONEN
DENGAN *DIVIDING WALL COLUMN (DWC)***

Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar
sarjana di bidang Teknik Kimia

oleh:

Theana Leoma

(2017620103)

Pembimbing :

Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M. Eng.

Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PDEng.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

2021

LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL : PENGGUNAAN *DATA DRIVEN SOFT SENSOR* DALAM PEMISAHAN MULTIKOMPONEN DENGAN *DIVIDING WALL COLUMN (DWC)*

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 25 Februari 2021

Dosen Pembimbing 1



Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M.Eng.

Dosen Pembimbing 2



Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PDEng.



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Theana Leoma

NRP : 6217103

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

**Penggunaan *Data Driven Soft Sensor* dalam Pemisahan Multikomponen dengan
*Dividing Wall Column (DWC)***

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 14 Februari 2021



Theana Leoma

(6217103)

INTISARI

Kolom distilasi untuk pemisahan multikomponen banyak digunakan oleh industri kimia. Namun pemisahan multikomponen dengan distilasi konvensional membutuhkan biaya dan energi yang lebih tinggi karena jumlah kolom, *reboiler* dan kondensor yang lebih banyak. Sehingga terdapat alternatif untuk pemisahan komponen yang lebih dari dua, yaitu dengan menggunakan *Dividing Wall Column* (DWC). DWC dapat memisahkan tiga komponen secara langsung hanya dengan satu kolom. Namun masih sangat sedikit industri kimia yang menggunakan DWC karena proses pengendaliannya yang cukup kompleks. Pengendalian DWC memerlukan pengukuran komposisi produk secara *online* yang memerlukan alat pengendalian dengan biaya yang tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari pasangan variabel temperatur kolom pada tahap tertentu yang paling mempengaruhi kemurnian produk pada DWC. Simulasi proses dilakukan dengan menggunakan *software ASPEN Plus* untuk mendapatkan profil temperatur dan kemurnian produk ketika diberikan perubahan pada variabel laju alir umpan, *reflux ratio* dan *reboiler duty*. Pada penelitian ini digunakan metode *data driven soft sensor* dengan teknik statistik *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Partial Least Square Regression* (PLSR) untuk mencari hubungan temperatur kolom dan kemurnian produk pada DWC. Sedangkan untuk pengolahan data secara statistik menggunakan *software The Unscrambler X* untuk mendapatkan pasangan variabel temperatur dan kemurnian produk.

Pada penelitian ini, didapatkan hasil bahwa kemurnian heksanol memiliki korelasi negatif dengan temperatur kolom 1 bagian *rectifying* pada *stage* 1, 2 dan 3. Kemurnian oktanol memiliki korelasi negatif dengan temperatur kolom 1 bagian *rectifying* pada *stage* 1 dan 2 serta dengan temperatur kolom 1 bagian samping pada *stage* 8 dan 9. Kemurnian dekanol memiliki korelasi negatif dengan temperatur kolom 2 bagian *rectifying* pada *stage* 3 serta memiliki korelasi positif dengan temperatur kolom 2 bagian *stripping* pada *stage* 8 dan temperatur kolom 1 bagian *stripping* pada *stage* 7. Kemurnian dodekanol memiliki korelasi positif dengan temperatur kolom 2 bagian *stripping* pada *stage* 7 dan 8 serta temperatur kolom 2 bagian samping pada *stage* 7 dan 8. Kemurnian tetradekanol memiliki korelasi positif dengan temperatur kolom 2 bagian *stripping* pada *stage* 7 dan 8 serta temperatur kolom bagian samping pada *stage* 8. Sedangkan, kemurnian tersebut dipengaruhi juga oleh beberapa perubahan variabel, yaitu laju massa umpan dan *reflux rate* kolom 1. Semakin besar laju massa umpan dan *reflux rate* 1, maka temperatur kolom 1 *rectifying* akan menurun dan kemurnian heksanol akan meningkat. Semakin besar laju massa umpan dan *reflux rate* 1, maka temperatur kolom 1 samping akan menurun dan kemurnian oktanol akan meningkat. Semakin kecil laju massa umpan dan *reflux rate* 1, maka temperatur kolom 1 *stripping* akan meningkat dan kemurnian dekanol akan meningkat. Semakin besar laju massa umpan, maka temperatur kolom 2 *rectifying* akan menurun dan kemurnian dekanol akan meningkat. Semakin kecil laju massa umpan dan *reflux rate* 1, maka temperatur kolom 2 samping akan meningkat dan kemurnian dodekanol akan meningkat. Semakin kecil laju massa umpan dan *reflux rate* 1, maka temperatur kolom 2 *stripping* akan meningkat dan kemurnian tetradekanol akan meningkat.

