

BAB II
STUDI KELAYAKAN AWAL

2.1 Seleksi Proses

2.1.1 Pre-Treatment Bahan Baku

Bahan baku CPO harus melalui proses *pre-treatment* terlebih dahulu sebelum masuk ke unit distilasi reaktif untuk diproses lebih lanjut. Pada tahap *pre-treatment*, dilakukan proses *degumming*. *Degumming* adalah proses pemisahan *gum* atau getah lendir yang terdiri dari fosfolipid, protein, residu, karbohidrat, air dan resin (Lin dkk., 1998). Adapun macam – macam metode dalam proses *degumming* adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Perbandingan Proses *Pre-treatment Degumming*

Aspek	Macam-macam Proses <i>Degumming</i>			
	<i>Water Degumming</i>	<i>EDTA Degumming</i>	<i>Dry Degumming</i>	<i>Acid Degumming</i>
Proses	Pemisahan <i>gum</i> melalui proses presipitasi menggunakan hidrasi air murni	Proses yang melibatkan kimia-fisika <i>degumming</i>	Pemisahan <i>gum</i> melalui proses presipitasi dalam kondisi asam	Pemisahan <i>gum</i> melalui proses presipitasi dalam kondisi asam
Suhu	80-100°C	78-80°C	80-100°C	60°C
Kandungan NHP	Relatif Tinggi	Relatif Tinggi	Relatif Rendah	Relatif Rendah
Bahan Pendukung	<i>Water</i>	<i>EDTA (Ethylene Diamine Tetraacetic Acid)</i>	<i>Phosporic (H₃PO₄) Bleaching Earth</i>	<i>Acid dan Asam (H₃PO₄)</i>
<i>Hydration Mixing</i>	30 menit	20-30 menit	>30 menit	30 menit

(Sharma dkk., 2018; Paisan dkk., 2017; Costa dkk., 2017)

Berdasarkan berbagai proses diatas, dapat dipilih proses yang paling sesuai dan efisien. Salah satu metode *degumming* dipilih terlebih dahulu berdasarkan “*scoring concept*” (metode pemberian skor) pada beberapa kriteria. Skor setiap kriteria dievaluasi dengan mengalikan skor dengan persentase skor. Persentase skor diperoleh dengan mempertimbangkan kebutuhan yang paling diprioritaskan atau

bagaimana pengaruhnya terhadap keseluruhan proses. Kriteria – kriteria tersebut antara lain sebagai berikut :

- Kesesuaian Kondisi Operasi

Parameter ini menentukan pengaruh suhu dan tekanan selama proses, seperti seberapa besar parameter tersebut mempengaruhi hasil produk dan mempertahankan kondisi operasi yang dibutuhkan.

- Hasil Proses Produksi

Parameter ini menunjukkan berapa banyak produk yang dapat dihasilkan dan apakah akan memenuhi kapasitas produksi yang diinginkan.

- Pemeliharaan

Parameter ini menunjukkan seberapa sulit pemeliharaan yang dibutuhkan dalam jangka panjang untuk memastikan bahwa setiap metode dilakukan dengan benar.

- Konsumsi Energi

Parameter ini menunjukkan berapa banyak energi yang diperlukan untuk metode *degumming* yang dipilih, terutama kebutuhan listrik.

- Keamanan

Parameter ini menunjukkan tingkat keamanan terhadap lingkungan baik dari segi proses maupun kandungan bahan kimia yang digunakan.

