

REVIEW BIJI KARET SEBAGAI BAHAN BAKU ALTERNATIF BIODIESEL

Review Of Rubber Seeds As An Alternative Raw Material For Biodiesel

Dina Eka Pranata¹, Sherly Hanifarianty², Andi Wijaya¹

¹Pusat Penelitian Karet, Jl. Brasiliensis Raya, Lalang Sembawa, Kab. Banyuasin, Sumatera Selatan 30953

²Unit Riset Bogor Getas, Pusat Penelitian Karet, Jalan Salak Nomor 1 Bogor Tengah 16128
Email: sherlyhanifarianty@yahoo.co.id

Diterima 4 Mei 2023 / Direvisi 16 Mei 2023. / Disetujui 15 Juni 2023

Abstrak

Penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan gas alam, telah menjadi sumber utama energi global selama bertahun-tahun. Namun, ketergantungan yang tinggi terhadap sumber daya ini dan dampak negatifnya terhadap lingkungan telah memicu penelitian dan pengembangan untuk mencari solusi alternatif yang lebih berkelanjutan. Pada tahun 2022, sebanyak 93,45% kebutuhan energi primer nasional disuplai oleh energi fosil. Namun jumlah pasokan energi fosil terus berkurang karena eksplorasi secara terus-menerus. Sejak tahun 2019 produksi minyak bumi menurun dari 781.000 menjadi 644.000 barel per hari. Oleh sebab itu diperlukan diversifikasi energi alternatif untuk menjaga ketahanan energi nasional. Salah satu energi alternatif yang menjanjikan adalah pengembangan bioenergi yakni biodiesel yang dihasilkan dari sumber-sumber alami, seperti tanaman dan mikroorganisme. Salah satu tanaman yang potensial untuk dijadikan bioenergi adalah biji karet (*Hevea brasiliensis*). Biji karet memiliki kandungan minyak nabati yang dapat dikonversi menjadi biodiesel. Ada beberapa opsi teknologi dalam proses konversi minyak nabati menjadi biodiesel. Proses transesterifikasi menjadi pilihan yang paling umum digunakan dalam proses produksi biodiesel karena kesederhanaan proses dan ester asam lemak yang diperoleh memiliki karakteristik yang mirip dengan petrodiesel. Selain itu juga, reaksi ini menghasilkan produk samping gliserol yang memiliki nilai tambah produk dari proses ini.

Kata kunci: biji karet, biodiesel, energi, transesterifikasi, esterifikasi.

Abstract

*The use of fossil fuels, such as petroleum and natural gas, has been the main global energy source for many years. However, the high dependence on this resource and its negative impact on the environment has triggered research and development to find alternative, more sustainable solutions. In 2022, as much as 93.45% of national primary energy needs will be replaced by fossil energy. However, the amount of fossil energy supplies continues to decrease due to continuous exploration. Since 2019, petroleum production has decreased from 781,000 bpd (barrels per day) to 644,000 bpd. Therefore, alternative energy diversification is needed to maintain national energy security. One promising energy alternative is the development of bioenergy, namely biodiesel produced from natural sources, such as plants and microorganisms. One plant that has the potential to be used as bioenergy is rubber seeds (*Hevea Brasiliensis*). Rubber seeds contain vegetable oil which can be converted into biodiesel. There are several technology options in the process of converting vegetable oil into biodiesel. The trans-esterification process is the most commonly used choice in the biodiesel production process because of the ease of the process and the fatty acid esters obtained have characteristics similar to petrodiesel. Apart from that, this reaction produces the by-product glycerol which has added value as a product of this process.*

Keywords: rubber seeds, biodiesel, energy, transesterification, esterification.

Pendahuluan

Penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan gas alam, telah menjadi sumber utama energi global selama bertahun-tahun. Namun, ketergantungan yang tinggi terhadap sumber daya ini dan dampak negatifnya terhadap lingkungan telah memicu penelitian dan pengembangan untuk mencari solusi alternatif yang lebih berkelanjutan. Pada tahun 2022, sebanyak 93,45% kebutuhan energi primer nasional disuplai oleh energi fosil (Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral, 2023). Namun jumlah pasokan energi fosil terus berkurang karena eksplorasi secara terus-menerus. Sejak tahun 2019 produksi minyak bumi menurun dari 781.000 menjadi 644.000 bpd (barell per day) (Pratiwi, 2023). Oleh sebab itu diperlukan diversifikasi energi alternatif untuk menjaga ketahanan energi nasional, maka penggunaan energi baru dan terbarukan harus ditingkatkan (Ploetz *et al.*, 2016).

Salah satu energi alternatif yang menjanjikan adalah pengembangan bioenergi, yakni bahan bakar yang dihasilkan dari sumber-sumber alami, seperti tanaman dan mikroorganisme. Banyak tanaman potensial yang ada di Indonesia dapat dijadikan tanaman bioenergi (Sudaryanti *et al.*, 2017). Salah satu tanaman yang potensial untuk dijadikan bioenergi adalah tanaman karet (*Hevea Brasiliensis*). Potensi ini didasarkan bahwa Indonesia tercatat pada tahun 2022 mempunyai luas areal perkebunan karet yang cukup besar yaitu sebesar 3,55 juta Ha (Badan Pusat Statistik, 2023), sehingga potensi sumber daya untuk menghasilkan bioenergi cukup menjanjikan. Karet di Indonesia sebagian diproduksi berupa lateks dan slab, sedangkan untuk biomassa dari tanaman tersebut berupa kayu, ranting dan cangkang biji karet dapat dijadikan sumber bioenergi seperti dibuat menjadi biobriket. Hal ini didukung dengan hasil penelitian Pamungkas *et al.* (2022) yang melakukan kajian mengenai variasi komposisi perekat terhadap karakterisasi biobriket kayu karet sehingga biobriket dari limbah kayu karet dapat diproduksi dengan mudah di masa mendatang. Selain biobriket, bagian biji dari

tanaman karet dapat menghasilkan minyak nabati. Minyak nabati tersebut selanjutnya di konversi menjadi biofuel. Potensi biji karet sebagai sumber biofuel didasarkan pada komposisinya yang mengandung lipid (lemak) yang dapat diproses menjadi biodiesel. Pemanfaatan biji karet sebagai bahan baku pembuatan biodiesel merupakan suatu langkah yang baik untuk meningkatkan nilai tambah perkebunan karet (Soemargono & Mulyadi, 2011).

Kelebihan Biodiesel Dibandingkan Solar

Biodiesel memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan solar salah satunya adalah biodiesel cenderung memiliki angka setana (*cetane number*) yang lebih tinggi daripada solar murni (Setyawan, 2014). Hal ini menghasilkan perbedaan yang signifikan dalam emisi NOx yang dihasilkan antara campuran bahan bakar diesel dan biodiesel-diesel (Firdausy *et al.*, 2020). Selain itu biodiesel dapat mengurangi emisi gas buang untuk HC, CO, dan NOx dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar diesel (Sitorus *et al.*, 2018). Penggunaan biodiesel juga dapat meningkatkan performa mesin diesel, dimana campuran biodiesel B20 dan B40 dapat memberikan performa yang baik sebagai bahan bakar mesin diesel (Aziz, 2010). Selain itu biodiesel juga memiliki angka setana yang lebih tinggi daripada solar, sehingga minyak yang dihasilkan dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar mesin diesel tanpa perlu dicampur dengan solar (Setyawan, 2014).

