

SIMULASI PROSES PEMBUATAN *ETHYL ACETATE* MENGUNAKAN *REACTIVE DIVIDING WALL COLUMN*

ICE 410 Penelitian

Oleh :

Alvendo Setiawan (2013620029)

Fajar Reksaning Adhi (2013620099)

Pembimbing :

Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M.Eng



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2017**



LEMBAR PENGESAHAN

JUDUL **SIMULASI PROSES PEMBUATAN *ETHYL ACETATE*
MENGUNAKAN *REACTIVE DIVIDING WALL COLUMN***

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 14 Juni 2017

Pembimbing

Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M.Eng

Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Katolik Parahyangan Bandung



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini,

Nama : Alvendo Setiawan

NRP : 6213029

Nama : Fajar Reksaning Adhi

NRP : 6213099

Dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

**“SIMULASI PROSES PEMBUATAN *ETHYL ACETATE* MENGGUNAKAN
REACTIVE DIVIDING WALL COLUMN”**

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 peraturan yang berlaku.

Bandung , 14 Juni 2017

Alvendo Setiawan
(6213029)

Fajar Reksaning Adhi
(6213099)



LEMBAR REVISI

JUDUL: **SIMULASI PROSES PEMBUATAN *ETHYL ACETATE***
MENGGUNAKAN *REACTIVE DIVIDING WALL*
COLUMN

CATATAN/KOMENTAR:

Bandung, 14 Juni 2017

Penguji I

Herry Santoso, ST., MTM., PH.D

Penguji II

I Gede Pandega Wiratama, ST., MT

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul “Simulasi Proses Pembuatan Ethyl Acetate Menggunakan Reactive Dividing Wall Column” sesuai waktu yang telah ditentukan.

Penulis mengucapkan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya atas semua bantuan yang telah diberikan, baik secara langsung maupun tidak langsung selama penyusunan proposal penelitian dan seminar ini hingga selesai. Secara khusus rasa terimakasih tersebut penulis sampaikan kepada:

1. Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang senantiasa mengarahkan, membimbing dan memberikan masukan kepada Penulis selama penyusunan proposal penelitian ini.
2. Orang tua dan kakak penulis yang mana telah membantu penulis dalam segi material maupun dalam segi motivasi selama dalam penyusunan laporan ini.
3. Teman-teman yang selalu memberi dukungan dan semangat selama penyelesaian proposal penelitian ini.
4. Dan semua pihak lain yang telah ikut serta memberikan bantuan dan dorongan dalam proses penyelesaian proposal penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa proposal ini masih jauh dalam kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan proposal ini.

Akhir kata, Penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila dalam penyusunan proposal ini terdapat banyak kesalahan. Terakhir penulis berharap, semoga proposal ini dapat memberikan hal yang bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca dan khususnya bagi penulis juga.

Bandung, 14 Juni 2017

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	xi
INTISARI.....	xii
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 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	4
1.6.1 Bagi Industri.....	4
1.6.2 Bagi Ilmu Pengetahuan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Senyawa Ester	5
2.2 Esterifikasi.....	6
2.2.1 Esterifikasi Etil Asetat	8
2.3 Bahan Baku	9
2.3.1 Etanol	9
2.3.2 Asam Asetat	10
2.3.3 Katalis	11
2.3.3.1 Asam Sulfat	11
2.3.3.1 Amberlyst 35wet dan Purolite CT179	13
2.4 Etil Asetat.....	15
2.5 Distilasi	16