Setelah menentukan kriteria dan persentase masing–masing “*scoring concept*” dapat dihitung dengan penilaian seperti : **1. Sangat buruk, 2. Buruk, 3. Cukup, 4. Baik dan 5. Sangat baik.**

Tabel 2. 2 Penilaian Skor Proses *Degumming*

Kriteria	Persentase	<i>Water D.</i>		<i>EDTA D.</i>		<i>Dry D.</i>		<i>Acid D.</i>	
		Nilai	Skor	Nilai	Skor	Nilai	Skor	Nilai	Skor
Kondisi Operasi	20%	3	0.60	4	0.80	3	0.60	5	1.00
Hasil Proses Produksi	30%	3	1.05	3	1.05	3	1.05	5	1.75
Pemeliharaan	15%	5	0.75	3	0.45	3	0.45	4	0.60
Keamanan	15%	5	0.75	4	0.60	4	0.60	4	0.60
Konsumsi Energi	20%	4	1.20	4	1.20	3	0.90	4	1.20
Total	100%		4.35		4.10		3.60		4.55
Peringkat		2		3		4		1	

(Sharma dkk., 2018; Paisan dkk., 2017; Costa dkk., 2017; Choukri A., 2001)

Berdasarkan komparasi metode *pre-treatment degumming* yang ditinjau dari berbagai kriteria dalam “*scoring concept*” diatas, maka metode yang

digunakan pada prarancangan pabrik ini adalah metode *acid degumming* dikarenakan memiliki kemampuan mengurangi fosfor yang tinggi, suhu yang digunakan lebih kecil dibandingkan metode lain sehingga mereduksi konsumsi energi, dan digunakan untuk minyak yang memiliki kandungan NHP relatif rendah. Proses *acid degumming* dengan penambahan asam yang berfungsi untuk menggumpalkan gum. Proses ini untuk minyak yang memiliki *nonhydratable gum* seperti CPO.

2.1.2 Sintesis FAME

a. Seleksi Metode Produksi

Dalam persiapan dan produksi FAME terdapat beberapa metode yang telah berkembang, metode tersebut ialah metode esterifikasi dan metode transesterifikasi. Untuk menentukan metode produksi maka digunakan *scoring concept* dimana skor setiap kriteria dievaluasi dengan mengalikan skor dengan persentase skor. Persentase skor diperoleh dengan mempertimbangkan kebutuhan yang paling diprioritaskan atau bagaimana pengaruhnya terhadap keseluruhan proses. Kriteria – kriteria tersebut antara lain sebagai berikut :

a. Aktifitas

Aktifitas dapat dianggap sebagai besarnya penghalang potensial (kadang-kadang disebut penghalang energi) yang memisahkan minimal dari energi potensial permukaan yang berkaitan dengan keadaan termodinamika awal dan akhir. Agar reaksi kimia dapat berlangsung pada laju yang masuk akal, suhu sistem harus cukup tinggi sehingga terdapat sejumlah molekul dengan energi translasi yang sama dengan atau lebih besar dari energi aktivasi

b. Konsumsi Metanol

Dalam proses produksi yang dilakukan (proses reaksi), diinginkan konsumsi metanol yang seminimal mungkin karena dapat menekan biaya produksi.

c. Konversi

Salah satu parameter yang paling utama adalah berapa konversi yang mampu dihasilkan, parameter ini juga menentukan apakah produk yang dihasilkan sesuai spesifikasi atau tidak. Semakin tinggi semakin bagus tapi harga jual juga

semakin tinggi sehingga pemasaran sulit, apabila konversi rendah dikhawatirkan tidak memenuhi spek sehingga tidak bisa dijual.

d. FFA

Komposisi *Free Fatty Acid* dapat menyebabkan reaksi saponifikasi atau reaksi sabun, dalam hal produksi biodiesel diinginkan reaksi tersebut diminimalkan, apabila FFA diatas 5% maka dibutuhkan reaksi esterifikasi, namun pada kasus kali ini komposisi FFA pada CPO dibawah 5% maka *stage* esterifikasi tidak perlu digunakan, transesterifikasi stage sudah cukup. Sehingga, mampu mereduksi biaya produksi