Penggunaan biodiesel dapat mengurangi emisi partikular dibandingkan dengan diesel (Bugarski *et al.*, 2010), karena biodiesel berpotensi mengurangi emisi gas buang dan meningkatkan kinerja pada mesin diesel (Palani *et al.*, 2022). Namun demikian penggunaan biodiesel juga memiliki beberapa tantangan terkait penggunaannya pada mesin pembakaran (Cremonez *et al.*, 2021), sehingga standar biodiesel perlu disesuaikan dengan standar bahan bakar solar. Sifat sifat biodiesel dibanding dengan petrodiesel sesuai standar dari *American Society for Testing and Materials* (ASTM) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik dan kimia Petrodiesel dan Biodiesel

Sifat	Metode	ASTM D975 (Petrodiesel)	ASTM D6751 (Biodiesel, B100)
Titik nyala	D93	325 K min	403 K min
Air dan sedimen	D2709	0,050 max %vol	0,05 max %vol
Viskositas kinematik (313 K)	D445	1,3 -4,1 mm ² /s	1,9 - 6,0 mm ² /s
Massa jenis	D1298	-	0,860 – 0,900
Abu sulfat	D874	-	0,02 max %vol
Abu	D482	0,01 max %mass	-
Sulfur	D5453	0,05 max % mass	-
	D2622/129	-	0,05 max %mass
Korosi pada Tembaga	D130	No.3 max	No.3 max
Bilangan Cetane	D613	40 min	47 min
Aromatisitas	D1319	35 max %vol	-
Residu Karbon	D4530	-	0,005 max % mass
	D524	0,35 max % mass	-
Temperatur Distilasi (90 % vol)	D1160	555 K min	-
		611 K max	-

Sumber : (Demirbas, 2009)

Bahan bakar biodiesel memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan bakar petrodiesel (solar). Biodiesel dapat diproduksi secara lokal dengan memanfaatkan sumber minyak/lemak alami yang tersedia. Proses produksi dan penggunaan biodiesel lebih ramah lingkungan dengan tingkat emisi CO, NO, sulfur, dan senyawa hasil pembakaran lainnya yang lebih rendah dibandingkan dengan diesel petroleum, serta lebih mudah terurai di alam. Biodiesel memiliki keunggulan antara lain :

1. Biodiesel memiliki angka setana tinggi, yang mengindikasikan pembakaran yang cepat dan efisiensi termodinamis yang baik.
2. Biodiesel memiliki titik nyala yang tinggi, sehingga lebih aman dalam penyimpanan dan distribusi karena memiliki risiko kebakaran yang lebih rendah dibandingkan dengan solar.
3. Biodiesel tidak mengandung sulfur dan benzena yang bersifat karsinogen, serta dapat terurai secara alami.
4. Biodiesel memberikan pelumasan mesin yang lebih baik daripada solar, sehingga memperpanjang umur pemakaian mesin.
5. Biodiesel dapat dengan mudah dicampur

dengan solar dalam berbagai komposisi tanpa memerlukan modifikasi mesin.

6. Penggunaan biodiesel secara signifikan mengurangi emisi asap hitam dari gas buang mesin diesel.

Penggunaan biodiesel tidak memerlukan modifikasi mesin, memiliki efek pembersihan terhadap tangki bahan bakar, injektor, dan selang, serta tidak berkontribusi terhadap efek rumah kaca karena karbon yang dihasilkan masih dalam siklus karbon. Energi yang dihasilkan oleh biodiesel hampir sama dengan petroleum diesel, dan biodiesel memiliki angka setana yang lebih tinggi, menghasilkan suara mesin yang halus.

Kelebihan lain penggunaan biodiesel terhadap lingkungan adalah dapat mereduksi polusi tanah dan melindungi kelestarian perairan dan sumber air minum. Tingkat biodegradabilitas biodiesel sama dengan glukosa, dan pencampuran biodiesel dengan petroleum diesel dapat meningkatkan biodegradabilitas petroleum diesel hingga 500%. Biodiesel juga memiliki tingkat toksisitas yang lebih rendah dibandingkan dengan garam dapur. Penanganan dan

penyimpanan biodiesel lebih mudah karena tidak menghasilkan uap berbahaya pada suhu kamar dan dapat disimpan dalam tangki yang sama dengan petroleum diesel.

Biodiesel dari minyak nabati seperti biji karet juga memiliki beberapa kelemahan antara lain memiliki viskositas 20 kali lebih tinggi daripada bahan bakar diesel fosil, yang dapat mempengaruhi atomisasi bahan bakar dalam ruang bakar motor diesel. Atomisasi yang kurang baik dapat menurunkan daya mesin dan menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna. Oleh karena itu, viskositas minyak nabati perlu diturunkan melalui proses transesterifikasi menjadi metil ester nabati atau *Fatty Acid Metyl Ester* (FAME). Proses ini menghasilkan bahan bakar yang sesuai dengan sifat dan kinerja petrodiesel. Selain itu penggunaan metanol dalam proses transesterifikasi juga masih mengandalkan metanol impor.

Persyaratan Mutu Biodiesel

Persyaratan kualitas untuk biodiesel sangat penting untuk memastikan kinerja dan manfaat lingkungannya. Biodiesel harus mematuhi standar tertentu untuk menjamin kesesuaiannya untuk digunakan. Sifat dan spesifikasi biodiesel merupakan faktor penting yang menentukan kualitas dan kinerjanya. Selain itu, pencampuran biodiesel dengan bahan bakar diesel memerlukan pertimbangan parameter yang cermat seperti konsentrasi, berat jenis, dan viskositas kinematik untuk memastikan kompatibilitas dan kinerja biodiesel. Secara keseluruhan persyaratan kualitas untuk biodiesel mencakup berbagai parameter yang penting untuk memastikan bahan bakar alternatif yang berkelanjutan dan efisien. Spesifikasi biodiesel yang akan dicampur atau dimanfaatkan harus sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, karena standar tersebut dapat memastikan bahwa biodiesel yang dihasilkan dari reaksi pemrosesan bahan baku minyak nabati bebas gliserol, katalis, alkohol dan asam lemak bebas. Persyaratan kualitas biodiesel dapat bervariasi tergantung pada negara dan campuran spesifik biodiesel yang diproduksi.

