

**OPTIMASI DESAIN KOMBINASI *PACKED BED*
REACTOR DAN DISTILASI BINER UNTUK
MEMPRODUKSI ETIL ASETAT KEMURNIAN
TINGGI DENGAN REAKSI TAMBAHAN HIDRASI
ETILEN OKSIDA**

CHE 184650–04 Penelitian

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

oleh :

Bobby Aji Pratama

(2016620087)

Pembimbing:

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



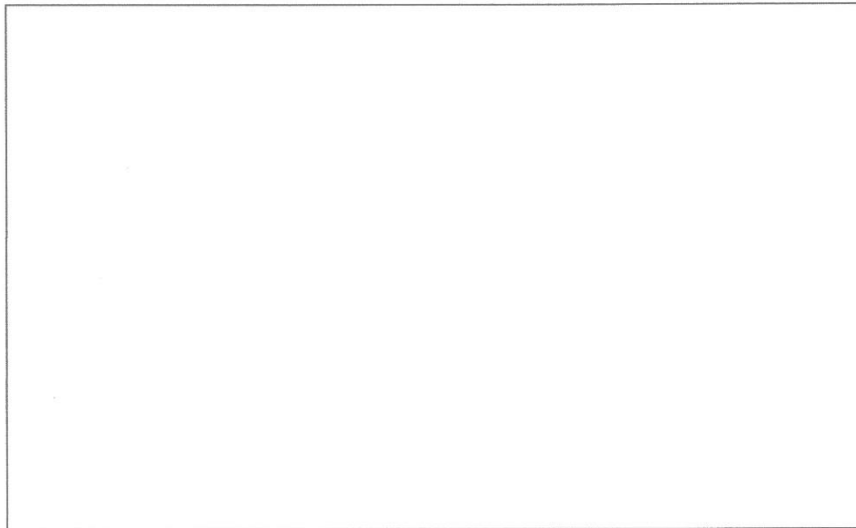
**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

2020

LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL : OPTIMASI DESAIN KOMBINASI *PACKED BED REACTOR* DAN
DISTILASI BINER UNTUK MEMPRODUKSI ETIL ASETAT
KEMURNIAN TINGGI DENGAN REAKSI TAMBAHAN HIDRASI
ETILEN OKSIDA**

CATATAN:



Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 18 Desember 2019

Pembimbing



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



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bobby Aji Pratama

NRP : 6216087

dengan ini menyatakan bahwa laporan proposal penelitian dengan judul:

**OPTIMASI DESAIN KOMBINASI *PACKED BED REACTOR* DAN DISTILASI BINER
UNTUK MEMPRODUKSI ETIL ASETAT KEMURNIAN TINGGI DENGAN REAKSI
TAMBAHAN HIDRASI ETILEN OKSIDA**

