

**SIMULASI PENGARUH KONDISI OPERASI *DALAM*
PRODUKSI *TERT-BUTYL ALCOHOL-BASED ETHYL*
TERT-BUTYL ETHER DENGAN *REACTIVE*
*DISTILLATION COLUMN***

Penelitian

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

oleh :

Tristan Krishna Soedjatmiko

(2017620002)

Dosen Pembimbing :

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

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



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

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL : SIMULASI PENGARUH KONDISI OPERASI DALAM PRODUKSI
TERT BUTYL ALCOHOL-BASED ETHYL TERT-BUTYL ETHER DENGAN
REACTIVE DISTILLATION COLUMN**

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung,

Pembimbing 1

Pembimbing 2



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



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

LEMBAR REVISI

**JUDUL : SIMULASI PENGARUH KONDISI OPERASI DALAM PRODUKSI
TERT BUTYL ALCOHOL-BASED ETHYL TERT-BUTYL ETHER DENGAN
REACTIVE DISTILLATION COLUMN**

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung,

Penguji 1



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

Penguji 2



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



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

SURAT PERNYATAAN

Saya, yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Tristan Krishna Soedjatmiko

NPM : 2017620002

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul:

**SIMULASI KONDISI OPERASI DALAM PRODUKSI *TERT-BUTYL ALCOHOL-
BASED ETHYL TERT-BUTYL ETHER* DENGAN *REACTIVE DISTILLATION
COLUMN***

Adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat, materi atau 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, Februari 2022



Tristan Krishna Soedjatmiko
(2017620002)

INTISARI

Bensin adalah bahan bakar tidak terbarui yang berasal dari minyak bumi. Bensin digunakan untuk hampir semua alat transportasi, namun sering kali pembakarannya tidak sempurna sehingga menimbulkan polusi dan meningkatkan jumlah konsumsinya. Untuk meningkatkan efisiensi pembakarannya, ditambahkan bahan aditif yang mampu meningkatkan angka oktan yaitu *Ethyl tert-Butyl Ether* (ETBE). Peningkatan angka oktan akan meningkatkan efisiensi pembakaran yang kemudian menurunkan jumlah konsumsi bensin.

Pada penelitian ini, ETBE diproduksi melalui jalur alternatif yaitu dengan mereaksikan *tert-Butyl Alcohol* (TBA) dengan etanol dengan menggunakan *Reactive Distillation* (RD). Penggunaan RD mampu meningkatkan efisiensi proses dengan melakukan reaksi sekaligus pemisahan pada satu unit. Selain itu RD mampu meningkatkan kemurnian dari produk yang dihasilkan sekaligus juga menghilangkan masalah pemisahan produk utama dengan produk samping maupun sisa reaktan.

Pada penelitian ini, dilakukan simulasi untuk produksi TBA-based ETBE menggunakan RD menggunakan aplikasi Aspen Plus dengan tujuan untuk mendapatkan ETBE pada kemurnian yang tinggi dengan memvariasikan rasio refluks, temperatur condenser, *reboiler heat duty*, rasio mol air pada umpan dan letak umpan masuk. Selain itu, konversi TBA dan selektivitas terhadap ETBE juga diperhitungkan untuk menunjukkan efisiensi dari kondisi operasi yang digunakan. Simulasi yang dilakukan menggunakan paket properti atau parameter termodinamika PSRK yang merupakan model prediktif yang menggabungkan *equation of states* dan *activity coefficient* model yang mampu mengestimasi perilaku campuran hingga kondisi superkritik dan model unit operasi RadFrac, yang mengasumsikan adanya kesetimbangan antara fasa cair dan gas pada tiap tahap di dalam kolom.

