



**DESAIN DAN OPTIMASI DISTILASI EKSTRAKTIF  
DAN *EXTRACTIVE DIVIDING WALL COLUMN*  
PADA PEMISAHAN CAMPURAN  
TETRAHIDROFURAN - ETANOL**

**ICE 410 - Penelitian**

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

Oleh:

**Nanette Litya (2014620005)**

**Juan Christopher (2014620081)**

Pembimbing :

**Herry Santoso, S.T., M.T.M, Ph.D.**

**Yansen Hartanto, S.T., M.T.**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

No. Kode	: TK LIT d/18 BANDUNG
Tanggal	: 8 Februari 2019 2018
No. Ind.	: 4271-FTI / 2018 36839
Divisi	:
Masih / Bel	:
Dari	: FTI

## LEMBAR PENGESAHAN



JUDUL: DESAIN DAN OPTIMASI DISTILASI EKSTRAKTIF DAN  
*EXTRACTIVE DIVIDING WALL COLUMN* PADA PEMISAHAN  
CAMPURAN TETRAHIDROFURAN - ETANOL

Catatan

Telah diperiksa dan disetujui,  
Bandung, 11 Juli 2018

Pembimbing 1,

Pembimbing 2,

**Herry Santoso, S.T.,M.T.M, Ph.D.**

**Yansen Hartanto, S.T., M.T.**

JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN



## SURAT PERNYATAAN

Kami, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nanette Litya

NRP : 6214005

Nama : Juan Christopher

NRP : 6214081

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul:

**DESAIN DAN OPTIMASI DISTILASI EKSTRAKTIF DAN *EXTRACTIVE*  
*DIVIDING WALL COLUMN* PADA PEMISAHAN CAMPURAN  
TETRAHIDROFURAN - ETANOL**

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

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

Bandung, 11 Juli 2018

Nanette Litya  
(2014620005)

Juan Christopher  
(2014620081)



## LEMBAR REVISI

**JUDUL:** DESAIN DAN OPTIMASI DISTILASI EKSTRAKTIF DAN *EXTRACTIVE DIVIDING WALL COLUMN* PADA PEMISAHAN CAMPURAN TETRAHIDROFURAN - ETANOL

CATATAN

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 11 Juli 2018

Dosen Penguji 1,

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

Dosen Penguji 2,

**Hans Kristianto, S.T., M.T.**

## KATA PENGANTAR



Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian berjudul **“Desain dan Optimasi Distilasi Ekstraktif dan *Extractive Dividing Wall Column* pada Pemisahan Campuran Tetrahidrofuran - Etanol”** ini tepat pada waktunya. Penulisan penelitian ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan mata kuliah ICE-410-04 Penelitian Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penulisan penelitian ini, penulis mendapat banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis secara khusus mengucapkan terima kasih kepada:

1. Herry Santoso S.T., M.T.M, Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 (pertama) yang telah memberikan pengarahan dalam penyusunan penelitian ini.
2. Yansen Hartanto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 (kedua) yang telah memberikan pengarahan dalam penyusunan penelitian ini.
3. Orang tua serta keluarga penulis atas doa dan dukungannya baik secara moral maupun material.
4. Teman-teman teknik kimia angkatan 2013, 2014, dan 2015 atas dukungan dan masukannya kepada penulis saat penyusunan penelitian.
5. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

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

Bandung, 11 Juli 2018

Penulis

# DAFTAR ISI



LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
SURAT PERNYATAAN .....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR ISTILAH.....	xiv
INTISARI .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tema Sentral .....	2
1.3 Identifikasi Masalah.....	3
1.4 Premis .....	3
1.5 Tujuan Penelitian .....	4
1.6 Manfaat Penelitian .....	4
1.6.1 Bagi Industri .....	4
1.6.2 Bagi Ilmuan .....	4
1.6.3 Bagi Negara Indonesia.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Distilasi .....	5
2.1.1 Distilasi Sederhana .....	7
2.1.2 Distilasi Uap .....	7
2.1.3 Distilasi Vakum .....	8

