

**DESAIN DAN OPTIMASI *PRESSURE SWING*
DISTILLATION DENGAN *HEAT INTEGRATION*
UNTUK PEMISAHAN THF-AIR**

Laporan Penelitian

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

oleh:

Jofiandy Nathanael Christanto (6214051)

Ferris Ewaldo Mulyadi (6214101)

Pembimbing:

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



JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG

2018

LEMBAR PENGESAHAN



**JUDUL: DESAIN DAN OPTIMASI *PRESSURE SWING DISTILLATION*
DENGAN *HEAT INTEGRATION* UNTUK PEMISAHAN THF-AIR**

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 15 Januari 2018

Pembimbing,

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke at the end.

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



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



SURAT PERNYATAAN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jofiandy Nathanael Christanto

NRP : 6214051

Nama : Ferris Ewaldo Mulyadi

NRP : 6214101

dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul:

**Desain dan Optimasi *Pressure Swing Distillation* dengan *Heat Integration* Untuk
Pemisahan THF-Air**

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

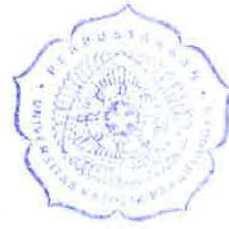
Pernyataan ini kami buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka kami bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 15 Januari 2018

Jofiandy Nathanael Christanto
(6214051)

Ferris Ewaldo Mulyadi
(6214101)

LEMBAR REVISI



**JUDUL: DESAIN DAN OPTIMASI *PRESSURE SWING DISTILLATION*
DENGAN *HEAT INTEGRATION* UNTUK PEMISAHAN THF-AIR**

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 15 Januari 2018

Penguji 1,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Yansen Hartanto'.

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

Penguji 2,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'I Gede Pandega Wiratama'.

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan anugerah sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian berjudul “**Desain Dan Optimasi Pressure Swing Distillation dengan Heat Integration untuk Pemisahan THF-Air**” dengan tepat waktu. Penulisan laporan penelitian ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan mata kuliah Penelitian (ICE-410) dalam Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam proses penulisan laporan ini, penulis mendapat dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin secara khusus menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Herry Santoso, S.T., M.T.M., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan penjelasan konsep dan pengarahan dalam pelaksanaan penelitian ini.
2. Orang tua penulis yang telah memberikan motivasi serta membantu melalui doa dan dukungan material.
3. Teman-teman Teknik Kimia Unpar yang telah menyertai serta memberikan bantuan berupa masukan yang membangun.
4. Pihak lain yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis berharap laporan penelitian ini dapat memberikan informasi yang bermanfaat kepada pembaca. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Bandung, 15 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SIMBOL	xiv
INTISARI.....	xvi
ABSTRACT	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tema Sentral	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. Bagi Industri.....	4
1.7.2. Bagi Ilmuwan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Distilasi	5
2.1.1. Distilasi Sederhana.....	6

2.1.2. Distilasi Uap.....	6
2.1.3. Distilasi Vakum	6
2.1.4. Distilasi Fraksionasi.....	6
2.2. Tetrahidrofuram	6
2.3. Azeotrop.....	8
2.3.1. Azeotrop Negatif / <i>Maximum-Boiling Azeotrope</i>	9
2.3.2. Azeotrop Positif / <i>Minimum-Boiling Azeotrope</i>	9
2.3.3. Campuran Azeotrop THF-Air.....	10
2.4. Metode Pemisahan Campuran Azeotrop.....	12
2.4.1. Distilasi Azeotropik	12
2.4.2. Distilasi Ekstraktif	13
2.4.3. <i>Pressure Swing Distillation</i>	14
2.5. <i>Heat Integration</i>	15
2.6. Optimasi <i>Pressure Swing Distillation</i>	17
2.7. Aspek Ekonomi.....	20
 BAB 3 METODE PENELITIAN.....	 22
3.1. Simulasi Awal Kolom <i>Pressure Swing Distillation</i>	22
3.2. Studi Kasus	25
3.3. Analisis Ekonomi.....	25
3.3.1. Biaya Alat	25
3.3.2. Biaya Energi.....	27
3.4. Optimasi Sistem	28
3.4.1. Optimasi Kolom PSD dengan <i>Partial Heat Integration</i>	28
3.4.2. Optimasi Kolom PSD dengan <i>Full Heat Integration</i>	29
3.5. Cara Kerja Penelitian Secara Keseluruhan	29
3.6. Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	30