Persyaratan mutu biodiesel B30 di Indonesia harus memenuhi spesifikasi parameter pengujian sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182:2015 yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Pemanfaatan biodiesel Indonesia saat ini telah mencapai B30, namun saat ini sudah dilakukan uji coba implementasi campuran diesel B40. Berikut ini adalah hasil uji karakteristik bahan bakar B40 berdasarkan data Lemigas (2023):

1. Seluruh bahan bakar uji yang digunakan pada uji jalan B40 telah memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan.
2. Mutu biodiesel (B100*) telah sesuai spesifikasi usulan Komite Teknis Bioenergi, dengan perbaikan parameter:
 - a) Kandungan air dari maks. 350 mg/kg \pm 320 mg/kg.
 - b) Stabilitas oksidasi min. 600 menit \pm 720 menit.
 - c) kandungan monogliserida maks. 0,55 %-massa \pm 0,50 %-massa.
3. Diesel biohidrokarbon (D100) menunjukkan keunggulan karakteristik bahan bakar pada angka setana, kandungan sulfur, kestabilan oksidasi, dan nilai kalor.
4. B40 dan B30D10 menunjukkan perbaikan karakteristik angka setana, lubrisitas, dan kandungan sulfur, dibandingkan minyak solar murni (B0).
5. B30D10 menunjukkan perbaikan karakteristik kandungan air, kestabilan oksidasi, dan nilai kalor dibandingkan B40.
6. Selama pelaksanaan uji jalan, bahan bakar yang digunakan telah dimonitor kualitas dan mutunya, dengan karakteristik sebagai berikut:
 - a) Bahan bakar B40 memiliki rata-rata berat jenis (15°C) sebesar (861,6 \pm 3,1) kg/m³, kandungan FAME (40,0 \pm 0,5) %-vol, dan kandungan air (200 \pm 30) mg/kg.
 - b) Bahan bakar B30D10 memiliki rata-rata berat jenis (15°C) sebesar (852,4 \pm 2,8) kg/m³, kandungan FAME (30,0 \pm 0,5) %-vol, dan kandungan air (170 \pm 30) mg/kg.

Tabel 2. Syarat mutu biodiesel

No	Parameter Uji	Satuan	Persyaratan
1	Masa jenis pada 40°C	Kg/m ³	850-890
2	Viskositas kinematic 40°C	mm ² /s (cSt)	2,3-6
3	Angka setana	Min	51
4	Titik nyala	°C, min	130
5.	Titik lempeng tembaga (3 jam pada suhu 50°C)	-	Nomor 1
	Residu karbon :		
6	-Dalam percontoh asli atau	%massa, maks	0,05
	-Dalam 10% ampas distilasi		0,3
7	Temperatur distilasi	°C, maks	360
8	Abu tersulfaktan	% massa, maks	0,02
9	Belerang	Mg/kg, maks	10
10	Fosfor	Mg/kg, maks	4
11	Angka asam	Mg-KOH/g,maks	0,4
12	Gliserol bebas	%massa, maks	0,02
13	Gliserol total	%massa, maks	0,24
14	Kadar ester metil	%massa, min	96,5
15	Angka iodium	%massa(g-I ₂ /100g, maks	120
	Kestabilan oksidasi periode induksi*		
16	metode rancimat atau	Menit	600
	periode induksi metode petro oks	Menit	45
17	Monogliserida*	%Massa, maks	0,55
18	Kandungan air*	Mg/kg, maks	350
19	<i>Cold filter plugging point</i> (CFPP)	°C, maks	15
20	Logam I (Na + K)	Mg/kg, maks	5
21	Logam II (Ca + Mg)	Mg/kg, maks	5
22	Total kontaminan	Mg/liter, maks	20
23	Warna	Pengamatan,maks	3

Sumber : SNI 7182:2015, *update trial test B40

Potensi Biji Karet Sebagai Bahan Baku Biodiesel

Buah karet memiliki bentuk kotak tiga atau empat dengan kulit yang keras berwarna coklat. Setelah mencapai usia enam bulan, buah karet akan matang dan pecah, sehingga biji karet terlepas dari kulitnya yang disebut batok. Biji karet memiliki bentuk elipsoid dengan panjang sekitar 2,5-3,0 cm, dan berat rata-rata antara 2-4 gram per biji. Kulit luar biji karet memiliki berat sekitar 1,3-1,5 gram per biji, sementara kernel biji karet dapat memiliki berat antara 1,15-1,90 gram per kernel biji karet (Abdullah *et al.*, 2019). Biji karet yang jatuh dari pohon hanya sedikit yang dapat

digunakan sebagai bibit. Biji karet yang dapat dimanfaatkan sebagai bibit batang bawah adalah biji karet segar dan memiliki persyaratan tertentu. Sedangkan bahan baku pembuatan biodiesel tidak perlu menggunakan biji karet segar.

Perhitungan Potensi Biji Karet

Dalam 1 hektar tanaman karet diperkirakan dapat ditanam 505 pohon karet. Satu pohon karet diperkirakan menghasilkan 100 butir biji karet. Jika satu biji karet diasumsikan memiliki berat rata-rata 3 gram (Tabel 3), maka 1 pohon dapat menghasilkan sekitar 300 gram atau 0,3 kilogram biji karet.



Gambar 1. Biji karet dan kernel

Tabel 3. Potensi biji karet

Jumlah Tanaman	Jumlah buah (butir)	Bobot buah/musim (kg)
1 Pohon	100	0,3
505 Pohon/Ha	50.500	151,5

Dari data Tabel 3 kita dapat menghitung dan memperkirakan potensi biji karet yang dihasilkan dari sebuah perkebunan. Jika dalam 1 Ha terdapat 505 pohon, maka potensi bobot buah yang dihasilkan sebesar 151,5 kg. Sehingga potensi biji karet dapat diperkirakan dengan rumus berikut :

$$\text{Potensi Biji Karet} = 151,5 \text{ kg/Ha per tahun} \times \text{Luas Lahan (Ha)} \quad (1)$$

Perhitungan Potensi Kernel

Biji karet terdiri dari cangkang dan kernel. Cangkang adalah bagian terluar biji karet yang melindungi inti kernel, memiliki berat 45%. sedangkan kernel bagian inti dari biji karet memiliki berat 55% dari total biji karet (Susila, 2009). Sehingga potensi kernel biji karet dengan persamaan berikut ini,

$$\text{Potensi kernel} = \text{Potensi biji} \times 55\% \quad (2)$$

Sehingga potensi kernel diperkirakan per hari = $1.476.398 \text{ kg/hari} \times 55\% = 812.018,9 \text{ kg/hari}$

Perhitungan Potensi Volume Rubber Seed Oil (RSO)

Berdasarkan penelitian diketahui rendemen RSO sebanyak 19,2% dengan nilai densitasnya 0,9209 kg/l (Susila, 2009). Sehingga dalam mencari potensi RSO (Rubber Seed Oil) dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$\text{Potensi RSO} = \frac{(\text{rendemen} \times 100\% \times \text{potensi kernel})}{\text{Densitas}} \quad (3)$$

Sehinga perkiraan RSO a

$$\begin{aligned} \text{Potensi RSO} &= \frac{19,2\% \times 100\% \times 812.018,9 \text{ kg/hari}}{0,9209 \text{ kg/liter}} \\ &= 155.907,62 \text{ liter/hari} \end{aligned}$$

Proses Ekstraksi Minyak Biji Karet

Sebelum proses ekstraksi dilakukan perlu dilihat komposisi biji karet yang segar dan kering (Tabel 4) dimana komposisi biji karet tersebut umumnya mengandung minyak, air, protein, serat dan lain-lain. Proses pertama ekstraksi minyak biji karet atau *rubber seed oil* (RSO) berawal dari cangkang dan biji karet dipisahkan dengan cara dipatahkan. Biji dikeringkan di bawah sinar matahari selama

lima hari sebelum dihancurkan menggunakan blender. Sampel dikeringkan dalam oven selama ± 5 jam pada suhu 105°C . Kandungan air yang cukup besar dalam kernel biji karet dapat memicu hidrolisis trigliserida menjadi FFA (*Free Fatty Acid*) atau asam lemak bebas sehingga diperlukan proses pengeringan sebelum produksi. Serbuk biji karet ditimbang dan disimpan dalam desikator.