2.1.4	Distilasi Fraksionasi .....	8
2.2	Pemisahan Campuran Secara Azeotrop .....	9
2.2.1	<i>Minimum-boiling</i> azeotrop .....	9
2.2.2	<i>Maximum-boiling</i> azeotrop .....	10
2.3	Distilasi Azeotropik .....	11
2.3.1	Distilasi tanpa tambahan komponen ke-3 .....	12
2.3.2	Distilasi dengan tambahan komponen ke-3 .....	13
2.4	Pemisahan Campuran Azeotrop Tetrahidrofuran – Etanol .....	16
2.4.1	<i>Pressure-Swing Distillation</i> .....	17
2.4.2	Distilasi Ekstraktif .....	18
2.4.3	<i>Extractive Dividing Wall Column</i> .....	19
2.4.4	Aturan Heuristik untuk Desain <i>Dividing Wall Column</i> .....	21
2.5	Validasi Distilasi Ekstraktif pada Pemisahan THF-Etanol .....	21
2.5.1	Optimasi Laju Alir Pelarut .....	22
2.5.2	Optimasi $N_T$ pada Kolom Ekstraksi .....	22
2.5.3	Optimasi Proses Diagram Alir .....	22
2.6	Optimasi Desain untuk <i>Dividing Wall Column</i> .....	23
2.7	Evaluasi Ekonomi .....	26
BAB III METODE PENELITIAN .....		27
3.1	Studi <i>Software Aspen Plus</i> <sup>®</sup> .....	28
3.2	Simulasi Desain Distilasi Ekstraktif pada Pemisahan THF-Etanol .....	28
3.2.1	Pemilihan Pelarut .....	28
3.2.2	Persyaratan Desain .....	29
3.3	Desain Awal <i>Extractive Dividing Wall Column</i> pada Pemisahan THF-Etanol ...	30
3.4	Simulasi dan Validasi <i>Extractive Dividing Wall Column</i> pada Pemisahan THF-Etanol .....	30
3.5	Studi Kasus .....	31
3.6	Analisis Ekonomi dan Optimasi Desain .....	32
3.6.1	Analisis Ekonomi .....	32
3.6.2	Optimasi Desain Secara Simultan .....	33

3.7	Cara Kerja Penelitian Secara Keseluruhan .....	35
3.8	Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian .....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		38
4.1	Simulasi Awal Kolom Distilasi Ekstraktif .....	38
4.2	Optimasi Kolom Distilasi Ekstraktif .....	43
4.3	Desain Awal <i>Dividing Wall Column</i> Ekstraktif .....	47
4.4	Optimasi Tiap Variabel .....	55
4.4.1	Optimasi Panjang Sekat .....	55
4.4.2	Optimasi Jumlah Tahap .....	57
4.4.3	Optimasi Letak Umpan Masuk .....	58
4.4.4	Optimasi Letak <i>Entrainer</i> Masuk .....	58
4.5	Optimasi Serempak dari Variabel Optimasi .....	59
4.6	Perbandingan Hasil Optimasi .....	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		63
5.1	Kesimpulan .....	63
5.2	Saran .....	63
DAFTAR PUSTAKA .....		64
LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN .....		66
A.1	Distilasi Ekstraktif .....	66
A.1.1	Perhitungan Biaya Kondensor .....	66
A.1.2	Perhitungan Biaya <i>Reboiler</i> .....	68
A.1.3	Perhitungan Biaya <i>Cooler</i> .....	69
A.1.4	Perhitungan Energi .....	70
A.1.5	Perhitungan TAC .....	70
A.2	DWC Ekstraktif .....	71
A.2.1	Perhitungan Biaya Kolom .....	71
A.2.2	Perhitungan Biaya Sekat .....	71
A.2.3	Perhitungan Biaya Kondensor .....	72
A.2.4	Perhitungan Biaya <i>Reboiler</i> .....	73



A.2.5	Perhitungan Biaya Cooler.....	74
A.2.6	Perhitungan Energi .....	75
A.2.7	Perhitungan TAC.....	75
LAMPIRAN B HASIL ANTARA .....		76
B.1.	Optimasi Distilasi Ekstraktif.....	76
B.1.1	Optimasi Kolom Pertama .....	76
B.1.2	Optimasi Letak Umpan Masuk Kolom Pertama.....	76
B.1.3	Optimasi Letak Entrainer Masuk Kolom Pertama .....	77
B.1.4	Optimasi Kolom Kedua .....	77
B.1.5	Optimasi Letak Umpan Masuk Kolom Kedua .....	77
B.2.	Optimasi Distilasi Ekstraktif dengan Menggunakan <i>Dividing Wall Column</i> .....	78
B.2.1	Optimasi Panjang Sekat.....	78
B.2.2	Optimasi Letak Umpan Masuk.....	79
B.2.3	Optimasi Letak Entrainer Masuk.....	79
LAMPIRAN C GRAFIK.....		80
C.1	Optimasi Distilasi Ekstraktif.....	80
C.1.1	Jumlah Tahap Kolom Pertama .....	80
C.1.2	Letak Umpan Masuk Kolom Pertama .....	81
C.1.3	Letak <i>Entrainer</i> Masuk Kolom Pertama .....	83
C.1.4	Jumlah Tahap Kolom Kedua .....	84
C.1.5	Letak Umpan Masuk Kolom Kedua.....	86
C.2	Optimasi <i>Extractive Dividing Wall Column</i> .....	87
C.2.1	Panjang Sekat .....	87
C.2.2	Jumlah Tahap.....	89
C.2.3	Letak Umpan Masuk .....	90
C.2.4	Letak <i>Entrainer</i> Masuk.....	92

