

SIMULASI KONDISI OPERASI *REACTIVE DIVIDING* *WALL COLUMN* UNTUK PRODUKSI ETBE

Laporan Penelitian

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

oleh:

Jonathan Setyadi

(2015620040)

Pembimbing:

Dr. Budi Husodo Bisowarno

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



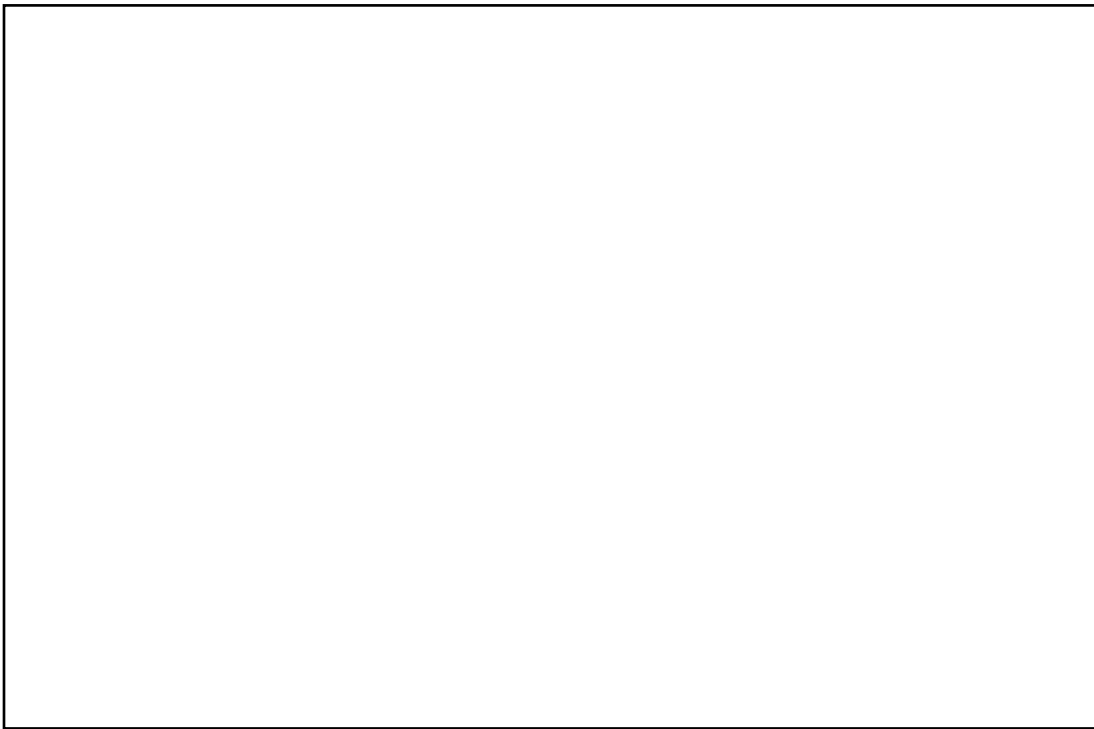
**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**JUDUL : SIMULASI KONDISI OPERASI *REACTIVE DIVIDING WALL COLUMN*
UNTUK PRODUKSI ETBE**

CATATAN :



Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 15 Juli 2021

Pembimbing 1



Dr. Budi Husodo Bisowarno

Pembimbing 2



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



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Jonathan Setyadi

NRP : 6215040

dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul:

Simulasi Kondisi Operasi *Reactive Dividing Wall Column* untuk Produksi ETBE

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, 15 Juli 2021



Jonathan Setyadi

(2015620040)