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, 18 Desember 2019

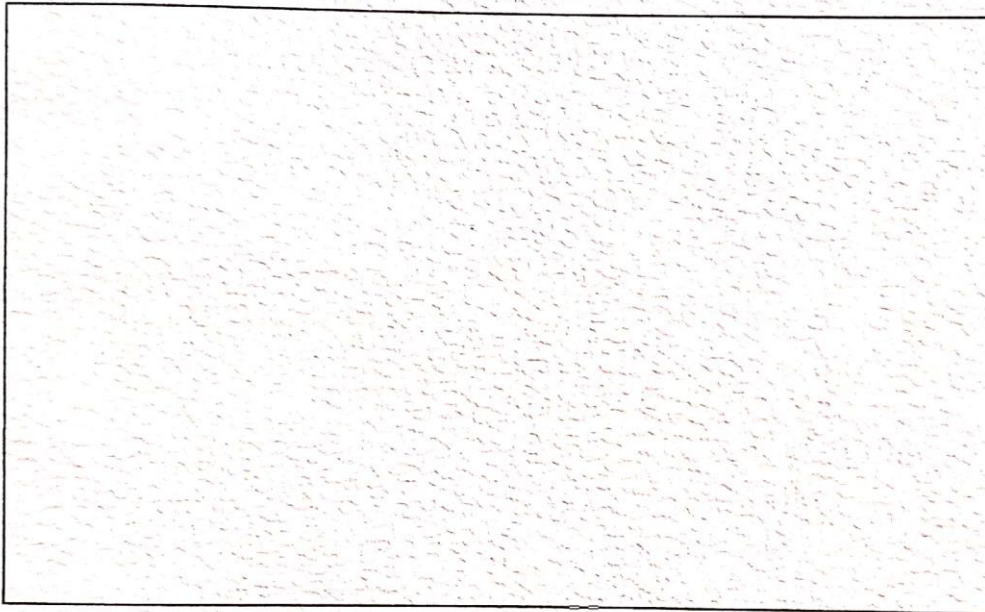
Bobby Aji Pratama

(6216087)

LEMBAR REVISI

**JUDUL : OPTIMASI DESAIN KOMBINASI *PACKED BED REACTOR* DAN
DISTILASI BINER UNTUK MEMPRODUKSI ETIL ASETAT
KEMURNIAN TINGGI DENGAN REAKSI TAMBAHAN HIDRASI
ETILEN OKSIDA**

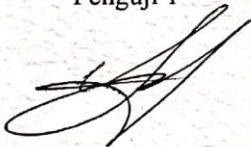
CATATAN:



Telah diperiksa dan disetujui,

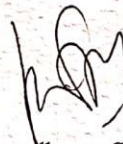
Bandung, 15 Januari 2020

Penguji 1



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

Penguji 2



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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat-Nya sehingga proposal penelitian yang berjudul “Optimasi Desain Kombinasi *Packed Bed Reactor* dan Distilasi Biner untuk Memproduksi Etil Asetat Kemurnian Tinggi dengan Reaksi Tambahan Hidrasi Etilen Oksida” dapat diselesaikan dengan baik. Proposal penelitian ini disusun untuk memenuhi tugas akhir sebagai salah satu persyaratan untuk mencapai gelar Pendidikan sarjana Strata-1 Program Studi Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan.

Penyusunan proposal penelitian ini dapat diselesaikan berkat bimbingan, bantuan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis sampaikan terima kasih kepada masing-masing pihak yang turut berperan dalam penyusunan proposal penelitian ini, terutama kepada yang terhormat:

1. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa, dukungan, dan motivasi
2. I Gede Pandega Wiratama, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbingan yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, dan saran dalam proses penyusunan proposal penelitian.
3. Rekan-rekan Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberi saran dan dukungan selama proses penyusunan proposal penelitian.
4. Semua pihak lain yang secara langsung dan tidak langsung berkontribusi dalam penyelesaian proposal penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa proposal penelitian ini belum sempurna dan banyak hal yang bisa diperbaiki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari pihak lain yang telah membaca proposal penelitian ini. Semua kritik dan saran dapat berguna untuk membantu penulis dalam karya ilmiah selanjutnya. Akhir kata, penulis berharap agar proposal penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Bandung, 16 Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN.....	ii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
INTISARI.....	xi
ABSTRACT.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tema Sentral Masalah.....	4
1.3 Identifikasi Masalah.....	4
1.4 Premis.....	4
1.5 Hipotesis.....	5
1.6 Tujuan Penelitian.....	5
1.7 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Esterifikasi.....	6
2.1.1 Tinjauan Kinetika.....	7
2.2 Reaktor.....	8
2.2.1 Fluidized Catalytic Crackers.....	8
2.2.2 Slurry Reactor.....	9
2.2.3 Plug Flow Tubular Reactor.....	9
2.3 Distilasi.....	10
2.3.1 Metode Distilasi Biner.....	11
2.4 Heat Exchanger.....	12
2.5 Zat yang Terlibat.....	12
2.5.1 Etilen Oksida (EtOx).....	12
2.5.2 Etanol (EtOH).....	13
2.5.3 Asam Asetat (AcH).....	14
2.5.4 Etil Asetat (EtAc).....	14