Kata kunci : *Dividing wall column*, *data driven soft sensor*, profil temperatur, kemurnian produ

ABSTRACT

The distillation column for multicomponent separation is widely used by the chemical industry. However, multicomponent separation by conventional distillation requires higher costs and energy due to the larger number of columns, reboilers and condensers. So that there is an alternative for the separation of more than two components, by using the Dividing Wall Column (DWC). DWC can separate three components directly with only one column. However, very few chemical industries use DWC because the control process is quite complex. DWC control requires measurement of product composition online which requires a high cost control tool.

This study aims to find pairs of column temperature variables at a certain stage that most influence the purity of the product at DWC. Process simulation is carried out using ASPEN Plus software to obtain a temperature profile and product purity when changes are given to the variable feed flow rate, reflux ratio and reboiler duty. In this study, the data driven soft sensor method was used with the statistical techniques of Principal Component Analysis (PCA) and Partial Least Square Regression (PLSR) to find the relationship between column temperature and product purity at DWC. Meanwhile, for statistical data processing using The Unscrambler X software to obtain a variable pair of temperature and product purity.

In this study, the results showed that the purity of hexanol has a negative correlation with the temperature of column 1 of the rectifying section on stages 1, 2 and 3. The purity of octanol has a negative correlation with the temperature of column 1 of the rectifying section on stages 1 and 2 and with the temperature of column 1 on the side of stages 8 and 9. The Purity of decanol has a negative correlation with the temperature of column 2 of the rectifying section on stage 3 and has a positive correlation with the temperature of column 2 of the stripping section on stage 8 and the temperature of column 1 of the stripping section on stage 7. The purity of dodecanol has a positive correlation with the column temperature. 2 stripping parts on stage 7 and 8 and column 2 side temperature on stage 7 and 8. The purity of tetradecanol has a positive correlation with the stripping column 2 section temperature on stage 7 and 8 and side column temperature on stage 8. Meanwhile, the purity is affected also by some variable change, namely mass rate a feed and reflux rate column 1. The greater the feed mass rate and reflux rate 1, the rectifying column 1 temperature will decrease and the hexanol purity will increase. The greater the feed mass rate and reflux rate 1, the side column temperature will decrease and the octanol purity will increase. The smaller the feed mass rate and reflux rate 1, the stripping column temperature will increase and the decanol purity will increase. The greater the mass rate of the feed, the temperature of the column 2 rectifying will decrease and the purity of the decanol will increase. The smaller the feed mass rate and reflux rate 1, the side column temperature will increase and the dodecanol purity will increase. The smaller the feed mass rate and reflux rate 1, the stripping column 2 temperature will increase and the purity of tetradecanol will increase.

Keywords : Dividing Wall Column, data driven soft sensor, temperature profile, products purity

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian berjudul “Penggunaan *Data Driven Soft Sensor* dalam Pemisahan Multikomponen dengan *Dividing Wall Column (DWC)*” dengan tepat waktu. Laporan penelitian ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penulisan laporan penelitian ini, penulis mendapatkan dukungan dari beberapa pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M. Eng. dan Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PDEng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan saran kepada penulis selama penyusunan laporan penelitian.
2. Orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan perhatian dan dukungan kepada penulis.
3. Teman-teman penulis yang telah memberikan semangat, dukungan, dan masukan kepada penulis selama penyusunan laporan penelitian.
4. Semua pihak lain yang telah memberikan bantuan dan dukungan baik secara langsung dan tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari para pembaca. Akhir kata, penulis berharap agar laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Bandung, 14 Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
INTISARI.....	xviii
ABSTRACT	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tema Sentral Masalah	2
1.3. Identifikasi Masalah.....	2
1.4. Premis	2
1.5. Hipotesis	3
1.6. Tujuan Penelitian	3
1.7. Manfaat Penelitian.....	4
1.7.1. Manfaat bagi Peneliti.....	4
1.7.2. Manfaat bagi Industri	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Distilasi.....	5
2.2. Distilasi Multikomponen	7
2.3. Dividing Wall Column (DWC).....	9

