



PRA RANCANGAN FATTY ACID METHYL ESTER (FAME) DARI MIKROALGA CHLORELLA SP DENGAN PROSES ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi dalam negeri akan terus meningkat seiring berjalannya waktu. Penggunaannya didominasi dari sector industri, transportasi, dan pembangkit listrik. Menurut data BPH Migas dapat diketahui bahwa konsumsi solar Sepanjang 2023 mencapai 17,5 kiloliter 103,37% dari kuota. Bahan bakar minyak yang digunakan berasal dari hasil pengolahan minyak bumi. Seperti yang kita ketahui bahwa ketersediaan minyak bumi di Indonesia akan menipis seiring berjalannya waktu akibat pertambahan jumlah penduduk sehingga meningkatkan kebutuhan akan bahan bakar untuk transportasi dan industri. Selain mempertimbangkan faktor kelangkaan, faktor lingkungan harus diperhatikan seperti, kenaikan suhu akibat pemanasan global dan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu diperlukan energi alternatif yang ramah lingkungan sebagai pengganti bahan bakar diesel

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki berbagai jenis tanaman yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi energi alternative sebagai pengganti cadangan bahan bakar fosil, seperti FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) yang memiliki sifat pembakaran yang sama dengan solar. FAME merupakan bahan bakar biodiesel yang dihasilkan melalui proses transesterifikasi minyak nabati menjadi ester metil asam lemak yang merupakan komponen utama biodiesel. Biodiesel memiliki sifat *renewable*, *biodegradable*, serta rendah emisi dibandingkan dengan bahan bakar fosil (Setiawibawa dkk, 2024). Pada umumnya biodiesel terbuat dari minyak nabati seperti jagung, jarak, sawit, dan kedelai namun, memiliki kekurangan yaitu pada waktu panen yang berjarak cukup lama sekitar 3 bulan - 5 tahun agar tanaman produktif menghasilkan minyak. Selain itu dengan menggantungkan bahan baku dari jagung, kedelai, dan sawit akan berbenturan dengan kebutuhan pangan apabila minyak tersebut diproduksi. Salah satu tumbuhan lain yang dapat dimanfaatkan sebagai biodiesel penghasil fame yaitu mikroalga (Siregar, 2023).



PRA RANCANGAN FATTY ACID METHYL ESTER (FAME) DARI MIKROALGA CHLORELLA SP DENGAN PROSES ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI

Menurut Christi tahun 2007, mikrolaga memiliki potensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tumbuhan lain. Mikroalga dapat memproduksi biomassa dua kali lipat selama 24 jam. Dari beberapa jenis mikroalga yang dapat menghasilkan produk lipid adalah *Chlorella sp.* Mikroalga *Chlorella sp* memiliki kandungan cukup tinggi yaitu sebesar 28-32% dari berat keringnya. Indonesia merupakan negara kepulauan dengan luas 7.81 km², sekitar 75 % dari wilayah tersebut merupakan perairan, sehingga memiliki potensi sumber daya laut yang tinggi. Salah satu sumber daya laut yang belum dimanfaatkan saat ini adalah mikroalga. Mikroalga yang terdapat di perairan dapat dikembangkan sebagai bahahan baku produksi FAME yang dapat membantu pasokan energi alternatif dalam negeri. Oleh karena itu, perancangan pabrik FAME dari mikroalga memiliki potensi yang baik dalam beberapa sektor tersebut. Pabrik FAME ini dirancang dengan sistem dan proses berkualitas tinggi yang efisien secara ekonomi.