## DAFTAR GAMBAR



Gambar 2.1 Proses Distilasi (Kiss, 2003).....	5
Gambar 2.2 Proses Distilasi Campuran Propilena dan Propana (Seader & Henley, 1998) ..	6
Gambar 2.3 Alat Distilasi Sederhana (Anonim, 2011).....	7
Gambar 2.4 Proses Distilasi Bertingkat (Anonim, 2011).....	8
Gambar 2.5 <i>Minimum-boiling</i> Azeotrop (Desmukh, 2015) .....	10
Gambar 2.6 <i>Maximum-boiling</i> Azeotrop (Desmukh, 2015).....	11
Gambar 2.7 Desain <i>Pressure-swing Distillation</i> (Othmer, 2006) .....	12
Gambar 2.8 Desain <i>Flowsheet</i> dari Distilasi Azeotropik (Sun, 2011) .....	14
Gambar 2.9 Desain Kolom Distilasi Ekstraktif (Ing, 2008).....	15
Gambar 2.10 Kurva T-xy THF-etanol pada 1 atm (Wang, 2014) .....	17
Gambar 2.11 Contoh Konsep Desain <i>Flowsheet</i> dari Proses <i>Pressure-Swing Distillation</i> THF-Etanol (Wang, 2014).....	18
Gambar 2.12 Contoh Konsep Desain <i>Flowsheet</i> dari Proses Distilasi Ekstraktif THF- Etanol dengan Pelarut <i>Ethylene Glycol</i> (Wang, 2014) .....	19
Gambar 2.13 Desain Kolom dengan <i>Dividing Wall Column</i> (Kiss, 2013).....	20
Gambar 2.14 Desain Sekat pada Kolom dengan <i>Dividing Wall Column</i> .....	20
Gambar 2.15 Bentuk Simpleks (Edgar, 2001).....	24
Gambar 2.16 Pencermian Simpleks (Edgar, 2001) .....	25
Gambar 2.17 Pergerakan Simpleks Dua Dimensi (Walters, 1991) .....	25
Gambar 2.18 Contoh dari Kontraksi dan Ekspansi dalam Metode Simpleks Nelder Mead (Walters, 1991).....	26
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Tahap-Tahap Penyelesaian .....	27
Gambar 3.2 Pemisahan THF – Etanol dengan Distilasi Ekstraktif (Wang, 2014) .....	29
Gambar 3.3 Simulasi EDWC dengan Menggunakan 3 (tiga) Kolom (Zhang, 2014) .....	31
Gambar 3.4 Langkah Optimasi Metode Simpleks Nelder-Mead (Walters, 2001) .....	34
Gambar 3.5 Langkah Penelitian Secara Keseluruhan .....	35
Gambar 4.1 (a) Data Spesifikasi Kolom Pertama (b) Data <i>Streams</i> Letak Umpan dan <i>Solvent</i> Masuk.....	39