2.4.	Pemisahan Campuran Lima Komponen dengan DWC	14
2.5.	Sistem Pengendalian (<i>Control System</i>) pada DWC	15
2.6.	Soft Sensor	16
2.7.	Data driven soft sensor	19
2.8.	Principal Component Analysis (PCA).....	20
2.9.	Partial Least Squares Regression (PLSR).....	26
2.10.	Simulator ASPEN	28
2.11.	Simulator ASPEN <i>Plus Dynamic</i>	30
2.12.	The Unscrambler X.....	30
BAB III METODE PENELITIAN		32
3.1.	Pemodelan Kolom DWC dari Kondisi Tunak Menjadi Dinamik dengan ASPEN <i>Plus Dynamic</i>	32
3.2.	Validasi	34
3.3.	Simulasi Proses	36
3.4.	Lokasi dan Rencana Kerja Penelitian	38
BAB IV PEMBAHASAN		39
4.1.	Pemodelan Dinamik Kolom DWC (<i>Dividing Wall Column</i>).....	39
4.2.	Validasi Kolom DWC (<i>Dividing Wall Column</i>) pada Kondisi Dinamik	41
4.3.	Simulasi Dinamik Perubahan Nilai Variabel pada Kolom DWC (<i>Dividing Wall Column</i>).....	45
4.3.1.	Simulasi Perubahan Laju Massa Umpan pada Kolom DWC.....	46
4.3.2.	Simulasi Perubahan <i>Reflux Rate</i> Kolom 1 (RR1) pada Kolom DWC.....	49
4.3.3.	Simulasi Perubahan <i>Reflux Rate</i> Kolom 2 (RR2) pada Kolom DWC.....	50
4.3.4.	Simulasi Perubahan <i>Reboiler Duty</i> Kolom 1 (RD1) pada Kolom DWC	51
4.3.5.	Simulasi Perubahan <i>Reboiler Duty</i> Kolom 2 (RD2) pada Kolom DWC	52
4.4.	Analisis Multivariat dengan Metode Principal Component Analysis (PCA) dan Partial Least Square Regression (PLSR) pada The Unscrambler X.....	53

4.5. Analisis Multivariat untuk Data <i>Input</i> (Temperatur) dan Data <i>Output</i> (Kemurnian)	54
4.5.1. Analisis Persebaran Data <i>Output</i> (Kemurnian) dengan <i>Descriptive Statistics</i> ..	54
4.5.2. Analisis Statistik Data <i>Output</i> (Kemurnian) dengan Metode PCA (<i>Principal Component Analysis</i>).....	55
4.5.3. Analisis Hubungan Data <i>Input</i> (Temperatur) dan Data <i>Output</i> (Kemurnian) dengan Metode PLSR (<i>Partial Least Square Regression</i>).....	59
4.6. Analisis Multivariat untuk Data <i>Input</i> (Perubahan variabel) dan Data <i>Output</i> (Temperatur).....	69
4.6.1. Analisis Persebaran Data <i>Output</i> (Temperatur) dengan <i>Descriptive Statistic</i> ...	69
4.6.2. Analisis Statistik Data <i>Output</i> (Temperatur) dengan Metode PCA (<i>Principal Component Analysis</i>).....	70
4.6.3. Analisis Hubungan Data <i>Input</i> (Perubahan Variabel) dan Data <i>Output</i> (Temperatur) dengan Metode PLSR (<i>Partial Least Square Regression</i>).....	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	84
5.1. Kesimpulan.....	84
5.2. Saran	85
DAFTAR PUSTAKA.....	86
LAMPIRAN A GRAFIK	86
A.1. Simulasi Dinamik Perubahan Laju Massa Umpan pada Kolom DWC	89
A.2. Simulasi Dinamik Perubahan <i>Reflux Rate</i> Kolom 1 (RR1) pada Kolom DWC.....	94
A.3. Simulasi Dinamik Perubahan <i>Reflux Rate</i> Kolom 2 (RR2) pada Kolom DWC....	100
A.4. Simulasi Dinamik Perubahan <i>Reboiler Duty</i> Kolom 1 (RD1) pada Kolom DWC	105
A.4. Simulasi Dinamik Perubahan <i>Reboiler Duty</i> Kolom 2 (RD2) pada Kolom DWC	110
LAMPIRAN B TABEL.....	116
B.1. Analisis Persebaran Data <i>Output</i> (Temperatur) dengan <i>Descriptive Statistic</i>	116
B.2. Persamaan Model Regresi pada PLSR	118