INTISARI

Seiring perkembangan teknologi, kebutuhan zat aditif *Tetra Ethyl Lead* (TEL) sebagai penambah bilangan oktan bahan bakar sudah tidak relevan. Kini TEL sudah digantikan oleh Metil Tersier Butil Eter (MTBE) dan Etil Tersier Butil Eter (ETBE) karena bersifat lebih ramah lingkungan. Salah satu kendala dalam produksi MTBE dan ETBE adalah keterbatasan spesifikasi dan kebutuhan energi yang besar pada distilasi konvensional. Solusi alternatif yang ditawarkan pada penelitian ini adalah produksi ETBE menggunakan kolom *reactive dividing wall column* (RDWC) dengan spesifikasi yang sesuai.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan simulasi RDWC, dimana RDWC merupakan *divided wall column* (DWC) yang melibatkan *reactive distillation* (RD) pada kondisi kesetimbangan reaksi. Proses yang terjadi adalah mereaksikan etanol dan isobutilena menjadi ETBE kemudian ETBE akan dipisahkan dari hidrokarbon sampai menghasilkan kemurnian ETBE semaksimal mungkin. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak Aspen Plus dengan model termodinamika UNIFAC dan kolom jenis RadFrac. Penelitian diawali dengan validasi untuk menentukan konfigurasi awal RDWC berdasarkan literatur, dilanjutkan dengan simulasi menggunakan konfigurasi validasi untuk mengetahui pengaruh *reboiler duty*, laju alir mol *side-draw*, dan *reflux ratio* terhadap proses produksi ETBE pada RDWC.

Berdasarkan hasil penelitian, nilai *reboiler duty* yang didapatkan adalah 1080 kW dengan laju alir *side-draw* yaitu 7 kmol/h. Penyesuaian *reboiler duty* dan laju alir *side-draw* dilakukan untuk mencapai kemurnian ETBE dan konversi etanol yang diinginkan. Semakin besar *reboiler duty* dan laju alir *side-draw*, semakin besar kemurnian ETBE. Sebaliknya, semakin besar *reboiler duty* dan laju alir *side-draw*, semakin kecil konversi etanol. Nilai *reflux ratio* yang sesuai spesifikasi dapat meningkatkan kemurnian ETBE sekaligus mengurangi *reboiler duty* yang dibutuhkan.

Kata kunci: Etil Tersier Butil Eter (ETBE), *reactive dividing wall column* (RDWC), *reboiler duty*, *side-draw*, *reflux ratio*

ABSTRACT

In this era, industrial technology is always developing. One of the impact is to decrease the usage of Tetra Ethyl Lead (TEL) as an additive compound for fuel. Recently, Methyl tert-butyl ether (MTBE) dan Ethyl tertiary-butyl ether (ETBE) are used as alternative of TEL because of it's eco-friendly effect. The production of MTBE and ETBE with conventional distillation to reach high purity requires complicated specification and high necessity of energy involved.. As a solution, the purpose of this study is proposing a modern technology of distillation to produce ETBE, which is reactive dividing wall column (RDWC) with better specification.

The purpose of this study is to design RDWC model which is formed by divided wall column (DWC) and reactive distillation (RD) at equilibrium state. The process requires a chemical reaction between ethanol and isobutylene producing ETBE, then ETBE will be separated from undesired hydrocarbon compounds to reach the maximum purity of ETBE. This study uses software Aspen Plus with UNIFAC thermodynamic model dan RadFrac column. The study starts from validation to redesign and determine the initial configuration of RDWC by reference, then simulation to determine the impact of reboiler duty, side-draw flow rate, and reflux ratio.

According to the result, the optimal value of reboiler duty is 1080 kW with side-draw flow rate 7 kmol/h. The adjustment of reboiler duty and side-draw flow rate may reach the desired ETBE purity and ethanol conversion. When reboiler duty and side-draw flow rate increase, ETBE purity increases too, while ethanol conversion decreases. The proper value of reflux ratio will increase the purity of ETBE and decrease the necessity of the reboiler duty.