Tabel 4. Komposisi biji karet

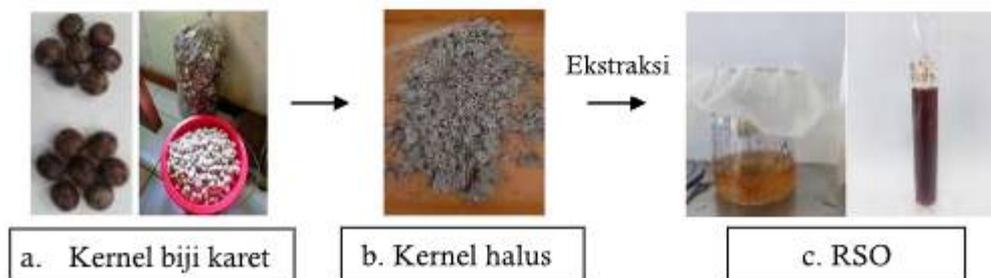
Parameter	Biji Segar (%)	Biji Kering (%)	Cangkang
Kadar Air	35,48	7,85	*
Kadar Minyak	41	44,50	0,48
Kadar Protein	16,49	17,86	*
Kadar Serat	9,39	10,16	*
Kadar Abu	3,25	2,96	*
PH	*	6,47	*

* = Tidak dianalisis

Sumber : (Siahaan *et al.*, 2011)

Serbuk biji karet sebanyak 100 g yang dibungkus dengan kertas saring ditempatkan di dalam Soxhlet untuk diekstraksi. Sebanyak 250 ml n-heksana dituangkan ke dalam Soxhlet. Proses ekstraksi dilakukan selama 6 jam per siklus pada suhu 60°C . Proses ekstraksi ini diulang sebanyak tiga kali. Setelah diekstraksi, minyak dipisahkan dari pelarut dengan penguapan menggunakan rotary evaporator pada suhu 60°C . Pemurnian minyak biji karet dilakukan dengan deposisi (pengendapan), pemisahan gum (degumming), dan pemutihan. Sebanyak 100

mL minyak biji karet dicampur dengan 0,2% berat H_3PO_4 dan diaduk selama 15 menit pada kecepatan 120 rpm dan suhu 50°C . Setelah 30 menit, minyak dipisahkan dari endapan. Selanjutnya ditambahkan 0,1 g karbon aktif ke dalam minyak dan diaduk selama 15 menit dan kemudian dibiarkan selama 2 jam. Minyak kemudian difiltrasi untuk memisahkan karbon aktif. Minyak kemudian ditambahkan beberapa Na_2SO_4 anhidrat untuk menyerap kandungan air hingga minyak siap untuk dianalisis.



Sumber : dokumen pribadi

Gambar 2. Proses ekstraksi RSO

Komposisi minyak biji karet mengandung asam-asam lemak mempunyai manfaat dan bernilai ekonomi tinggi, seperti asam palmitat, stearat, oleat, linoleat, dan linolenat (Ketaren,

1986). Berikut ini adalah analisis komposisi asam lemak pada minyak biji karet dan sumber lainnya yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Analisis komposisi asam lemak minyak nabati biji karet dan minyak lainnya

Properti	Rubber seed oil	Sun flower	Canola oil	Cotton seed oil	Soybean oil
Palmitic acid $C_{16:0}$	10,2	6,8	3,49	11,67	11,75
Stearic acid $C_{18:0}$	8,7	3,26	0,85	0,89	3,15
Oleic acid $C_{18:1}$	24,6	16,93	64,4	13,27	23,26
Linoleic acid $C_{18:2}$	39,6	73,73	22,3	57,51	55,53
Linoleic acid $C_{18:3}$	16,3	0	8,23	0	6,31
Specific gravity	0,91	0,918	0,914	0,912	0,92
Viscosity (mm^2/s) at 40 °C	66,2	58	39,5	50	65
Calorific value	37,5	39,5	37,6	39,6	39,6
Acid value	34	0,15	1,14	0,11	0,2

Sumber : (Ramadhas *et al.*, 2005)

Dari Tabel 5 terlihat bahwa nilai bilangan asam pada biji karet memiliki nilai yang paling tinggi diantara sumber lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa minyak mengandung FFA tinggi, yang dapat mengganggu proses transesterifikasi sehingga perlu dilakukan proses esterifikasi terlebih dahulu untuk menurunkan bilangan asam dan viskositasnya. Namun biji karet memiliki komposisi kandungan asam lemak cukup tinggi (trigliserida). Asam lemak inilah yang akan dikonversi menjadi biodiesel.

Prinsip Pembuatan Biodiesel

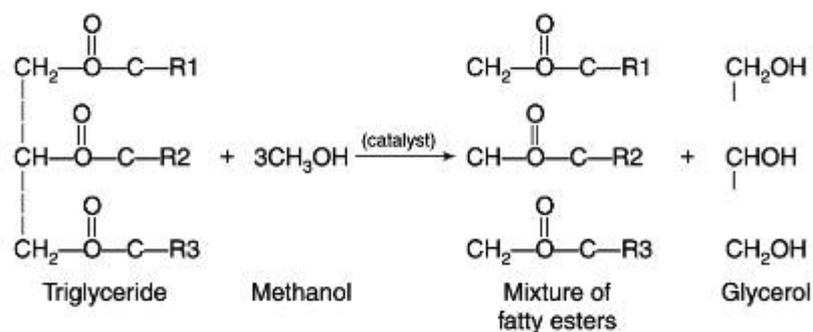
Biodiesel diproduksi menggunakan bahan baku yang beragam, terdiri dari berbagai jenis minyak nabati yang memiliki komposisi asam lemak yang berbeda. Kandungan *Free Fatty Acid* (FFA) yang dalam bahan baku menjadi faktor penentu dalam menentukan jenis proses yang akan digunakan dalam produksi biodiesel. Secara umum, proses pembuatan biodiesel dapat dilakukan melalui reaksi transesterifikasi, esterifikasi, atau kombinasi proses esterifikasi-transesterifikasi. Jika bahan bakunya memiliki kadar FFA yang rendah, proses transesterifikasi dapat dilakukan secara langsung. Apabila kandungan asam lemak bebas dalam minyak masih tinggi, proses

esterifikasi perlu dilakukan sebelumnya. Pemeriksaan terhadap kandungan air dalam minyak nabati sebelum menjalankan proses transesterifikasi perlu dilakukan terlebih dahulu karena kandungan air yang tinggi dapat menghambat katalis asam dan basa, yang dapat mengurangi hasil produksi biodiesel.