2.5.1 <i>Reactive Distillation</i>	17
2.6 <i>Dividing Wall Column</i>	19
2.6.1 <i>Reactive Dividing Wall Column</i>	20
2.6.1.1 <i>Reactive Dividing Wall Column</i> untuk Etil Asetat	22
2.7 Simulator ASPEN PLUS	24
2.7.1 Kolom Pemisah Pada Aspen Plus	25
2.7.2 Parameter Termodinamika.....	27
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Simulator Aspen Plus.....	29
3.2 Pemodelan Proses	29
3.3 Validasi Model.....	30
3.4 Simulasi Proses	30
3.5 Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian	30
BAB IV PEMBAHASAN	33
4.1 Pembuatan Model.....	33
4.2 Validasi Model.....	34
4.3 Simulasi.....	38
4.3.1 Konfigurasi Kondisi Proses <i>Distillate Rate</i> dan <i>Reboiler Duty</i>	39
4.3.1.1 Variasi Jumlah Umpan Etanol dan Asam Asetat Dengan <i>Distillate Rate</i> dan <i>Reboiler Duty</i> Konstan	39
4.3.1.2 Variasi <i>Reboiler Duty</i> Dengan Nilai <i>Distillate Rate</i> Konstan	40
4.3.1.3 Variasi <i>Distillate Rate</i> Dengan Nilai <i>Reboiler Duty</i> Konstan	42
4.3.1.4 Variasi <i>Reboiler Duty</i> dan <i>Distillate Rate</i> Terhadap Kemurnian Etil Asetat	44
4.3.2 Konfigurasi Kondisi Proses <i>Reflux Ratio</i> dan <i>Bottom Rate</i>	46
4.3.2.1 Variasi <i>Reflux Ratio</i> Dengan Nilai <i>Bottom Rate</i> Konstan	46
4.3.2.2 Variasi <i>Bottom Rate</i> Dengan Nilai <i>Reflux Ratio</i> Konstan	48
4.3.2.3 Variasi <i>Reflux Ratio</i> dan <i>Bottom Rate</i> Terhadap Kemurnian	50
4.3.2.4 Variasi <i>Side Stream</i> Dengan <i>Bottom Rate</i> dan <i>Reflux Ratio</i> Konstan.....	52
4.4 Pemilihan Kondisi Proses Untuk Mendapatkan Hasil yang Optimum	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1 Kesimpulan	54

5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Produksi etil asetat dengan distilasi reaktif	18
Gambar 2.2 Rangkaian Langsung, Rangkaian tidak langsung, dan Konfigurasi Petlyuk...	19
Gambar 2.3 Skema <i>dividing wall column</i>	20
Gambar 2.4 Skema jalur dari kolom distilasi menjadi reaktif kolom RDWC	21
Gambar 2.5 Contoh tempat terjadinya reaksi pada RDWC.....	21
Gambar 2.6 Skema RDWC untuk etil asetat	22
Gambar 2.7 Fraksi mol etil asetat pada 2 fasa cair	23
Gambar 2.8 Fraksi mol air pada 2 fasa cair	24
Gambar 2.9 Profil temperatur RDWC	24
Gambar 2.10 Kolom pemisah pada Aspen Plus.....	25
Gambar 2.11 Form input untuk modul RadFrac	26
Gambar 2.12 Sistem umum RadFrac model.....	26
Gambar 2.13 Skema pemilihan parameter Aspen Plus.....	28
Gambar 3.1 Algoritma metode penelitian	32
Gambar 4.1 Model RDWC.....	33
Gambar 4.2 Profil Kemurnian Etil Asetat Pada Setiap Tahap	35
Gambar 4.3 Profil Kemurnian Air Pada Setiap Tahap	36
Gambar 4.4 Profil Temperatur Pada Setiap Tahap.....	37
Gambar 4.5 Variasi umpan etanol dan asam asetat.....	39
Gambar 4.6 Variasi <i>reboiler duty</i> terhadap kemurnian etil asetat di distilat.....	40
Gambar 4.7 Variasi <i>reboiler duty</i> terhadap temperatur di distilat dan <i>bottom</i>	41
Gambar 4.8 Variasi <i>reboiler duty</i> terhadap konversi etil asetat	41
Gambar 4.9 Variasi <i>distillate rate</i> terhadap kemurnian etil asetat etil asetat di distilat.....	42
Gambar 4.10 Variasi <i>distillate rate</i> terhadap konversi etil asetat.....	43
Gambar 4.11 Variasi <i>distillate rate</i> terhadap temperatur di distilat dan <i>bottom</i>	44
Gambar 4.12 Variasi <i>Reboiler Duty</i> dan <i>Distillate Rate</i> Terhadap Kemurnian Etil Asetat	45
Gambar 4.13 Variasi <i>Reboiler Duty</i> dan <i>Distillate Rate</i> Terhadap Konversi Etil Asetat ...	45
Gambar 4.14 Variasi <i>reflux ratio</i> terhadap kemurnian etil asetat di distilat	46
Gambar 4.15 Variasi <i>reflux ratio</i> terhadap konversi etanol	47
Gambar 4.16 Variasi <i>reflux ratio</i> terhadap temperatur di distilat dan <i>bottom</i>	48
Gambar 4.17 Variasi <i>bottom rate</i> terhadap kemurnian etil asetat di distilat	48