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagian-bagian kolom distilasi	6
Gambar 2. 2 Tahap pada Kolom Distilasi	6
Gambar 2. 3 Pemisahan Tiga Komponen, (a) Direct Sequence (b) Indirect Sequence.....	8
Gambar 2. 4 Skema Konfigurasi Petlyuk	9
Gambar 2. 5 Skema Dividing Wall Column.....	10
Gambar 2. 6 Reflux Ratio.....	10
Gambar 2. 7 Liquid Split	11
Gambar 2. 8 Reflux side ratio.....	11
Gambar 2. 9 Vapor Split.....	12
Gambar 2. 10 Konfigurasi Dasar DWC.....	13
Gambar 2. 11 DWC untuk Pemisahan Empat Komponen (a) Kolom Kaibel dan (b) DWC multipartisi.....	13
Gambar 2. 12 Konfigurasi Alternatif dengan Dua DWC (a) Direct Sequences (b) Indirect Sequences	14
Gambar 2. 13 Konsep Dasar Soft Sensors (Kaneko & Funatsu, 2016).....	16
Gambar 2. 14 Deteksi Analisis Abnormal Menggunakan Soft Sensors.....	18
Gambar 2. 15 Normalisasi data	21
Gambar 2. 16 (a) dan (b) Dua Contoh Penyebaran Data, (c) dan (d) Normalisasi dengan Centered, (e) dan (f) Standardisasi Data.....	21
Gambar 2. 17 Proyeksi Data terhadap Garis	22
Gambar 2. 18 Pemetaan Sumbu PC1 dan PC2.....	23
Gambar 2. 19 Penentuan Data Outliers pada Score Plot (Mooiweer, 2013).....	23
Gambar 2. 20 (a) Sampel dengan Residual yang Tinggi dan (b) Sampel dengan Leverage yang Tinggi.....	24
Gambar 2. 21 Penentuan Data <i>Outliers</i> (a) <i>Residuals</i> Tinggi (b) <i>Residuals</i> dan <i>Leverage</i> Tinggi (c) <i>Leverage</i> Tinggi	25
Gambar 2. 22 Loading Plot pada PCA	25
Gambar 2. 23 Skema Proses Kalibrasi	27
Gambar 2. 24 Skema Proses Validasi.....	27
Gambar 2. 25 Sampel Percobaan dan Sampel Pengujian.....	27

Gambar 2. 26 Penentuan Variabel yang Berpengaruh pada <i>Loading Plot</i> PLS	28
Gambar 2. 27 Tampilan Simulator ASPEN Plus.....	29
Gambar 2. 28 Tampilan Utama The Unscrambler X.....	31
Gambar 3. 1 Flowsheet Rancangan Kolom DWC (Yawinata, 2019)	33
Gambar 3. 2 Profil Temperatur Kolom 1 pada Literatur (Yawinata, 2019).....	35
Gambar 3. 3 Profil Temperatur Kolom 2 pada Literatur (Yawinata, 2019).....	35
Gambar 3. 4 Flowchart Cara Kerja Validasi Kolom DWC pada Kondisi Dinamik.....	36
Gambar 3. 5 Flowchart Cara Kerja Simulasi Proses Penelitian	38
Gambar 4. 1 Ilustrasi Kolom DWC.....	39
Gambar 4. 2 Perbandingan Profil Temperatur Kolom 1 (a) Hasil Simulasi (b) Literatur ...	42
Gambar 4. 3 Perbandingan Profil Temperatur Kolom 2 (a) Hasil Simulasi (b) Literatur ...	43
Gambar 4. 4 Profil Temperatur Kolom DWC pada Kondisi Dinamik untuk Kolom 1 (a) Bagian <i>Rectifying</i> (b) Bagian <i>Prefraksionator</i> (c) Bagian Kolom Samping (d) Bagian <i>Stripping</i>	43
Gambar 4. 5 Profil Temperatur Kolom DWC pada Kondisi Dinamik untuk Kolom 2 (a) Bagian <i>Rectifying</i> (b) Bagian <i>Prefraksionator</i> (c) Bagian Kolom Samping (d) Bagian <i>Stripping</i>	44
Gambar 4. 6 Profil Temperatur untuk Perubahan Laju Massa Umpan sebesar -2,5% pada (a) Kolom 1 (<i>Rectifying</i>) (b) Kolom 1 (<i>Prefraksionator</i>) (c) Kolom 1 (<i>Samping</i>) (d) Kolom 1 (<i>Stripping</i>) (e) Kolom 2 (<i>Rectifying</i>) (f) Kolom 2 (<i>Prefraksionator</i>) (g) Kolom 2 (<i>Samping</i>) (h) Kolom 2 (<i>Stripping</i>).....	48
Gambar 4. 7 Persebaran Data untuk Variabel Output (Kemurnian) (a) Sebelum Standarisasi (b) Setelah Standarisasi	55
Gambar 4. 8 Correlation Loadings untuk Variabel Output (Kemurnian) pada PCA	56
Gambar 4. 9 Scores plot pada PCA untuk Variabel Output (Kemurnian)	57
Gambar 4. 10 Influence plot pada PCA untuk Variabel Output (Kemurnian).....	58
Gambar 4. 11 Explained Variance pada PCA untuk Variabel Output (Kemurnian).....	58
Gambar 4. 12 Correlation Loadings pada PLSR	60
Gambar 4. 13 Explained Variance pada PLSR	61
Gambar 4. 14 Weighted Regression Coefficients untuk Variabel Output Kemurnian Heksanol.....	62

