

# **PENENTUAN *DATA DRIVEN SOFT SENSOR* DALAM PRODUKSI DIMETIL ETER DENGAN KOLOM DISTILASI REAKTIF**

## **Laporan Penelitian**

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

Oleh :

**Tjioe Gerry Sebastian Wibowo**

(6141801009)

Pembimbing :

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

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



**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
BANDUNG  
2022**

# **DETERMINATION OF DATA DRIVEN SOFT SENSORS IN DIMETHYL ETHER PRODUCTION BY REACTIVE DISTILLATION COLUMN**

## **Research Report**

Compiled to fulfill the final project to achieve a  
bachelor's degree in Chemical Engineering

By :

**Tjioe Gerry Sebastian Wibowo**

(6141801009)

Advisor :

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

**Putri Ramadhany, S.T., M.Sc., PEng**



**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY  
BANDUNG  
2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL : **PENENTUAN *DATA DRIVEN SOFT SENSORS***  
**DALAM PRODUKSI DIMETIL ETER DENGAN**  
**KOLOM DISTILASI REAKTIF**

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,  
Bandung, 1 Agustus 2022

Pembimbing 1



Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M.Eng

Pembimbing 2



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



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

**SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Tjioe Gerry Sebastian Wibowo

NPM : 6141801009

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

**Penentuan *Data Driven Soft Sensors* dalam Produksi Dimetil Eter dengan Kolom  
Distilasi Reaktif**

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, 1 Agustus 2022



Tjioe Gerry Sebastian Wibowo  
(6141801009)

## LEMBAR REVISI

JUDUL : **PENENTUAN *DATA DRIVEN SOFT SENSORS***  
**DALAM PRODUKSI DIMETIL ETER DENGAN**  
**KOLOM DISTILASI REAKTIF**

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,  
Bandung, 12 Agustus 2022

Penguji 1



Dr. Tedi Hudaya, S.T., M.Eng.Sc.

Penguji 2



I Gede Pandega Wiratama, S.T., M.T.

## INTISARI

Kehidupan manusia sangat bergantung dengan bahan bakar sebagai sumber energi dan sayangnya Indonesia masih melakukan impor LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) untuk memenuhi 80% kebutuhan yang ada. Salah satu alternatif LPG yang juga dinilai lebih efisien adalah dimetil eter. Dimetil eter sendiri memiliki sifat yang bersih dan mudah diolah. Dimetil eter dapat diproduksi dengan menggunakan reaksi langsung ataupun reaksi tidak langsung, tetapi metode yang umum digunakan adalah reaksi tidak langsung dengan reaksi dehidrasi metanol. Terdapat beberapa metode dehidrasi metanol, salah satunya adalah dengan menggunakan kolom distilasi reaktif. Kolom distilasi reaktif memiliki kelebihan mengurangi energi dan biaya produksi, tetapi terdapat juga beberapa kekurangan seperti kesulitan pengendalian kemurnian DME dan konversi metanol secara langsung. Kekurangan ini dapat diatasi dengan menggunakan *data driven soft sensor*.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari pasangan variabel temperatur kolom pada tahap tertentu yang paling mempengaruhi kemurnian dimetil eter dan konversi metanol. Kolom distilasi reaktif yang diuji terdiri dari 54 tahap (8 tahap *rectifying section*, 34 tahap *reaction section*, dan 12 tahap *stripping section*). Simulasi proses dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ASPEN Plus® untuk melakukan perancangan. Simulasi kemudian dilanjutkan dengan perangkat lunak ASPEN Plus Dynamic® untuk mendapatkan data profil temperatur terhadap kemurnian dimetil eter dan konversi metanol. Pada penelitian ini dilakukan analisa statistik dengan metode *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Partial Least Square Regression* (PLSR) untuk mencari hubungan temperatur kolom dan kemurnian dimetil eter dan konversi metanol. Analisa data secara statistik dilakukan dengan bantuan perangkat lunak The Unscambler X™.