Gambar 4.18 Variasi <i>bottom rate</i> terhadap konversi etanol.....	49
Gambar 4.19 Variasi <i>bottom rate</i> terhadap temperatur di distilat dan di <i>bottom</i>	50
Gambar 4.20 Variasi <i>Reflux Ratio</i> dan <i>Bottom Rate</i> Terhadap Kemurnian Etil Asetat	51
Gambar 4.21 Variasi <i>Reflux Ratio</i> dan <i>Bottom Rate</i> Terhadap Kemurnian Etil Asetat	52
Gambar 4.22 Variasi <i>Sidestream</i> Terhadap Kemurnian Etil Asetat.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Empat azeotrop beserta komposisi dan temperaturnya	8
Tabel 2.2 Sifat fisik & kimia alkohol.....	9
Tabel 2.3 Sifat fisik & kimia asam asetat.....	10
Tabel 2.4 Sifat fisik & kimia asam sulfat	12
Tabel 2.5 Spesifikasi Amberlyst 35wet.....	13
Tabel 2.6 Spesifikasi berbagai katalis purolite.....	14
Tabel 2.7 Impor etil asetat di Indonesia	15
Tabel 2.8 Data validasi RDWC pembuatan etil asetat	22
Tabel 2.9 Neraca massa validasi RDWC.....	23
Tabel 3.1 Jadwal kerja penelitian	31
Tabel 4.1 Neraca mol hasil validasi & literatur.....	38

INTISARI

Permintaan etil asetat di Indonesia terus meningkat dengan semakin banyaknya import etil asetat di Indonesia. Etil asetat banyak digunakan dalam bidang industri. Industri etil asetat merupakan salah satu industri yang memiliki prospek baik namun masih kurangnya industri dalam negeri, sehingga membutuhkan import dari luar negeri yang tercatat pada tahun 2015 sebanyak 71.649 Ton. *Reactive dividing wall column* (RDWC) merupakan pengembangan proses distilasi untuk memproduksi etil asetat dengan kemurnian tinggi. Simulasi proses RDWC dilakukan dengan memvariasi kondisi umpan dan kondisi operasi kolom untuk memperoleh konversi dan kemurnian yang maksimal. Senyawa ester merupakan senyawa kimia yang banyak ditemui dalam industri pelarut.

Ester adalah senyawa yang setidaknya memiliki satu gugus hidroksil yang digantikan oleh alkoksi. Esterifikasi adalah reaksi pengubahan dari suatu asam karboksilat dan alkohol menjadi suatu ester dengan menggunakan katalis asam. Laju esterifikasi bergantung pada halangan sterik dalam alkohol dan asam karboksilatnya. Produksi ester dapat ditingkatkan dengan menggunakan prinsip Le Chatelier. Reaksi esterifikasi pembuatan etil asetat memiliki empat azeotrop pada tekanan 1 atm yaitu etanol-etil asetat, etanol-air, etil asetat-air, dan etanol-etil asetat-air dengan temperatur azeotrop 71,81 °C, 78,17 °C, 70,38 °C, dan 70,23 °C. Etil asetat memiliki tiga grade yang digunakan sebagai pelarut aktif, grade paling populer adalah 99%. Distilasi adalah metode pemisahan termal untuk memisahkan campuran dari dua atau lebih zat menjadi fraksi-fraksi komponen dengan kemurnian yang diinginkan berdasarkan perbedaan volatilitas. RDWC merupakan gabungan dari reaktor dan unit pemisahan dalam satu DWC (*dividing wall column*) atau kombinasi dari reaktif distilasi (RD) dengan teknologi DWC. RDWC dapat melakukan penghematan investasi dan biaya operasi sekitar 40%. Aspen Plus merupakan perangkat lunak yang digunakan sebagai simulator. Metode yang digunakan adalah modul RadFrac.

Metodologi penelitian terdiri dari berbagai tahap yaitu studi simulator aspen plus, pemodelan proses, validasi model proses, dan simulasi proses. Studi simulator hanya mempelajari bagaimana menggunakan perangkat lunak aspen plus untuk melakukan tahap berikutnya. Permodelan dilakukan dengan menggunakan model kolom RadFrac yang dapat memodelkan kolom pemisahan dengan mengasumsikan terjadinya kesetimbangan fasa uap-cair disetiap tahapnya. Model yang sudah dibuat akan divalidasi dengan membandingkan terhadap model literatur. Standar kelayakan dari model apabila selisih hasil yang diperoleh tidak terlalu jauh dengan data literatur. Tahap terakhir dilakukan simulasi proses dengan memvariasikan kondisi umpan dan kondisi kolom.