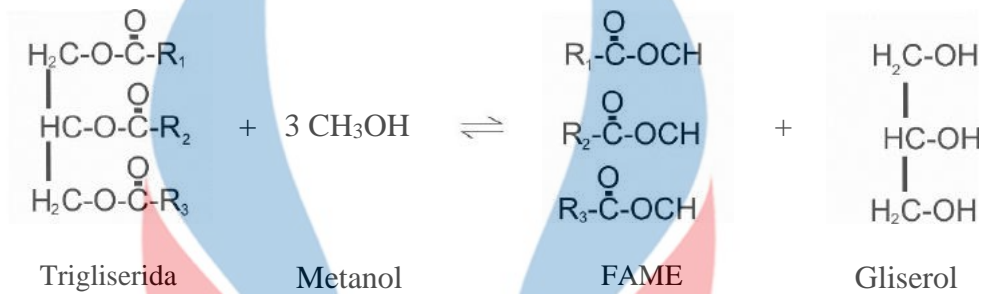
Tabel 2. 3 Scoring Pemilihan Metode Produksi

Kriteria	Persentase	Esterifikasi		Transesterifikasi	
		Nilai	Skor	Nilai	Skor
Aktifitas	20%	4	0.80	3	0.60
Konsumsi Metanol	40%	2	0.80	5	2.00
Konversi	30%	3	0.90	5	1.50
FFA	10%	4	0.40	5	0.50
Total	100%		2.90		4.60
Peringkat		2		1	

Berdasarkan perbandingan metode diatas, maka metode yang digunakan adalah metode transesterifikasi dikarenakan kandungan FFA pada bahan baku CPO sangat rendah (4%). Apabila kadar FFA dibawah 5%, maka zona esterifikasi dan penggunaan katalis didalamnya tidak berfungsi secara signifikan. Sehingga, untuk menghemat biaya produksi zona esterifikasi dapat dihilangkan seperti pada gambar 2.2 (Petchsoongsakul dkk., 2017). Metode transesterifikasi juga memiliki konversi yang tinggi dengan biaya yang relatif rendah serta sifat produk yang dihasilkan lebih dekat dengan solar dan berlaku untuk skala industri. Dalam suatu transesterifikasi, satu mol trigliserida bereaksi dengan tiga mol metanol untuk membentuk satu mol gliserol dan tiga mol metil ester. Proses tersebut merupakan suatu rangkaian dari reaksi reversibel, yang di dalamnya molekul trigliserida diubah satu tahap demi tahap menjadi digliserida, monogliserida, dan gliserol. Dalam tiap tahap satu mol alkohol dikonsumsi dan satu mol ester dibebaskan (Syah, 2006).

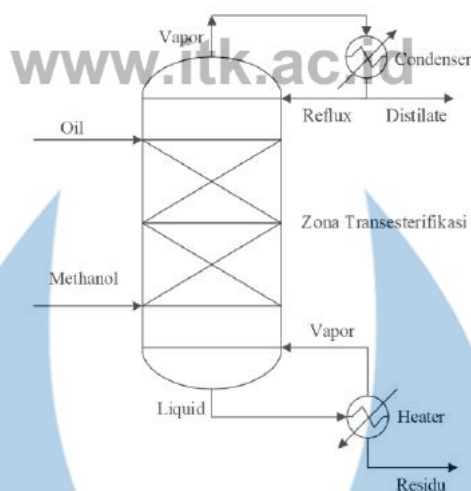
Berikut ini merupakan skema reaksi transesterifikasi trigliserida, digliserida, dan monogliserida dengan metanol:

- 1 Trigliserida + CH₃OH \rightleftharpoons Digliserida + R₁COOCH₃
(TG) (DG)
- 2 Digliserida + CH₃OH \rightleftharpoons Monogliserida + R₂COOCH₃
(DG) (MG)
- 3 Monogliserida + CH₃OH \rightleftharpoons Gliserol (GL) + R₃COOCH₃
(MG)



Gambar 2. 1 Mekanisme Reaksi Transesterifikasi (Darnoko dkk, 2000)