Pada penelitian ini, kemurnian DME didapatkan memiliki korelasi negatif dengan profil temperatur kolom distilasi reaktif sedangkan konversi metanol memiliki korelasi positif dengan profil temperatur kolom distilasi reaktif. Temperatur yang mempengaruhi kemurnian DME secara signifikan adalah temperatur tahap 3, 4, 43, dan 51 sedangkan temperatur yang mempengaruhi konversi metanol secara signifikan adalah temperatur tahap 52, 53, dan 54. Perubahan rasio refluks memiliki korelasi negatif terhadap profil temperatur kolom sedangkan perubahan *reboiler duty* memiliki korelasi positif terhadap profil temperatur kolom. Temperatur yang berubah secara signifikan terhadap perubahan rasio refluks secara berurutan adalah temperatur tahap 5, 6, 7, dan 4 sedangkan temperatur yang berubah secara signifikan terhadap perubahan *reboiler duty* secara berurutan adalah temperatur tahap 5, 4, dan 6. Berdasarkan metode *data driven soft sensor*, pengendalian kemurnian DME dapat dilakukan dengan mengendalikan temperatur tahap 4 sebagai *inferential temperature* dan rasio refluks sebagai *manipulated variable*. Berdasarkan metode *data driven soft sensor*, pengendalian konversi metanol didapatkan cukup sulit dilakukan. Hal ini dikarenakan didapatkan temperatur yang mempengaruhi konversi metanol secara signifikan merupakan temperatur tahap 52, 53, dan 54 namun temperatur-temperatur tahap tersebut tidak berubah secara signifikan baik dengan perubahan nilai *manipulated variable* rasio refluks maupun *reboiler duty*.

Kata kunci : distilasi reaktif, dimetil eter, *data driven soft sensor*

## ABSTRACT

*These days, human is very depend on fuel as energy resources, but Indonesia still import LPG (Liquefied Petroleum Gas) for almost 80% of it's need. One of the alternatives of LPG that is also more efficient is dimetil eter. Dimetil eter is a clean fuel and easy to produce. Dimethyl ether (DME) can be produced by direct reaction or indirect reaction, however the most common method that is used is indirect reaction by methanol dehydration. There are some methanol dehydration, one of them is using reactive distilation collumn. Reactive distilation collumn has advantages to reduce energy and cost needed, but there are some disadvantages as it is hard to control the DME purity and methanol conversion directly. These disadvantages can be solved by using data driven soft sensor.*

*This research intends to find collumn temperature variable that affect DME purity and methanol conversion. Reactive distilation collumn that is analyzed has 54 stages (8 rectifying section stages, 34 reaction section stages, and 12 stripping section stages). Process simulation is done by use ASPEN Plus® software to design the process. The simulation then continiud by use ASPEN Plus® software to get temperature profile data towards DME purity and methanol conversion. In this research, statistical method is used by use Principal Component Analysis (PCA) and Partial Least Square Regression (PLSR) to find the correlation of collumn temperature and DME purity and methanol conversion. The statistical analysis is done by use The Unscambler X™ software.*

*In this research, the DME purity has negative correlation with reactive distilation collumn temperature profile while the methanol conversion has positive correlation with reactive distilation collumn temperature profile. Temperatures those affect the DME purity significantly is stage 3, 4, 43, and 51 while temperatures those affect the methanol conversion significantly is stage 52, 53, and 54. Reflux ratio have negative correlation with reactive distilation collumn temperature profile while reboiler duty have positive correlation with reactivte distilation collumn temperature profile. Temperatures that are affected significantly by reflux ratio sequentially are stage 5, 6, 7, dan 5 while temperatures that are affected significantly by reboiler duty sequentially are stage 5, 4, dan 6. Based on data driven soft sensor method, the DME purity can be controlled by control temperature stage 4 as inferential temperature and reflux ratio as manipulated variable. Based on the data driven soft sensor method, the methanol conversion is difficult to controlled. This is because of the temperature that significantly affect methanol conversion are temperature stage 52, 53, and 54, however those temperatures are not significantly affected by either manipulated variable ratio reflux or reboiler duty.*

*Keyword : reactive distilation, dimetil eter, data driven soft sensors*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian yang berjudul “Penentuan *Data Driven Soft Sensors* dalam Produksi Dimetil Eter dengan Kolom Distilasi Reaktif” dengan tepat waktu.