Gambar 4.2 (a) Data Spesifikasi Kolom Kedua (b) Data <i>Streams</i> Letak Umpan dari Produk Bawah Kolom Pertama Masuk .....	40
Gambar 4.3 Simulasi Distilasi Ekstraktif dalam Penelitian Wang (2014) dengan Menggunakan Aspen Plus® .....	40
Gambar 4.4 (a) Data Spesifikasi Kolom Pertama (b) Data Spesifikasi Kolom Kedua .....	42
Gambar 4.5 Hasil Optimasi TAC terhadap Jumlah Tahap Kolom Pertama .....	43
Gambar 4.6 Hasil Optimasi TAC terhadap Letak Umpan Masuk Kolom Pertama .....	44
Gambar 4.7 Hasil Optimasi TAC terhadap Letak <i>Entrainer</i> Masuk Kolom Pertama .....	45
Gambar 4.8 Hasil Optimasi TAC terhadap Jumlah Tahap Kolom Kedua .....	45
Gambar 4.9 Hasil Optimasi TAC terhadap Letak Umpan Masuk Kolom Kedua .....	46
Gambar 4.10 Desain DWC dengan Menggunakan Tiga Kolom RADFRAC .....	48
Gambar 4.11 (a) Data Spesifikasi Kolom Pertama (b) Data <i>Streams</i> Letak Umpan dan <i>Solvent</i> .....	49
Gambar 4.12 (a) Data Spesifikasi Kolom Ketiga (b) Data <i>Streams</i> Letak Umpan dan <i>Solvent</i> .....	49
Gambar 4.13 (a) Data Spesifikasi Kolom Kedua (b) Data <i>Streams</i> Letak Umpan dan <i>Solvent</i> .....	50
Gambar 4.14 Hasil Simulasi Awal pada Aspen Plus® .....	50
Gambar 4.15 Spesifikasi Kolom Pertama .....	51
Gambar 4.16 Spesifikasi Kolom Kedua .....	51
Gambar 4.17 Spesifikasi Kolom Ketiga .....	52
Gambar 4.18 Spesifikasi Kolom Pertama .....	53
Gambar 4.19 Spesifikasi Kolom Kedua .....	53
Gambar 4.20 Spesifikasi Kolom Ketiga .....	54
Gambar 4.21 Beban <i>Reboiler</i> Kolom Kedua .....	54
Gambar 4.22 Hasil Optimasi TAC terhadap Panjang Sekat .....	56
Gambar 4.23 Hasil Optimasi dengan Panjang Sekat 59 Tahap .....	57
Gambar 4.24 Hasil Optimasi TAC terhadap Jumlah Tahap .....	57
Gambar 4.25 Hasil Optimasi TAC terhadap Letak Umpan Masuk .....	58
Gambar 4.26 Hasil Optimasi TAC terhadap Letak <i>Entrainer</i> Masuk .....	59
Gambar C.1 Jumlah Tahap Kolom Pertama terhadap Nilai TAC .....	80
Gambar C.2 Jumlah Tahap Kolom Pertama terhadap Biaya Energi .....	80

Gambar C.3 Jumlah Tahap Kolom Pertama terhadap <i>Capital Cost</i> .....	81
Gambar C.4 Letak Umpan Masuk Kolom Pertama terhadap Nilai TAC .....	81
Gambar C.5 Letak Umpan Masuk Kolom Pertama terhadap Biaya Energi .....	82
Gambar C.6 Letak Umpan Masuk Kolom Pertama terhadap <i>Capital Cost</i> .....	82
Gambar C.7 Letak <i>Entrainer</i> Masuk Kolom Pertama terhadap Nilai TAC .....	83
Gambar C.8 Letak <i>Entrainer</i> Masuk Kolom Pertama terhadap Biaya Energi .....	83
Gambar C.9 Letak <i>Entrainer</i> Masuk Kolom Pertama terhadap <i>Capital Cost</i> .....	84
Gambar C.10 Jumlah Tahap Kolom Kedua terhadap Nilai TAC .....	84
Gambar C.11 Jumlah Tahap Kolom Kedua terhadap Biaya Energi .....	85
Gambar C.12 Jumlah Tahap Kolom Kedua terhadap <i>Capital Cost</i> .....	85
Gambar C.13 Letak Umpan Masuk Kolom Kedua terhadap Nilai TAC.....	86
Gambar C.14 Letak Umpan Masuk Kolom Kedua terhadap Biaya Energi.....	86
Gambar C.15 Letak Umpan Masuk Kolom Kedua terhadap <i>Capital Cost</i> .....	87
Gambar C.16 Panjang Sekat terhadap <i>Capital Cost</i> .....	87
Gambar C.17 Panjang Sekat terhadap Biaya Energi .....	88
Gambar C.18 Panjang Sekat terhadap Nilai TAC .....	88
Gambar C.19 Jumlah Tahap terhadap <i>Capital Cost</i> .....	89
Gambar C.20 Jumlah Tahap terhadap Biaya Energi .....	89
Gambar C.21 Jumlah Tahap terhadap Nilai TAC .....	90
Gambar C.22 Letak Umpan Masuk terhadap <i>Capital Cost</i> .....	90
Gambar C.23 Letak Umpan Masuk terhadap Biaya Energi .....	91
Gambar C.24 Letak Umpan Masuk terhadap Nilai TAC .....	91
Gambar C.25 Letak <i>Entrainer</i> Masuk terhadap <i>Capital Cost</i> .....	92
Gambar C.26 Letak <i>Entrainer</i> Masuk terhadap Biaya Energi .....	92
Gambar C.27 Letak <i>Entrainer</i> Masuk terhadap Nilai TAC .....	93