Dari hasil simulasi, peningkatan rasio refluks dan penurunan *reboiler heat duty* mampu meningkatkan konversi TBA dan kemurnian ETBE yang dihasilkan, namun menurunkan selektivitas saat rasio refluks diatas 4 dan *reboiler heat duty* dibawah 50 kW. Peningkatan temperatur kondenser tidak terlalu berpengaruh pada kemurnian ETBE yang dihasilkan dan konversi TBA, namun selektivitas mengalami penurunan yang cukup signifikan. Peningkatan rasio mol air pada umpan menurunkan kemurnian ETBE, sedangkan untuk konversi TBA dan selektivitas memiliki puncak pada rasio mol 28 dan 38. Letak umpan masuk tidak terlalu berpengaruh pada kemurnian ETBE, namun saat umpan masuk pada bagian bawah, konversi TBA akan menjadi lebih tinggi dan selektivitas akan menjadi lebih tinggi dibanding saat umpan masuk pada kolom bagian atas maupun zona reaksi. Untuk menghasilkan ETBE pada kemurnian yang tinggi, kondisi operasi yang disarankan adalah pada penggunaan *reboiler heat duty* sebesar 42.5 kW dan rasio refluks 3.37 dengan kemurnian ETBE mencapai 60.25%. Namun penggunaan kondisi operasi ini dirasa kurang efisien, karena selektivitas yang didapat sangat rendah yaitu sebesar 5.81% dengan konversi yang tinggi mencapai 98.75%. Sehingga, untuk mendapatkan ETBE dengan kemurnian tinggi secara efisien, kondisi operasi yang disarankan adalah pada *reboiler heat duty* sebesar 52.2 kW dan rasio refluks 4. Adapun kemurnian ETBE, konversi TBA dan selektivitas terhadap ETBE yang didapatkan pada kondisi operasi tersebut adalah 52.63%-mol, 95.2% dan 68.1%.

Kata Kunci: *Reactive-distillation, tert-butyl alcohol, etyl tert-butyl ether*, simulasi, Aspen Plus.

ABSTRACT

Gasoline are one of the many kinds of petroleum fuels that are still being used by almost every means of transportation in this world. It cannot be renewed and most of the time it pollutes the air through its incomplete combustion in the engine and also increase its consumption rate. To increase its combustion efficiency, gasoline is added by additives like Ethyl Tert-Butyl Ether (ETBE) to increase its octane number. The increase in octane number will increase its efficiency and reduce the consumption of gasoline.

In this study, ETBE is produced through an alternative pathway which is by reacting tert-Butyl Alcohol (TBA) with ethanol using reactive distillation (RD). The use of RD column can increase process efficiency by reacting and separating chemicals in one vessel. It can also increase the purity of the main product while eliminating the problems of separating the main product with its side product and leftover reactants.

This paper simulated the process of producing ETBE using Tert-Butyl Alcohol (TBA) in a RD column using Aspen Plus application with the intention to increase ETBE purity in the liquid distillate by varying some operating conditions of the column such as mole reflux ratio, condenser temperature, reboiler heat duty, molar ratio of water in feed and feed stages.

The various operating conditions are simulated to investigate not only the effects on the purity of ETBE in liquid distillate, but also the conversion of TBA and selectivity towards ETBE. The Predictive Soave-Redlich-Kwong (PSRK) thermodynamics property set will be used to estimate the thermodynamic and mixture properties while the RadFrac module, a rigorous model for simulating all types of vapor liquid equilibrium, will be used to simulate the reactive distillation column as it can also be used as a reaction vessel.

The results showed that with increasing the reflux ratio and decreasing reboiler heat duty, the conversion of TBA and the purity of ETBE will increased. However, the change also decreases the selectivity towards ETBE on reflux ratio above 4 and reboiler heat duty below 50 kW. The selectivity can be increased by decreasing the condenser temperature, although it didn't have much effect on the conversion of TBA and the purity of ETBE as the purity remains constant and the conversion increase only by a little. The increase of molar ratio of water in feed decreases the ETBE purity while conversion of TBA and the purity of ETBE have an optimum ratio at 28 and 38. The changes in feed stages didn't have much effect on the ETBE purity. However, when the feed enters the column at a lower stage, it will gives higher conversion of TBA but with lower selectivity towards ETBE compare to when the feed enters at a higher stages. Reboiler heat duty of 42.5 kW and reflux ratio of 3.37 is recommended to obtained ETBE with high purity, reaching 60.25%. But the selectivity of ETBE on this operating condition is very low reaching 5.81% with a high conversion of 98.75% which seems very inefficient. In order to get a high purity of ETBE efficiently, reflux ratio of 4 and reboiler heat duty of 42.5 kW is more recommended. This operating condition gives ETBE purity of 52/63%-mole, while the conversion of TBA and selectivity towards ETBE reaching 95.2% and 68.1%.