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 penulisan laporan penelitian.
2. Orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan perhatian dan dukungan kepada penulis.
3. Teman-teman penulis yang telah memberikan dukungan dan masukan kepada penulis selama penyusunan laporan penelitian
4. Semua pihak lain yang telah memberikan bantuan dan dukungan baik secara langsung maupun 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 sehingga dapat menjadi bekal bagi penulis untuk memperbaiki laporan penelitian ini. Akhir kata, penulis berharap agar laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Bandung, 1 Agustus 2022

Penulis



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
SURAT PERNYATAAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xiii
INTISARI .....	2
<i>ABSTRACT</i> .....	3
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	2
1.3 Identifikasi Masalah.....	2
1.4 Premis-Premis Penelitian.....	3
1.5 Hipotesis .....	4
1.6 Tujuan Penelitian .....	4
1.7 Manfaat Penelitian .....	4
1.7.1 Bagi Peneliti .....	4
1.7.2 Bagi Industri .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 DME (Dimetil Eter) .....	6
2.1.1 Aplikasi dari DME .....	7
2.2 Sintesis DME .....	8
2.3 Distilasi .....	10
2.4 Distilasi Reaktif .....	12
2.5 Distilasi Reaktif untuk Produksi DME .....	14
2.5.1 Desain Distilasi Reaktif untuk Produksi DME .....	14
2.5.2 Pengendalian Proses Distilasi Reaktif.....	16
2.6 Big Data .....	18
2.7 Soft Sensors .....	19

2.8 <i>Data Driven</i> .....	23
2.8.1 <i>Black box</i> linear .....	23
2.8.2 <i>Black box</i> non-linear.....	24
2.9 <i>Data Driven Soft Sensors</i> .....	24
2.10 Pembuatan <i>Data Driven Soft Sensors</i> .....	24
2.11 <i>Principal Component Analysis</i> (PCA).....	25
2.12 <i>Partial Linear Square Regression</i> (PLSR) .....	31
2.13 ASPEN.....	35
2.14 ASPEN Plus Dynamic® .....	36
2.15 The Unscambler™ .....	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	38
3.1 Pemodelan Kondisi <i>Steady State</i> Kolom Distilasi Reaktif.....	39
3.2 Validasi Kondisi <i>Steady State</i> .....	40
3.3 Pemodelan Kondisi Dinamik Kolom Distilasi Reaktif.....	41
3.4 Validasi Kondisi Dinamik.....	42
3.5 Simulasi Proses Dinamik Kolom Distilasi Reaktif.....	42
3.6 Analisa Statistik .....	42
3.7 Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	44
BAB IV PEMBAHASAN .....	45
4.1 Pemodelan Kondisi <i>Steady State</i> .....	45
4.2 Validasi Kondisi <i>Steady State</i> .....	46
4.3 Pemodelan Kondisi Dinamik Kolom Distilasi Reaktif.....	47
4.4 Validasi Kondisi Dinamik.....	48
4.5 Simulasi Proses Dinamik .....	48
4.5.1. Analisa Sensitivitas.....	49
4.5.2. Pengumpulan Data Simulasi Proses Dinamik .....	51
4.6. Analisa Multivariat .....	54
4.6.1. Analisa Multivariat untuk Data Temperatur ( <i>Input</i> ) dan Kemurnian DME dan Konversi Metanol ( <i>output</i> ).....	55
4.6.2. Analisa Multivariat untuk Data <i>Reflux ratio</i> dan <i>Reboiler Duty</i> ( <i>Input</i> ) dan Temperatur ( <i>output</i> ) .....	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	74
5.1. Kesimpulan .....	74