2.5.5 Etilen Glikol (EtGl).....	15
2.5.6 Air (W)	16
2.6 ASPEN.....	16
2.6.1 Model Termodinamika.....	17
2.7 Metode Evaluasi Ekonomi Berdasarkan <i>Total Annual Cost</i>	19
2.7.1 Biaya Alat.....	21
2.7.2 Biaya Energi.....	23
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Pengenalan Simulator dan Studi Literatur	25
3.2 Pembuatan Model	26
3.3 Simulasi Model.....	26
3.4 Optimasi Desain.....	26
3.4.1 Optimasi Packed Bed Reactor.....	27
3.4.2 Optimasi Distilasi Biner	28
3.5 Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	29
BAB 4 PEMBAHASAN	30
4.1 Simulasi Awal.....	30
4.2 Optimasi Desain.....	34
4.2.1 Optimasi <i>Packed Bed Reactor</i>	34
4.2.2 Optimasi Distilasi Biner	40
4.3 Optimasi Secara Keseluruhan	43
BAB 5 KESIMPULAN	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN	47
A.1 <i>Packed Bed Reactor</i> (PBR) dan <i>Heat Exchanger</i> (HE).....	47
A.2 Kolom Distilasi	47
A.3 <i>Total Annual Cost</i>	48
LAMPIRAN B DATA ANTARA.....	49
B.1 Optimasi <i>Packed Bed Reactor</i> dan <i>Heat Exchanger</i>	49
B.2 Optimasi Distilasi.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Distilasi Biner	11
Gambar 2.2 Langkah Pemilihan Model Termodinamika.....	18
Gambar 3.1 Tahap-tahap Penelitian.....	25
Gambar 3.2 <i>Flowsheet</i> Penelitian	26
Gambar 4.1 Pengaturan Kinetika Reaksi	31
Gambar 4.2 Pengaturan <i>Packed Bed Reactor</i> (PBR).....	31
Gambar 4.4 Pengaruh Temperatur terhadap Komposisi.....	32
Gambar 4.3 Pengaturan Distilasi	33
Gambar 4.5 Pengaruh Diameter PBR terhadap Biaya Alat	37
Gambar 4.6 Pengaruh Diameter PBR terhadap Biaya Energi	37
Gambar 4.7 Pengaruh diameter PBR terhadap TAC	38
Gambar 4.8 Pengaruh Panjang PBR terhadap Biaya Alat	39
Gambar 4.9 Pengaruh Panjang PBR terhadap Biaya Energi	39
Gambar 4.10 Pengaruh Panjang PBR terhadap TAC	40

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Impor Etil Asetat di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2011-2019).....	1
Tabel 1.2 Kapasitas Produksi Industri Etil Asetat di Dunia	2
Tabel 2.1 Data Azeotrop Sistem	6
Tabel 2.2 Model Kinetika Etil Asetat	7
Tabel 2.3 Nilai Entalpi Komponen	8
Tabel 2.4 Model Kinetika Etilen Glikol	8
Tabel 2.5 Sifat Etilen Oksida	13
Tabel 2.6 Sifat Etanol	13
Tabel 2.7 Sifat Asam Asetat	14
Tabel 2.8 Sifat Etil Asetat	14
Tabel 2.9 Sifat Etilen Glikol	15
Tabel 2.10 Sifat Air	16
Tabel 2.11 Kecocokan Penggunaan Model Termodinamika.....	17
Tabel 2.12 Aturan Depresiasi Sesuai UU Republik Indonesia No.17 Tahun 2000.....	21
Tabel 2.13 Parameter Biaya Reboiler dan Kondensor.....	22
Tabel 2.14 Nilai CEPCI.....	23
Tabel 2.15 Harga Steam Sebagai Sumber Energi (Wang, Cui, Ma, dan Zhang, 2014).....	24
Tabel 3.2 Rencana Kerja Penelitian.....	29
Tabel 4.1 Data Umpan	30
Tabel 4.2 Data Heat Exchanger Simulasi Awal	30
Tabel 4.3 Data Packed Bed Reactor Simulasi Awal.....	30
Tabel 4.4 Data Distilasi Simulasi Awal.....	30
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Awal PBR.....	32
Tabel 4.6 Hasil Simulasi Awal Distilasi	33
Tabel 4.7 <i>Total Annual Cost</i> (TAC) Simulasi Awal.....	34
Tabel 4.8 Hasil Run Optimasi Lebar <i>Packed Bed Reactor</i>	36
Tabel 4.9 Hasil Run Optimasi Panjang <i>Packed Bed Reactor</i>	38
Tabel 4.11 Hasil Run Optimasi Tahap Umpan Distilasi (1).....	41
Tabel 4.12 Hasil Run Optimasi Tahap Umpan Distilasi (2).....	41
Tabel 4.13 Hasil Run Optimasi Tahap Total Distilasi (1)	42