Transesterifikasi proses reaksi antara lemak atau minyak yang mengandung trigliserida dengan alkohol yang membentuk metil ester dan gliserol. Proses ini memanfaatkan katalis baik berupa basa maupun asam untuk meningkatkan konversi menjadi metil ester. Transesterifikasi adalah reaksi yang bersifat reversibel sehingga penggunaan alkohol dalam jumlah berlebih dapat memindahkan keseimbangan reaksi ke arah kanan mengakibatkan meningkatnya jumlah metil ester dan gliserol yang dihasilkan. Metanol sering dipilih karena harganya yang lebih ekonomis dibandingkan dengan alkohol lainnya dan karena merupakan senyawa polar dengan rantai karbon terpendek sehingga dapat bereaksi dengan cepat terhadap trigliserida dan larut dalam semua jenis katalis baik alkali maupun asam. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan tujuan mengurangi viskositas (kekentalan) minyak

agar mendekati nilai viskositas solar. Viskositas yang tinggi dapat menyulitkan proses pengisian bahan bakar dari tangki ke ruang bahan bakar mesin dan dapat menghambat terjadinya atomisasi. Hal ini dapat mengakibatkan pembakaran yang kurang sempurna dan dapat menyebabkan terbentuknya endapan pada nosel. Dalam reaksi transesterifikasi logam dari katalis basa diekstraksi ke dalam alkohol yang kemudian

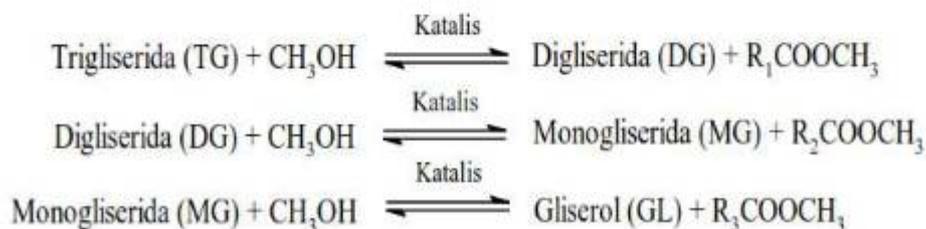
bereaksi dengan alkohol membentuk alkoksida yang bersifat nukleofilik. Alkoksida kemudian menyerang gugus karbonil dalam trigliserida sehingga memulai reaksi transesterifikasi dan eliminasi yang menghasilkan ester dan alkohol baru. Secara umum, persamaan stoikiometri reaksi transesterifikasi trigliserida dengan metanol yang terjadi dalam pembentukan metil ester terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Reaksi transesterifikasi

Transesterifikasi adalah suatu reaksi berantai yang terdiri dari serangkaian reaksi reversible. Dalam proses ini molekul trigliserida diubah secara bertahap menjadi digliserida, monogliserida, dan gliserol.

Tahap-tahap ini akhirnya membentuk metil ester asam lemak (FAME). Proses transesterifikasi diilustrasikan dalam diagram tahapan reaksi seperti yang tergambar pada Gambar 4 di bawah ini.

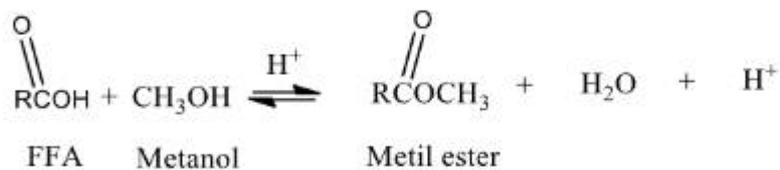


Gambar 4. Tahapan reaksi transesterifikasi trigliserida dan metanol

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efektivitas transesterifikasi antara lain kandungan air, asam lemak bebas, rasio molar, jenis dan konsentrasi katalis, waktu reaksi, temperatur reaksi, dan kecepatan pengadukan. Katalis yang digunakan dalam proses transesterifikasi dapat berupa katalis asam atau katalis basa. Proses transesterifikasi dengan katalis basa umumnya lebih cepat dibandingkan dengan katalis asam dan

umumnya lebih umum digunakan secara komersial (Ma & Hanna, 1999).

Selain menggunakan metode transesterifikasi, beberapa sintesis biodiesel menggunakan metode esterifikasi. Metode esterifikasi digunakan jika asam minyak nabati memiliki *free fatty acid* (FFA) >5%. Esterifikasi adalah reaksi antara asam karboksilat dan alkohol yang menghasilkan metil ester dan air (Gambar 5).

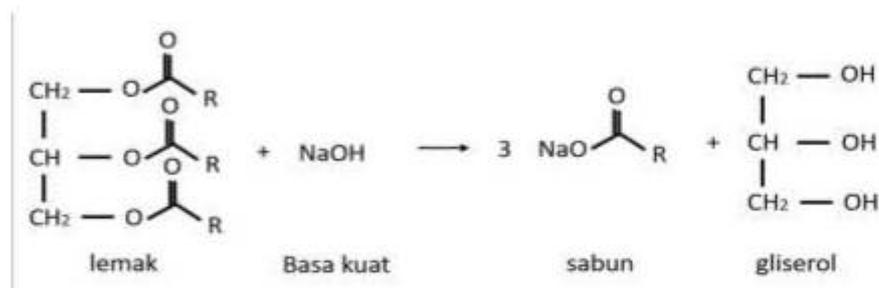


Gambar 5. Reaksi Esterifikasi

Apabila kandungan asam lemak bebas lebih dari 5% dikhawatirkan dapat terbentuk reaksi penyabunan (*saponification*) yang dapat mengganggu terbentuknya metil ester.

Reaksi penyabunan (Gambar 6) dapat membentuk emulsi dengan air dan gliserin sehingga pemisahan metil ester menjadi lebih

sulit dan biodiesel yang dihasilkan lebih sedikit. Beberapa penelitian telah melakukan percobaan tentang pembuatan biodiesel dengan bahan baku biji karet. Hasil penelitian tentang biodiesel dari biji karet dirangkum dalam Tabel 6.