BAB 4 PEMBAHASAN	31
4.1. Tanpa <i>Heat Integration</i>	31
4.2. Variabel Optimasi PSD dengan <i>Heat Integration</i>	35
4.3. <i>Partial Heat Integration</i>	37
4.3.1. Simulasi PSD dengan <i>Partial Heat Integration</i>	37
4.3.2. Optimasi PSD dengan <i>Partial Heat Integration</i>	38
4.3.3. Pengaruh Variabel Optimasi PSD dengan <i>Partial Heat Integration</i> terhadap Nilai TAC.....	42
4.4. <i>Full Heat Integration</i>	53
4.4.1. Simulasi PSD dengan <i>Full Heat Integration</i>	53
4.4.2. Optimasi PSD dengan <i>Full Heat Integration</i>	56
4.4.3. Pengaruh Variabel Optimasi PSD dengan <i>Full Heat Integration</i> terhadap Nilai TAC.....	61
4.5. Perbandingan Hasil Percobaan	70
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	 72
 DAFTAR PUSTAKA.....	 73
LAMPIRAN	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema kolom distilasi konvensional (Kiss, 2013).....	5
Gambar 2.2 Struktur Molekul Tetrahidrofur.	7
Gambar 2.3 Reaksi dehidrasi 1,4-butanadiol menjadi THF + air (Hunter, Ehrenberger, & Savage, 2006).....	8
Gambar 2.4 Diagram P-xy pada T konstan. (a) Penyimpangan negatif Hukum Raoult; (b) Azeotrop negatif (maximum-boiling/minimum-pressure); (c) Penyimpangan positif Hukum Raoult; (d) Azeotrop positif (minimum-boiling/maximum-pressure) (Smith, Van Ness, & Abbott, 2001).....	10
Gambar 2.5 Diagram T-xy campuran THF-air pada tekanan 1,01 bar (Luyben & Chien, 2010).	11
Gambar 2.6 Diagram T-xy campuran THF-air pada tekanan 7,9 bar (Luyben & Chien, 2010).	11
Gambar 2.7 Skema distilasi azeotropik campuran air-etanol dengan benzena sebagai entrainer (Rousseau, 1987).	13
Gambar 2.8 Skema Distilasi Ekstraktif campuran air-IPA (Luyben & Chien, 2010).....	14
Gambar 2.9 Skema PSD menggunakan <i>partial heat integration</i> (Luyben & Chien, 2010).	16
Gambar 2.10 Skema PSD menggunakan <i>full heat integration</i> (Luyben & Chien, 2010)..	17
Gambar 2.11 Bentuk Simpleks.....	18
Gambar 2.12 Pencerminan Simpleks (Edgar, Himmelblau, & Lasdon, 2001).	18
Gambar 2.13 Pergerakan Simpleks Dua Dimensi (Walters, 1991).	19
Gambar 2.14 Contoh dari Kontraksi dan Ekspansi dalam Metode Simpleks Nelder Mead (Walters, 1991).....	19