Keywords: reactive distillation, tert-butyl alcohol, ethyl tert-butyl ether, simulation, Aspen Plus.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa oleh karena rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “Simulasi Pengaruh Kondisi Operasi dalam Produksi *Tert-Butyl Alcohol-based Ethyl Tert-Butyl Ether* dengan *Reactive Distillation Column*” dengan tepat waktu. Penelitian ini disusun untuk memenuhi persyaratan tugas akhir Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Dengan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyusun penelitian ini, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Budi Husodo Bisowarno, M. Eng., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, ilmu pengetahuan, saran dan waktu selama proses penyusunan penelitian ini.
2. Bapak I Gede Pandega, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan, ilmu pengetahuan, saran dan waktu selama proses penyusunan penelitian ini.
3. Orang tua dan keluarga penulis atas doa dan dukungan yang telah diberikan.
4. Sahabat-sahabat penulis yang telah memberikan dukungan dan saran.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik, masukan, dan saran yang membangun agar dapat mengembangkan penulis dalam penyusunan penelitian berikutnya. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih atas perhatian pembaca dan semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandung, Februari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL HAL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR REVISI.....	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
INTISARI.....	x
ABSTRACT	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tema Sentral Masalah	2
1.3 Identifikasi Masalah.....	2
1.4 Premis	2
1.5 Hipotesis	2
1.6 Tujuan Penelitian	2
1.7 Manfaat Penelitian	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Distilasi	7
2.2 Konfigurasi Kolom (Dejanović, Matijašević, and Olujić 2010).....	8
2.3 <i>Reactive Distillation</i>	10
2.4 RD Untuk Produksi TBA-based ETBE (Assabumrungrat et al. 2005)	12
2.5 Tert-Butil Alkohol (TBA)(PubChem 2005a)	15
2.6 Etanol (PubChem 2004).....	16
2.7 Etil Tert-Butil Eter (ETBE) (PubChem 2005b)	16
2.8 Azeotrop.....	17
2.9 Produksi ETBE dari TBA (Umar, Patel, and Saha 2009).....	18
2.10 Katalis.....	19
2.11 Aspen Plus (Technology 2000).....	20
2.12.1 Model Unit Operasi	21
2.12.2 Parameter Termodinamika	23
2.12.3 Prosedur Penggunaan Aspen Plus	25