5.2. Saran .....	75
DAFTAR PUSTAKA.....	76
LAMPIRAN A GRAFIK.....	80
A.1. Simulasi Dinamik Perubahan Rasio Refluks .....	80
LAMPIRAN B TABEL.....	85
B.1. Persamaan Model Regresi Data <i>Input</i> (Temperatur) dan Data <i>Output</i> (Kemurnian DME dan Konversi Metanol).....	85
B.2. Analisis Persebaran Data <i>Output</i> (Temperatur) dengan <i>Descriptive Statistic</i> .....	87
B.3. Persamaan Model Regresi Data <i>Input</i> (Perubahan Variabel) dan Data <i>Output</i> (Temperatur) dengan Metode PLSR ( <i>Partial Least Square Regression</i> ) .....	89

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur molekul DME .....	7
Gambar 2.2. Rangkaian alat kolom distilasi.....	10
Gambar 2.3. Tahap pada kolom distilasi .....	11
Gambar 2.4 Diagram skematik dari distilasi reaktif.....	13
Gambar 2.5. Skema desain kolom distilasi reaktif.....	15
Gambar 2.6. <i>Single point PI control configuration</i> .....	17
Gambar 2.7. <i>Single point PI control configuration</i> .....	18
Gambar 2.8. Konsep dasar dari soft sensor .....	20
Gambar 2.9. Deteksi Analisis Abnormal Menggunakan Soft Sensors.....	21
Gambar 2.10. Diagram blok analisa soft sensor dengan permasalahannya.....	22
Gambar 2.11. Skema dasar desain data driven soft sensor.....	25
Gambar 2.12. Normalisasi data .....	26
Gambar 2.13. (a) dan (b) Contoh penyebaran data, (c) dan (d) contoh normalisasi dengan <i>centered</i> , (e) dan (F) contoh standarisasi data .....	27
Gambar 2.14. Proyeksi data terhadap garis .....	28
Gambar 2.15. Proyeksi data terhadap garis .....	28
Gambar 2.16. Penentuan data <i>outliers</i> pada <i>score plot</i> .....	29
Gambar 2.17. (a) Sampel dengan <i>Residual</i> yang tinggi, (b) Sampel dengan <i>Leverage</i> yang Tinggi.....	30
Gambar 2.18. Penentuan data outliers (a) Residual tinggi, (b) Residuals dan Leverage tinggi, (c) Leverage tinggi.....	30
Gambar 2.19. Loading plot pada PCA .....	31
Gambar 2.20. Skema proses kalibrasi .....	32
Gambar 2.21. Skema proses validasi.....	33
Gambar 2.22. Skema pengujian sampel percobaan dan sampel pengujian.....	33
Gambar 2.23 Penentuan variabel yang berpengaruh pada <i>loading plot</i> PLS .....	34
Gambar 2.24. Tampilan menu utama (main window) dari ASPEN Plus flowsheet simulator .....	35
Gambar 2.25. Tampilan menu utama dari The Unscambler X <sup>TM</sup> .....	37
Gambar 3.1. Bagan kerja penelitian .....	38

