

SIMULASI DAN OPTIMASI REAKTOR TANGKI BERPENGADUK SERI DALAM PRODUKSI BIODIESEL DENGAN BAHAN BAKU CRUDE PALM OIL (CPO) DAN METANOL

Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar

sarjana di bidang ilmu Teknik Kimia

Oleh:

Gregorius Moses Indraputra

(2017620080)

Fanny Fadilah Ramadhan

(2017620133)

Pembimbing:

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



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2023**

**SIMULASI DAN OPTIMASI REAKTOR TANGKI
BERPENGADUK SERI DALAM PRODUKSI BIODIESEL
DENGAN BAHAN BAKU CRUDE PALM OIL (CPO) DAN
METANOL**

Laporan Penelitian

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

Oleh:

Gregorius Moses Indraputra

(2017620080)

Fanny Fadilah Ramadhan

(2017620133)

Pembimbing:

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



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
2023**



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

LEMBAR PENGESAHAN

Nama : Gregorius Moses Indraputra

NPM : 2017620080

Nama : Fanny Fadilah Ramadhan

NPM : 2017620133

Judul : Simulasi dan Optimasi Reaktor Tangki Berpengaduk Seri Dalam Produksi Biodiesel
Dengan Bahan Baku Crude Palm Oil (CPO) dan Metanol

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 14 Februari 2023

Pembimbing

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



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

LEMBAR REVISI

Nama : Gregorius Moses Indraputra

NPM : 2017620080

Nama : Fanny Fadilah Ramadhan

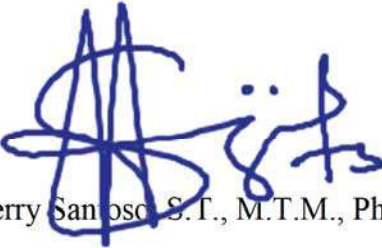
NPM : 2017620133

Judul : Simulasi dan Optimasi Reaktor Tangki Berpengaduk Seri Dalam Produksi Biodiesel
Dengan Bahan Baku Crude Palm Oil (CPO) dan Metanol

CATATAN :

Telah diperiksa dan disetujui ,
Bandung, 14 Februari 2023

Penguji 1



Herry Sanjose, S.T., M.T.M., 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 : Gregorius Moses Indraputra

NRP : 2017620080

Nama : Fanny Fadilah Ramadhan

NRP : 2017620133

Dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul:

**OPTIMASI REAKTOR TANGKI BERPENGADUK SERI DALAM PRODUKSI
BIODIESEL DENGAN BAHAN BAKU CRUDE PALM OIL (CPO) DAN METANOL**

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 pertanyaan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka kami bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Bandung, 10 Januari 2023



Gregorius Moses Indraputra
(2017620080)



Fanny Fadilah Ramadhan
(2017620133)

INTISARI

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang terbuat dari bahan organik, sehingga menjadi sumber daya alam yang terbarukan atau *renewable* dan dapat menjadi pengganti bahan bakar fosil yang jumlahnya mulai menipis dan dapat menyebabkan pemanasan global. Biodiesel pada umumnya diproduksi dengan reaksi esterifikasi dengan mereaksikan minyak nabati dengan alkohol, dari itu menghasilkan biodiesel sebagai produk utama dan gliserol sebagai produk samping. Agar harga jual biodiesel dapat bersaing atau bahkan lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar fosil lainnya, maka harga produksi ditekan menjadi lebih rendah. Sehingga perlu dilakukan optimasi agar diperoleh biaya seminimal mungkin dengan konversi atau perolehan yang sama.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensimulasikan dan mengoptimasikan reaktor tangki berpengaduk seri dalam produksi biodiesel. Melalui penelitian ini akan mempelajari pengaruh temperatur dan rasio alkohol dengan minyak terhadap konversi. Lalu akan dilakukan optimasi untuk menentukan sistem reaktor tangki berpengaduk seri yang dapat menghasilkan konversi sebesar 90% dengan biaya yang paling rendah.