Model RDWC yang dibuat sudah divalidasi dengan literatur. Pada simulasi kondisi kolom (*reboiler duty & distillate rate*) yang konstan, semakin besar laju alir mol umpan, kemurnian etil asetat yang didapat semakin kecil, sedangkan konversi etil asetat relatif sama. Pada *distillate rate* konstan, semakin besar *reboiler duty*, semakin besar kemurnian dan konversi etil asetat, namun perubahannya tidak signifikan. Pada *reboiler duty* konstan, semakin besar *distillate rate*, semakin besar kemurnian dan konversi etil asetat, namun terdapat batas maksimalnya. Pada *bottom rate* konstan, semakin besar *reflux ratio*, semakin besar kemurnian dan konversi etil asetat, namun terdapat batas maksimalnya. Pada *reflux ratio* konstan, semakin besar *bottom rate*, semakin besar kemurnian dan konversi etil asetat, namun terdapat batas maksimalnya.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada abad ke-21 ini permintaan etil asetat di Indonesia terus meningkat seiring dengan semakin banyaknya import etil asetat di Indonesia. Etil asetat banyak digunakan dalam bidang industri seperti pemberi rasa pada es krim, kue, kopi, untuk parfum, digunakan pada industri tinta, cat, dan tiner, lem, PVC film, polimer cair dalam industri kertas, dan sebagainya. Industri etil asetat merupakan salah satu industri yang berprospek baik di Indonesia sebagaimana kebutuhan etil asetat di Indonesia belum dapat dipenuhi oleh industri etil asetat dalam negeri sehingga Indonesia masih membutuhkan import etil asetat dari luar negeri yang tercatat pada tahun 2015 sebanyak 71.649 Ton. ^[1]

Perkembangan Teknik Kimia yang semakin modern mampu menghasilkan etil asetat secara efisien. Distilasi reaktif merupakan salah satu cara memproduksi etil asetat yaitu dengan menggabungkan reaksi serta pemisahan secara distilasi dalam satu unit kolom. Penggunaan distilasi reaktif mampu membawa beberapa keuntungan seperti mengurangi biaya operasi, mengurangi kebutuhan energi, dan meningkatkan konversi. Namun pada pembuatan etil asetat dengan distilasi reaktif diperlukan pemurnian lebih lanjut untuk memperoleh kemurnian yang tinggi.

Reactive dividing wall column (RDWC) dikembangkan sebagai proses yang mampu menghasilkan etil asetat dengan kemurnian tinggi. RDWC merupakan kombinasi dari distilasi reaktif dengan *dividing wall column* (DWC). Dengan menggunakan RDWC pada produksi etil asetat, industri dapat menghemat investasi dan biaya operasi sekitar 40%. ^[2]

Produksi etil asetat dengan konversi dan kemurnian tinggi sangat krusial dalam penghematan biaya suatu industri. Oleh sebab itu, simulasi pembuatan etil asetat dengan *reactive dividing wall column* ini diharapkan dapat meningkatkan konversi dan kemurnian etil asetat sebelum dilakukan produksinya di industri.

1.2 Tema Sentral Masalah

Simulasi proses pembuatan etil asetat menggunakan *reactive dividing wall column* dilakukan dengan memvariasikan kondisi umpan dan kondisi operasi kolom untuk memperoleh konversi dan kemurnian etil asetat yang maksimal. Penggunaan *reactive dividing wall column* diharapkan dapat memperoleh konversi dan kemurnian etil asetat yang maksimal dengan biaya investasi dan operasi yang minimal.

1.3 Identifikasi Masalah

1. Bagaimana membuat model *reactive dividing wall column* dalam proses pembuatan etil asetat?
2. Bagaimana memvalidasi model *reactive dividing wall column* dalam proses pembuatan etil asetat?
3. Bagaimana pengaruh kondisi umpan dan kondisi operasi kolom terhadap konversi etil asetat?
4. Bagaimana pengaruh kondisi umpan dan kondisi operasi kolom terhadap kemurnian etil asetat?