## DAFTAR TABEL



Tabel 2.1 Sifat Fisik Tetrahidrofur (Anonim, 2017) .....	16
Tabel 2.2 Sifat Fisik Etanol (Anonim, 2017) .....	17
Tabel 2.3 Hasil Penelitian Distilasi Ekstraktif untuk Pemisahan THF-Etanol (Wang, 2014) .....	23
Tabel 3.1 Aturan Heuristik dalam Melakukan Desain Awal <i>Extractive Dividing Wall Column</i> (Kiss, 2013).....	30
Tabel 3.2 CEPCI ( <i>Anonymous</i> , 2008) .....	33
Tabel 3.3 Harga <i>Steam</i> per GJ (Wang, 2014).....	33
Tabel 3.4 Jadwal Kerja Penelitian .....	37
Tabel 4.1 Data Operasi Simulasi Awal Tetrahidrofur – Etanol dengan Distilasi Ekstraktif (Wang, 2014) .....	41
Tabel 4.2 Data Operasi Simulasi Awal Tetrahidrofur – Etanol dengan Distilasi Ekstraktif (Wang, 2014) .....	42
Tabel 4.3 Data Hasil Optimasi .....	47
Tabel 4.4 Hasil Desain Awal DWC Ekstraktif.....	55
Tabel 4.5 Optimasi dengan MultiSimplex (1) .....	59
Tabel 4.6 Optimasi dengan MultiSimplex (2) .....	60
Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Optimasi .....	61
Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Optimasi .....	62



## DAFTAR ISTILAH

$A_C$	= Area (luas) pertukaran panas kondensor, $m^2$
$A_{co}$	= Area (luas) pertukaran panas pendingin, $m^2$
$A_R$	= Area (luas) pertukaran panas <i>reboiler</i> , $m^2$
$B$	= Laju alir produk bawah ( <i>bottom</i> ), $kmol\ h^{-1}$
$C_p^0$	= Harga <i>base case</i> alat, \$
CEPCI	= <i>Chemical Engineering Plant Cost Index</i>
$D$	= Laju alir produk distilat, $kmol\ h^{-1}$
$D_C$	= Diameter kolom, m
$\Delta T_C$	= Perubahan temperatur pada kondensor
$\Delta T_{co}$	= Perubahan temperatur pada pendingin
$\Delta T_R$	= Perubahan temperatur pada <i>reboiler</i>
ED	= <i>Extractive Distillation</i>
EG	= Singkatan dari Etilen Glikol
ETH	= Singkatan dari Etanol
ETHC	= Kolom produk Etanol
$F$	= Laju alir umpan, $kmol\ h^{-1}$
$H_{DWC}$	= Panjang sekat pada kolom, m
HP	= <i>High pressure steam</i> , \$/GJ
ID	= Diameter kolom, m
$K_C$	= Koefisien perpindahan panas kondensor, $kW/(K \cdot m^2)$
$K_{co}$	= Koefisien perpindahan panas pendingin, $kW/(K \cdot m^2)$

$K_R$	= Koefisien perpindahan panas <i>reboiler</i> , kW/(K · m <sup>2</sup> )
$L_C$	= Panjang kolom pada kondensor, m
$LP$	= <i>Low Pressure Steam</i> , \$/GJ
$L_R$	= Panjang kolom pada <i>reboiler</i> , m
$MP$	= <i>Medium Pressure Steam</i> , \$/GJ
$N_m$	= Jumlah tahap minimum, <i>tray</i>
$N_F$	= Jumlah tahap umpan, <i>tray</i>
$N_R$	= Jumlah tahap <i>rectifying</i> , <i>tray</i>
$N_S$	= Jumlah tahap <i>stripper</i> , <i>tray</i>
$N_T$	= Jumlah tahap total, <i>tray</i>
$P$	= Tekanan, atm
$RC$	= <i>Recovery Column</i>
$Q_C$	= Beban kondensor, kW
$Q_{CO}$	= Beban pendingin, kW
$Q_R$	= Beban <i>reboiler</i> , kW
$Q_{RDWC}$	= Kerja <i>reboiler</i> pada <i>Dividing Wall Column</i> , kW
$Q_{CDWC}$	= Kerja kondensor pada <i>Dividing Wall Column</i> , kW
$RR$	= <i>Reflux Ratio</i>
$T$	= Temperatur kondisi, K
$TAC$	= <i>Total Annual Cost</i> , \$/Tahun
$THF$	= Singkatan dari Tetrahidrofur
$X_B$	= Fraksi komponen di aliran cairan <i>bottom</i> kolom distilasi
$X_D$	= Fraksi komponen di aliran cairan distilat kolom distilasi

