

DOI <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v9i2.2754>

Analisis Potensi dan Evaluasi Emisi Biodiesel dari *Palm Oil Mill Effluent*

Tiara Puja Hariyadi^{1*}, Marhama Jelita¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Jl. HR. Soebrantas No. 155 Panam, Pekanbaru, 28293.

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: tiarapuja5@gmail.com

Abstract – The substantial development of the palm oil industry in Indonesia is evident in the high production of Crude Palm Oil (CPO) as the primary product and Palm Oil Mill Effluent (POME) as a byproduct in palm oil mills. POME waste contains emissions that can harm the environment, necessitating proper waste management. This issue can be addressed by transforming the waste into biodiesel, as it still contains Free Fatty Acids (FFA) and triglycerides. The utilization of biodiesel can reduce the reliance on fossil fuels and environmental pollution. The research aims to evaluate the quality of biodiesel based on the SNI 7182:2015 standard, considering parameters such as Free Fatty Acid (FFA), acid value, density, water content, and viscosity through experimental processes involving sulfuric acid esterification and basic catalyst transesterification. The study is expected to provide information on the potential of biodiesel as a vehicle fuel and energy source for colt diesel engines, along with an emission analysis during the transition from biodiesel to solar. The biodiesel produced meets the standards for FFA (0.26%), acid value (0.57 mg/KOH), and density (0.871 g/ml). The waste volume of 490 m³/day generates 5,096 liters/day of biodiesel, sufficient for 23 units of colt diesel engines with 55% efficiency, producing an energy output of 988,902.91 J. The transition to biodiesel fuel can reduce CO₂ emissions by 20.4%, NO_x by 50%, and HC by 40%.

Abstrak - Pesatnya perkembangan industri kelapa sawit di Indonesia dapat dilihat dari tingginya produksi Crude Palm Oil (CPO) sebagai produk utama dan *Palm Oil Mill Effluent* (POME) sebagai produk buangan di pabrik kelapa sawit. Limbah POME mengandung emisi yang dapat merugikan lingkungan sehingga perlunya penanganan terhadap limbah. Permasalahan ini dapat diatasi dengan mengubah limbah menjadi biodiesel karena masih mengandung Asam Lemak Bebas (ALB) dan Trigliserida. Pemanfaatan biodiesel dapat mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan pencemaran lingkungan. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi kualitas biodiesel berdasarkan standar SNI 7182:2015 dengan parameter *Free Fatty Acid* (FFA), angka asam, densitas, kadar air, dan viskositas melalui eksperimental dengan proses esterifikasi asam sulfat dan transesterifikasi katalis basa. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai potensi biodiesel sebagai bahan bakar kendaraan dan energi pada mesin *colt diesel* serta analisis emisi terhadap peralihan dari biodiesel ke solar. Hasil biodiesel telah memenuhi standar untuk parameter FFA 0,26%, angka asam 0,57 mg/KOH dan densitas 0,871 g/ml. Jumlah limbah sebesar 490 m³/hari menghasilkan biodiesel sebanyak 5.096 liter/hari dan mampu memenuhi bahan bakar kendaraan sebanyak 23 unit untuk mesin *colt diesel* pada efisiensi 55% serta menghasilkan energi sebesar 988.902,91 J. Peralihan bahan bakar biodiesel mampu mengurangi emisi CO₂ sebanyak 20,4%, NO_x 50% dan HC 40%.

Keywords – Biodiesel, POME, Renewable Energy, Esterification

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit membawa investasi besar dan memberikan kontribusi bagi pertumbuhan

ekonomi negara sebesar 3,50% terhadap total Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia [1]. Pada tahun 2022, luas lahan sawit di Indonesia mencapai 8,9 juta Ha dengan memproduksi lebih kurang 46,73

juta ton *Crude Palm Oil* (CPO) dengan jumlah ekspor CPO mencapai 33,21 juta ton dan market share global mencapai 55% [2][3][4]. Riau menempati posisi pertama produksi CPO dari 26 Provinsi penghasil di Indonesia sebesar 8,96 juta ton atau sekitar 19,55% dari total produksi dengan luas lahan perkebunan 2,86 juta Ha [5].