Keyword: Ethyl tertiary-butyl ether (ETBE), reactive dividing wall column (RDWC), reboiler duty, side-draw, reflux ratio

KATA PENGANTAR

Puji syukur Tuhan Yang Maha Esa untuk berkat dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian berjudul “**Simulasi Kondisi Operasi *Reactive Dividing Wall Column* untuk Produksi ETBE**” yang dilakukan demi memenuhi persyaratan mata kuliah CHE183650.04 Penelitian pada Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penulisan laporan penelitian ini, penulis menerima saran, kritik, dan dukungan lainnya. Secara khusus penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga sebagai *support system* utama penulis secara moral dan materi
2. Dr. Budi Husodo Bisowarno dan I Gede Pandega Wiratama, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing
3. Jefri Kadang, Ricky Kristian, Zefanya Tirza, dan teman-teman dari komunitas Unpar 4, Unpar 5, dan Unpar 1 yang memberikan dukungan spiritual
4. Teman-teman jurusan Teknik Kimia Unpar yang memberikan semangat

Penulis menyadari kekurangan dalam penulisan laporan dan mengharapkan masukan yang relevan untuk memperlengkapi konten laporan ini. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan penelitian ini dapat bermanfaat.

Bandung, 15 Juni 2021



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
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Sentral Masalah.....	2
1.3. Identifikasi Masalah.....	2
1.4. Premis	2
1.5. Tujuan Penelitian	3
1.6. Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Produk dan Reaktan	4
2.1.1. Etil Tersier Butil Eter.....	4
2.1.2. Isobutilena.....	6
2.1.3. Etanol	7
2.2. Kinetika Reaksi	7
2.3. Produksi ETBE secara Konvensional	8
2.3.1. Distilasi	8
2.3.2. Ekstraksi.....	9
2.3.3. <i>Reactive Distillation</i> (RD)	9

2.3.4. <i>Dividing Wall Column (DWC)</i>	13
2.3.5. <i>Reactive Dividing Wall Column (RDWC)</i>	15
2.4. ASPEN PLUS	16
2.5. Model Operasi Unit.....	16
BAB 3 METODE PENELITIAN	20
3.1. Simulasi Awal dan Validasi	20
3.2. Pembuatan Model pada Aspen Plus.....	20
3.3. Cara Kerja	21
3.4. Tempat dan Jadwal Rencana Kerja Penelitian.....	22
BAB 4 PEMBAHASAN.....	24
4.1. Pemodelan.....	24
4.2. Validasi RDWC	25
4.3. Simulasi RDWC	28
4.3.1. Pengaruh Terhadap Kemurnian ETBE	29
4.3.1.1. Pengaruh <i>Reboiler Duty</i> Terhadap Kemurnian ETBE	29
4.3.1.2. Pengaruh Laju Alir <i>Side-draw</i> Terhadap Kemurnian ETBE	30
4.3.1.3. Pengaruh <i>Reflux Ratio</i> Terhadap Kemurnian ETBE.....	31
4.3.2. Pengaruh Terhadap Energi Proses	32
4.3.2.1 Pengaruh Laju Alir <i>Side-draw</i> Terhadap <i>Reboiler Duty</i>	32
4.3.2.2 Pengaruh <i>Reflux Ratio</i> Terhadap <i>Reboiler Duty</i>	33
4.3.3. Pengaruh Terhadap Konversi Etanol	34
4.3.3.1 Pengaruh <i>Reboiler Duty</i> Terhadap Konversi Etanol	35
4.3.3.2 Pengaruh Laju Alir <i>Side-draw</i> Terhadap Konversi Etanol	35
4.3.3.3. Pengaruh <i>Reflux Ratio</i> Terhadap Konversi Etanol.....	36
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1 Kesimpulan	38
5.2 Saran	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN A: LANGKAH INPUT DATA	41
A.1. <i>Data Properties</i>	41