Pada prarancangan pabrik ini juga dilakukan intensifikasi proses menggunakan distilasi reaktif untuk menggantikan proses konvensional. Keuntungan utama menggunakan distilasi reaktif adalah mampu menurunkan biaya modal dengan menggunakan unit pemisah reaksi tunggal, pengurangan kompleksitas desain perpipaan dan instrumentasi, menghasilkan integrasi panas yang sesuai dan pemanfaatan utilitas. Laju alir masuk alkohol relatif lebih sedikit jika dibandingkan dengan konvensional. Pada proses konvensional penggunaan metanol 2 kali lipat dari metode distilasi reaktif (Pethsoongsakul, 2017). Villagrana dkk., (2006) juga menyatakan keuntungan dalam penggunaan distilasi reaktif yaitu waktu reaksi lebih singkat, mampu berkurang 10-15 menit. Memiliki produktivitas tinggi, meningkat menjadi 8-9 kali dari proses konvensional. Distilasi reaktif menggunakan panas dari reaksi untuk memanaskan campuran dan menguapkan cairan sehingga menyederhanakan sistem kontrol suhu. Metode distilasi reaktif ini juga dapat menghindari kondisi campuran azeotrope dan mengurangi kebutuhan katalis (Pradana dkk., 2017). Adapun skema dari kolom distilasi reaktif adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 2 Skema Distilasi Reaktif

2.2 Seleksi Katalis

Penggunaan minyak nabati secara langsung sebagai bahan bakar diesel menimbulkan berbagai masalah seperti penyumbatan penyaring bahan bakar, penyumbatan injektor, pembentukan endapan karbon di ruang pembakaran, dan kontaminasi minyak pelumas. Maka, digunakan beberapa modifikasi untuk mengubah sifat dari minyak nabati tersebut yaitu dengan menggunakan katalis. Dikarenakan pada prarancangan pabrik ini menggunakan distilasi reaktif dengan zona transesterifikasi, maka jenis katalis yang digunakan adalah katalis heterogen bersifat padat (Petchsoongsakul dkk., 2017). Katalis heterogen pada distilasi reaktif sangat menguntungkan dan lebih kompetitif dibandingkan dengan katalis homogen. Hal tersebut juga didukung oleh Ridlo, dkk. (2015) yang menyatakan bahwa katalis heterogen padat mudah dilakukan *recovery* dan *reuseable*, sehingga bersifat ramah lingkungan, murah, dan tingginya konversi yang dihasilkan. Berbagai jenis katalis heterogen dapat dipilih yang paling sesuai dan efisien dengan “*scoring concept*” (metode pemberian skor) pada beberapa kriteria sebagai berikut :

- Kesesuaian Kondisi Operasi

Parameter ini menentukan pengaruh suhu dan tekanan selama proses, seperti seberapa besar parameter tersebut mempengaruhi hasil produk dan mempertahankan kondisi operasi yang dibutuhkan.

- Hasil Proses Produksi

Parameter ini menunjukkan berapa banyak produk yang dapat dihasilkan. Tingkat konversi yang lebih tinggi akan menghasilkan lebih banyak produk dengan waktu yang relatif singkat, sehingga dihasilkan produksi yang efektif. Tingkat kemurnian yang lebih tinggi menunjukkan jumlah zat pengotor yang ada dalam produk dan menunjukkan kualitas yang lebih tinggi.

- *Life Time*

Parameter ini menunjukkan terkait ketahanan katalis dalam penggunaannya berulang kali (*recycle*) dan pemeliharaan yang dibutuhkan dalam jangka panjang untuk memastikan bahwa setiap metode dilakukan dengan benar.

- Harga

Parameter ini menunjukkan satuan harga, sehingga dalam seleksi katalis dapat dipertimbangkan katalis yang lebih menguntungkan.