Tabel 4.14 Hasil Run Optimasi Tahap Total Distilasi (2)	42
Tabel 4.15 Hasil Run Optimasi Tahap Total Distilasi (3)	42
Tabel 4.16 Hasil Run Optimasi Tahap Total Distilasi (4)	42
Tabel 4.17 TAC Hasil Optimasi	43

INTISARI

Etil asetat, senyawa ester yang merupakan pelarut organik tidak berwarna, digunakan sebagai bahan baku cat, parfum, dan pelarut untuk ekstraksi. Etil asetat diproduksi dari sintesis etanol dan asam asetat melalui proses esterifikasi dengan katalis heterogen purolite CT179. Etil asetat merupakan zat yang susah diproduksi dengan kemurnian tinggi, dikarenakan terbentuknya sistem azeotrop pada reaksi esterifikasi etanol dan asam asetat. Metode inovasi menambahkan reaksi hidrasi etilen oksida pada reaksi esterifikasi untuk memisahkan sistem azeotrop menggunakan *packed bed reactor* dan produknya dipisahkan dengan distilasi biner. Reaksi hidrasi etilen oksida adalah reaksi penambahan senyawa air dalam etilen oksida menghasilkan etilen glikol, dimana reaksi hidrasinya mengambil senyawa air dari campuran azeotrop. Keuntungan metode inovasi ini adalah peningkatan konversi dan selektivitas sehingga produk yang didapat memiliki kemurnian tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang *packed bed reactor* dan distilasi biner dengan memvariasikan diameter *packed bed reactor*, panjang *packed bed reactor*, jumlah tahap total distilasi, dan tahap umpan masuk pada distilasi untuk memperoleh desain dengan *total annual cost* yang optimum. Langkah awal yang dilakukan adalah simulasi model konvensional lalu optimasi desain model inovasi. Data simulasi metode konvensional digunakan sebagai pembandingan dari perancangan metode inovasi untuk membandingkan *total annual cost* yang optimum dari kedua metode.

Hasil optimasi memberikan hasil data panjang *packed bed reactor* 52,7meter, diameter *packed bed reactor* 7,3 meter, nilai tahap umpan 6 dan jumlah tahap total 7 tahap. Hasil optimasi memberikan nilai *total annual cost* sebesar \$470.170.

Kata Kunci: Esterifikasi, hidrasi, etil asetat, etilen glikol, *packed bed reactor*

ABSTRACT

Ethyl acetate, an ester compound which is a colorless organic solvent, used as raw material for paints, perfumes and solvents for extraction. Ethyl acetate is produced from the synthesis of ethanol and acetic acid through an esterification reaction with heterogeneous catalyst purolite CT179. Ethyl acetate is a substance that is difficult to produce with high purity, due to the formation of an azeotropic system in ethanol and acetic acid esterification reaction. The innovation method adds the hydration reaction of ethylene oxide in the esterification reaction to separate the azeotropic system using packed bed reactor and the product is separated by binary distillation. The hydration reaction of ethylene oxide is a reaction of adding a water compound in ethylene oxide to produce ethylene glycol, where the hydration reaction takes a water compound from the azeotropic mixture. The advantage of this innovation method is the increase in conversion and selectivity so that the products obtained have high purity.

This study aims to design packed bed reactors and binary distillation by varying the packed bed reactor diameter, length of the packed bed reactor, the number of enriching distillation stages, and the number of distillation stripping stages to obtain the optimum total annual cost design. The first step taken is simulation of conventional model and optimization of innovation model design. Conventional method simulation data is used as a comparison of the design of innovation methods to compare the optimum total annual cost between two methods.

The optimization results length of packed bed reactor 52.7 meters, diameter of packed bed reactor 7,3 meters, 7 total stage of distillation and distillation feed stage 6. The optimization results provide a total annual cost of \$470.170.