Gambar 4. 15 Weighted Regression Coefficients untuk Variabel Output Kemurnian Oktanol	63
Gambar 4. 16 Weighted Regression Coefficients untuk Variabel Output Kemurnian Dekanol	64
Gambar 4. 17 Weighted Regression Coefficients untuk Variabel Output Kemurnian Dodekanol.....	66
Gambar 4. 18 Weighted Regression Coefficients untuk Variabel Output Kemurnian Tetradekanol	67
Gambar 4. 19 Persebaran Data untuk Variabel Output (Temperatur) (a) Sebelum Standarisasi (b) Setelah Standarisasi	70
Gambar 4. 20 Correlation Loadings untuk Variabel Output (Temperatur) pada PCA.....	71
Gambar 4. 21 Scores plot pada PCA untuk Variabel Output (Temperatur).....	71
Gambar 4. 22 Influence plot pada PCA untuk Variabel Output (Temperatur)	72
Gambar 4. 23 Explained Variance pada PCA untuk Variabel Output (Temperatur)	73
Gambar 4. 24 Correlation Loadings pada PLSR	74
Gambar 4. 25 Weighted Regression Coefficients untuk Variabel Output Temperatur Kolom 1 Bagian Rectifying (a) Stage 1 (b) Stage 2 (c) Stage 3.....	76
Gambar 4. 26 Weighted Regression Coefficients untuk Variabel Output Temperatur Kolom 1 Bagian Samping (a) Stage 8 (b) Stage 9.....	77
Gambar 4. 27 Weighted Regression Coefficients untuk Variabel Output Temperatur Kolom 1 Bagian Stripping Stage 7	78
Gambar 4. 28 Weighted Regression Coefficients untuk Variabel Output Temperatur Kolom 2 Bagian Rectifying Stage 3	79
Gambar 4. 29 Weighted Regression Coefficients untuk Variabel Output Temperatur Kolom 2 Bagian Samping (a) Stage 7 (b) Stage 8.....	80
Gambar 4. 30 Weighted Regression Coefficients untuk Variabel Output Temperatur Kolom 2 Bagian Stripping (a) Stage 7 (b) Stage 8	81
Gambar A. 1 Profil Temperatur untuk Perubahan Laju Massa Umpan sebesar -5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping.....	89
Gambar A. 2 Profil Temperatur untuk Perubahan Laju Massa Umpan sebesar -5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping.....	90
Gambar A. 3 Profil Temperatur untuk Perubahan Laju Massa Umpan sebesar -2,5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping.....	91

Gambar A. 4 Profil Temperatur untuk Perubahan Laju Massa Umpan sebesar -2,5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping.....	91
Gambar A. 5 Profil Temperatur untuk Perubahan Laju Massa Umpan sebesar +2,5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping.....	92
Gambar A. 6 Profil Temperatur untuk Perubahan Laju Massa Umpan sebesar +2,5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping.....	93
Gambar A. 7 Profil Temperatur untuk Perubahan Laju Massa Umpan sebesar +5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping.....	93
Gambar A. 8 Profil Temperatur untuk Perubahan Laju Massa Umpan sebesar +5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping.....	94
Gambar A. 9 Profil Temperatur untuk Perubahan RR1 sebesar -5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	95
Gambar A. 10 Profil Temperatur untuk Perubahan RR1 sebesar -5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	95
Gambar A. 11 Profil Temperatur untuk Perubahan RR1 sebesar -2,5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	96
Gambar A. 12 Profil Temperatur untuk Perubahan RR1 sebesar -2,5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	97
Gambar A. 13 Profil Temperatur untuk Perubahan RR1 sebesar +2,5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	97
Gambar A. 14 Profil Temperatur untuk Perubahan RR1 sebesar +2,5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	98
Gambar A. 15 Profil Temperatur untuk Perubahan RR1 sebesar +5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	99
Gambar A. 16 Profil Temperatur untuk Perubahan RR1 sebesar +5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	99
Gambar A. 17 Profil Temperatur untuk Perubahan RR2 sebesar -5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	100
Gambar A. 18 Profil Temperatur untuk Perubahan RR2 sebesar -5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping.....	101
Gambar A. 19 Profil Temperatur untuk Perubahan RR2 sebesar -2,5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	101