BAB 3 METODE PENELITIAN	27
3.1 Tahap Penelitian	27
3.1.1 Studi Literatur.....	27
3.1.2 Studi Simulator Aspen Plus.....	27
3.1.3 Pembuatan Model Proses	27
3.1.4 Validasi Model Proses	29
3.2 Simulasi Proses	30
3.3 Prosedur Percobaan.....	31
3.4 Lokasi dan Jadwal Kerja Penelitian.....	31
BAB 4 PEMBAHASAN.....	33
4.1 Pembuatan Model	33
4.2 Validasi Model.....	35
4.3 Simulasi Proses	36
4.3.1 Simulasi Pengaruh Rasio Refluks	37
4.3.2 Simulasi Pengaruh Temperatur Kondenser	38
4.3.3 Simulasi Pengaruh <i>Reboiler Heat Duty</i>	39
4.3.4 Simulasi Pengaruh Rasio Molar H ₂ O : Etanol : TBA	40
4.3.5 Simulasi Pengaruh Letak Umpan Masuk	41
4.3.6 Pengaruh Rasio Refluks dan <i>Reboiler Heat Duty</i>	42
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....	47
LAMPIRAN A LAMPIRAN TABEL.....	49
LAMPIRAN B LAMPIRAN GRAFIK.....	52
LAMPIRAN C CONTOH PERHITUNGAN.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 3 Skema Umum Kolom <i>Reactive Distillation</i> (Agirre et al. 2011).....	10
Gambar 2. 4 Struktur Molekul Tert-Butil Alkohol (TBA)	15
Gambar 2. 5 Struktur Molekul Etanol.....	16
Gambar 2. 6 Struktur Molekul Etil Tert-Butil Eter (ETBE).....	17
Gambar 2. 7 Reaksi Utama Produksi ETBE.....	18
Gambar 2. 8 Reaksi Samping Produksi ETBE	19
Gambar 2. 9 Reaksi Tidak Langsung Produksi ETBE	19
Gambar 2. 10 Pedoman Pemilihan Parameter Aspen Plus Tahap 1 (Technology 2000)...	23
Gambar 2. 11 Pedoman Pemilihan Parameter Aspen Plus Tahap 2 (Technology 2000)...	24
Gambar 2. 12 Pedoman Pemilihan Parameter Aspen Plus Tahap 3 (Technology 2000)...	24
Gambar 2. 13 Pedoman Pemilihan Parameter Aspen Plus untuk Senyawa Petrokimia (Technology 2000)	25
Gambar 3. 1 Model Proses <i>Reactive Distillation</i> pada Aspen Plus	29
Gambar 3. 2 Profil Fraksi Mol Komponen di Dalam Kolom (Assabumrungrat et al. 2005)	30
Gambar 3. 3 Algoritma Pemodelan dan Simulasi.....	31
Gambar 4. 1 Konfigurasi Kolom Distilasi Reaktif untuk Produksi TBA-based ETBE (Assabumrungrat et al. 2005)	33
Gambar 4. 2 Profil Fraksi Mol Cairan Tiap Tahap Hasil Simulasi.....	36
Gambar 4. 3 Pengaruh Rasio Refluks terhadap Kemurnian ETBE, Konversi dan Selektivitas Reaksi.....	37
Gambar 4. 4 Pengaruh Temperatur Kondenser terhadap Kemurnian ETBE, Konversi dan Selektivitas Reaksi.....	38
Gambar 4. 5 Pengaruh <i>Reboiler Heat Duty</i> terhadap Kemurnian ETBE, Konversi dan Selektivitas Reaksi.....	39
Gambar 4. 6 Pengaruh Rasio Molar H ₂ O : Etanol : TBA terhadap Kemurnian ETBE, Konversi dan Selektivitas Reaksi	40
Gambar 4.7 Pengaruh Letak Umpan Masuk terhadap Kemurnian ETBE, Konversi dan Selektivitas Reaksi.....	41
Gambar 4. 8 Pengaruh Rasio Refluks dan <i>Reboiler Heat Duty</i> pada Kemurnian ETBE ..	42
Gambar 4. 9 Pengaruh Rasio Refluks dan <i>Reboiler Heat Duty</i> pada Konversi TBA.....	43
Gambar 4. 10 Pengaruh Rasio Refluks dan <i>Reboiler Heat Duty</i> pada Selektivitas terhadap ETBE	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Premis Penelitian Simulasi Produksi ETBE	3
Tabel 2. 1 Spesifikasi Kolom dan Umpan pada Kondisi Standar.....	13
Tabel 2. 2 Komposisi Azeotrop pada Sistem Reaksi ETBE untuk tekanan 101.3 kPa	18
Tabel 2. 3 Rangkuman Penelitian Penggunaan Katalis Resin Penukar Ion Asam untuk Sintesis ETBE dari Etanol dan TBA (Yee, Mohamed, and Tan 2013).....	20
Tabel 3. 1 Spesifikasi Kolom dan Umpan (Assabumrungrat et al. 2005)	28
Tabel 3. 2 Jadwal Kerja Penelitian	32
Tabel 4. 1 Perbandingan Komposisi Distilat Hasil Simulasi dengan Data Literatur.....	35

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di zaman yang sudah semakin berkembang ini, alat transportasi menjadi salah satu hal yang penting, baik alat transportasi umum maupun pribadi. Setiap alat transportasi pasti membutuhkan bahan bakar dan sebagian besar alat transportasi yang sering kita temui dan kita gunakan sehari-hari menggunakan bensin. Angka oktan adalah salah satu parameter untuk tingkat atau kualitas bensin yang menunjukkan jumlah oktana di dalam bensin tersebut sehingga pembakarannya menjadi lebih sempurna.

Bensin yang berasal dari minyak bumi memiliki angka oktan yang tidak tinggi yang dapat mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna di dalam mesin sehingga efisiensi pembakarannya rendah dan penggunaannya menjadi sangat tinggi sedangkan bensin yang berasal dari minyak bumi merupakan sumber daya alam tidak dapat diperbarui.

Ethyl tert-Butyl Ether (ETBE) adalah salah satu eter komersial yang sering dipakai sebagai aditif dalam bensin. Penambahan ETBE ini dapat meningkatkan nilai angka oktan bahan bakar sehingga efisiensi pembakaran akan meningkat dan menurunkan tingkat pemakaian bensin. (PubChem 2005b)

Industri kimia saat ini sudah semakin berkembang, sehingga dapat meningkatkan kemurnian, efisiensi, dan menurunkan biaya dalam pembuatan ETBE. Ada beberapa macam cara untuk membuat ETBE salah satunya adalah dengan membuatnya dari *tert-Butyl Alcohol* (TBA) dengan menggunakan *Reactive Distillation* (RD) Produksi ETBE dari TBA dan etanol merupakan salah satu alternatif yang masih sedikit dilakukan karena reaksi antara isobutena dengan etanol untuk menghasilkan ETBE lebih dikenal. Selain itu, etanol bisa didapatkan dari hasil fermentasi biomassa yang mengandung air dalam jumlah besar (Assabumrungrat et al. 2005)