I.1.1 Kegunaan Produk

FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) atau yang biasa dikenal sebagai biodiesel merupakan bahan bakar pengganti bahan bakar fosil. Penggunaan bahan bakar biodiesel digalakkan oleh pemerintah Indonesia sebagai salah satu gerakan energi terbarukan. Karakteristik dari FAME mirip dengan bahan bakar fosil, memiliki kandungan fisik yang mirip dengan diesel konvensional. Fungsi FAME dibagi menjadi 2 fungsi, yaitu fungsi utama dan fungsi kedua, yaitu :

1. Fungsi utama

a. Bahan bakar industri

FAME menjadi campuran bahan bakar biodiesel dalam mesin diesel industri dapat membantu mengurangi emisi polutan udara seperti partikulat, hidrokarbon, karbon monoksida, dan gas nitrogen oksida . sehingga dapat memperbaiki kualitas udara di lingkungan industri dan mematuhi regulasi emisi yang ketat.

b. Bahan bakar kendaraan

Penggunaan FAME dalam campuran diesel sebagai bahan bakar kendaraan membantu dalam mengurangi dampak lingkungan dari



PRA RANCANGAN FATTY ACID METHYL ESTER (FAME) DARI MIKROALGA CHLORELLA SP DENGAN PROSES ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI

sektor transportasi dan mendukung transisi menuju sistem transportasi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

c. Bahan bakar pemantik api

Biodiesel merupakan bahan bakar yang dapat terbakar dan memiliki sifat-sifat yang memungkinkannya untuk menghasilkan api jika terpapar dengan sumber panas atau percikan api.

2. Fungsi Kedua

a. Pelumas

Beberapa senyawa yang terkandung dalam FAME, terutama asam lemak, memiliki potensi untuk diubah menjadi ester yang dapat digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan pelumas.

b. Pembersih mesin

Bukan hanya untuk bahan bakar tetapi juga bisa di buat sebagai pembersih mesin.

c. Pembasmi hama

Biodiesel juga bisa digunakan sebagai pembasmi serangga seperti rayap dll.

d. Petrokimia

Dalam komponen biodiesel, seperti asam lemak, gliserol, dan ester, memiliki potensi untuk dijadikan bahan dasar dalam pembuatan produk kimia yang lebih kompleks.

e. Pemanas alat industri

FAME juga bisa digunakan sebagai pemanas alat industry seperti hot oil.

I.1.2 Prospek Ekonomi Kedepan

Bahan baku yang digunakan dalam produksi FAME terdiri dari mikroalga, methanol, n-heksan, asam sulfat, dan kalium hidroksida. Mikroalga ini diperoleh dari PT. Digdaya Sari Algae Tangerang, methanol diperoleh dari PT. Mulya Adhi Paramitha gresik, n-heksan diperoleh dari PT. Chemindo Surabaya, asam sulfat diperoleh dari PT. Petrokimia Gresik dan kalium hidroksida diperoleh dari PT.



PRA RANCANGAN FATTY ACID METHYL ESTER (FAME) DARI MIKROALGA CHLORELLA SP DENGAN PROSES ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI

Citralogam Alphasejahtera Jakarta Utara. Produksi FAME memiliki prospek ekonomi yang besar, meningkat kebutuhan FAME di Indonesia mengalami peningkatan, dalam perkembangan di sektor pertambangan yang membutuhkan biodiesel untuk menggerakkan mesin - mesin pertambangan berbahan bakar diesel dan pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat menyebabkan kebutuhan BBM yang meningkat pula, sehingga kebutuhan akan FAME pada sektor transportasi juga meningkat. Sehingga, tingginya permintaan pasar dan potensi pemanfaatan FAME mendukung pendirian pabrik FAME ini.

Tabel I. 1 Harga Bahan Baku dan Produk Pabrik FAME

No	Bahan	Harga (\$/kg)	Harga (Rp/kg)	Sumber
1.	Mikroalga	5,9	Rp100.000	PT. Digdaya Sari Algae, 2026
2.	Methanol	0,60	Rp10.000	PT. Mulya Adhi Paramitha, 2026
3.	N-Heksan	12,53	Rp210.000	PT. Chemindo, 2026
4.	Kalium Hidroksida	0,30	Rp5.000	PT. Citralogam Alphasejahtera, 2026
5.	Asam Sulfat	1,19	Rp20.000	PT. Petrokimia, 2025
6.	FAME (Fatty Acid Methyl Ester)	17,90	Rp300.000	Alibaba.com
7.	Kalium Hidroksida 83%	1,70	Rp18.000	Alibaba.com