Gambar A. 20 Profil Temperatur untuk Perubahan RR2 sebesar -2,5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	102
Gambar A. 21 Profil Temperatur untuk Perubahan RR2 sebesar +2,5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	103
Gambar A. 22 Profil Temperatur untuk Perubahan RR2 sebesar +2,5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	103
Gambar A. 23 Profil Temperatur untuk Perubahan RR2 sebesar +5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	104
Gambar A. 24 Profil Temperatur untuk Perubahan RR2 sebesar +5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	105
Gambar A. 25 Profil Temperatur untuk Perubahan RD1 sebesar -5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	105
Gambar A. 26 Profil Temperatur untuk Perubahan RD1 sebesar -5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	106
Gambar A. 27 Profil Temperatur untuk Perubahan RD1 sebesar -2,5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	107
Gambar A. 28 Profil Temperatur untuk Perubahan RD1 sebesar -2,5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	107
Gambar A. 29 Profil Temperatur untuk Perubahan RD1 sebesar +2,5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	108
Gambar A. 30 Profil Temperatur untuk Perubahan RD1 sebesar +2,5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	109
Gambar A. 31 Profil Temperatur untuk Perubahan RD1 sebesar +5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	109
Gambar A. 32 Profil Temperatur untuk Perubahan RD1 sebesar +5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	110
Gambar A. 33 Profil Temperatur untuk Perubahan RD2 sebesar -5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	111
Gambar A. 34 Profil Temperatur untuk Perubahan RD2 sebesar -5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	111
Gambar A. 35 Profil Temperatur untuk Perubahan RD2 sebesar -2,5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	112

Gambar A. 36 Profil Temperatur untuk Perubahan RD2 sebesar -2,5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	113
Gambar A. 37 Profil Temperatur untuk Perubahan RD2 sebesar +2,5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	113
Gambar A. 38 Profil Temperatur untuk Perubahan RD2 sebesar +2,5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	114
Gambar A. 39 Profil Temperatur untuk Perubahan RD2 sebesar +5% pada Kolom 1 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	115
Gambar A. 40 Profil Temperatur untuk Perubahan RD2 sebesar +5% pada Kolom 2 Bagian (a) Rectifying (b) Prefraksionator (c) Kolom Samping (d) Stripping	115

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat Fisik Komponen.....	14
Tabel 3. 1 Spesifikasi Kolom DWC pada Kondisi Tunak (Yawinata, 2019)	33
Tabel 3. 2 Data Literatur Ukuran Kolom DWC untuk Kondisi Dinamik (Ramadhany, 2011)	34
Tabel 3. 3 Jadwal Kerja Penelitian	38
Tabel 4. 1 Spesifikasi Untuk Kolom DWC pada Mode Dinamik.....	40
Tabel 4. 2 Perbandingan Hasil Kemurnian antara Literatur dan Simulasi	40
Tabel 4. 3 Perubahan Nilai Variabel pada Simulasi Dinamik.....	45
Tabel 4. 4 Batas-batas Nilai Variabel Kemurnian.....	55
Tabel 4. 5 Root Mean Square Error Kemurnian.....	68
Tabel 4. 6 Koefisien Persamaan Model untuk Variabel Y (Temperatur) dan Variabel X (Perubahan Variabel).....	82
Tabel B. 1 Batas-batas Nilai Variabel Temperatur Kolom 1	116
Tabel B. 2 Batas-batas Nilai Variabel Temperatur Kolom 2	117
Tabel B. 3 Koefisien Persamaan Model untuk Variabel Y (Kemurnian heksanol) dan Variabel X (Temperatur)	118
Tabel B. 4 Koefisien Persamaan Model untuk Variabel Y (Kemurnian oktanol) dan Variabel X (Temperatur).....	119
Tabel B. 5 Koefisien Persamaan Model untuk Variabel Y (Kemurnian dekanol) dan Variabel X (Temperatur).....	119
Tabel B. 6 Koefisien Persamaan Model untuk Variabel Y (Kemurnian dodekanol) dan Variabel X (Temperatur)	120
Tabel B. 7 Koefisien Persamaan Model untuk Variabel Y (Kemurnian tetradekanol) dan Variabel X (Temperatur)	121