Gambar 6. Reaksi penyabunan

Tabel 6. Biodiesel dari Minyak Biji Karet dengan Metode Esterifikasi-Transesterifikasi

Referensi	Katalis	Esterifikasi			FFA	Katalis	Transesterifikasi			Yield (%)
		Rasio oil : methanol	T (°C)	Time (Min)			Rasio Oil : methanol	T (°C)	Time (min)	
(Shahab & Husnah, 2022)	0,5%-v H ₂ SO ₄ 98%	5:1 (vol)	50	60	-	1%-w KOH	4:1 (vol)	60	60	81,7
(Thaiyasuit <i>et al.</i> , 2012)	2,5%-w H ₂ SO ₄ 5	1:6 (molar)	60	30	2,9	1,5%-w KOH	1:9 (molar)	60	-	96,4
(Chen <i>et al.</i> , 2020)	mL/L H ₂ SO ₄	1:9 (molar)	60	60	3,2	3,7 g/l NaOH	1:6 (molar)	60	60	88
Rusmaningtyas & Siswani, 2017	2%-w H ₂ SO ₄ 18 M 10 mL	1:20	60	60	1,8	1%-w KOH 50 mL	1:8 (molar)	65	120	-
(Salni <i>et al.</i> , 2017)	5%- (w/v) H ₂ SO ₄	1:6 (vol)	60	120	2,1	0,5%- (w/v) NaOH	1:9 (vol)	60	120	-
(Siswani <i>et al.</i> , 2017)	18M H ₂ SO ₄	1:8	60	60	-	1%-W KOH	5,57:1 (mass)	65	120	-
(Wicakso <i>et al.</i> , 2019)	0,5%-w H ₂ SO ₄	1:6	-	-	-	1%-w KOH	1:6	55	30	80
(Wicakso <i>et al.</i> , 2019)	0,5%-w H ₂ SO ₄	1:6	-	-	-	1%-w KOH	1:6	55	30	75,6
(Sai <i>et al.</i> , 2020)	3%-v H ₂ SO ₄	1:15 (molar)	65	120	-	4%-w CaO	1:12 (molar)	-	120	99,7

Dari Tabel 6 dapat kita ketahui bahwa untuk mengkonversi minyak biji karet menjadi biodiesel digunakan metode Esterifikasi dan Transesterifikasi. Tentunya pada metode ini kurang efisien untuk mengkonversi biodiesel karena memerlukan 2 tahapan proses yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Namun demikian minyak biji karet memiliki keunggulan karena minyak non pangan dan memiliki asam lemak yang cukup tinggi sehingga dapat menjadi alternatif bahan baku dalam pembuatan biodiesel. Selain itu, produksi alami bijinya sendiri tetap kurang

dimanfaatkan dan dibiarkan jatuh begitu saja. Menurut standar ASTM (*American Society for Testing and Materials*) D6751, biodiesel merupakan ester alkil tunggal dari asam lemak rantai panjang yang diperoleh dari minyak nabati dan hewani (*American Society for Testing and Materials*, 2020). ASTM tidak membatasi jenis atau sumber minyak nabati dan hewani yang digunakan, asalkan biodiesel memenuhi persyaratan sebagai bahan bakar diesel. Perbandingan sifat-sifat fisis biodiesel biji karet, biodiesel (7182:2015) dan minyak lainnya dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Sifat fisis biodiesel biji karet, diesel dan sumber lainnya

Parameter	<i>Rubber seed</i>	<i>Sun flower</i>	<i>Canola</i>	<i>Cotton seed</i>	<i>Soybean</i>	<i>Biodiesel</i> (7182:2015)
Berat jenis spesifik	0,874	0,878	0,882	0,874	0,885	0,85-0,89
Nilai kalor (mj/kg)	36,50	40,56	37,00	40,32	42,50	42,50
Viskositas	5,81	4,5	4,5	4,0	3,8	2,3-6
Titik nyala (°C)	130	85	170	70	45	130
Angka setana	45	46,9	52	51,2	45	51
<i>Cloud point</i>	4	1,0	-4	N.A	-1	-1
Titik tuang	-8	N.A	-12	-15	-16	-16

Sumber : (Ramadhas *et al.*, 2005)

Sifat fisis biodiesel minyak karet menyerupai minyak solar sehingga dapat digunakan langsung untuk mesin diesel atau sebagai campuran minyak solar. Seperti pada penelitian Ramadhas *et al.* (2005) yang melakukan tentang evaluasi kinerja dan emisi mesin diesel berbahan bakar metil ester minyak biji. Hasilnya adalah metil ester minyak biji karet dapat digunakan dalam mesin diesel yang ada tanpa perubahan apa pun. Selanjutnya studi oleh Geo *et al.* (2010) mengeksplorasi metode untuk meningkatkan kinerja bahan bakar minyak biji karet untuk mesin diesel dengan menambahkan DEE (Dietil eter). Hasil menunjukkan bahwa efisiensi termal mesin meningkat dari 26,5% dengan *rubber seed oil* (RSO) murni menjadi maksimal 28,5% dengan laju penyuntikan DEE 200 g/jam. Beberapa penelitian tentang pemanfaatan biji karet menjadi biodiesel telah dilakukan. Seperti Fauzi & Bahruddin. (2015) melakukan penelitian pembuatan biji karet menjadi biodiesel dengan rasio molar RSO dan methanol terhadap karakteristik biodiesel. *Yield* yang dihasilkan dari penelitian ini adalah 62,15%. Pembuatan biji karet menjadi biodiesel juga di pengaruhi oleh waktu reaksi dan katalis yang digunakan.

Katalis dan Peranannya Dalam Produksi Biodiesel

Katalis merupakan substansi yang memiliki kemampuan untuk meningkatkan laju reaksi kimia, membantu terjadinya reaksi, dan dapat kembali terbentuk pada akhir reaksi. Meskipun katalis dapat bereaksi membentuk intermediate, namun katalis tersebut akan dipulihkan pada tahap reaksi berikutnya. Secara umum, katalis bekerja dengan cara menurunkan energi aktivasi, yang pada akhirnya meningkatkan laju reaksi. Katalis berperan dalam reaksi tanpa menjadi pereaksi atau produk. Kemampuan katalis memungkinkan reaksi berlangsung lebih cepat atau bahkan dapat terjadi pada suhu yang lebih rendah karena perubahan yang diinduksinya terhadap reaksi (Chang, 2005). Dalam konteks pembuatan biodiesel, keberadaan katalis sangat penting untuk mempercepat reaksi yang terlibat. Peran katalis dalam proses pembuatan biodiesel memiliki dampak signifikan terhadap tingkat konversi produk metil ester yang dihasilkan. Namun, perlu diperhatikan bahwa penggunaan katalis dalam konsentrasi yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya reaksi penyabunan, yang pada akhirnya dapat mengurangi tingkat konversi produk.