Minyak mentah kelapa sawit atau CPO merupakan produk utama yang dihasilkan dari proses pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) di Pabrik Kelapa Sawit (PKS). Proses Produksi CPO juga menghasilkan produk buangan berupa serabut (*fiber*), cangkang (*shell*), tandan kosong dan limbah cair atau *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Diantara produk buangan tersebut, POME dapat dihasilkan sebanyak 0,7-1 m³ setiap pengolahan 1 ton TBS [6]. POME yang dihasilkan dari proses pengolahan CPO mengandung gas metana (CH₄) yang apabila dibuang ke lingkungan dan terkumpul di atmosfer mampu memberikan dampak pemanasan global 25 kali lebih besar dibandingkan dengan Gas Karbondioksida (CO₂) [7]. Selain itu, POME juga dapat menjadi ancaman bagi lingkungan jika langsung dibuang ke sumber air karena mengandung zat berbahaya dan bahan kimia yang berasal dari proses pengolahan sehingga dapat mencemari air dan udara [8][9]. Dalam hal ini, perlunya upaya dalam memanfaatkan dan meminimalisir dampak yang ditimbulkan oleh POME menjadi produk yang berguna.

Teknologi Konversi Biomassa menjadi salah satu alternatif dalam mengelola POME secara berkelanjutan dan mengurangi Emisi GRK. Hal ini juga menjadi upaya pemerintah dalam peralihan energi fosil menjadi energi terbarukan dan sejalan dengan Kebijakan Energi Nasional (KEN). Pemerintah berusaha mencapai *Sustainable Development Goals* (SDG), terutama pada target nomor 7 yang menekankan pentingnya masyarakat memiliki akses yang andal, terjangkau, berkelanjutan, dan modern terhadap energi melalui kebijakan energi yang bersifat adil.

Beberapa PKS telah melakukan upaya terhadap limbah POME dalam mengurangi dampak lingkungan. Pada penelitian [10][11] dan [12] telah memanfaatkan POME sebagai biogas dengan metode *Anaerobic Digestion* (AD) dalam menangkap gas metana. Gas metana yang dihasilkan dikonversi menjadi biogas yang kemudian digunakan sebagai bahan bakar *engine* untuk menghasilkan listrik. Beberapa PKS lain juga telah melakukan penanganan terhadap limbah, seperti

memanfaatkan limbah sebagai pupuk, mengurangi kandungan minyak dan menjadikannya sebagai bahan baku biodiesel [13]. Selain itu, dilihat dari karakteristik POME yang dihasilkan oleh pabrik memiliki suhu 60-80°C, pH sekitar 3,3-4,6 dengan kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang tinggi dengan tekstur POME berupa cairan kental berwarna coklat yang didalamnya terdiri dari campuran total solid, minyak dan lemak [6]. Meskipun fraksi minyak pada POME berjumlah kecil, potensi akumulasi minyak limbah di kolam limbah pertama dapat mencapai 1,5-2 ton per hari untuk pabrik dengan kapasitas pengolahan TBS sebesar 400 ton per hari. Kandungan minyak dan lemak pada POME ini mengandung Asam Lemak Bebas (ALB) dan Trigliserida yang tidak larut dalam air. ALB dan Trigliserida yang dimiliki oleh POME ini merupakan sumber energi alternatif dalam proses transesterifikasi pembuatan biodiesel [14].