A.2. Pembuatan Model RDWC	44
LAMPIRAN B: HASIL ANTARA	48
B.1. Validasi RDWC.....	48
B.2. Simulasi RDWC.....	48
B.2.1. Pengaruh Terhadap Kemurnian ETBE	48
B.2.2. Pengaruh Terhadap Energi Proses	50
B.2.3. Pengaruh Terhadap Konversi Etanol.....	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Skema RDWC.....	3
Gambar 2.1 Struktur molekul ETBE	4
Gambar 2.2 Persamaan konstanta kesetimbangan	8
Gambar 2.3 Skema distilasi ETBE	9
Gambar 2.4 Pembagian kolom distilasi reaktif.....	10
Gambar 2.5 Distilasi tipe I konfigurasi Ip dan Ir	12
Gambar 2.6 Distilasi tipe II konfigurasi Iip dan Iir	12
Gambar 2.7 Distilasi tipe III konfigurasi IIIp dan IIIr	12
Gambar 2.8 Desain kolom DWC	13
Gambar 2.9 Model DWC	14
Gambar 2.10 Desain pemisahan <i>direct sequence</i>	14
Gambar 2.11 Desain pemisahan <i>indirect sequence</i>	15
Gambar 2.12 Skema perubahan konfigurasi distilasi	15
Gambar 3.1 Model RDWC literatur.....	20
Gambar 3.2 Model RDWC produksi ETBE	20
Gambar 3.3 Cara kerja penelitian	22
Gambar 4.1 Model RDWC	24
Gambar 4.2 Profil fraksi mol komponen	26
Gambar 4.3 Profil fraksi mol komponen validasi.....	26
Gambar 4.4 Spesifikasi kolom RD	27
Gambar 4.5 Spesifikasi kolom D	27
Gambar 4.6 Pengaruh <i>reboiler duty</i> terhadap kemurnian ETBE.....	28
Gambar 4.7 Profil pengaruh laju alir <i>side-draw</i> terhadap kemurnian ETBE	29
Gambar 4.8 Profil pengaruh <i>reflux ratio</i> terhadap kemurnian ETBE.....	30
Gambar 4.9 Pengaruh laju <i>side-draw</i> terhadap <i>reboiler duty</i>	32

Gambar 4.10 Pengaruh <i>reflux ratio</i> terhadap <i>reboiler duty</i>	33
Gambar 4.11 Profil pengaruh <i>reboiler duty</i> terhadap konversi etanol	34
Gambar 4.12 Profil pengaruh laju <i>side-draw</i> terhadap konversi etanol	35
Gambar 4.13 Profil pengaruh <i>reflux ratio</i> terhadap konversi etanol	36
Gambar A.1 Data komponen	40
Gambar A.2 Pengaturan metode	41
Gambar A.3 Spesifikasi aliran etanol	41
Gambar A.4 Spesifikasi aliran hidrokarbon	42
Gambar A.5 Data komponen bereaksi	42
Gambar A.6 Spesifikasi reaksi kolom RD	43
Gambar A.7 Model RDWC Aspen Plus	43
Gambar A.8 Data <i>configuration</i> kolom RD.....	44
Gambar A.9 Data <i>streams</i> kolom RD.....	44
Gambar A.10 Data <i>pressure</i> kolom RD dan D.....	45
Gambar A.11 Data <i>configuration</i> kolom RD.....	45
Gambar A.12 Data <i>streams</i> kolom D.....	46
Gambar A.13 Profil fraksi mol komponen	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat fisik kimia ETBE.....	4
Tabel 2.2 Perbandingan karakteristik bahan bakar	5
Tabel 2.3 Sifat fisika kimia isobutilena	6
Tabel 2.4 Sifat fisika kimia etanol	7
Tabel 2.5 Parameter kinetika reaksi ETBE.....	8
Tabel 2.6 Kelebihan dan kekurangan distilasi reaktif.....	10
Tabel 2.7 Urutan volatilitas relatif	11
Tabel 2.8 Metode DSTWU	17
Tabel 3.1 Spesifikasi aliran dan kolom RDWC	20
Tabel 3.2 <i>Rule of thumb</i> desain awal RDWC	21
Tabel 3.3 Rencana kerja penelitian	22
Tabel B.1 Validasi RDWC	47
Tabel B.2 Percobaan dengan laju alir <i>side-draw</i> = 4 kmol/h.....	47
Tabel B.3 Percobaan dengan laju alir <i>side-draw</i> = 7 kmol/h.....	48
Tabel B.4 Percobaan dengan <i>reboiler duty</i> = 1060 kW.....	48
Tabel B.5 Percobaan dengan <i>reboiler duty</i> = 1080 kW.....	48
Tabel B.6 Percobaan dengan <i>reboiler duty</i> = 1080 kW dan laju alir <i>side-draw</i> = 7 kmol/h ...	48
Tabel B.7 Pengaruh laju alir <i>side-draw</i> terhadap <i>reboiler duty</i>	49
Tabel B.8 Pengaruh <i>reflux ratio</i> terhadap <i>reboiler duty</i>	49
Tabel B.9 Pengaruh <i>reboiler duty</i> terhadap konversi etanol.....	49
Tabel B.10 Pengaruh laju alir <i>side-draw</i> terhadap konversi etanol	50
Tabel B.11 Pengaruh <i>reflux ratio</i> terhadap konversi etanol	50