Gambar 3.2. Model kolom distilasi reaktif.....	39
Gambar 3.3. Profil temperatur dan laju reaksi sepanjang kolom .....	41
Gambar 3.4. Bagan kerja analisa statistik.....	43
Gambar 4.1. Skema Simulasi <i>Steady State</i> pada Aspen Plus .....	45
Gambar 4.2. Profil temperatur dan laju reaksi hasil simulasi.....	46
Gambar 4.3. Profil temperatur dan reaksi Literatur.....	47
Gambar 4.4. Hasil Simulasi Dinamik Temperatur Setiap Tahap Fungsi Waktu (a) Temperatur tahap 1 hingga 14 (b) Temperatur tahap 15 hingga 26 .....	48
Gambar 4.5. Profil temperatur hasil simulasi dinamik.....	49
Gambar 4.6. Analisa sensitivitas rasio refluks terhadap temperatur tahap 5.....	50
Gambar 4.7. Analisa sensitivitas rasio refluks terhadap kemurnian DME.....	50
Gambar 4.8. Analisa sensitivitas reboiler duty terhadap temperatur tahap 47 .....	51
Gambar 4.9. Analisa sensitivitas reboiler duty terhadap konversi metanol .....	51
Gambar 4.10. Persebaran data untuk kemurnian DME dan konversi metanol (a) sebelum standarisasi (b) setelah standarisasi .....	56
Gambar 4.11. Correlation loadings untuk variabel kemurnian DME dan konversi metanol pada PCA.....	57
Gambar 4.12. Score plot pada PCA untuk kemurnian DME dan konversi metanol (a) tanpa marking (b) dengan marking .....	58
Gambar 4.13. Influence plot pada PCA untuk kemurnian DME dan konversi metanol (a) tanpa marking (b) dengan marking.....	59
Gambar 4.14. <i>Explained variance</i> pada PCA untuk kemurnian DME dan konversi metanol .....	60
Gambar 4.15. <i>Correlation loadings</i> untuk variabel temperatur terhadap kemurnian DME dan konversi metanol pada PLSR.....	61
Gambar 4.16. Explained Variance untuk variabel temperatur terhadap kemurnian DME dan konversi metanol pada PLSR.....	62
Gambar 4.17. <i>Weighted regression coefficients</i> untuk variabel <i>output</i> kemurnian DME... 63	63
Gambar 4.18. <i>Weighted regression coefficients</i> untuk variabel <i>output</i> konversi metanol.. 63	63
Gambar 4.19. Grafik Predicted vs Refernce persamaan regresi (a) kemurnian DME (b) konversi metanol.....	66
Gambar 4.20. Persebaran data untuk variabel <i>output</i> (temperatur) (a) sebelum standarisasi (b) setelah standarisasi.....	67

Gambar 4.21. Correlation loadings untuk variabel temperatur sepanjang kolom pada metode PCA.....	68
Gambar 4.22. <i>Score plot</i> pada PCA untuk variabel <i>output</i> (temperatur) .....	69
Gambar 4.23. Influence plot pada PCA untuk variabel output (temperatur) .....	69
Gambar 4.24. <i>Explained variance</i> pada PCA untuk variabel <i>output</i> (temperatur).....	69
Gambar 4.25. Correlation loadings untuk pengaruh variabel rasio refluks dan reboiler duty terhadap temperatur sepanjang kolom pada PLSR.....	70
Gambar 4.26. Persebaran konstanta variabel rasio refluks terhadap perubahan temperatur sepanjang kolom pada persamaan regresi PLSR.....	71
Gambar 4.27. Persebaran konstanta variabel <i>reboiler duty</i> terhadap perubahan temperatur sepanjang kolom pada persamaan regresi PLSR.....	71
Gambar A.1. Hasil simulasi dinamik untuk perubahan rasio refluks sebesar +5% terhadap profil temperatur tahap 1 hingga 14 (a) tahap 15 hingga 28 (b) tahap 29 hingga 41 (c) tahap 42 hingga 54 (d).....	80
Gambar A.2. Hasil simulasi dinamik untuk perubahan rasio refluks sebesar +2% terhadap profil temperatur tahap 1 hingga 14 (a) tahap 15 hingga 28 (b) tahap 29 hingga 41 (c) tahap 42 hingga 54 (d).....	81
Gambar A.3. Hasil simulasi dinamik untuk perubahan rasio refluks sebesar -2% terhadap profil temperatur tahap 1 hingga 14 (a) tahap 15 hingga 28 (b) tahap 29 hingga 41 (c) tahap 42 hingga 54 (d).....	81
Gambar A.4. Hasil simulasi dinamik untuk perubahan rasio refluks sebesar -5% terhadap profil temperatur tahap 1 hingga 14 (a) tahap 15 hingga 28 (b) tahap 29 hingga 41 (c) tahap 42 hingga 54 (d).....	82
Gambar A. 5 . Hasil simulasi dinamik untuk perubahan reboiler duty sebesar +5% terhadap profil temperatur tahap 1 hingga 14 (a) tahap 15 hingga 28 (b) tahap 29 hingga 41 (c) tahap 42 hingga 54 (d).....	82
Gambar A.6. Hasil simulasi dinamik untuk perubahan reboiler duty sebesar +3% terhadap profil temperatur tahap 1 hingga 14 (a) tahap 15 hingga 28 (b) tahap 29 hingga 41 (c) tahap 42 hingga 54 (d).....	83
Gambar A.7. Hasil simulasi dinamik untuk perubahan reboiler duty sebesar -3% terhadap profil temperatur tahap 1 hingga 14 (a) tahap 15 hingga 28 (b) tahap 29 hingga 41 (c) tahap 42 hingga 54 (d).....	83