Biodiesel merupakan bahan bakar yang dihasilkan dari sumber-sumber nabati atau hewani yang dapat diperbaharui. Secara umum, proses produksinya melibatkan reaksi kimia yang disebut transesterifikasi seperti yang dilakukan oleh penelitian [15] dan [16] menggunakan bahan baku minyak jelantah. Sementara itu, POME memiliki kandungan ALB atau *Free Fatty Acid* (FFA) yang cukup tinggi sehingga tidak bisa dilakukan proses transesterifikasi langsung dalam menghasilkan biodiesel. Mengatasi hal tersebut, beberapa penelitian melakukan kajian terhadap kualitas POME sebagai biodiesel, penelitian [14] melakukan kajian mengenai pembuatan biodiesel menggunakan POME melalui proses esterifikasi asam sulfat dan transesterifikasi menggunakan katalis basa dengan tujuan menurunkan nilai FFA dan mendapatkan kualitas biodiesel yang sesuai dengan SNI. Pada penelitian [17], menggunakan katalis hidrotalsit pada reaksi esterifikasi dalam menurunkan nilai FFA POME dengan tujuan dapat mengidentifikasi sifat fisika dan kimia biodiesel yang dihasilkan. Penelitian [18] menggunakan Metode Adsorben dengan *zeolite* pada tahap esterifikasi dengan tujuan dapat menurunkan kadar FFA dari biodiesel POME. Sementara itu, penelitian [19] mengkaji mengenai pembuatan biodiesel POME dengan menggunakan metode transesterifikasi secara langsung oleh enzim *Thermomyces lanuginosus*.

Biodiesel yang memiliki potensi sebagai sumber energi alternatif sebagai pengganti bahan bakar solar telah dibahas oleh beberapa penelitian sebelumnya. Pada penelitian [20] membahas mengenai potensi

energi listrik dari biodiesel dengan menggunakan bahan baku biji karet melalui reaksi transesterifikasi non-katalis. Penelitian [21] juga menjelaskan bahwa biodiesel dapat dihasilkan dari enam jenis bahan baku yang memiliki potensi sebagai tambahan bahan bakar untuk motor diesel di Indonesia, meliputi minyak jelantah, kelapa sawit, kelapa, alga, jarak pagar, dan karet. Besarnya peluang biodiesel yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar menjadi solusi dari permasalahan yang dijelaskan pada penelitian [22], bahwa dengan metode *Life Cycle Assessment* diperoleh emisi GRK tertinggi pada siklus PKS disebabkan oleh penggunaan bahan bakar solar pada kendaraan. Oleh karena itu, biodiesel sebagai bahan bakar energi pengganti solar merupakan solusi yang tepat dalam mengurangi emisi dan lebih ramah lingkungan karena memiliki kandungan sulfur yang lebih rendah [23].

Berdasarkan hal yang sudah dijelaskan, secara keseluruhan penelitian sebelumnya telah membahas mengenai proses pembuatan biodiesel POME berdasarkan standar SNI. Penelitian dilakukan dalam skala kecil dan hanya berfokus sampai proses kimiawi saja. Oleh karena itu, paper ini akan membahas mengenai produksi biodiesel berbahan baku POME dalam skala pabrik kelapa sawit dengan menguji kualitas biodiesel menggunakan metode eksperimen melalui reaksi esterifikasi asam sulfat dan transesterifikasi katalis basa terhadap parameter FFA, densitas, kadar air dan viskositas berdasarkan Standar SNI. Perhitungan potensi biodiesel juga dilakukan dengan hasil yang didapatkan dari eksperimentasi. Selain itu, juga dilakukan perhitungan terhadap besaran potensi energi biodiesel yang akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar kendaraan mesin *colt diesel* serta analisa perbandingan emisi terhadap penggunaan bahan bakar biodiesel dan solar pada kendaraan.

Dari tujuan yang telah dijelaskan, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan kualitas biodiesel yang sesuai dengan Standar SNI 7182:2015 dan menghasilkan biodiesel yang dapat memenuhi kebutuhan bahan bakar kendaraan di PKS Sei Galuh sebagai objek penelitian. Hal ini juga dapat memberikan penurunan terhadap emisi lingkungan yang ditinjau berdasarkan parameter CO₂, NO_x dan HC. Selain itu, berdasarkan kajian yang dilakukan sejalan dengan besarnya potensi bahan baku pembuatan biodiesel yang berada di Indonesia juga menjadi salah satu faktor pendorong para peneliti dalam mengembangkan kajian mengenai biodiesel dan solusi dari permasalahan terkait POME pada PKS.