I.1.3 Penentuan Kapasitas Produksi

Penentuan kapasitas perencanaan produksi adalah salah satu aspek penting dalam proses pra rancangan pabrik. Hal ini sangat penting karena akan berdampak pada sektor ekonomi pabrik itu sendiri. Oleh karena itu, perlu adanya pertimbangan untuk memperoleh laba yang maksimum dengan biaya yang minimum. Kapasitas produksi pabrik yang akan dibangun harus ditentukan dengan mempertimbangkan kebutuhan produk yang akan dihasilkan, termasuk aspek produksi, konsumsi, serta



PRA RANCANGAN FATTY ACID METHYL ESTER (FAME) DARI MIKROALGA CHLORELLA SP DENGAN PROSES ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI

ekspor dan impor. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, data ekspor-impor FAME di Indonesia dari tahun 2019-2023 adalah sebagai berikut:

Tabel I. 2 data ekspor-impor FAME di Indonesia

NO	Tahun	Ekspor (kg/tahun)	Impor (kg/tahun)
1	2019	1,319,000,000	529
2	2020	42,000,000	15
3	2021	147,000,000	464.43
4	2022	371,500,000	86.43
5	2023	371,000,000	372

(APROBI, 2024)

Kebutuhan FAME di Indonesia saat ini dipenuhi oleh produsen dalam negeri. Nama-nama perusahaan yang terdaftar sebagai produsen FAME pada data Asosiasi Produsen Biofuel Indonesia (APROBI) disajikan pada tabel berikut

Tabel I. 3 Data Perusahaan dan Kapasitas

No	Nama Perusahaan	Kapasitas (ton/tahun)
1	PT. Bayas Biofuels (Darmex Group)	750.000
2	PT. Batara Elok Semesta Terpadu	679.000
3	PT. Cemerlang Energi Perkasa (Asian Agri Group)	250.000
4	PT. Ciliandra Perkasa	250.000
5	PT. Intibenua Perkasatama	385.000
6	PT. Kutai Refinery Nusantara (Asian Agri Group)	994.625
7	PT. LDC Indonesia	420.000
8	PT. Multi Nabati Sulawesi (Wilmar Group)	414.000



**PRA RANCANGAN
FATTY ACID METHYL ESTER (FAME) DARI
MIKROALGA CHLORELLA SP DENGAN PROSES
ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI**

9	PT. Musim Mas Medan (Musim Mas Group)	400.000
10	PT. Musim Mas Batam (Musim Mas Group)	780.000
11	PT. Pelita Agung Agrindustri (Permata Hijau Group)	695.000
12	PT. Permata Hijau Palm Oleo	363.000
13	PT. Sinarmas Bio Energi (Sinar Mas Group)	396.198
14	PT. SMART Tbk. (Sinar Mas Group)	985.500
15	PT. Sukajadi Sawit Mekar	350.000
16	PT. Tunas Baru Lampung Tbk.	875.000
17	PT. Wilmar Bioenergi Indonesia	1.395.000
18	PT. Darmex Biofuels	250.000
19	PT. Wilmar Nabati Indonesia	1.975.500
20	PT. Eco Prima Energi	504.000
21	PT. Energi Unggul Persada Tangerang	1.221.000
22	PT. Energi Unggul Persada Mempawah	792.000
23	PT. Jhonlin Agro Raya	495.000
24	PT. Multimas Nabati Asahan	495.000
25	PT. Eco Prima Energi	504.000
26	PT. IDC	420.000
27	PT. Molindo Raya Industrial	10.000
28	PT. Sari Dumai Sejati	600.000
29	Under Construction	1.600.000
Total		19.248.823

(APROBI, 2024)