DAFTAR SIMBOL

B_n	=	Koefisien regresi ke-n
BOT-P	=	Produk bawah kolom 1
BOT-P2	=	Produk bawah kolom 2
F-ZONE	=	Kolom <i>Prefractionator</i> 1
F-ZONE2	=	Kolom <i>Prefractionator</i> 2
FEED	=	Umpan
LIQ-SPT	=	<i>Liquid split</i> 1
LIQ-SPT2	=	<i>Liquid split</i> 2
RD	=	<i>Reboiler Duty</i>
REC	=	Kolom <i>rectifying</i> 1
REC2	=	Kolom <i>rectifying</i> 2
RR	=	<i>Reflux rate</i>
S-ZONE	=	Kolom sampling 1
S-ZONE2	=	Kolom sampling 2
SIDE	=	Produk samping kolom 1
SIDE2	=	Produk samping kolom 2
STRIP	=	Kolom <i>stripping</i> 1
STRIP2	=	Kolom <i>stripping</i> 2
TFXY	=	Temperatur bagian prefractionator kolom X pada <i>stage</i> Y
TOP-P	=	Distilat kolom 1
TOP-P2	=	Distilat kolom 2
TRXY	=	Temperatur bagian <i>rectifying</i> kolom X pada <i>stage</i> Y
TSiXY	=	Temperatur bagian samping kolom X pada <i>stage</i> Y
TSXY	=	Temperatur bagian <i>stripping</i> kolom X pada <i>stage</i> Y
VAP-SPT	=	<i>Vapor Split</i> 1
VAP-SPT2	=	<i>Vapor split</i> 2
w	=	Kemurnian
w dec	=	Kemurnian dekanol
w dodec	=	Kemurnian dodekanol
w hex	=	Kemurnian heksanol

w oct = Kemurnian oktanol
w tet = Kemurnian tetradekanol

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kolom distilasi sering digunakan oleh industri kimia untuk pemisahan dua atau lebih komponen. Salah satu alternatif untuk pemisahan tiga komponen atau lebih, yaitu *Dividing Wall Column* (DWC). Pemisahan multikomponen dengan DWC dapat menghemat penggunaan energi dibandingkan dengan kolom distilasi konvensional. Namun, belum banyak industri yang menggunakan DWC untuk memisahkan komponen. Hal ini terjadi karena proses pengendalian pada DWC yang cukup kompleks. Selain itu, terdapat beberapa kekurangan dari alat pengendaliannya baik secara teknis atau secara ekonomis, yaitu akan terdapat *time delay* dalam proses pengendalian dan juga banyak variabel yang perlu diukur secara *online* akan membutuhkan alat pengendalian dengan biaya yang tinggi.

Pada DWC, pengendalian biasanya dilakukan untuk mengetahui dan menjaga kemurnian produk yang dihasilkan agar sesuai dengan yang diinginkan. Pada penelitian ini, komponen yang akan dipisahkan, yaitu 1-Heksanol ($C_6H_{14}O$), 1-Oktanol ($C_8H_{18}O$), 1-Dekanol ($C_{10}H_{22}O$), 1-Dodekanol ($C_{12}H_{26}O$) dan 1-Tetradekanol ($C_{14}H_{30}O$). Kemurnian komponen ini dapat diukur secara *online* dengan menggunakan *soft sensor*. *Soft sensor* merupakan gabungan dari beberapa alat pengukuran dengan menggunakan model matematika yang digunakan untuk memprediksi variabel *output* yang sulit diukur secara *online* dengan menggunakan variabel *input* yang lebih mudah diukur. Model ini digunakan untuk mengetahui hubungan dari variabel *input* dan variabel *output* yang sulit diukur. Terdapat beberapa jenis *soft sensors*, yaitu *white box models*, *black box models* dan *gray box models*.

White box models memerlukan penurunan neraca massa dan energi untuk menentukan hubungan *output* dan *input*. Sedangkan *black box models* menggunakan data dengan bantuan model statistik. *Gray box models* merupakan gabungan dari *white box* dan *black box model*. Pada penelitian ini, yang digunakan adalah *black box model* atau *data driven soft sensor* karena menggunakan data yang diukur pada suatu proses sehingga dapat menggambarkan kondisi proses yang sebenarnya. Teknik statistik yang digunakan adalah dengan *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Partial Least Square Regression* (PLSR).

Pada DWC kemurnian produk dapat diketahui dengan menggunakan temperatur pada tahap tertentu di sepanjang kolom. Data ini akan dianalisis dengan menggunakan PCA untuk meringkas data yang sangat banyak, mengetahui hubungan antara variabel data dan mendeteksi adanya penyimpangan data. Kemudian, data tersebut dianalisis dengan PLSR untuk memprediksi model yang sesuai antara *input* dengan *output*. Model yang diharapkan adalah temperatur pada tahap tertentu di kolom sebagai *input* dihubungkan dengan kemurnian produk sebagai *output*.