Pada penelitian ini dilakukan validasi data dengan data yang diperoleh dari literatur atau pustaka yang sudah terlebih dahulu dipublikasikan. Kemudian dilakukan simulasi model, untuk mempelajari pengaruh dari beberapa faktor kondisi, seperti tekanan, temperatur, dan rasio alkohol dengan minyak terhadap konversi dengan menggunakan Aspen dengan bahan baku *Crude Palm Oil (CPO)*. Kemudian dilakukan optimasi untuk memperoleh konversi 90% dengan biaya paling minimum. Optimasi dilakukan pada variasi jumlah reaktor dan dimensi reaktor. Perhitungan Optimasi akan ditentukan dengan menggunakan metode *Total Annual Cost (TAC)*.

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya temperatur reaktor maka konversi produk menjadi meningkat, sedangkan meningkatnya rasio molar konversi produk menurun tidak terlalu signifikan, cenderung konstan. Dari hasil optimasi diperoleh bahwa harga 2 reaktor merupakan hasil yang paling murah dengan harga \$ 97.949,11

Kata Kunci : *Aspen, Biodiesel, Crude Palm Oil, CSTR, Optimasi, Transesterifikasi*

ABSTRACT

Biodiesel is an alternative fuel made from organic materials, so it becomes a renewable natural resource and can be a substitute for fossil fuels whose numbers are starting to lessen and can cause global warming. Biodiesel is generally produced by an esterification reaction by reacting vegetable oil with alcohol, from which it produces biodiesel as the main product and glycerol as a side product. In order for the selling price of biodiesel to be competitive or even cheaper compared to other fossil fuels, the production price is reduced to a lower level. So it is necessary to do optimization in order to obtain a minimum cost possible with the same conversion or gain.

The purpose of this research is to simulate and optimize a series stirred tank reactor in biodiesel production. Through this research, we will study the effect of temperature and the ratio of alcohol to oil on conversion. Then optimization will be carried out to determine a series stirred tank reactor system that can produce a conversion of 90% at the lowest cost.

In this study, data validation was carried out with data obtained from literature or literature that had already been published. Then model simulation was carried out, to study the effect of several conditional factors, such as pressure, temperature, and the ratio of alcohol to oil on conversion using Aspen with the material raw Crude Palm Oil (CPO). Then optimization is carried out to obtain 90% conversion with the minimum cost. Optimization done by variations in the number of reactors and reactor dimensions. Optimization calculations will be determined using the Total Annual Cost (TAC) method.

From the simulation results it can be seen that as the reactor temperature increases, the product conversion increases, while the increase in the product conversion molar ratio decreases not too significantly, tends to be constant. From the optimization results, it was found that the price of 2 reactors was the cheapest at \$ 97949,11.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian berjudul “Optimasi Reaktor Tangki Berpengaduk Seri Dalam Produksi Biodiesel Dengan Bahan Baku Crude Palm Oil (CPO) dan Metanol” dengan tepat waktu. Penulisan proposal penelitian ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan mata kuliah CHE183640-02 Proposal Penelitian Dan Seminar, dan juga untuk menyelesaikan Program Sarjana Strata-1 Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam penulisan penelitian ini, penulis mendapat banyak dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis mengucapkan terimakasih secara khusus kepada:

1. Orang tua serta keluarga penulis atas doa dan dukungannya yang telah diberikan kepada penulis selama menyusun proposal penelitian
2. I Gede Pandega Wiratama S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, saran dan waktunya selama proses penyusunan proposal penelitian ini.
3. Teman – teman penulis yang telah memberikan dukungan, masukan serta semangat selama proses penyusunan proposal penelitian ini.
4. Semua pihak yang telah turut berkontribusi dalam penyusunan proposal penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan proposal penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sebagai bahan perbaikan bagi penulis. Akhir kata, penulis mengucapkan terimakasih atas perhatian pembaca dan berharap agar proposal penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca

Bandung, 10 Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR ISTILAH.....	x
INTISARI.....	xi
ABSTRACT.....	xii
BAB I.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tema Sentral Masalah.....	1
1.3. Identifikasi Masalah.....	1
1.4. Premis-Premis Penelitian.....	2
1.5. Tujuan Penelitian.....	2
1.6. Manfaat Penelitian.....	3
1.6.1. Bagi Peneliti.....	3
1.6.2. Bagi Industri.....	3
1.6.4. Bagi Lingkungan.....	3
BAB 2.....	4
2.1 Biodiesel.....	4
2.2 Bahan Baku Biodiesel.....	4
2.3 Skema Reaksi Transesterifikasi dan Kinetika.....	5
2.3 Produksi Biodiesel.....	6
2.5 Reaktor Tangki Berpengaduk.....	8
2.7 Optimasi Reaktor Tangki Berpengaduk.....	8
2.8 Aspen.....	10
2.8.1 Model Termodinamika.....	11
BAB 3.....	12
3.1 Prosedur Penelitian.....	12
3.2 Pemodelan.....	12
3.3 Validasi.....	17