Gambar 2.15 Langkah Optimasi Metode Simpleks Nelder Mead (Walters, 2001).	20
Gambar 3.1 Konfigurasi dan data kolom <i>pressure swing distillation</i> tanpa <i>heat integration</i> (Luyben & Chien, 2010).	24
Gambar 3.2 Konfigurasi simulasi kolom <i>pressure swing distillation</i> tanpa <i>heat integration</i> menggunakan Aspen Plus (Luyben & Chien, 2010).....	24
Gambar 3.3 Langkah Penelitian Secara Keseluruhan.	30
Gambar 4.1 Diagram T-xy campuran THF-air pada 1,01 dan 7,9 bar hasil analisis Aspen Plus menggunakan metode NRTL.	31
Gambar 4.2 Flowsheet Simulasi Luyben & Chien pada penelitian.....	32
Gambar 4.3 Susunan <i>Flowsheet</i> Simulasi Kolom PSD tanpa <i>Heat Integration</i>	32
Gambar 4.4 Susunan <i>Flowsheet</i> Simulasi Kolom PSD dengan <i>Partial Heat Integration</i> . .	37
Gambar 4.5 Grafik pengaruh NT1 terhadap biaya alat.	43
Gambar 4.6 Grafik pengaruh NT1 terhadap biaya energi.	43
Gambar 4.7 Grafik pengaruh NT1 terhadap TAC.....	44
Gambar 4.8 Grafik pengaruh NF1 terhadap biaya alat.....	45
Gambar 4.9 Grafik pengaruh NF1 terhadap biaya energi.	45
Gambar 4.10 Grafik pengaruh NF1 terhadap TAC.	46
Gambar 4.11 Grafik pengaruh NR1 terhadap biaya alat.	47
Gambar 4.12 Grafik pengaruh NR1 terhadap biaya energi.....	48
Gambar 4.13 Grafik pengaruh NR1 terhadap TAC.....	48
Gambar 4.14 Grafik pengaruh NT2 terhadap biaya alat.	49
Gambar 4.15 Grafik pengaruh NT2 terhadap biaya energi.	50
Gambar 4.16 Grafik pengaruh NT2 terhadap TAC.....	50
Gambar 4.17 Grafik pengaruh NF2 terhadap biaya alat.....	51
Gambar 4.18 Grafik pengaruh NF2 terhadap biaya energi.	52

Gambar 4.19 Grafik pengaruh NF2 terhadap TAC.....	52
Gambar 4.20 Susunan <i>Flowsheet</i> Simulasi Kolom PSD dengan <i>Full Heat Integration</i>	53
Gambar 4.21 <i>Design spec</i> dan <i>Vary</i> pada HPC untuk Mengubah-ubah Beban Reboiler....	55
Gambar 4.22 <i>Design spec Flowsheet</i> untuk Menyamakan Aliran NR1 dan D22 (Aliran Recycle Menuju Kolom LPC).....	56
Gambar 4.23 Grafik pengaruh NT1 terhadap biaya alat.	61
Gambar 4.24 Grafik pengaruh NT1 terhadap biaya energi.	61
Gambar 4.25 Grafik pengaruh NT1 terhadap TAC.....	62
Gambar 4.26 Grafik pengaruh NF1 terhadap biaya alat.....	63
Gambar 4.27 Grafik pengaruh NF1 terhadap biaya energi.	63
Gambar 4.28 Grafik pengaruh NF1 terhadap TAC.....	64
Gambar 4.29 Grafik pengaruh NR1 terhadap biaya alat.	65
Gambar 4.30 Grafik pengaruh NR1 terhadap biaya energi.	65
Gambar 4.31 Grafik pengaruh NR1 terhadap TAC.....	66
Gambar 4.32 Grafik pengaruh NT2 terhadap biaya alat.	67
Gambar 4.33 Grafik pengaruh NT2 terhadap biaya energi.	67
Gambar 4.34 Grafik pengaruh NT2 terhadap TAC.....	68
Gambar 4.35 Grafik pengaruh NF2 terhadap biaya alat.....	69
Gambar 4.36 Grafik pengaruh NF2 terhadap biaya energi.	69
Gambar 4.37 Grafik pengaruh NF2 terhadap TAC.	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Kimia Tetrahidrofuran. (Science Lab, 2013).....	7
Tabel 2.2 Aturan Depresiasi Sesuai UU Republik Indonesia No. 17 Tahun 2000 (Waluyo, 2000).	21
Tabel 3.1 Data simulasi awal kolom PSD tanpa heat integration.	22
Tabel 3.2 Nilai UC, UR, ΔTC , ΔTR (Luyben & Chien, 2010; Wang, Cui, Ma, & Zhang, 2014).	26
Tabel 3.3 Nilai CEPCI tahun 2008 dan 2017 (Jenkins, 2017).	27
Tabel 3.4 Harga steam sebagai sumber energi. (Wang, Cui, Ma, & Zhang, 2014).....	28
Tabel 3.5 Jadwal Kerja Penelitian.	30
Tabel 4.1 Data input spesifikasi ke dalam Aspen Plus.....	33
Tabel 4.2 Perbandingan data simulasi dengan data literatur	35
Tabel 4.3 Biaya alat tambahan.	36
Tabel 4.4 Perbandingan data PSD dengan partial heat integration antara hasil simulasi dengan data literatur.....	37
Tabel 4.5 Hasil optimasi bertahap kolom PSD dengan partial heat integration.....	38
Tabel 4.6 Hasil optimasi simultan PSD dengan partial heat integration dengan step size 1.	40
Tabel 4.7 Hasil optimasi simultan PSD dengan partial heat integration dengan step size 2.	41
Tabel 4.8 Pengaruh NT1 terhadap TAC kolom PSD dengan partial heat integration.....	42
Tabel 4.9 Pengaruh NF1 terhadap TAC kolom PSD dengan partial heat integration.....	44
Tabel 4.10 Pengaruh NR1 terhadap TAC kolom PSD dengan partial heat integration.	46
Tabel 4.11 Pengaruh NT2 terhadap TAC kolom PSD dengan partial heat integration.....	49