Gambar A.8. Hasil simulasi dinamik untuk perubahan reboiler duty sebesar -5% terhadap profil temperatur tahap 1 hingga 14 (a) tahap 15 hingga 28 (b) tahap 29 hingga 41 (c) tahap 42 hingga 54 (d)..... 84

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat Fisik DME.....	6
Tabel 2.2. Variabel proses dalam proses distilasi reaktif .....	16
Tabel 3.1. Parameter desain kolom distilasi reaktif.....	40
Tabel 3.2. Rencana kerja penelitian.....	44
Tabel 4.1. Hasil Simulasi Steady State.....	45
Tabel 4.2. Rentang perubahan variabel yang akan disimulasikan.....	52
Tabel 4.3. Tabel persebaran data untuk kemurnian DME dan konversi metanol .....	56
Tabel 4.4. Root Mean Squared Errors dan R-Square variabel kemurnian DME dan konversi metanol .....	65
Tabel B.1. Persamaan Model Regresi Data Input (Temperatur) dan Data Output (Kemurnian DME dan Konversi Metanol).....	85
Tabel B.2. Analisis Persebaran Data Output (Temperatur) dengan Descriptive Statistic...	87
Tabel B.3. Persamaan Model Regresi Data Input (Perubahan Variabel) dan Data Output (Temperatur) dengan Metode PLSR (Partial Least Square Regression).....	89



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada era modern ini, kata *big data* sudah menjadi hal yang sering didengar. Seiring dengan perkembangan teknologi meningkat juga jumlah kuantitas data sehingga sering juga disebut sebagai *big data*. Kehadiran *big data* mengubah cara pandang berbagai ilmu dalam mengambil sebuah keputusan. Banyak bidang yang memanfaatkan data yang ada untuk digunakan sebagai pertimbangan dalam mengambil sebuah keputusan yang umum, hal ini biasa disebut sebagai *data driven*. Pada ilmu teknik kimia sendiri pemanfaatan data masih jarang dilakukan walau terdapat banyak hal yang dapat dikembangkan berdasarkan data-data yang telah dimiliki oleh suatu pabrik.

Salah satu industri yang proses nya menghasilkan data adalah industri energi. Kehidupan manusia sudah tidak bisa lepas dari bahan bakar, bahan bakar digunakan untuk berbagai hal seperti memasak, pembangkit listrik dan kendaraan bermotor. Pada tahun 2020 sendiri, Indonesia membutuhkan 8,02 juta ton LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) yang umum digunakan untuk bahan bakar peralatan memasak. Pada tahun 2020 tercatat juga Indonesia memenuhi hampir 80% kebutuhan LPG dengan impor, oleh karena itu Pemerintah Indonesia memutuskan untuk memproduksi bahan bakar alternatif LPG. Salah satu alternatif bahan bakar yang dinilai dapat mensubstitusi LPG bahkan dinilai lebih efektif adalah dimetil eter atau DME. DME umum nya diproduksi dengan cara dehidrasi metanol yang dapat dilakukan dengan menggunakan reaktor untuk reaksi dan kolom distilasi untuk pemisahan DME dan air. Hal ini menjadi solusi untuk menjawab masalah kebutuhan bahan bakar ramah lingkungan, terlebih saat ini telah banyak pengembangan produksi metanol berbasis biomassa, namun penggunaan reaktor dan kolom distilasi akan meningkatkan biaya operasi yang tinggi, sehingga diciptakan alternatif metode dimana reaksi dan pemisahan dilakukan pada satu alat operasi yaitu kolom distilasi reaktif.