Setelah menentukan kriteria dan persentase masing-masing “*scoring concept*” dapat dihitung dengan berdasarkan penilaian seperti : **1. Sangat buruk, 2. Buruk, 3. Cukup, 4. Baik dan 5. Sangat baik.**

Tabel 2. 4 Tabel Skoring Katalis

	Kondisi Operasi	Hasil Proses Produksi		<i>Lifetime</i> (cycles)	<i>Reaction Time</i> (h)	Harga/kg	Total	Peringkat
		Persentase	Yield =					
CaO/ Al ₂ O ₃	Deskripsi	T = 65°C P = 1 atm (5)	Yield = 98,64% (5)	2 (1)	5 (1)	Rp 22.635 (5)	100%	4
	Skor	0.50	1.50	0.25	0.20	0.75	3.20	
	KI/γ- Al ₂ O ₃	Deskripsi	T = 60°C P = 1 atm (5)	Yield = 98% (5)	11 (5)	4 (2)	Rp 152.448 (4)	100%
Skor		0.50	1.50	1.25	0.40	0.60	4.25	
AC /KOH		Deskripsi	T = 65°C P = 1 atm (5)	Yield = 98% (5)	3 (1)	1 (5)	Rp 113.973 (5)	100%
	Skor	0.50	1.50	0.25	1.00	0.75	4.00	
	K ₂ CO ₃ / palygor skite	Deskripsi	T = 65°C P = 1 atm (5)	Yield = 97% (5)	8 (4)	3.5 (2)	Rp 106.884 (5)	100%
Skor		0.50	1.50	1.00	0.40	0.75	4.15	
Ca ₂ SiO ₄		Deskripsi	T = 65°C P = 1 atm (5)	Yield = 91,5% (1)	8 (4)	4 (2)	Rp 290.379 (3)	100%
	Skor	0.50	0.30	1.00	0.40	0.45	2.65	
	CaO/Si O ₂	Deskripsi	T = 65°C P = 1 atm (5)	Yield = 90% (1)	3 (1)	1.5 (5)	Rp 590.906 (1)	100%
Skor		0.50	0.30	0.25	1.00	0.15	2.20	

(Zabeti dkk, 2010; Islam dkk, 2015; Baroutian dkk, 2010; Shan dkk, 2016; Chen dkk, 2015; Putra dkk, 2018)

www.itk.ac.id

Berdasarkan komparasi jenis katalis yang ditinjau dari berbagai kriteria dalam “*scoring concept*” diatas, maka katalis yang digunakan adalah jenis katalis heterogen berwujud padat yaitu $KI/\gamma-Al_2O_3$.

2.3 Deskripsi Proses

2.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku dan Sintesis

Proses produksi FAME diawali dengan tahapan *pre-treatment* bahan baku CPO dengan proses *degumming* untuk menghilangkan *gum* yang dapat mengganggu stabilitas produk minyak. Bahan baku CPO dialirkan dari tangki penyimpanan menuju *degumming tank* untuk direaksikan dengan larutan asam fosfat (H_3PO_4) dengan suhu $60^\circ C$ dan tekanan 1 atm. Kemudian, hasil reaksi dari *degumming tank* dialirkan menuju *centrifuge* untuk memisahkan antara residu dan minyak. Lalu, minyak dialirkan menuju *stage* paling atas dari area *reactive stage* dan metanol dialirkan dari tangki penyimpanan menuju *stage* paling bawah area *reactive stage*. Reaksi terjadi pada bagian *reactive stage* bersamaan dengan proses penguapan sisa metanol yang tidak bereaksi. Sisa metanol yang tidak bereaksi keluar sebagai produk atas *reactive distillation* dan akan di *recycle* untuk digunakan kembali.

2.2.2 Tahap Pemurnian

Selanjutnya adalah tahap pemurnian FAME yang keluar sebagai produk bawah *reactive distillation*. Pada tahap pemurnian, digunakan dekanter untuk memisahkan FAME dengan gliserol. Kemudian, FAME akan keluar sebagai produk atas dari dekanter dan akan memasuki kolom distilasi untuk memisahkan FAME dengan residu berupa FFA dan trigliserida yang tidak bereaksi. Sedangkan, produk bawah dekanter yang berupa gliserol kemudian dimurnikan dengan distilasi untuk memisahkan gliserol dari metanol dan air yang masih tersisa. Sehingga, didapatkan produk FAME dengan kemurnian tinggi dan produk samping gliserol.