## INTISARI



Distilasi adalah proses pemisahan 2 (dua) atau lebih campuran larutan yang didasari oleh perbedaan titik didih antar campuran yang terdapat di dalamnya. Distilasi biasa tidak dapat memisahkan campuran azeotropik oleh karena itu pemisahan untuk campuran azeotropik dapat dilakukan dengan metode *pressure swing distillation*, *azeotropic distillation*, dan *extractive distillation*. Larutan tetrahidrofuran (THF) dan etanol banyak digunakan sebagai pelarut namun larutan ini membentuk azeotrop pada tekanan atmosfer. Metode pemisahan *extractive distillation* dapat digunakan untuk memisahkan campuran ini dengan menggunakan etilen glikol sebagai pelarut tetapi metode ini masih membutuhkan energi yang cukup besar sehingga menjadi lebih mahal. Oleh karena itu modifikasi pun dilakukan dengan memberi sekat (*dividing wall column*) pada kolom sehingga proses pemisahan yang semula terdiri dari 2 (dua) kolom bisa dijadikan satu. Selain itu penggunaan energi pun bisa berkurang karena adanya pengurangan energi pada *reboiler*.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengoptimasi distilasi ekstraktif, mendesain dan mengoptimasi *dividing wall column* yang akan digunakan untuk memisahkan campuran THF-etanol di mana percobaan ini masih belum ada yang melakukan. Dalam melakukan desain dilakukan dengan menggunakan aturan heuristik (*Rule of Thumb*). Simulasi dari *dividing wall column* dalam Aspen Plus<sup>®</sup> masih belum ada oleh karena itu akan didekati dengan menggunakan tiga kolom yang sama dengan *dividing wall column*.

Penelitian diperoleh hasil dari distilasi ekstraktif konvensional dapat menghasilkan penghematan biaya TAC sebesar 2,138% dari hasil distilasi ekstraktif sebelum dilakukan optimasi. Nilai TAC optimum diperoleh sebesar \$1.132.694,12/tahun dengan jumlah tahap kolom pertama sebanyak 75 tahap, jumlah tahap kolom kedua sebanyak 10 tahap, letak masukkan umpan kolom pertama berada sampai tahap ke-55, letak umpan masuk kolom kedua berada pada tahap ke-6 dan letak *entrainer* masuk pada tahap ke-3. Hasil dari *extractive dividing wall column* pada THF-Etanol diperoleh dengan menghasilkan penghematan biaya *capital* optimum sebesar 13% dari distilasi konvensional pada penelitian sebelumnya. Nilai TAC optimum diperoleh sebesar \$1.225.246,52 /tahun dengan jumlah tahap 64 tahap, sekat berada sampai tahap ke-60, letak umpan masuk pada tahap ke-43 dan letak *entrainer* masuk pada tahap ke-3. Dari hasil penelitian kami, dapat diketahui bahwa E-DWC dapat mengurangi *capital cost*. Energi yang digunakan baik pada distilasi ekstraktif maupun E-DWC memiliki jumlah yang sama, namun E-DWC menghasilkan biaya energi yang lebih besar karena utilitas yang semulanya digunakan *low pressure steam* dan *high pressure steam* berubah menjadi seluruhnya *high pressure steam*.

Kata kunci : THF; etanol; *extractive distillation*; *extractive dividing wall column*



## ABSTRACT



Distillation is a process of separating some components in a mixture based on differences in the boiling points of the components. Conventional distillation has disadvantages that are not applicable in separating azeotrope system. Azeotrope system means that the vapor emitted has the same composition as the liquid, therefore, it was very hard to separate the mixture. Some methods in distillation to separate azeotrope system are pressure swing distillation, azeotropic distillation, and extractive distillation. Tetrahydrofuran (THF) and ethanol widely use as solvents in the chemical industry, however, both THF-ethanol is an azeotrope system in atmospheric pressure. Extractive distillation method should be suitable for this separation. In this method, an entrainer was needed to help the separation process. The entrainer that used in this study is ethylene glycol. This separation method may be suitable in separating of THF-ethanol mixture but the energy consumption was too high. Modified column studied in this work to solve the problem, a dividing wall column (DWC) used to give a wall in the column to reduce the energy consumption and cost saving.

The goal of this study is to optimize the extractive distillation process, design and optimizing extractive dividing wall column (E-DWC) to achieve cheaper total annual cost (TAC). In designing the column in Aspen Plus, the DWC simulation approach using the column that represents the DWC.