Kolom distilasi reaktif sendiri memiliki kelebihan dimana proses akan menjadi lebih ekonomis, serta pada kolom distilasi reaktif dapat ditambahkan katalis untuk mempercepat reaksi serta meningkatkan konversi dari reaktan. Akan tetapi kolom distilasi reaktif memiliki keterbatasan dimana nilai konversi reaktan dan kemurnian dari produk tidak dapat diatur secara langsung, pengendalian proses dilakukan dengan mengendalikan beberapa temperatur pada tahap kolom distilasi sebagai *inferential variables*. Keterbatasan dari pengendalian ini

adalah hanya beberapa temperatur tahap yang dijadikan *inferential variables*, sedangkan ada kemungkinan temperatur tahap lain yang dapat mempengaruhi nilai *output*.

Salah satu jenis aplikasi pengendalian yang dapat digunakan adalah *soft sensors*. Pada *soft sensors*, data nilai *output* dapat dikumpulkan dan dapat digunakan untuk membuat model prediktif untuk memprediksi pengaruh nilai variabel *input* yang lebih mudah diukur terhadap variabel *output* yang sulit diukur. *Soft sensors* dibagi menjadi 3 jenis yaitu *white box model*, *black box model*, dan *gray box model*. *White box model* merupakan model yang didasarkan pada persamaan neraca massa dan energi. Sedangkan *black box model* merupakan model yang didasarkan pada analisa statistika dari data-data yang telah didapatkan. *Gray box model* sendiri merupakan gabungan dari *white box model* dan *black box model*.

Pada percobaan ini, model yang digunakan merupakan *black box model* atau *data driven soft sensors* yang merupakan salah satu aplikasi *data driven* di teknik kimia. Pembuatan *data driven soft sensors* dilakukan dengan mengumpulkan data simulasi oleh ASPEN yang selanjutnya akan dianalisa dengan teknik statistik. Teknik statistik yang digunakan adalah *Principal Component Analysis* (PCA) dan *Partial Least Square Regression* (PLSR). PCA digunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel data dan mendeteksi data yang menyimpang. PLSR digunakan untuk memprediksi model yang sesuai antara *input* dan *output*.

Penelitian mengenai penggunaan *data driven soft sensors* pada distilasi reaktif ini masih sangat sedikit. Sehingga diharapkan pada penelitian *data driven soft sensors* ini dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh *inferential variable* terhadap kemurnian dan konversi metanol. Selanjutnya diharapkan penelitian ini dapat diterapkan pada pengendalian proses dari kolom distilasi reaktif pada produksi DME.

## 1.2 Tema Sentral Masalah

Tema sentral penelitian ini adalah mencari hubungan antara variabel *input* (temperatur tahap kolom) dan variabel *output* (kemurnian DME dan konversi metanol) pada kolom distilasi reaktif dengan analisis secara statistik menggunakan PCA dan PLSR.

## 1.3 Identifikasi Masalah

1. Bagaimana pengaruh perubahan variabel *input* yang diberikan (*reflux flow rate* dan *reboiler duty*) dari kolom distilasi reaktif terhadap profil temperatur di sepanjang kolom, kemurnian DME dan konversi metanol ?
2. Bagaimana persamaan hubungan antara temperatur terhadap kemurnian DME maupun konversi metanol dengan metode *data driven soft sensors* ?
3. Bagaimana persamaan hubungan antara *reflux flow rate* dan *reboiler duty* terhadap temperatur dengan metode *data driven soft sensors* ?