RD dapat mensintesis sekaligus memisahkan ETBE dari campuran yang terbentuk sehingga didapatkan ETBE dalam kemurnian tinggi dan dapat meningkatkan efisiensi proses. Penggunaan proses RD juga dirasa cukup mampu dalam mengantisipasi jumlah air yang besar dalam umpan dengan penggunaan kondisi operasi yang tepat untuk menghasilkan kemurnian ETBE yang tinggi.

1.2 Tema Sentral Masalah

Masalah utama yang akan diteliti adalah menghasilkan ETBE dari TBA dengan kemurnian tinggi melalui *reactive distillation* dengan melakukan simulasi pada Aspen Plus.

1.3 Identifikasi Masalah

1. Bagaimana cara membuat model RD untuk produksi TBA-based ETBE?
2. Bagaimana cara meningkatkan kemurnian ETBE yang didapat dari hasil reaksi pada kolom *reactive distillation*?

1.4 Premis

Pada **Tabel 1.1** disajikan tabel premis untuk penelitian simulasi produksi ETBE.

1.5 Hipotesis

1. Kemurnian dapat ditingkatkan dengan mengubah kondisi operasi pada kolom seperti rasio refluks, *reboiler heat duty*, temperatur condenser, rasio mol H₂O : Etanol : TBA dan letak umpan masuk.
2. Kenaikan rasio refluks, penurunan temperatur kondenser dan *reboiler heat duty*, penurunan rasio mol air dan umpan masuk pada tahap reaktif, semakin tinggi kemurnian ETBE.

1.6 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui cara untuk memurnikan hasil ETBE yang didapatkan dari kolom RD.
2. Mengetahui pengaruh rasio refluks, *reboiler heat duty*, temperatur condenser, rasio mol H₂O : Etanol : TBA dan letak umpan masuk pada kemurnian ETBE, konversi TBA dan selektivitas terhadap ETBE

1.7 Manfaat Penelitian

1. Mampu memberikan alternatif dalam pembuatan ETBE dengan kemurnian dan efisiensi yang tinggi.
2. Mampu membuka wawasan baru dalam bidang teknik kimia khususnya aspek pemisahan dan reaksi mengenai penggunaan RD yang dapat meningkatkan efisiensi proses dan menurunkan *operating cost* serta *capital cost*.
3. Mampu melakukan simulasi proses sintesis TBA-based ETBE dengan menggunakan *software*.
4. Mampu mengembangkan penggunaan *reactive distillation* dalam pembuatan dan pemisahan dari suatu campuran melalui reaksi

Tabel 1. 1 Premis Penelitian Simulasi Produksi ETBE

No.	Data Reaksi	Spesifikasi Umpan	Konfigurasi Kolom	Hasil Percobaan	Simulasi	Referensi
1	<ul style="list-style-type: none"> - Sistem reaksi: IB-Etanol - Reaksi pada fasa cair - Model kinetika: LHHW 	<ul style="list-style-type: none"> - Rasio mol etanol: IB = 1.15 - Fasa: Cair - Tekanan = 10.86 atm - Temperatur = 20°C - Laju Alir Mol = 0.5428 kmol/jam - Fraksi Mol Komponen 1-Butena = 0.42 Etanol = 0.2999 IB = 0.28 ETBE = 0 	<ul style="list-style-type: none"> Simulasi 1 (<i>Base Case</i>) - <i>sequence</i> 2 kolom dengan <i>pre-reactor</i> - Kolom 1 = Kolom RD - Kolom 2 = Kolom Distilasi Konvensional 	<ul style="list-style-type: none"> Simulasi 1 (<i>Base Case</i>) - Konversi IB menjadi ETBE = 98% - Kemurnian ETBE = 90% (wt) 	Aspen Hysys, UNIFAC	(Gheorgh e et al. 2009)
2	<ul style="list-style-type: none"> - Sistem reaksi: TBA-Etanol - Reaksi fasa cair - Tekanan operasi 101.3 kPa 	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatur = 298 K - Tekanan = 101.3 kPa - Fasa Cair - Laju Alir Mol = 0.00271 mol/s, variasi 	<ul style="list-style-type: none"> - RADFRAC - NT = 16 (termasuk kondensor) - Jumlah stripping section = 5 (termasuk reboiler) - Jumlah reaction section = 6 - Jumlah tahap total = 16 	<ul style="list-style-type: none"> - Pada kondisi standar D = 18.2%-mol ETBE, 19.4%-mol Etanol, 32.4%-mol TBA, 28.3%-mol H₂O B = 100%-mol air Konversi TBA = 60.5% Selektivitas = 27.7% 	Aspen Plus PSRK	(Assabu mrungrat et al. 2004)