Tabel 4.12 Pengaruh NF2 terhadap TAC kolom PSD dengan partial heat integration.....	51
Tabel 4.13 Hasil optimasi bertahap kolom PSD dengan full heat integration.	57
Tabel 4.14 Hasil optimasi simultan step size 1 pada PSD dengan full heat integration.	59
Tabel 4.15 Hasil optimasi simultan step size 2 pada PSD dengan full heat integration.	59

DAFTAR SIMBOL

A_C	= kebutuhan luas perpindahan panas kondensor, m^2
A_E	= kebutuhan luas perpindahan panas penukar panas, m^2
A_R	= kebutuhan luas perpindahan panas <i>reboiler</i> , m^2
B_1	= produk bawah kolom 1
B_2	= produk bawah kolom 2
D_1	= distilat kolom 1
D_2	= distilat kolom 2
D_C	= diameter dalam kolom, m
ID_1	= diameter dalam kolom 1, m
ID_2	= diameter dalam kolom 2, m
L_C	= panjang kolom, m
NT	= jumlah tahap kolom
NT_1	= jumlah tahap kolom 1
NT_2	= jumlah tahap kolom 2
NF	= tahap masukan umpan
NF_1	= tahap masukan umpan ke kolom 1
NF_2	= tahap masukan umpan ke kolom 2
NR	= tahap masukan <i>recycle</i>
NR_1	= tahap masukan <i>recycle</i> ke kolom 1
P	= tekanan, bar
P_1	= tekanan kolom 1, bar
P_2	= tekanan kolom 2, bar
Q_C	= beban kondensor, kJ/s
Q_E	= beban penukar panas, kJ/s
Q_{HI}	= beban penukar panas <i>heat integration</i> , kJ/s
Q_R	= beban <i>reboiler</i> , kJ/s
Q_{R1}	= beban <i>reboiler</i> kolom 1, kJ/s
Q_{R2}	= beban <i>reboiler</i> kolom 2, kJ/s
RR_1	= rasio refluks kolom 1
RR_2	= rasio refluks kolom 2
T	= temperatur, K, °C

- ΔT_R = perbedaan temperatur antara steam dengan *reboiler*, K
 ΔT_C = perbedaan temperatur antara cooling water dengan kondensor, K
 U_C = koefisien perpindahan panas kondensor, kJ/s.K.m²
 U_E = koefisien perpindahan panas penukar panas, kJ/s.K.m²
 U_R = koefisien perpindahan panas *reboiler*, kJ/s.K.m²

Singkatan:

- CEPCI = *Chemical Engineering Plant Cost Index*
NRTL = *Non-Random Two-Liquid*
PBP = *Payback Period*
PSD = *Pressure Swing Distillation*
TAC = *Total Annual Cost*
THF = *Tetrahydrofuran*

INTISARI

Pemisahan senyawa merupakan hal yang tidak dapat lepas dalam proses suatu industri kimia. Proses pemisahan yang paling umum dilakukan dalam industri kimia adalah distilasi. Prinsip distilasi cukup sederhana dan dapat diaplikasikan secara luas untuk campuran berfasa cair yang memiliki perbedaan titik didih antar senyawa yang cukup jauh. Metode distilasi konvensional membutuhkan banyak energi dan kurang efisien jika digunakan untuk memisahkan campuran azeotrop. Perkembangan dan modifikasi proses distilasi telah dilakukan untuk memisahkan campuran azeotrop secara efisien. Beberapa metode yang dapat memisahkan azeotrop yaitu distilasi azeotropik, distilasi ekstraktif, dan *pressure swing distillation*.