Katalis dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen berada dalam fase yang sama dengan pereaksi dalam reaksi yang dikatalisisnya, sementara katalis heterogen berada dalam fase yang berbeda dengan pereaksi. Katalis homogen dibedakan menjadi 2 macam, yaitu katalis homogen basa dan asam :

a. Katalis Homogen Basa

Katalis basa yang umum digunakan dalam produksi biodiesel adalah natrium hidroksida (NaOH) dan kalium hidroksida (KOH). Katalis ini dipilih karena biaya penggunaannya relatif rendah dibandingkan dengan katalis heterogen, mudah didapatkan di pasar, dan mampu mempercepat transesterifikasi dengan kondisi reaksi yang ringan. Selain itu, transesterifikasi dengan katalis basa dapat berjalan 4000 kali lebih cepat daripada katalis asam (Kulkarni & Dalai, 2006). NaOH dan KOH biasanya dalam bentuk pelet tetapi larut dengan mudah dalam alkohol. Oleh karena itu, katalis ini biasanya dicampur dengan alkohol sebelum reaksi transesterifikasi dilakukan. Katalis basa homogen memiliki kelemahan yaitu sensitivitas yang tinggi terhadap kandungan (FFA) dalam minyak. Kandungan FFA dalam minyak harus dijaga serendah mungkin (0,5% - 1%) untuk mencegah terjadinya reaksi penyabunan. Terlalu banyak pembentukan sabun akan menghambat pemisahan biodiesel-glisерol dan mengurangi hasil biodiesel secara signifikan. Biasanya minyak kelapa sawit mentah yang telah dimurnikan digunakan untuk produksi biodiesel karena memiliki kandungan FFA yang rendah (0,1% - 0,5%) dan mengakibatkan berkurangnya reaksi saponifikasi yang terjadi.

b. Katalis Homogen Asam

Katalis homogen asam lebih cocok digunakan untuk bahan baku yang memiliki kandungan FFA tinggi dalam produksi biodiesel. Asam sulfat (H_2SO_4) dan asam klorida (HCl) merupakan katalis yang sering digunakan karena memiliki

sifat asam yang kuat dan biaya yang rendah. Namun beberapa penelitian melaporkan bahwa H_2SO_4 dapat memberikan hasil yang lebih baik daripada HCl dalam transesterifikasi minyak goreng bekas (Al-Widyan & Al-Shyoukh, 2002). Katalis asam mampu melakukan esterifikasi dan transesterifikasi secara bersamaan. Esterifikasi terjadi ketika FFA bereaksi dengan alkohol menggunakan katalis asam untuk menghasilkan ester sebagai produk reaksi. Diperlukan rasio molar alkohol terhadap minyak yang tinggi untuk mempercepat transesterifikasi dengan menggunakan katalis asam. Penggunaan katalis homogen asam memiliki beberapa kelemahan, seperti sifat asam yang kuat yang dapat menyebabkan korosi serius pada dinding reaktor, pipa, dan katup, laju reaksi yang lambat, dan kesulitan dalam pemisahan katalis.

c. Katalis Heterogen

Selain menggunakan katalis homogen biodiesel juga dapat diproduksi dengan menggunakan katalis heterogen (Dalai *et al.*, 2011). Penggunaan katalis heterogen dalam produksi biodiesel telah menjadi fokus perhatian dalam beberapa tahun terakhir karena sifatnya yang lebih ramah lingkungan, stabil, serta proses pemisahan dan pemurnian campuran reaksi yang lebih mudah dibandingkan dengan katalis homogen. Pengembangan katalis heterogen dalam produksi biodiesel dapat memberikan peningkatan signifikan dalam efisiensi produksi dengan mengurangi konsumsi energi dalam proses pemurnian yang memungkinkan penerapan proses secara kontinyu dan meningkatkan kualitas produk sampingan gliserol yang juga memiliki potensi nilai tambah di industri farmasi dan kosmetik. Berdasarkan sumbernya katalis heterogen dapat dikelompokkan menjadi katalis yang berasal dari batuan alam seperti CaO atau logam oksida lainnya serta katalis biologis atau enzim. Enzim adalah katalis dengan tingkat reaktivitas yang tinggi dalam reaksi kimia dan tidak menyebabkan masalah

dalam pemurnian, pencucian, saponifikasi (pembentukan sabun), dan netralisasi dalam transesterifikasi. Namun demikian biaya yang tinggi, batasan penggunaan, dan kemungkinan deaktivasi membuat penggunaan enzim kurang umum dalam skala industri. Dibandingkan dengan rendemen FAME yang dihasilkan menggunakan katalis homogen, katalis

heterogen membutuhkan jumlah yang lebih besar, rasio metanol, minyak yang lebih tinggi, suhu yang lebih tinggi, dan waktu reaksi yang lebih lama (Athar & Zaidi, 2020). Berdasarkan penjelasan diatas terdapat perbedaan mendasar antara katalis homogen dan katalis heterogen seperti disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbedaan katalis homogen dan heterogen

Faktor	Katalis homogen	Katalis heterogen
Kecepatan reaksi	Cepat dan kemampuan mengkonversi tinggi	Kemampuan mengkonversi sedang
Setelah perlakuan	Katalis tidak dapat diperoleh kembali	Katalis dapat diperoleh kembali
Kehadiran air	Sensitif	Tidak sensitif
Penggunaan kembali	Tidak mungkin	mungkin
Biaya	Mahal	Berpotensi murah

Sumber : Usman & Astar, (2022).

Kesimpulan

Konversi minyak biji karet menjadi biodiesel digunakan metode esterifikasi dan transesterifikasi dinilai kurang efisien karena untuk mengkonversi biodiesel memerlukan tahapan yang cukup rumit namun demikian minyak biji karet memiliki keunggulan seperti, minyak biji karet termasuk minyak non pangan, memiliki asam lemak yang cukup tinggi, dan perkiraan potensi RSO indonesia sebesar 155.907,62 liter/hari sehingga biji karet dapat menjadi alternatif bahan baku dalam pembuatan biodiesel. Perlu diteliti lebih lanjut untuk pemanfaatan biji karet menjadi biodiesel yang selama ini biji tersebut kurang dimanfaatkan dan dibiarkan jatuh begitu saja karena dari segi persyaratan pembuatan tidak memerlukan persyaratan khusus untuk menjadi bahan bakar biodiesel asalkan persyaratan sebagai bahan bakar biodiesel terpenuhi.

Daftar Pustaka

- Abdullah, A., Putra, Y. A. P., & Irwan, A. (2019). Pirolisis minyak goreng bekas dengan katalis zeolit teraktivasi NaOH. *Konversi*, 8(1), 29–38. doi:org/10.20527/k.v8i1.6511.
- Al-Widyan, M. I., & Al-Shyouch, A. O. (2002). Experimental evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel. *Bioresource Technology*, 85(3), 253–256. doi: org/10.1016/S0960-8524(02)00135-9.
- American Society for Testing and Materials. (2020). *ASTM D6751 Standard specification for biodiesel fuel blend stock (b100) for middle distillate fuels*. Pennsylvania, USA : ASTM International.
- Athar, M., & Zaidi, S. (2020). A review of the feedstocks, catalysts, and intensification techniques for sustainable biodiesel production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(6). doi:org/10.1016/j.jece.2020.104523.