3.4 Simulasi	18
3.5 Optimasi.....	18
3.5.1. Dimensi Reaktor	21
3.5.2. Biaya Peralatan	22
3.6. Lokasi dan Jadwal Penelitian.....	23
BAB IV.....	24
PEMBAHASAN.....	24
4.1. Validasi Pemodelan Reaktor Tangki Berpengaduk	24
4.2. Simulasi Reaktor Tangki Berpengaduk	28
4.2.1. Variabel Temperatur Reaktor.....	29
4.2.2. Variabel Perbandingan Molar	33
4.3. Optimasi Reaktor Tangki Berpengaduk Seri	37
4.3.1. Pengaruh Jumlah Reaktor terhadap Biaya Alat Reaktor	39
4.3.2. Pengaruh Jumlah Reaktor terhadap Biaya Alat Pompa	40
4.3.3. Pengaruh Jumlah Reaktor terhadap Biaya Total	41
BAB 5.....	42
KESIMPULAN DAN SARAN	42
5.1. Kesimpulan	42
5.2. Saran	42
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN A	46
LAMPIRAN B.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Flowsheet untuk beberapa rangkaian reaktor tangki berpengaduk (Luyben, 2007).....	9
Gambar 3.1	Diagram Alir Prosedur Penelitian.....	12
Gambar 3.2	Diagram Alir Prosedur Pemodelan.....	13
Gambar 3.3.	Komponen yang digunakan dalam pemodelan (Aspen Tech,2011).....	13-14
Gambar 3.4.	Flowsheet pemodelan produksi biodiesel dengan 2 CSTR seri	19
Gambar 3.5.	<i>Flowsheet</i> pemodelan produksi biodiesel dengan 3 CSTR seri.....	20
Gambar 3.6.	<i>Flowsheet</i> pemodelan produksi biodiesel dengan 4 CSTR seri.....	20
Gambar 3.7.	<i>Flowsheet</i> pemodelan produksi biodiesel dengan 5 CSTR seri.....	20
Gambar 3.8.	Diagram Alir Prosedur Optimasi.....	21
Gambar 4.1.	<i>Flowsheet</i> untuk Simulasi dan Optimasi Reaktor Tangki Berpengaduk Seri.....	24
Gambar 4.2.	Penentuan Komponen Untuk Pemodelan.....	25
Gambar 4.3.	Penentuan Definisi Molekul.....	26
Gambar 4.4.	Penentuan Reaksi Yang Digunakan Pada Pemodelan.....	27
Gambar 4.5.	Set-up Kinetika Reaksi.....	27
Gambar 4.6.	Pengaruh Temperatur Reaktor Terhadap Konversi	29
Gambar 4.7.	Pengaruh Temperatur Reaktor Terhadap Konversi (Pratama L., dkk., 2009)	30
Gambar 4.8.	Perolehan FAME Terhadap Temperatur Reaktor	31
Gambar 4.9.	Perolehan Gliserin Terhadap Temperatur Reaktor	31
Gambar 4.10.	% Yield Biodiesel Terhadap Temperatur Reaktor.....	32
Gambar 4.11.	Pengaruh Rasio Molar Minyak:Alkohol Reaktor Terhadap Konversi	34
Gambar 4.12.	Perolehan FAME Terhadap Rasio Molar Alkohol : Minyak.....	35
Gambar 4.13.	Perolehan Gliserin Terhadap Rasio Molar Alkohol : Minyak.....	35
Gambar 4.14.	Pengaruh % Yield Biodiesel Terhadap Rasio Molar Alkohol : Minyak.....	36
Gambar 4.15	Pengaruh % Yield Biodiesel Terhadap Rasio Molar Alkohol : Minyak (Zulqarnain, dkk, 2022).....	37
Gambar 4.16.	Pengaruh Jumlah Reaktor Terhadap Biaya Reaktor.....	39
Gambar 4.17	Pengaruh Jumlah Reaktor Terhadap Biaya Reaktor.....	40
Gambar 4.18.	Pengaruh Jumlah Reaktor Terhadap Biaya Total.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kinetika dan energi Aktivasi untuk reaksi esterifikasi pada biodiesel.....	6
Tabel 3.1 Reaksi yang digunakan dalam pemodelan.....	14-17
Tabel 3.2. Spesifikasi Reaktor Tangki Berpengaduk Seri.....	18
Tabel 3.3. Nilai CEPCI Tahun 2010 dan 2022 (Maxwell, 2022).....	22
Tabel 3.4. Jadwal Kerja Penelitian.....	23
Tabel 4.1. Hasil Validasi Pemodelan Reaktor Tangki Berpengaduk.....	28
Tabel 4.2. Hasil Simulasi Reaktor Tangki Berpengaduk Dengan Variabel Temperatur.....	29
Tabel 4.3. Pengaruh Variabel Temperatur Reaktor Terhadap Perolehan Produk.....	30
Tabel 4.4. Pengaruh Variabel Temperatur Reaktor Terhadap % Yield Biodiesel.....	32
Tabel 4.5. Laju Alir Massa Masukkan Tiap Perbandingan Rasio Molar	33
Tabel 4.6. Hasil Simulasi Reaktor Tangki Berpengaduk Dengan Variabel Rasio Molar Alkohol : Minyak.....	33
Tabel 4.7. Pengaruh Variabel Rasio Molar Alkohol : Minyak Terhadap Perolehan Produk.....	34
Tabel 4.8. Pengaruh Variabel Rasio Molar Alkohol : Minyak Terhadap % Yield Biodiesel.....	36
Tabel 4.9. Volume Tiap Reaktor.....	38
Tabel 4.10. Biaya Reaktor Tiap Jumlah Reaktor.....	39
Tabel 4.11. Biaya Pompa Tiap Jumlah Reaktor.....	40
Tabel 4.12. Biaya Total Tiap Jumlah Reaktor.....	41