Pressure swing distillation dapat digunakan untuk beberapa sistem azeotrop biner homogen yang komposisi uap-cair pada keadaan setimbangnya berubah secara signifikan seiring perubahan tekanan. Kolom distilasi pertama biasanya dioperasikan pada tekanan atmosferik, sedangkan kolom distilasi kedua dapat memiliki tekanan operasi yang lebih rendah atau lebih tinggi dari kolom pertama, tergantung dari azeotrop yang ingin dipisahkan.

Heat integration merupakan metode untuk menghemat konsumsi energi pada kolom dengan memindahkan panas yang didapat (biasanya dari kondensor) menuju bagian yang membutuhkan panas (*reboiler*). *Heat integration* dapat meningkatkan efisiensi termodinamika kolom distilasi secara signifikan dan menghemat pengeluaran energi hingga 40% (Cheng & Luyben, 1985). Karena distilasi merupakan proses yang *energy-intensive*, maka penambahan *heat integration* baik secara *partial* maupun *full* dapat menghemat pengeluaran untuk biaya operasi.

Tujuan penelitian ini adalah menentukan desain awal *pressure swing distillation* untuk memisahkan campuran azeotrop THF-air menggunakan Aspen Plus, mengoptimasi desain *pressure swing distillation* dengan menggunakan nilai TAC sebagai fungsi objektif, kemudian membandingkan nilai TAC antara sistem *pressure swing distillation partial heat integration* dengan *full heat integration*. Nilai TAC yang terkecil adalah nilai yang paling optimal. Hasil optimasi PSD dengan *partial heat integration* menghasilkan konfigurasi kolom dengan variabel sebagai berikut: NT1=20, NF1=13, NR1=12, NT2=18, dan NF2=6 dengan TAC sebesar \$699571,59. Kemudian hasil optimasi bertahap PSD dengan *full heat integration* menghasilkan konfigurasi kolom dengan variabel sebagai berikut: NT1=16, NF1=11, NR1=11, NT2=19, dan NF2=8 dengan TAC sebesar \$705407,02.

Kata kunci: distilasi, azeotrop, *pressure swing*, *heat integration*, desain, optimasi, TAC

ABSTRACT

Separation of chemical mixtures is a thing that can not be separated in the process of chemical industry. The most common separation technique in chemical industry is distillation. The fundamental of distillation is quite simple and could be applied widely for most mixtures of liquid-phased compounds with significant difference in boiling point. Conventional distillation method requires massive amount of energy and is less efficient when used to separate azeotropic mixture. Development and modification of process have been done in order to create new ways to separate azeotropic mixture efficiently. Some of those aforementioned methods are azeotropic distillation, extractive distillation, and pressure swing distillation.

Pressure swing distillation could be used for some homogenous binary azeotropic system which vapor-liquid equilibrium composition is strongly affected by change of pressure. One column is usually operated at atmospheric pressure, while the second column could be operated in either lower or higher pressure than the first column's, depending on the type of azeotrope.

Heat integration is a method to reduce energy consumption in distillation column by redistributing received heat (usually from condensor), into the segment that requires heat (reboiler). Heat integration could significantly increase the thermodynamic efficiency of distillation column and save spendings on energy by up to 40% (Cheng & Luyben, 1985). As distillation is an energy-intensive process, installation of both partial or full heat integration could save expenses on operational cost.

The aim of this research is to determine the initial design of pressure swing distillation for separating azeotropic THF-water mixture using Aspen Plus, to optimize pressure swing distillation design by using TAC as objective function, and to compare the TAC between partial and full heat integration pressure swing distillation system. The smallest TAC will be the most optimal value. Optimization of PSD with partial heat integration results in column configuration with variables of NT1=20, NF1=13, NR1=12, NT2=18, and NF2=6 which yields TAC equal \$699,571.59. Then the optimization of PSD with full heat integration results in column configuration with variables of NT1=16, NF1=11, NR1=11, NT2=19, dan NF2=8, and NF2=6 which yields TAC equal \$705,407.02.