1.4 Premis

1. Reaksi esterifikasi pembuatan etil asetat dari asam asetat dengan etanol merupakan reaksi yang sangat reversibel. [3]
2. Prinsip Le Chatelier dapat meningkatkan produksi ester yaitu etil asetat dalam reaksi esterifikasi. [4]
3. Reaksi esterifikasi pembuatan etil asetat merupakan reaksi kesetimbangan dengan reaksi samping yang mungkin terjadi yaitu dehidrasi alkohol. [3]
4. Reaksi esterifikasi pembuatan etil asetat memiliki empat azeotrop pada tekanan 1 atm yaitu etanol-etil asetat, etanol-air, etil asetat-air, dan etanol-etil asetat-air dengan temperatur azeotrop 71,81 °C, 78,17 °C, 70,38 °C, dan 70,23 °C. [2]
5. Persamaan kinetika reaksi esterifikasi etil asetat menggunakan asam sulfat adalah $r = m_{cat}(k_1 C_{AA} C_E - k_2 C_{EA} C_W)$ dengan penentuan konstanta nilai k menggunakan persamaan $k_1 = 0.485 \exp\left(\frac{-59774}{RT}\right)$ dan $k_{-1} = 0.123 \exp\left(\frac{-59774}{RT}\right)$. [5]
6. Persamaan kinetika reaksi menggunakan katalis amberlyst 35wet adalah $r = m_{cat}(k_1 C_{HAc} C_{EtOH} - k_{-1} C_{EtAc} C_{H_2O})$ dengan penentuan nilai k menggunakan persamaan $k_1 = 1.24 \times 10^9 \exp\left(\frac{-6105.6}{T}\right)$ dan $k_{-1} = 1.34 \times 10^8 \exp\left(\frac{-5692.1}{T}\right)$. [5]

7. Persamaan kinetika reaksi menggunakan katalis amberlyst 15 adalah $r = m_{cat}(k_1 C_{HAc} C_{EtOH} - k_{-1} C_{EtAc} C_{H_2O})$ dengan penentuan nilai k menggunakan persamaan $k_1 = 3.3856 \times 10^6 \exp\left(\frac{-5796}{RT}\right)$ dan $k_{-1} = 1.0135 \times 10^6 \exp\left(\frac{-6055}{RT}\right)$.^[5]
8. Reaksi antara asam asetat dan etanol merupakan reaksi eksotermis dengan nilai entalpi reaksi sebesar $\Delta H = -0,0114 \text{ kJ/mol}$, dan konstanta kesetimbangan pada suhu 70°C sebesar $K_c = 3,4402$.^[6]
9. Etil asetat biasa digunakan sebagai pelarut aktif dengan grade yang paling populer dengan kemurnian 99%.^[7]
10. RDWC dapat melakukan penghematan investasi dan biaya operasi sekitar 40% dibandingkan dengan alat pemisahan lainnya.^[2]
11. Model yang digunakan untuk menghitung data kesetimbangan adalah NRTL.^[8]
12. Kondisi operasi dari data validasi yang digunakan berupa diameter kolom RDWC 0,17 m, *condenser heat duty* -2,37 kW, aliran interkoneksi liquid 6 mol/jam, sedangkan vapornya 8 mol/jam, temperatur *condenser* 338,47 K, temperatur *reboiler* 370,28 K, laju alir asam asetat 60 mol/jam, laju alir etanol 60 mol/jam, tekanan *reboiler* 0,795 atm dan konfigurasi kolom RDWC yang digunakan sebagai data validasi meliputi tiga tahap kolom prefraksinasi, 11 tahap kolom utama, lima tahap aliran *liquid* di kolom utama, dan tujuh tahap aliran *vapor* di kolom utama dengan fraksi etil asetat dalam RDWC yang dihasilkan pada distilat sebanyak 51,772.^[8]
13. Hasil simulasi dari model validasi yang digunakan mendapatkan konversi sebesar 86%.^[8]

1.5 Tujuan Penelitian

1. Mampu membuat model *reactive dividing wall column* dalam proses pembuatan etil asetat.
2. Mampu memvalidasi model *reactive dividing wall column* dalam proses pembuatan etil asetat.
3. Mampu membandingkan pengaruh kondisi umpan dan kondisi operasi kolom terhadap konversi etil asetat.
4. Mampu membandingkan pengaruh kondisi umpan dan kondisi operasi kolom terhadap kemurnian etil asetat.

1.6 Manfaat Penelitian

1.6.1 Bagi industri

1. Memberikan informasi mengenai proses pembuatan etil asetat dengan *reactive dividing wall column*.
2. Mampu mengaplikasikan pembuatan etil asetat dengan *reactive dividing wall column* secara komersial.

1.6.2 Bagi ilmu Pengetahuan

1. Mampu melakukan simulasi pembuatan etil asetat dengan *reactive dividing wall column*
2. Mampu mengembangkan proses pembuatan etil asetat dengan *reactive dividing wall column*