DAFTAR ISTILAH

$[TG_0]$	=	Konsentrasi trigliserida awal
$[DG_0]$	=	Konsentrasi digliserida awal tertinggi
$[MG_0]$	=	Konsentrasi monogliserida awal tertinggi
a_{ij}	=	Beda antar energi interaksi
Dreaktor	=	Diameter Reaktor (m)
DG	=	Digliserida
$E_{a_n,i}$	=	Energi Aktivasi
FAME	=	<i>Fatty Acid Methyl Ethanol</i>
g_{ij}	=	Energi Interaksi antar molekul
k	=	Nilai konstanta reaksi
k_{DG}	=	Nilai konstan reaksi Digliserida
k_{MG}	=	Nilai konstan reaksi Monogliserida
k_{TG}	=	Nilai konstan reaksi Trigliserida
$k_{n,i}$	=	Konstanta Reaksi
LReaktor	=	Panjang Reaktor (m)
MG	=	Monogliserida
R	=	Nilai Konstanta Gas
S	=	Laju Alir Volumetrik (l/s)
T	=	Temperatur Campuran
t	=	Waktu reaksi
TG	=	Trigliserida
X_i	=	Fraksi mol pada komponen i
$\alpha_{n,i}$	=	Frekuensi Tumbukan
$\alpha_{i,j}$	=	Parameter <i>Non-Randomness</i> dalam campuran

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertambahan penduduk menyebabkan kebutuhan akan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang semakin menipis dan dinilai sudah tidak ramah lingkungan. Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil, dimana menggunakan bahan baku organik. Selain sebagai sumber bahan bakar, biodiesel dapat digunakan sumber listrik dengan menggunakan pembangkit listrik.

Pada umumnya, biodiesel menggunakan minyak nabati atau minyak yang berasal dari tumbuhan, seperti minyak canola, minyak castor, minyak kelapa sawit, dll. Secara komersial, minyak sawit atau *Crude Palm Oil* (CPO) sering digunakan sebagai bahan baku biodiesel. Biodiesel terbentuk dari hasil reaksi transesterifikasi dari trigliserida atau CPO dengan methanol, yang menghasilkan Biodiesel sebagai produk utama dan produk samping berupa Gliserol di dalam reaktor tangki berpengaduk.

Agar dapat bersaing dengan bahan bakar lain, maka biaya proses produksi biodiesel harus ditekan sekecil mungkin, sehingga diperoleh biodiesel yang lebih murah. Dengan dilakukan optimasi maka akan memperoleh hasil biodiesel yang maksimum dengan harga produksi yang paling murah.