www.itk.ac.id

2.4 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.3.1 Bahan Baku Utama

Bahan baku utama yang digunakan adalah CPO dengan komposisi sebagai berikut :

Tabel 2. 5 Spesifikasi CPO

Sifat	Keterangan
Warna	Merah
Wujud	Cair
Densitas	890,275 kg/m ³
Berat Molekul	847,28 g/mol
Viskositas	26,4 cp
Titik didih	300 °C
Harga	Rp. 13.045.924,68,-/ton

(Sumber : Refinitiv Company, 2021; Labchem, 2016)

2.3.2 Bahan Pendukung

Bahan pendukung yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 2. 6 Spesifikasi Metanol

Sifat	Keterangan
Fungsi	Pelarut
Warna	Tak Berwarna
Rumus Molekul	CH ₃ OH
Wujud	Cair
Densitas	0,7918 gr/cm ³
Viskositas	0.5410 cp
Berat Molekul	32 gr/mol
Titik Didih	64,6°C
Titik Leleh	- 97 °C
Kemurnian	99,85%
Harga	Rp. 10.500,-/Liter

(Labchem, 2016)

Tabel 2. 7 Spesifikasi KI

Sifat	Keterangan
Warna	Putih
Bau	Tidak Berbau
Titik Didih	2850 °C
Titik Leleh	2572 °C
Densitas	3.25 - 3.37 g/cm ³
Berat Molekul	56.07 g/mol
Harga	Rp 45.000

(LTS Research MSDS, 2015)

www.itk.ac.id
Tabel 2. 8 Spesifikasi Al₂O₃

Sifat	Keterangan
Warna	Putih
Bau	Tidak Berbau
Titik Didih	2977 °C
Titik Leleh	2050 °C
Densitas	3.2 - 3.9 g/cm ³
pH	8-9
Ukuran Partikel	0.2 - 200µm
Luas Permukaan	1-250m ² /g
Harga	Rp 30.000

(Sasol, 2019)

Tabel 2. 9 Sifat fisik H₃PO₄

Sifat	Keterangan
Fungsi	Mengikat pengotor (gum)
Warna	Bening, Tak Berwarna
Rumus Molekul	H ₃ PO ₄
Wujud	Padat
Densitas	1,7 g/cm ³
Berat Molekul	98 g/mol
Titik Didih	158°C
Titik Leleh	21°C
Molaritas	14,7
Cp	145 KJ/Kmol.K
Tc	756,85°C
Pc	50 atm
Delta Hf	-1.284.400 kJ/Kmol
Viskositas	32 cp
Kemurnian	85%
Harga	Rp. 60.000,-/Liter

(Labchem, 2016)

2.3.3 Produk Utama

Produk utama yang dihasilkan adalah FAME dengan spesifikasi sebagai berikut

Tabel 2. 10 Sifat Fisik FAME

Sifat	Keterangan
Rumus Molekul	RCOOCH ₃
Wujud	Cair
Warna	Jernih kekuningan
Berat Molekul	293,77 g/mol
Densitas	810 kg/m ³

Viskositas	2-6 cP
<i>Specific Gravity</i>	0,87-0,89
<i>Cetane Number</i>	46-70
<i>Boiling Point</i>	182-338°C
Kemurnian	96%
Harga	Rp 15.000

(Susilo, 2010)

2.3.4 Produk Samping

Produk samping dari pabrik FAME ini berupa gliserol dengan spesifikasi sebagai berikut

Tabel 2. 11 Sifat Fisik Gliserol

Sifat	Keterangan
Rumus Molekul	$C_3H_8O_3$
Wujud	Cair
Warna	Jernih kekuningan
Berat Molekul	92,093 g/mol
Densitas	1,26 g/cm ³
Viskositas	1,412 mPa.s
Titik Lebur	18°C
Titik Didih	290 °C
Titik Nyala	199 °C
Kemurnian	80%
Harga	Rp 10.000,-

(SmartLab, 2017)