- Aziz, I. (2010). Uji performance mesin diesel menggunakan biodiesel dari minyak goreng bekas. *Jurnal Valensi*, 6(1), 291–297.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik Karet Indonesia 2022 Vol. 16*. Jakarta, Indonesia : Badan Pusat Statistik.
- Bugarski, A. D., Cauda, E. G., Janisko, S. J., Hummer, J. A., & Patts, L. D. (2010). Aerosols emitted in underground mine air by diesel engine fueled with biodiesel. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 60(2), 237–244. doi: org/10.3155/1047-3289.60.2.237
- Chen, S. S., Tsang, D. C. W., & Tessonier, J. P. (2020). Comparative investigation of homogeneous and heterogeneous brønsted base catalysts for the isomerization of glucose to fructose in aqueous media. *Applied Catalysis B: Environmental*, 261, 118126. doi:org/10.1016/j.apcatb.2019.118126.
- Cremonez, P. A., Teleken, J. G., & Weiser Meier, T. (2021). Potential of green diesel to complement the brazilian energy production: a review. *Energy and Fuels*, 35(1), 176–186. doi:org/10.1021/acs.energyfuels.0c03805.
- Dalai, A. K., Issariyakul, T., & Baroi, C. (2011). Biodiesel production using homogeneous and heterogeneous catalysts: a review. In *Catalysis: Alternative Energy Generation* (pp 1- 536).New York, USA : Springer.
- Siswani, E. D., Kristianingrum, S., Suyanta. (2017, Agustus 4). Various conditions of transesterification on biodiesel synthesised from rubber seed (*Hevea brasiliensis*) using KOH as catalyst. Tulisan disajikan pada 4th International Conference on Research, Implementation, and Education of Mathematics and Sciences (ICRIEMS), Yogyakarta.
- Fauzi, S., Syarfi., & Bahruddin. (2015). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Karet Menggunakan Reaktor Membran. *Jom FTEKNIK*, 2(1), 1-6.
- Pratiwi, F. S. (2023, August 14) . Produksi Minyak Indonesia Kembali Turun pada 2022. DataIndonesia.Id.
- Firdausy, M. A., Mizwar, A., Khair, R. M., Nirtha, R. I., & Hamatha, N. (2020). Perbandingan emisi gas buang yang dihasilkan pada penerapan biodiesel di PT Adaro Indonesia. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(2), 147–156.
- Geo, V. E., Nagarajan, G., & Nagalingam, B. (2010). Studies on improving the performance of rubber seed oil fuel for diesel engine with DEE port injection. *Fuel*, 89(11), 3559–3567. doi : org/10.1016/j.fuel.2010.05.036.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2023). *Content Handbook of Energy and Economic Statistics Of Indonesia 2022 Edition 15th*. Jakarta, Indonesia : Kementerian Sumber Daya Alam Mineral.
- Kulkarni, M., & Dalai, A. (2006). Waste cooking oilan economical source for biodiesel: a review. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 45(9), 2901-2913. doi :org/10.1021/ie0510526.
- Lemigas. (2023). *Hasil Uji B40*. Jakarta, Indonesia : Lemigas.
- Ma, F., & Hanna, M. A. (1999). Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70(1), 1–15.
- Palani, Y., Devarajan, C., Manickam, D., & Thanikodi, S. (2022). Performance and emission characteristics of biodiesel-blend in diesel engine: A review. In *Environmental Engineering Research* 27(1). 1-12. doi:org/10.4491/eer.2020.338.
- Pamungkas, A. S., Hanifarianty, S., & Pranata, D. E. (2022). kajian variasi komposisi perekat terhadap karakterisasi biobriket kayu karet. *Jurnal Penelitian Karet*, 107–116.
- Ploetz, R., Rusdianasari, & Eviliana. (2016). Renewable energy: advantages and disadvantages. *International Journal of Research Science and Management*, 3(1), 1–4.
- Ramadhas, A. S., Muraleedharan, C., & Jayaraj, S. (2005). Performance and emission evaluation of a diesel engine fueled with methyl esters of rubber seed oil. *Renewable Energy*, 30(12), 1789–1800. doi : org/10.1016/j.renene.2005.01.009.

- Rusmaningtyas, I. R., & Siswani, E. D. (2017). Pemanfaatan minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai bahan baku biodiesel pada variasi suhu transesterifikasi dan rasio (metanol/minyak) pada waktu 120 menit. *Jurnal Kimia Dasar*, 6(4), 127–133.
- Sai, B. A. V. S. L., Subramaniapillai, N., Khadhar Mohamed, M. S. B., & Narayanan, A. (2020). Optimization of continuous biodiesel production from rubber seed oil (RSO) using calcined eggshells as heterogeneous catalyst. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(1). doi:org/10.1016/j.jece.2019.103603
- Salni, S., Hariani, P. L., & Hanifa, H. M. (2017). Influence of the rubber seed type and altitude on characteristic of seed, oil and biodiesel. *International Journal of Renewable Energy Development*, 6(2), 157–163. doi : org/10.14710/ijred.6.2.157-163.
- Setyawan, M. (2014). Studi pengendalian pemanas pada reaktor hidrogenasi minyak nabati menjadi greendiesel dengan jaket pemanas. *Chemica : Jurnal Teknik Kimia*, 1(1), 27–32.
- Shahab, A., & Husnah. (2022). produksi biodiesel dari minyak biji karet dengan teknologi transesterifikasi menggunakan katalis koh. *Jurnal Redoks*, 7(2), 33–38.
- Siahaan, S., Setyaningsih, D., & Hariyadi. (2011). Potensi pemanfaatan biji karet (*Hevea brasiliensis muell. arg*) sebagai sumber energi alternatif biokerosin. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 19(3), 145-151.
- Sitorus, T. B., Ariani, F., & Lubis, Z. (2018). efek bahan bakar biodiesel dari minyak kedelai terhadap emisi gas buang dan temperatur ruang bakar mesin diesel. *Jurnal SIMETRIS*, 9(2). 1083-1090.
- Soemargono, & Mulyadi, E. (2011). Proses produksi biodiesel berbasis biji karet. *Jurnal Rekayasa Kimia*, 5(2), 40–44.
- Sudaryanti, D. A., Fauzi, A., Dharmawan, A. H., & Putri, E. I. K. (2017). Bioenergi dan transformasi sosial ekonomi pedesaan (studi kasus: desa Talau dan desa Tanjung Beringin, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau). *Sodality: Jurnal Sosiologi Pedesaan*, 5(3), 191–200.
- Susila, I. W. (2009). Pengembangan proses produksi biodiesel biji karet metode non-katalis “superheated methanol” pada tekanan atmosfer. *Teknik Mesin*, 11(2), 115–124.
- Thaiyasuit, P., Pianthong, K., & Worapun, I. (2012). Acid esterifi cation-alkaline transesterifi cation process for methyl ester production from crude rubber seed oil. *Journal of Oleo Science*, 61(2), 81-88.
- Usman, T., & Astar, I. (2022). *Katalis biodiesel pengenalan dan aplikasi produksi biodiesel (vol 1)*. Pontianak, Indonesia : Universitas Tanjung Pura.
- Wicakso, D. R., Najma, A. N., & Retnowati, D. A. (2019). Crude biodiesel synthesis from rubber seed oil. *Konversi*, 7(1), 21-27. doi:org/10.20527/k.v7i1.4872.