Keywords: distillation, azeotrope, pressure swing, heat integration, design, optimization, TAC

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tujuan utama dari didirikannya suatu industri kimia adalah mengolah bahan baku untuk menghasilkan suatu produk dengan nilai lebih tinggi. Dalam proses pengolahan tersebut, tentu beberapa di antaranya menggunakan reaksi kimia. Dari reaksi kimia tidak jarang dihasilkan suatu senyawa tidak diinginkan yang dapat mempengaruhi kemurnian dari produk yang dihasilkan. Apabila kemurnian produk tidak sesuai, maka nilai jualnya akan turun atau tidak dapat dijual sama sekali. Selain itu, ada beberapa zat kimia berbahaya yang tidak boleh dibiarkan tersebar di lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemisahan senyawa-senyawa hasil reaksi dengan spesifikasi tertentu.

Pemisahan senyawa merupakan hal yang tidak dapat lepas dalam proses suatu industri kimia. Untuk mendapatkan suatu senyawa dengan kemurnian tinggi, perlu dilakukan sebuah pemisahan antara dua atau lebih senyawa yang saling tercampur. Proses pemisahan yang paling umum dilakukan dalam industri kimia adalah distilasi. Prinsip distilasi cukup sederhana dan dapat diaplikasikan secara luas untuk campuran berfasa cair yang memiliki perbedaan titik didih antar senyawa yang cukup jauh. Metode distilasi konvensional membutuhkan banyak energi dan kurang efisien jika digunakan untuk memisahkan campuran azeotrop. Perkembangan dan modifikasi proses distilasi telah dilakukan untuk memisahkan campuran azeotrop secara efisien.

Ester merupakan salah satu dari beberapa senyawa yang penting dalam kehidupan manusia. Ester biasa digunakan sebagai pelarut organik, bahan pewangi/parfum, bahan pembuat plastik, sabun, dan lain-lain. Salah satu senyawa yang tergolong sebagai ester adalah Tetrahidrofuran (THF). Seperti eter pada umumnya, senyawa ini bersifat polar, mudah menguap, dan memiliki aroma khas eter. THF merupakan bahan yang digunakan secara luas di bidang industri polimer serta sering dimanfaatkan sebagai pelarut untuk reaksi organik (Hunter, Ehrenberger, & Savage, 2006).

Dalam industri kimia pernah dijumpai kasus terdapatnya kontaminasi senyawa THF dalam air (Wang & Bricker, 1979). THF dan air membentuk campuran azeotrop yang sulit dipisahkan dengan distilasi biasa. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk memisahkan campuran azeotrop antara lain distilasi azeotropik, distilasi ekstraktif, dan

pressure swing distillation. Dalam karya tulis ini, peneliti tertarik untuk menyelidiki lebih lanjut mengenai pemisahan THF-air menggunakan *pressure swing distillation*. Dengan begitu akan dilakukan simulasinya. Lebih lanjut lagi untuk menghemat konsumsi energi yang dibutuhkan untuk penguapan, sistem *heat integration* dapat ditambahkan pada kolom *pressure swing distillation* tersebut. Penggunaan *pressure swing distillation* dengan *partial* dan *full heat integration* untuk memisahkan campuran THF-air ingin dicari nilai parameter optimalnya yang menghasilkan TAC paling minimum.

1.2. Tema Sentral

Tetrahidrofur dan air membentuk campuran azeotrop yang tidak dapat dipisahkan oleh distilasi konvensional. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memisahkan campuran azeotrop adalah *pressure swing distillation*. Metode tersebut menggunakan dua buah kolom yang dioperasikan pada tekanan berbeda. Apabila temperatur pada *reboiler* dan kondensor masing-masing kolom memadai, dapat dilakukan *heat integration* yang bertujuan untuk menghemat konsumsi energi.