#### 1.4 Premis-Premis Penelitian

1. Produksi DME dilakukan dengan kolom distilasi reaktif, dengan reaksi yang digunakan adalah  $2\text{CH}_3\text{OH} \leftrightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$  (Bakhtyari dan Rahimpour, 2018; Wahid dan Putra, 2018).
2. Kondisi umpan metanol adalah 12 bar dan 25°C yang dipanaskan dengan *heat exchanger* sehingga mencapai kondisi 12 bar dan 85,4°C (Bildea, dkk., 2017; Wahid dan Putra, 2018).
3. Jumlah tahap pada kolom distilasi reaktif untuk produksi DME adalah 54, *rectifying section* berada pada tahap 1 – 8, zona reaksi berada pada tahap 9 – 42, dan *stripping section* berada pada tahap 43 – 54 (Bildea, dkk., 2017).
4. Rasio *reflux* yang digunakan sebesar 6,117 dengan beban *reboiler* sebesar 8,485 MW (Bildea, dkk., 2017).
5. Model termodinamika yang digunakan adalah NRTL (Wahid & Putra, 2018)
6. Reaksi dehidrasi metanol yang digunakan adalah resin penukar ion asam sulfonat dengan asumsi tidak ada reaksi samping (Lei, dkk., 2011).
7. Kinetika reaksi untuk reaksi dehidrasi metanol dengan katalis resin penukar ion asam sulfonat yaitu  $r_{\text{DME}} = kW_{\text{cat}}[\text{MeOH}]^m[\text{H}_2\text{O}]^n$  dimana  $k = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$  (Lei, dkk., 2011)  
 Dengan:      A      = tetapan Arrhenius (5,19 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>/ kg cat.s)  
                   E<sub>a</sub>    = energi aktivasi (133,8 kJ/mol)  
                   m      = orde reaksi metanol (1,51)  
                   n      = orde reaksi air (-0,51)
8. Spesifikasi data untuk *reflux drum*, dan *sump* dapat dihitung dengan persamaan:

$$V = \frac{\pi D^2 L}{4} + 2f_{HV}D^3$$

Dengan  $f_{HV} = 2:1$  *elipsoidal head* (0,0139) (Marshall dan Jaquelyn, 2021).

9. Pada bagian *hydraulic* merupakan *simple packing* dikarenakan kolom distilasi reaktif yang digunakan berjenis *packing* dengan diameter sebesar 2 m dan *Height Equivalent of Theoretical Plate* (HETP) sebesar 0,5 m (Bildea, dkk., 2017; Marshall dan Jaquelyn, 2021).
10. Temperatur tahap 5 dan temperatur tahap 47 dapat digunakan sebagai *inferential variables* untuk kemurnian produk dan konversi metanol. Temperatur tahap 5 dan temperatur tahap 47 dapat dikendalikan oleh *reflux flow rate* dan *reboiler duty* (Wahid & Putra, 2018).

## 1.5 Hipotesis

1. Peningkatan *reflux flow rate* akan meningkatkan profil temperatur *rectifying section* kolom distilasi serta kemurnian DME. Sedangkan peningkatan *reboiler duty* akan meningkatkan profil temperatur *stripping section* serta konversi metanol.
2. Model yang menjelaskan hubungan antara temperatur terhadap kemurnian DME dan konversi metanol dapat ditentukan dengan menggunakan metode statistik PCA dan PLSR.
3. Model yang menjelaskan hubungan antara *reflux flow rate* dan *reboiler duty* terhadap temperatur dapat ditentukan dengan menggunakan metode statistik PCA dan PLSR.

## 1.6 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh perubahan variabel *input* (*reflux flow rate* dan *reboiler duty*) yang diberikan terhadap profil temperatur sepanjang kolom, kemurnian DME, dan konversi metanol.
2. Mengetahui temperatur tahap yang paling berpengaruh terhadap kemurnian DME maupun konversi metanol dengan metode *data driven soft sensors*.
3. Mengetahui variabel yang paling berpengaruh terhadap temperatur yang mempengaruhi kemurnian DME maupun konversi metanol dengan metode *data driven soft sensors*.

## 1.7 Manfaat Penelitian

### 1.7.1 Bagi Peneliti

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

### **1.7.2 Bagi Industri**

Dengan adanya penelitian ini, dapat diketahui apakah analisa dengan menggunakan *data driven soft sensors* dapat membantu pemilihan kondisi operasi pada kolom distilasi reaktif untuk mendapat nilai kemurnian DME dan konversi metanol yang diinginkan. Dengan mengetahui respon proses terhadap perubahan variabel *input* dapat digunakan juga sebagai proses pengendalian. Selain itu, metode *data driven sensors* juga dapat digunakan sebagai alternatif dalam menjaga kemurnian DME dan konversi metanol dan juga pada aplikasi di industri lainnya.