From this research, the simulation result shows that for extractive distillation can reduce TAC for 2,138% before optimization. The minimum TAC was \$1.132.694,12/year when the number of the first stage is 75, feed entering the first column at the 55<sup>th</sup> stage and entrainer entering the column at 3<sup>rd</sup> stage. The number of stages in the second column is 10, and feed entering the second column at the 6<sup>th</sup> stage. From the E-DWC simulation, the capital cost can be reduced by 13% and the minimum TAC was \$1.225.246,52/year. The minimum number of stage is 64, wall length 60 stages, feed entering the column at the 43<sup>rd</sup> stage, and entrainer entering the column at 3<sup>rd</sup> stage. From this study, E-DWC can reduce capital cost. The energy used in extractive distillation and E-DWC similar, however, energy cost in E-DWC is higher because of the utility cost. In extractive distillation, the utility used was low-pressure steam and high-pressure steam but in E-DWC all the utility used was high-pressure steam.

Keywords : THF; ethanol; *extractive distillation*; *extractive dividing wall column*

# BAB I

## PENDAHULUAN



### 1.1 Latar Belakang

Distilasi adalah proses pemisahan 2 (dua) atau lebih komponen yang didasari oleh perbedaan titik didih antar komponen yang terdapat di dalamnya. Proses distilasi banyak dilakukan karena sederhana dan mudah. Namun proses distilasi biasa masih memiliki kekurangan di mana proses distilasi ini tidak dapat memisahkan campuran larutan yang membentuk titik azeotrop di dalamnya. Azeotrop adalah suatu keadaan campuran pada sistem biner di mana campuran memiliki komposisi yang identik pada fasa cair dan gas pada titik kesetimbangan sehingga campuran tidak dapat dipisahkan jika digunakan distilasi biasa.

Campuran THF-etanol adalah larutan yang membentuk titik *minimum-boiling* azeotrop pada sistem biner. Senyawa THF banyak digunakan sebagai pelarut pada industri kimia dan farmasi karena sifat kelarutannya yang tinggi. Sedangkan senyawa etanol banyak digunakan sebagai pelarut dan juga sebagai larutan anti bakteri. Campuran THF-etanol banyak ditemukan di industri terutama dalam industri *fine chemical* dan industri farmasi. Campuran ini banyak dihasilkan dari limbah cair dari proses sintesis monomer kristal cair oleh karena itu perlu dilakukan proses pemisahan campuran THF-etanol (Tang, 2012).

Larutan THF-etanol tidak dapat dipisahkan secara langsung dengan metode distilasi biasa sehingga itu dibutuhkan modifikasi dari proses distilasi agar larutan yang azeotrop dapat dipisahkan. Modifikasi dari proses distilasi dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti distilasi *pressure-swing*, *azeotropic distillation*, dan *extractive distillation* (Luyben, 2010).

Pada metode *pressure-swing* digunakan 2 (dua) kolom yang beroperasi dengan tekanan yang berbeda di mana salah satu kolom beroperasi pada tekanan rendah dan kolom lainnya pada tekanan tinggi. Pada metode *azeotropic heterogen distillation* digunakan komponen pelarut ketiga yang berupa *light entrainer*. *Light entrainer* yang digunakan berguna untuk mengikat salah satu komponen dan akan membentuk 2 (dua) fasa pada dekanter sehingga antara pelarut ketiga dan salah satu komponen azeotrop dapat dipisahkan (Kiss, 2013).

Pada metode *extractive distillation* dapat dilakukan distilasi dengan komponen ketiga *heavy entrainer*. *Heavy entrainer* diumpankan dari atas kolom yang kemudian akan mengikat salah satu komponen dari campuran azeotrop. Campuran baru ini akan keluar dari bagian bawah kolom dan masuk ke kolom kedua di mana pada kolom kedua dilakukan proses

pemisahan antara komponen ketiga dengan larutan yang diikatnya. Komponen ketiga kemudian akan diumpungkan kembali ke kolom pertama dan ditambahkan *make-up solvent* untuk digunakan dalam proses pemisahan selanjutnya. Pelarut yang digunakan untuk memisahkan THF-etanol pada metode *extractive distillation* adalah etilen glikol. Namun pemisahan dengan menggunakan metode *extractive distillation* memiliki kelemahan di mana energi yang dibutuhkan masih cukup besar sehingga dibutuhkan biaya yang cukup besar dan proses pemisahan menjadi mahal (Wang, 2014).

Untuk menanggulangi masalah tersebut maka dapat dilakukan modifikasi pada proses distilasi. Pada metode *extractive distillation* dilakukan modifikasi dengan cara mengubah kolom yang awalnya terdiri dari dua kolom menjadi satu kolom dengan menambahkan sekat pada kolom yang disebut dengan *dividing wall column*. Dengan penambahan modifikasi ini diharapkan biaya yang digunakan pun berkurang seiring dengan berkurangnya energi dan alat yang dibutuhkan (Schultz *et al.*, 2000).