1.3. Identifikasi Masalah

1. Bagaimana desain awal kolom *pressure swing distillation* untuk memisahkan tetrahidrofur dan air yang disimulasikan menggunakan Aspen Plus.
2. Bagaimana langkah-langkah mengoptimasi desain kolom *pressure swing distillation* dengan *heat integration* dengan menggunakan *software* MultiSimplex.
3. Bagaimana perbandingan nilai TAC optimum antara sistem *pressure swing distillation* tanpa *heat integration*, dengan *partial heat integration*, dan dengan *full heat integration*.

1.4. Premis

1. Tetrahidrofur (THF) dapat membentuk campuran azeotrop *maximum-boiling* dengan air pada tekanan 1,01 bar dengan komposisi 82,3% mol THF dan pada tekanan 7,9 bar dengan komposisi 63,9% mol THF (Luyben & Chien, 2010).
2. Komposisi uap-cair campuran azeotrop THF-air pada keadaan setimbangnya berubah secara signifikan seiring perubahan tekanan (Luyben & Chien, 2010).

3. Spesifikasi produk yang dihasilkan pada pemisahan campuran THF-air menggunakan *pressure swing distillation* adalah 1 ppm THF sebagai produk bawah kolom pertama dan 10 ppm air sebagai produk bawah kolom kedua (Luyben & Chien, 2010).
4. Laju alir umpan pemisahan THF-air dengan *pressure swing distillation* adalah 2000 kmol/jam dengan komposisi 6% mol THF (Luyben & Chien, 2010).
5. Tekanan operasi kolom satu diatur pada keadaan atmosferik (1,1 bar) sedangkan tekanan operasi kolom dua diatur pada tekanan yang lebih tinggi (7,9 bar) (Luyben & Chien, 2010).
6. Kemurnian keluaran kolom 1 yaitu: produk bawah = 1 ppm THF; distilat = 0,807 mol THF. Sedangkan kemurnian keluaran kolom 2 yaitu: produk bawah = 10 ppm THF; distilat = 0,653 mol THF (Luyben & Chien, 2010).
7. *Heat integration* dapat menghemat energi sampai dengan 40% (Cheng & Luyben, 1985).
8. Pada *partial heat integration*, panas dari kondensor kolom tekanan tinggi dipindahkan ke *reboiler* kolom tekanan rendah sebesar 60% dari kebutuhan panas *reboiler* tersebut (Luyben & Chien, 2010).
9. Konsumsi energi *full heat integration* lebih sedikit daripada *partial heat integration*. (Luyben & Chien, 2010).

1.5. Hipotesis

1. Metode *pressure swing distillation* dapat digunakan untuk memisahkan campuran azeotrop THF-air hingga kemurnian yang diinginkan.
2. *Heat integration* dapat ditambahkan dalam sistem *pressure swing distillation* untuk memisahkan THF-air.
3. *Full heat integration* akan menghasilkan nilai TAC yang lebih rendah daripada *partial heat integration*.

1.6. Tujuan Penelitian

1. Menentukan desain awal *pressure swing distillation* untuk memisahkan campuran azeotrop THF-air menggunakan Aspen Plus.

2. Mengoptimasi desain *pressure swing distillation* dengan menggunakan nilai TAC sebagai fungsi objektif.
3. Membandingkan nilai TAC sistem *pressure swing distillation* dengan *partial heat integration* dan *full heat integration*.

1.7. Manfaat Penelitian

1.7.1. Bagi Industri

1. Mampu memberikan metode alternatif untuk memisahkan campuran azeotrop THF-air.
2. Mampu memberikan rancangan pemisahan THF-air dengan *pressure swing distillation* dengan *heat integration* yang dapat digunakan secara komersil.
3. Mampu memberikan nilai-nilai parameter yang menghasilkan TAC minimal untuk pemisahan THF-air sehingga diperoleh keuntungan maksimal.

1.7.2. Bagi Ilmuwan

1. Mampu memberikan strategi dan urutan langkah dan simulasi pemisahan campuran azeotrop THF-air menggunakan *pressure swing distillation* dengan *heat integration*.
2. Mampu mengembangkan penelitian proses pemisahan campuran azeotrop THF-air menggunakan *pressure swing distillation* dengan *heat integration*.