PRA RANCANGAN FATTY ACID METHYL ESTER (FAME) DARI MIKROALGA CHLORELLA SP DENGAN PROSES ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI

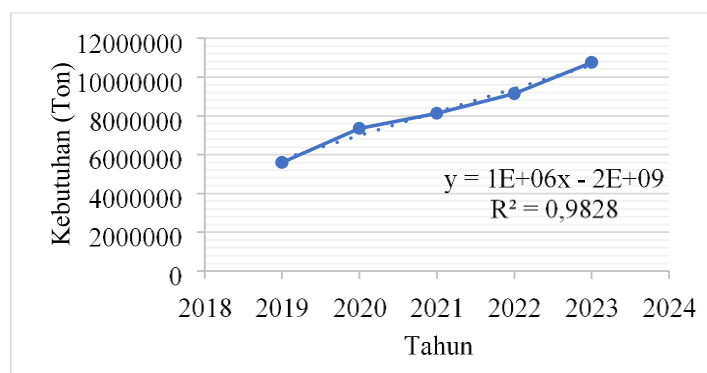
Konsumsi biodiesel menurut data statistik yang diterbitkan oleh BPH Migas tentang kebutuhan linear FAME di Indonesia dari tahun ke tahun terus meningkat. Data konsumsi atau pemakaian akan FAME di Indonesia pada tahun 2019 sampai tahun 2023 disajikan pada tabel berikut :

Tabel I. 4 Data Kebutuhan Biodiesel

Tahun	Jumlah Kebutuhan (Ton/Tahun)
2019	5.596.762
2020	7.350.350
2021	8.134.000
2022	9.142.875
2023	10.752.875

(Aprobi, 2024)

Dari data kebutuhan FAME yang disajikan pada tabel diatas dapat dibuat grafik linear antara data tahun pada sumbu x dan data konsumsi pada sumbu y yang dapat dilihat pada grafik berikut



Gambar I. 1 Grafik Kebutuhan FAME

Dari grafik diatas, maka dapat diketahui bahwa kebutuhan FAME di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya. Sehingga pembangunan pabrik FAME ini akan dapat membantu memenuhi kebutuhan FAME dalam negeri maupun luar negeri.



PRA RANCANGAN FATTY ACID METHYL ESTER (FAME) DARI MIKROALGA CHLORELLA SP DENGAN PROSES ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI

Kapasitas produksi pabrik dapat ditentukan dengan metode *discounted* dengan persamaan :

$$M1 + M2 + M3 = M4 + M5 \dots\dots\dots (1)$$

$$M = P (1+i)^n \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

P = Besarnya impor / ekspor tahun terakhir (ton/tahun)

i = Kenaikan impor / ekspor rata – rata

n = Selisih tahun terakhir dengan tahun didirikannya pabrik

M1 = Nilai impor tahun pabrik didirikan (ton/tahun)

M2 = Kapasitas produksi pabrik dalam negeri (ton/tahun)

M3 = Kebutuhan produksi tahun pabrik didirikan (ton/tahun)

M4 = Nilai ekspor pada tahun pabrik didirikan (ton/tahun)

M5 = Nilai konsumsi dalam negeri pada tahun terakhir (ton/tahun)

Nilai pertumbuhan ekspor – impor FAME di Indonesia adalah sebagai berikut

Tabel I. 5 Nilai Pertumbuhan Ekspor – Impor FAME di Indonesia

Tahun	Ekspor		Impor	
	Ton/tahun	Pertumbuhan %	Ton/tahun	Pertumbuhan %
2020	1.319.000	0	0,52900	0
2021	42.000	-96,82	0,01500	-97,16
2022	147.000	250,00	0,4644	2996,20
2023	371.500	152,72	0,0864	-81,39
2024	371.000	-0,13	0,37200	330,41
	Rata – Rata	61,15	Rata – Rata	787,01

(Aprobi, 2024)

Dengan menggunakan data impor dan ekspor diperoleh rata – rata pertumbuhan impor sebesar 61,15% dan pertumbuhan ekspor 787,1%. Dengan menggunakan data kebutuhan nasional diperoleh rata – rata pertumbuhan kebutuhan sebesar 11,90%. Kapasitas pabrik lama (M2) diambil dari total kapasitas produksi FAME di Indonesia yaitu 19.248.823 ton/tahun.