1.2. Tema Sentral Masalah

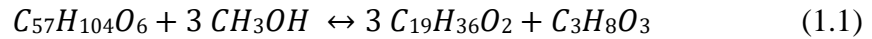
Tema dari penelitian ini adalah optimasi pada reaktor tangki berpengaduk seri dalam produksi biodiesel dari proses transesterifikasi trigliserida dan methanol untuk mendapatkan konversi yang maksimal dengan harga produksi yang paling minimum dengan menggunakan Aspen Plus.

1.3. Identifikasi Masalah

1. Bagaimana melakukan pemodelan dan mevalidasikan model proses tranesterifikasi untuk produksi Biodiesel dengan menggunakan data dari literatur ?
2. Bagaimana pengaruh temperatur dan rasio alkohol dengan minyak terhadap konversi ?
3. Bagaimana melakukan optimasi untuk mendapatkan konversi 99,7 % dengan biaya paling minimum ?

1.4. Premis-Premis Penelitian

1. Reaksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:



2. Reaksi transesterifikasi trigliserida dan metanol menggunakan katalis NaOH.
3. Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi orde 2 dengan persamaan kinetika sebagai berikut :

$$k_{TG} \cdot t = \frac{1}{[TG]} - \frac{1}{[TG_0]} \quad (1.2)$$

Dimana, k = nilai konstan, t = waktu reaksi; dan [TG₀] = konsentrasi trigliserida awal.

$$k_{DG} \cdot t = \frac{1}{[DG]} - \frac{1}{[DG_0]} \quad (1.3)$$

Dimana, [DG₀] = konsentrasi digliserida awal tertinggi

$$k_{MG} \cdot t = \frac{1}{[MG]} - \frac{1}{[MG_0]} \quad (1.4)$$

Dimana, [MG₀] = konsentrasi monogliserida awal tertinggi

(Cheryan and Darnoko,2000)

4. Untuk mencari nilai energi aktivasi, menggunakan persamaan :

$$k_{n,i} = \alpha_{n,i} \exp\left(\frac{-E_{a,n,i}}{RT}\right) \quad (1.5)$$

Dimana, k_{n,i} = konstanta laju reaksi, α_{n,i} = frekuensi tumbukan, E_{a,n,i} = energi aktivasi, R = nilai konstanta gas; dan T = temperatur campuran (Silva dan Andrade, 2020)

5. Untuk menentukan biaya, menggunakan persamaan :

$$Cost = 17,640L^{1.066} \times D^{0.802} \quad (1.6)$$

Dimana, L = Panjang reaktor (m) dan D = diameter reaktor (m) (Luyben,2007)

6. Model termodinamika yang digunakan adalah model UNIF-DMD.
7. Kondisi operasi dilakukan pada rentang 30 sampai dengan 70 derajat celcius dan variasi perbandingan molar alkohol terhadap minyak dalam reaktor dengan perbandingan 2:1, 4:1, 6:1, 8:1, dan 10:1.

1.5. Tujuan Penelitian

1. Mempelajari pemodelan dan memvalidasikan proses transesterifikasi untuk produksi Biodiesel.
2. Mempelajari pengaruh temperatur dan rasio alkohol dengan minyak terhadap konversi.
3. Menentukan sistem reaktor tangki berpengaduk seri untuk mendapatkan konversi 99,7% dengan biaya paling minimum.

1.6. Manfaat Penelitian

1.6.1. Bagi Peneliti

1. Mampu memahami faktor-faktor kondisi yang dapat mempengaruhi konversi yang diperoleh pada proses produksi biodiesel dari transesterifikasi trigliserida dan methanol menggunakan reaktor tangki berpengaduk seri.
2. Mampu menentukan sistem reaktor berpengaduk seri, yang dapat menghasilkan konversi sebesar 99,7% dengan biaya yang paling minimum pada proses produksi biodiesel dari transesterifikasi trigliserida dan methanol.

1.6.2. Bagi Industri

1. Mampu memperoleh sistem reaktor pada produksi biodiesel dengan biaya yang paling kecil, namun memperoleh hasil konversi sebesar 90%

1.6.4. Bagi Lingkungan

1. Mampu menjadi alternatif bahan bakar yang lebih ramah lingkungan.