Keywords: Esterification, hidration, ethyl acetate, ethylene glycol, packed bed reactor

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Etil asetat, senyawa ester dengan rumus molekul $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$, merupakan pelarut organik tidak berwarna yang mudah larut dalam air. Etil asetat adalah zat sintesis dari etanol dan asam asetat dengan katalis heterogen purolite CT179 melalui proses esterifikasi. Etil asetat berwujud cairan tidak berwarna dan memiliki aroma yang khas.

Etil asetat memiliki sifat volatil, pada umumnya digunakan sebagai pelarut organik, pelarut dalam makanan, ekstraksi produk farmasi, dan produk turunannya digunakan dalam pasar yang cukup luas seperti pengaroma buah dan pemberi rasa pada es krim, kue, kopi, teh, atau parfum. Dalam industri, etil asetat digunakan pada industri tinta cetak, cat dan tiner, lem, PVC film, polimer cair dalam industri kertas, dan industri penyerap seperti industri farmasi dan kosmetik (McKetta dan Cunningham, 1992).

Kebutuhan etil asetat di Indonesia selalu meningkat per tahunnya, terlihat dari impor etil asetat pada Badan Pusat Statistik, terutama pada tahun 2014 ke tahun 2015 impor meningkat pesat sebesar 151.40% dan sejak itu impor etil asetat tetap meningkat sebesar 9.42%. Kenaikan impor etil asetat menunjukkan produsen etil asetat di Indonesia belum mampu memenuhi kebutuhan etil asetat di dalam negeri sehingga Indonesia masih membutuhkan impor dari luar negeri.

Tabel 1.1 Impor Etil Asetat di Indonesia (Badan Pusat Statistik, 2011-2019)

Tahun	Etil asetat (ton)
2011	17.171,801
2012	34.079,649
2013	33.461,084
2014	28.500,774
2015	71.649,697
2016	80.433,627
2017	87.390,503
2018	93.819,120
2019 (sampai Januari 2019)	7.128,297

Di Indonesia, terdapat 4 pabrik yang sudah berdiri untuk memproduksi etil asetat, diantaranya adalah PT. Join Alfara Chemical (Tangerang Selatan), PT. Kimpo Indotama (Tangerang), PT. Putra Primajaya (Tangerang), dan PT. Insoclay Acidatama Indonesia (Tangerang). Produsen etil asetat sudah berdiri secara global. Kapasitas pabrik etil asetat di dunia dapat dilihat pada Tabel 1.2.

Tabel 1.2 Kapasitas Produksi Industri Etil Asetat di Dunia

No.	Pabrik	Negara	Kapasitas Produksi (ton per tahun)
1.	Amerika		
	• Celanese	Cangrejara, Mexico	92.000
		Pampa, Texas	60.000
	• Eastman Chemical	Longview, US	32.000
		Kingsport, US	27.000
	• Solutia	Massachussets, US	14.000
		Treton, Michigan, US	11.000
	• Atanor	Bueno Aires, Argentina	10.000
2.	Eropa		
	• Solutia	Antewerp, Springfield, Belgia	12.000
	• Ercross	Tarragona, Spanyol	60.000
	• Union Carbide	Stokholm, Swedia	30.000
	• Svensk Etanol Kemi	Domsjo, Swedia	35.000
	• BP Chemicals	Hull, Inggris	220.000
3.	Afrika		
	• Sasol	Secunda, Afrika Selatan	50.000
	• Rhodia Brasil	Paulina, Brazil	100.000

No. Pabrik	Negara	Kapasitas Produksi (ton per tahun)
4. Asia		
• Yangtze River Acetyls	Chongging, China	30.000
• Shandong Jinyimeng Chemicals	Shandong, China	80.000
• Shanghai Jinyimeng Chemicals	Wujing, China	30.000
• Jubilant Organosys		
• Laxmi Organic Industries	Gajraula and Nira, India	32.000
• Chiba Ethyl Acetate	Mahad, India	35.000
• Kyowa Hakko Kogyo	Ichihara, Jepang	50.000
• Showa Denko	Yokaichi, Jepang	40.000
• International Ester	Nanyo, Jepang	150.000
• Korea Alcohol Industrial	Ulsan, Korea Selatan	75.000
• Celanese	Ulsan, Korea Selatan	25.000
	Pulau Sakra, Singapura	60.000
	Total	1.117.500