Dalam penelitian ini akan dilakukan desain dan optimasi *extractive dividing wall column* pada proses pemisahan campuran THF-etanol yang sampai saat ini masih belum dilakukan. Pada desain akan dicoba proses simulasi dari *dividing wall column* yang didekati oleh pendekatan 3 (tiga) kolom sehingga *internal flow* bisa menjadi salah satu aspek yang diperhatikan (Zhang, 2014). Optimasi dilakukan oleh peneliti untuk mencari desain terbaik yang dapat memberikan nilai *total annual cost* yang paling minimum.

## 1.2 Tema Sentral

Campuran THF-etanol dapat membentuk azeotrop sehingga campuran ini menjadi sulit untuk dipisahkan dengan distilasi biasa. Oleh karena itu digunakanlah metode pemisahan *extractive distillation*. Namun karena pada metode ini digunakan dua kolom yang disusun secara seri, maka dibutuhkan TAC yang cukup besar. Untuk menanggulangi masalah tersebut modifikasi pun bisa dilakukan dengan menambahkan sekat atau *dividing wall column* pada kolom. Maka dari itu simulasi desain dan optimasi pun dilakukan dengan aplikasi Aspen Plus<sup>®</sup>.

### 1.3 Identifikasi Masalah

1. Apakah distilasi ekstraktif masih dapat dilakukan optimasi agar diperoleh hasil penghematan biaya yang lebih optimum?
2. Berapakah nilai TAC optimum pada distilasi ekstraktif?
3. Bagaimana desain awal dari *extractive dividing wall column* pada pemisahan campuran THF-etanol?
4. Bagaimana cara mengoptimasi desain *dividing wall column* berapakah jumlah tahapan optimumnya, di mana letak umpan masukannya, berapa panjang sekat akan diletakan?
5. Berapakah perbandingan nilai TAC pada *extractive distillation* dan pada *extractive dividing wall column* yang sudah dioptimasi?

### 1.4 Premis

1. Tetrahidrofuran (THF) (titik didih 339.12 K) membentuk campuran azeotrop *minimum boiling* dengan etanol (titik didih 351.46 K) pada tekanan 1 atm dengan temperatur 339K dan komposisi THF 85.82% (Wang, 2014).
2. Pelarut terbaik yang digunakan untuk pemisahan campuran THF-etanol adalah etilen glikol (Huang, 2008).
3. Produk yang dihasilkan pada pemisahan THF-etanol dengan menggunakan *extractive distillation* adalah 99.9% THF pada kolom pertama dan 99% etanol pada kolom kedua (Wang, 2014).
4. Laju alir umpan *extractive distillation* adalah 100 kmol/jam dengan komposisi 50% etanol dan 50% THF pada 320 K (Wang, 2014).
5. Tekanan operasi diatur dalam keadaan atmosferik 1 atm (Wang, 2014).
6. Tahapan optimum dari *extractive distillation* adalah  $N_1=75$  dan  $N_2=10$  dengan diameter kolom pertama 1.15 meter dan kolom kedua 0.8 meter (Wang, 2014).
7. *Total annual cost* yang dibutuhkan untuk *extractive dividing wall column* adalah \$1,143,000 (Wang, 2014).
8. Penggunaan *dividing wall column* dapat menghemat energi sampai 30% (Schultz *et.al*, 2000).
9. Dalam desain EDWC, digunakan aturan heuristik dan metode jalan pintas (Kiss, 2013).

## 1.5 Tujuan Penelitian

1. Mengoptimasi kolom distilasi ekstraktif konvensional pada pemisahan campuran THF-etanol.
2. Menentukan desain awal dari *extractive dividing wall column* pada pemisahan campuran THF-etanol.
3. Melakukan optimasi desain *dividing wall column* dan menentukan jumlah tahap optimum, letak umpan masuk, panjang sekat yang akan diletakkan.
4. Membandingkan nilai TAC pada *extractive distillation* dan pada *extractive dividing wall column* yang sudah dioptimasi.

## 1.6 Manfaat Penelitian

### 1.6.1 Bagi Industri

1. Memberikan alternatif baru pada pemisahan campuran THF-etanol.
2. Mampu menerapkan *extractive dividing wall column* pada industri.

### 1.6.2 Bagi Ilmuan

1. Memberikan referensi panduan simulasi pemisahan THF-etanol dengan *extractive dividing wall column*.
2. Mengembangkan proses baru pemisahan THF-etanol dengan menggunakan *dividing wall column*.

### 1.6.3 Bagi Negara Indonesia

1. Memberikan inovasi baru sehingga dapat diterapkan dalam negeri.