PRA RANCANGAN FATTY ACID METHYL ESTER (FAME) DARI MIKROALGA CHLORELLA SP DENGAN PROSES ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI

Pabrik FAME ini direncanakan akan beroperasi pada tahun 2027, maka untuk mencari kebutuhan FAME pada tahun 2027 adalah sebagai berikut :

Perkiraan nilai impor (M1) pada tahun 2027 adalah

$$M1 = P (1+i)^n = 0,37200 (1+ 7,8701)^{(2027 - 2023)}$$

$$M1 = 2.302,83 \text{ ton/tahun}$$

Perkiraan nilai ekspor (M4) pada tahun 2027 adalah

$$M4 = P (1+i)^n = 371.000 (1+ 0,6115)^{(2027 - 2023)}$$

$$M4 = 2.502.302,677 \text{ ton/tahun}$$

Perkiraan nilai konsumsi pada tahun 2027 adalah

$$M5 = P (1+i)^n = 10.752.875 (1+ 0,1190)^{(2027 - 2023)}$$

$$M5 = 16.859.358 \text{ ton/tahun}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan kapasitas produksi dengan menggunakan analisis demand and supply :

Kapasitas Produksi = Demand – Supply

$$M_3 = (M_4 + M_5) - (M_1 + M_2)$$

Dimana :

$$\text{Kapasitas Produksi} = (2.502.302 + 16.859.358) - (2.303 + 19.248.823)$$

$$\text{Kapasitas Produksi} = 110.535 \text{ ton/tahun}$$

Pada tahun 2027 diperkirakan Indonesia membutuhkan Fatty Acid Methyl Ester sebesar 110.535 ton/tahun. Untuk memenuhi sebagian besar permintaan domestik sekaligus berkontribusi terhadap pasokan FAME global, telah direncanakan pembangunan sebuah pabrik FAME yang berkapasitas 60.000 ton/tahun pada tahun 2027. Kapasitas produksi tersebut setara dengan sekitar 55% dari total kebutuhan FAME nasional yang diproyeksikan, sehingga pabrik ini diharapkan dapat menjadi penyangga utama dalam menjaga stabilitas pasokan dalam negeri.



PRA RANCANGAN FATTY ACID METHYL ESTER (FAME) DARI MIKROALGA CHLORELLA SP DENGAN PROSES ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI

I.2 Sifat Fisika dan Kimia

I.2.1 Spesifikasi Bahan Baku

A. Mikroalga

Tabel I. 6 Spesifikasi Mikroalga Chlorella Sp.

Sifat-sifat Fisika		Sifat-sifat Kimia	
Warna	Hijau Tua	Protein	40 – 60%
Densitas	1,05 – 1,10 g/cm ³	Lipid (minyak)	10 – 30%
Kadar Air	80 – 90%	Karbohidrat	10 – 20%
Berat Molekul	280 g/mol		

(Takasiwa, 2014)

No.	Komposisi	Jumlah	Satuan
1.	Trigliserida	20	%
2.	<i>Free Fatty Acid</i>	20	%
3.	Biomassa (Selulosa)	60	%

B. Metanol

1. Nama Lain : Methyl Alcohol
2. Rumus Kimia : CH₃OH
3. Fase : Cair
4. Warna : Tidak Berwarna
5. Boiling Point : 64,7 °C
6. Melting Point : -97 °C
7. Densitas : 0,792 g/cm³
8. Berat Molekul : 32,04 kg/kmol
9. Viskositas : 0,544 cP (25°C)

(<https://chemstationasia.co.id/map>)



PRA RANCANGAN FATTY ACID METHYL ESTER (FAME) DARI MIKROALGA CHLORELLA SP DENGAN PROSES ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI

Tabel I. 7 Spesifikasi Methanol PT. Mulya Adhi Paramitha

Nama	Formula	Jumlah	Satuan
Metanol	CH ₃ OH	99	%
Air	H ₂ O	1	%
TOTAL		100,0000	%

(PT. Mulya Adhi Paramitha, 2025)

I.2.2 Spesifikasi Bahan Baku Pembantu

A. N-Heksan

- a. Nama Lain : N-Hexane
- b. Rumu Kimia : C₆H₁₄
- c. Fase : Cair
- d. Warna : Tidak Berwarna
- e. Melting Point : -94 °C
- f. Boiling Point : 69 °C
- g. Densitas : 0,6548 g/cm³
- h. Berat Molekul : 86,17 kg/kmol
- i. Viskositas : 0,326 cP (25°C)

(<https://www.cmid.co.id/>)

Tabel I. 8 Spesifikasi N-Hexane PT. Chemindo.

Nama	Formula	Jumlah	Satuan
N-Heksan	C ₆ H ₁₄	95	%
Air	H ₂ O	5	%
TOTAL		100,0000	%

(PT. Chemindo, 2012)



PRA RANCANGAN FATTY ACID METHYL ESTER (FAME) DARI MIKROALGA CHLORELLA SP DENGAN PROSES ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI

B. Asam Sulfat

- a. Nama Lain : Sulfuric Acid
- b. Rumus Kimia : H_2SO_4
- c. Fase : Cair
- d. Warna : Tidak Berwarna
- e. Melting Point : $10,49^\circ\text{C}$
- f. Boiling Point : 340°C
- g. Berat Molekul : 98,08 gr/mol
- h. Densitas : 1,834 gr/ml
- i. Viskositas : 2

(<https://petrokimia-gresik.com>)

Tabel I. 9 Spesifikasi Asam Sulfat PT. Petrokimia

Nama	Formula	Jumlah	Satuan
Asam Sulfat	H_2SO_4	98	%
Air	H_2O	2	%
TOTAL		100	%

(PT. Petrokimia 2026)

C. Kalium Hidroksida

- a. Nama Lain : Natrium Hydroxide
- b. Rumus Kimia : KOH
- c. Fase : Padat
- d. Warna : Putih
- e. Boiling Point : 1327°C
- f. Berat Molekul : 56,10 gr/mol
- g. Viskositas : 161,424 cP
- h. Densitas : $2,044\text{ gr/cm}^3$

((<https://www.citralogam.co.id/>))



PRA RANCANGAN FATTY ACID METHYL ESTER (FAME) DARI MIKROALGA CHLORELLA SP DENGAN PROSES ESTERIFIKASI DAN TRANSESTERIFIKASI

Tabel I. 10 Spesifikasi Kalium Hidroksida PT Citralogam Alphasejahtera.

Nama	Formula	Jumlah	Satuan
Kalium Hidroksida	KOH	90	%
Air	H ₂ O	10	%
TOTAL		100	%

(PT. Citralogam Alphasejahtera, 2025)

D. Air

- a. Nama Lain : Water
- b. Rumus Kimia : H₂O
- c. Fase : Cair
- d. Warna : Tidak Berwarna
- e. Melting Point : -218,4 °C
- f. Boiling Point : 100 °C
- g. Berat Molekul : 32 gr/mol
- h. Viskositas : 1 cP
- i. Densitas : 1 gr/cm³

(Perry, Roberty, 2019) “Water”)

I.2.3 Spesifikasi Produk

A. FAME (Fatty Acid Methyl Ester)

- a. Rumus Kimia : C₁₉H₃₆O₂
- b. Wujud : Cair
- c. Warna : Jernih kekuningan
- d. Kemurnian : 99%
- e. Melting Point : 81,2 °C
- f. Boiling Point : 210 °C
- g. Berat Molekul : 280,436 kg/kmol

(SNI No. 7182, 2015)