Pemerintah membuka kesempatan untuk pembangunan industri etil asetat di Indonesia. Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 28 tahun 2008 menyebutkan mengenai kebijakan industri nasional yang mendukung pengembangan industri nasional. Pendirian pabrik etil asetat memiliki dorongan dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Menutupi kekurangan dalam kebutuhan etil asetat di dalam negeri.
- b. Mendukung pengembangan industri kimia dengan menggunakan etil asetat sebagai bahan baku.
- c. Mengurangi beban impor.

1.2 Tema Sentral Masalah

Etil asetat merupakan zat yang susah diproduksi dengan kemurnian tinggi, hal ini disebabkan terbentuknya azeotrop pada reaksi esterifikasi etanol dan asam asetat. Proposal penelitian ini mengajukan reaksi esterifikasi dengan tambahan reaksi hidrasi etilen oksida untuk memisahkan sistem azeotrop menggunakan *Packed Bed Reactor* dan distilasi biner. Oleh karena itu, untuk perancangan reaktor dan distilasi perlu dikaji untuk menentukan skema reaktor dan distilasi dengan memvariasikan diameter PBR, panjang PBR, jumlah tahap *enriching* distilasi, dan jumlah tahap *stripping* distilasi untuk memperoleh desain dengan *total annual cost* optimum.

1.3 Identifikasi Masalah

1. Berapa panjang dan diameter yang optimum pada perancangan *packed bed reactor* untuk reaksi esterifikasi dan reaksi hidrasi?
2. Berapa jumlah tahap *enriching* dan jumlah tahap *stripping* yang optimum pada distilasi biner untuk pemisahan etil asetat dan etilen glikol?
3. Bagaimana pengaruh variabel desain terhadap biaya energi dan biaya alat?

1.4 Premis

1. Model termodinamika yang digunakan pada reaksi esterifikasi etil asetat dan hidrasi etilen oksida adalah model NRTL (Ahmad, 2015).
2. Semakin tinggi laju alir masukan maka semakin tinggi laju produksi, namun kemurnian menurun, berlaku juga sebaliknya (Luyben, 2008).
3. Sistem kesetimbangan reaksi esterifikasi etil asetat merupakan sistem *Vapour Liquid Equilibrium* (Ahmad, 2015) (Calvar, 2007).
4. Esterifikasi etil asetat membentuk sistem azeotrop. Terdapat tiga azeotrop biner dan satu azeotrop terner. (Kloker, 2004).
5. Jenis katalis Purolite CT179 merupakan katalis heterogen (Luyben, 2008).
6. Reaksi hidrasi etilen oksida merupakan reaksi irreversible (Tavan, 2013).
7. Etil asetat dan etilen glikol tidak membentuk azeotrop (Tavan, 2013).

1.5 Hipotesis

Panjang dan diameter pada PBR dan jumlah tahap *enriching* dan *stripping* pada distilasi akan mempengaruhi biaya energi dan biaya alat. Semakin besar panjang dan diameter akan membuat biaya alat semakin mahal. Jumlah tahap yang semakin banyak akan membuat biaya alat semakin mahal juga. Reaksi tambahan hidrasi akan menghasilkan TAC yang rendah.

1.6 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui panjang dan diameter yang optimum pada perancangan *packed bed reactor* untuk reaksi esterifikasi dan reaksi hidrasi.
2. Mengetahui jumlah tahap *enriching* dan jumlah tahap *stripping* yang optimum pada distilasi biner untuk pemisahan etil asetat dan etilen glikol.
3. Mengetahui pengaruh diameter PBR dan panjang PBR, jumlah tahap *enriching* distilasi, dan jumlah tahap *stripping* distilasi terhadap biaya alat dan biaya energi.

1.7 Manfaat Penelitian

1. Mampu melakukan simulasi produksi esterifikasi dan hidrasi menggunakan Aspen Plus V8.8.
2. Mampu mengembangkan proses reaksi *packed bed reactor* dan distilasi biner dalam produksi etil asetat.