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pada dasarnya, bahan bakar merupakan energi yang dibutuhkan untuk keperluan industri maupun sehari-hari. Seiring perkembangan teknologi, kebutuhan bahan bakar baik secara jumlah maupun jenisnya semakin bertambah. Salah satu faktor yang diperhatikan dari perkembangan energi bahan bakar adalah dampak negatifnya terhadap lingkungan. Seperti diketahui bahwa bahan bakar merupakan bahan kimia dengan struktur hidrokarbon, sehingga penggunaannya cenderung menghasilkan emisi gas buang yang berbahaya bagi lingkungan maupun manusia. Emisi gas tersebut sebagian besar berupa karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂). Karbon monoksida berbahaya bagi kesehatan karena dapat mengotori paru-paru dan mengganggu sirkulasi peredaran darah, sedangkan karbon dioksida merupakan penyebab efek rumah kaca yang mengakibatkan pemanasan global (Efransyah dkk., 2016).

Salah satu solusi untuk mengurangi emisi gas berbahaya tersebut adalah dengan menambahkan zat aditif seperti *Tetra Ethyl Lead* (TEL) pada bahan bakar. TEL ini pula dapat meningkatkan bilangan oktan dari suatu bahan bakar. Penggunaan TEL ternyata menimbulkan masalah baru karena emisi gas buangnya mengandung Timbal (Pb) yang bersifat sangat beracun bagi lingkungan dan kesehatan. Untuk mengatasi masalah tersebut, dikembangkan alternatif zat aditif yaitu Metil Tersier Butil Eter (MTBE) dan Etil Tersier Butil Eter (ETBE) yang merupakan zat kimia organik (Chaudhuri, 2011) atau disebut juga *semi renewable oxygenate*. ETBE lebih dipilih dari pada MTBE karena lebih ramah lingkungan.

Konsumsi energi yang diperlukan suatu proses dalam industri selalu menjadi isu, salah satunya energi yang terlibat pada proses distilasi. Distilasi merupakan metode pemisahan yang paling umum digunakan dalam suatu industri, contohnya seperti pada industri minyak dan industri kimia. Pada umumnya, distilasi melibatkan pemisahan dua atau lebih komponen dengan memanfaatkan kolom-kolom. Kontribusi energi sistem distilasi dapat mencapai hingga 40% dari keseluruhan kebutuhan energi suatu pabrik. Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk mencari metode alternatif dari sekedar menggunakan kolom konvensional (Bumbac dkk., 2006).

Sejauh ini, perkembangan kolom distilasi untuk produksi ETBE dibagi menjadi *reactive distillation* (RD) dan *dividing wall column* (DWC). Penelitian ini akan berfokus pada gabungan kedua metode tersebut yaitu *reactive dividing wall column* (RDWC). Model RDWC untuk produksi ETBE secara komersial masih sangat terbatas.