Penelitian mengenai penggunaan *data driven soft sensor* pada DWC ini masih sangat sedikit. Sehingga diharapkan pada penelitian ini *data driven soft sensor* ini dapat menjadi alternatif untuk menjaga temperatur sebagai *inferential control*. Pengendalian terhadap temperatur ini secara tidak langsung juga dapat mengendalikan kemurnian pada kolom DWC.

1.2. Tema Sentral Masalah

Tema sentral masalah pada penelitian ini adalah mencari hubungan variabel *input* (temperatur kolom) yang paling mempengaruhi variabel *output* (komposisi produk) pada kolom DWC dengan analisis secara statistik menggunakan PCA dan PLSR.

1.3. Identifikasi Masalah

1. Bagaimana pengaruh perubahan variabel yang diberikan (laju alir umpan, *reflux ratio* dan *reboiler duty*) terhadap profil temperatur di sepanjang kolom dan kemurnian produk?
2. Bagaimana memodelkan hubungan antara temperatur dan kemurnian produk dengan analisa PCA dan PLSR?

1.4. Premis

1. Pada DWC, temperatur pada tahap keempat (T4) digunakan untuk mengendalikan komposisi distilat, T29 untuk mengendalikan komposisi produk samping dan komposisi produk bawah dengan beban *reboiler* (Staak et al., 2014).

2. Pada DWC, temperatur pada kolom *prefractionator* dikendalikan dengan memanipulasi *reflux ratio*, temperatur kolom samping dikendalikan dengan memanipulasi rasio *liquid split* dan temperatur bagian *stripping* dikendalikan dengan memanipulasi laju kolom samping (Adrian et al., 2004).
3. Pada DWC, temperatur pada tahap keenam (T6) dikendalikan dengan laju produk samping, T27 pada kolom *prefractionator* dikendalikan dengan *reflux ratio* dan T44 dikendalikan dengan laju alir *boilup* (Cho et al., 2009).
4. Kemurnian distilat dikendalikan dengan memanipulasi laju refluks, kemurnian produk samping dengan memanipulasi laju alir kolom samping dan kemurnian produk bawah dengan memanipulasi *vapor boilup* (Ling & Luyben, 2009).
5. Dengan *soft sensor* komposisi produk pada distilasi diperkirakan melalui pengukuran temperatur pada kolom (Osorio et al., 2008).
6. Sensor temperatur diletakkan pada *reboiler*, kolom bagian atas, bagian tengah dan dan bawah pada distilasi (Osorio et al., 2008).
7. Pada distilasi *batch*, pengukuran temperatur dengan *soft sensor* dilakukan pada *stages* 5, 10, 15 dan 20 yang digunakan sebagai data *input* (X), sedangkan pengukuran komposisi distilat dan produk bawah sebagai data *output* (Y) (Zamprogna et al., 2002).
8. Penggunaan pengukuran temperatur inferensial untuk menggantikan pengukuran komposisi yang dapat juga dikombinasikan dengan skema rasio *feedforward* (Kiss, 2013).

1.5. Hipotesis

1. Kemurnian produk pada kolom DWC dapat ditentukan menggunakan temperatur dengan *data driven soft sensor*.
2. Model yang menjelaskan hubungan antara temperatur dan kemurnian dapat ditentukan dengan menggunakan analisis statistik.

1.6. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh perubahan variabel yang diberikan terhadap temperatur kolom dan kemurnian produk.

2. Mengetahui temperatur di setiap tahap yang paling berpengaruh terhadap kemurnian produk distilat, produk samping dan produk bawah dengan metode data driven soft sensor.

1.7. Manfaat Penelitian

1.7.1. Manfaat bagi Peneliti

Dengan adanya penelitian ini, dapat diketahui apakah *data driven soft sensor* dapat digunakan untuk membantu menjaga kemurnian produk pada suatu harga tertentu. Selain itu, dapat diketahui respon kolom distilasi DWC ketika diberi perubahan variabel serta hubungan antara variabel *input* dan *output*, yaitu pengaruh temperatur di setiap tahap terhadap kemurnian produk.

1.7.2. Manfaat bagi Industri

Pada penelitian ini akan diketahui hubungan antar variabel yang dapat membantu industri dalam pemilihan kondisi operasi dan pengendalian kolom DWC. Dengan mengetahui respon kolom DWC ketika diberikan perubahan variabel juga dapat membantu untuk melakukan proses pengendalian. Selain itu, metode *data driven soft sensor* yang lebih sederhana dapat dijadikan alternatif dalam menjaga kemurnian produk pada DWC.