	<ul style="list-style-type: none"> - Reaksi reversibel 	<p>antara 0.002-0.005 mol/s</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fraksi mol komponen TBA = 2.5% - Etanol = 2.5% - Air = 95% - Rasio molar [TBA:Etanol:H₂O] = 1:1:38, variasi H₂O:TBA = 18:1, 28:1, 38:1, 48:1, 58:1 	<ul style="list-style-type: none"> - Massa katalis/tahap = 0.065 kg - R = 1.5, variasi antara 1-3 - Q (W) = 26, variasi antara 15-32 - Temperatur kondensor = 333 K, variasi dari antara 303-333 K - Variasi tipe katalis: Amberlyst-15 dan β-zeolite 	<ul style="list-style-type: none"> - Konversi TBA meningkat dengan peningkatan temperatur kondenser namun selektivitas menurun. - Peningkatan laju alir mol umpan menurunkan selektivitas dan menghasilkan titik optimum pada konversi TBA. - Konversi TBA meningkat dan selektivitas menurun pada peningkatan rasio refluks. - Selektivitas meningkat dan menghasilkan titik optimum pada konversi TBA dengan peningkatan Q reboiler. - Konversi TBA meningkat dan kemudian mengalami sedikit penurunan dengan peningkatan rasio molar H₂O:TBA sedangkan selektivitas sedikit menurun dan kemudian meningkat. - Katalis β-zeolite memberikan performa yang lebih baik. 		
3	<ul style="list-style-type: none"> - Sistem reaksi: TBA-Etanol - Katalis β-zeolite - Reaksi pada fasa cair 	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatur = 298 K - Tekanan = 101.3 kPa - Fasa Cair - Laju Alir Mol = 4.14 mol/s - Fraksi mol komponen TBA = 2.5% - Etanol = 2.5% - Air = 95% <p>Rasio mol air: Etanol = 18:1, 28:1, 38:1, 48:1</p>	<ul style="list-style-type: none"> - RADFRAC - N_T = 16 (termasuk kondensor) - Jumlah <i>stripping section</i> = 6 (termasuk reboiler) - Jumlah reaction section = 4 - Jumlah tahap total = 16 - Massa katalis/tahap = 25 kg - R = 3.37, variasi antara 2 - 6 - Q (kW) = 52.2, 55, 60, 65, 70 - Temperatur kondensor = 318.5 K 	<ul style="list-style-type: none"> - Pada kondisi standar D = 39.2%-mol ETBE, D=32.2%-mol Etanol, 8.5%-mol TBA - B = 100%-mol air - Konversi TBA = 88.9% - Selektivitas = 53.7% - Konversi TBA menurun dengan meningkatnya Q namun selektivitas tetap - Selektivitas meningkat dengan meningkatnya rasio mol air: Etanol namun konversi akan meningkat kemudian turun pada rasio mol tinggi 	Aspen Plus PSRK (Predictive Soave-Redlich-Kwong)	(Assabu mrungrat et al. 2005)

				7	49.2	ETBE= 60.9, Etanol= 21.6, Air= 17.5	Etanol = 1.2, Air = 98.8		
				14	49.2	ETBE= 59.5, TBA= 0.2, Etanol= 23.6, Air= 16.7	Etanol = 2.1, Air = 97.9		
<p>IB = Isobutena, ETBE = <i>Ethyl tert-Butyl Ether</i>, R = Rasio refluks (L/D) N_T = Jumlah tahap <i>rectifying section</i>, N_F = Tahap umpan masuk, N_S = Tahap keluaran <i>side draws</i>, D = Distilat, S = <i>Side Draws</i>, B = <i>Bottom</i>, TBA = <i>tert-Butyl Alcohol</i>, Q = <i>Reboiler heat duty</i>,</p>									