1.2. Sentral Masalah

Sentral masalah penelitian ini adalah efektivitas dan spesifikasi yang minimum pada produksi ETBE secara konvensional. Alternatif model berupa RDWC diharapkan dapat menjadi solusi pada produksi ETBE secara komersial.

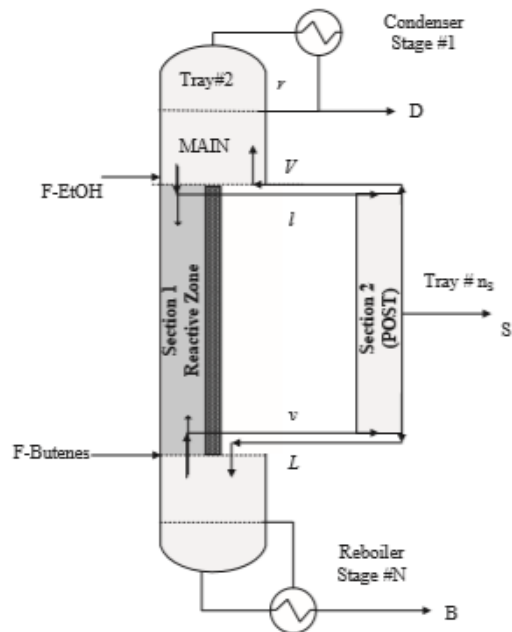
1.3. Identifikasi Masalah

1. Penentuan kondisi operasi awal *Reactive Dividing Wall Column* pada produksi ETBE
2. Simulasi variasi kondisi operasi *Reactive Dividing Wall Column* dengan Aspen Plus

1.4. Premis

1. Reaksi *reversible* pembuatan ETBE (Umar dkk., 2013):
$$\text{(CH}_3\text{)}_2\text{C-CH}_2 + \text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH} = \text{(CH}_3\text{)}_3\text{C-O-CH}_2\text{-CH}_3$$

Isobutena Etanol ETBE
2. Reaksi dibantu oleh katalis resin CT-14H yang disediakan M/S Purolite Ltd. (Umar dkk., 2013) atau katalis resin ion asam tipe Amberlyst (Bumbac dkk., 2004)
3. Konsentrasi ETBE pada kondisi maksimum = 72% (Umar dkk., 2013)
4. Konversi dari ETBE dari isobutilena = 98%; kemurnian ETBE = 99% (Kaur, 2017)
5. Temperatur awal dan tekanan operasi secara berurutan adalah 30 °C dan 7 atm
6. Parameter kinetika: $T_m = 325 \text{ K}$; $k_0 = 103,2743 \text{ mol/gcatdry.h}$; $E=35474 \text{ J/mol}$ (Bumbac dkk., 2004)
7. Total konsumsi energi RDWC = 234,94 kW/t-ETBE berdasarkan skema berikut



Gambar 1.1 Skema RDWC (Kaur, 2017)

1.5. Tujuan Penelitian

1. Menentukan kondisi operasi awal *Reactive Dividing Wall Column* pada produksi ETBE
2. Melakukan simulasi model *Reactive Dividing Wall Column* dengan Aspen Plus
3. Mempelajari pengaruh faktor *reboiler duty*, laju alir mol *side-draw*, *reflux ratio* pada produksi ETBE

1.6. Manfaat Penelitian

1.6.1. Bagi industri

1. Memberikan alternatif konfigurasi RDWC untuk mengganti distilasi konvensional
2. Memberikan alternatif spesifikasi RDWC yang lebih baik untuk produksi ETBE

1.6.2. Bagi ilmuwan

Memperlihatkan simulasi proses produksi ETBE dengan RDWC berdasarkan spesifikasi terkait

1.6.3. Bagi negara

Menawarkan inovasi atau teknologi yang lebih *sustainable* pada produksi ETBE sekaligus mendukung kualitas bahan bakar negeri