METODE

Pemilihan Lokasi Penelitian

Pemilihan lokasi kajian dilakukan di PKS Sei Galuh yang merupakan salah satu perusahaan milik PT Perkebunan Nusantara V yang berada di Provinsi Riau. PKS Sei Galuh mulai beroperasi sejak tahun 1996 dengan luas areal perkebunan sekitar 2.700 hektar. Rata-rata pengolahan TBS di PKS Sei Galuh 35 ton/jam dengan 18 hingga 20 jam produktif pengolahan. Dari proses tersebut, PKS dapat memproduksi limbah POME sebanyak 490 m³/hari.

Kondisi saat ini, POME yang dihasilkan dari proses pengolahan CPO dialirkan menuju Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan sistem *open pond* yang dimanfaatkan sebagai sumber pupuk dan air irigasi ke areal pertanaman kelapa sawit (*land application*). Hal tersebut memberikan dampak positif terhadap peningkatan unsur hara N dan P pada daun.

Adapun permasalahan yang timbul pada PKS Sei Galuh dijelaskan secara langsung berdasarkan wawancara bersama Bapak Juni P. Malau selaku Kepala Bagian Teknik PKS Sei Galuh bahwa, penggunaan limbah cair sebagai pupuk belum bisa sepenuhnya menggantikan keberadaan pupuk anorganik dan apabila aliran limbah keluar dari *bed line* akan memberikan dampak terhadap air sumur penduduk sekitar, karena memiliki pH yang rendah dan tidak memenuhi baku mutu standar sebagai air minum. Permasalahan lain yang ditimbulkan dari IPAL POME yaitu terjadinya pelepasan gas metana dari *pond* yang dapat menyebabkan terjadinya Efek Gas Rumah Kaca (GRK). Sementara itu, Konversi POME menjadi Energi Biogas di PKS Sei Galuh tidak mumpuni dikarenakan proses pabrik yang tidak kontinyu dapat menyebabkan penyusutan pada kolam *anaerobic* sehingga gas metana yang ditangkap tidak optimal dan memberikan pengeluaran yang besar terhadap perawatan *bed reactor*.

Tingginya jumlah produksi TBS pada PKS Sei Galuh mencapai 700 ton/hari sebanding dengan melimpahnya jumlah POME yang dihasilkan, sehingga POME berpotensi sebagai bahan bakar alternatif biodiesel dalam mengurangi pencemaran udara akibat penggunaan solar pada kendaraan di PKS Sei Galuh. Sampel limbah cair kelapa sawit yang digunakan berasal dari *inlet* pabrik pada tahun 2023 dan proses penelitian biodiesel dilakukan di Laboratorium Dasar Teknik Kimia dan Laboratorium Bioproses Universitas Riau.

Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, data yang digunakan sebagian besar merupakan data primer dengan hasil eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Bioproses Universitas Riau dengan menggunakan sampel limbah cair kelapa sawit yang berasal dari *inlet* PKS Sei Galuh tahun 2023. Sementara itu, data sekunder yang digunakan berasal dari wawancara secara langsung dengan pihak PKS Sei Galuh dan beberapa data didapatkan dari jurnal yang terkait dengan penelitian.

Tabel 1. Data Limbah POME di PKS Sei Galuh

Tahun	Bulan	Produksi TBS (Ton/hari)	POME (m ³ /hari)
2022	Jan-Apr	630	352
	Mei-Juli	560	275
	Agust-Des	700	490

Tabel 1 menunjukkan jumlah data limbah cair kelapa sawit PKS Sei Galuh selama periode tahun 2022. Berdasarkan data pada tahun 2022 produksi TBS pada awal bulan januari hingga akhir tahun mengalami fluktuatif. Dimana produksi TBS tertinggi berada pada periode bulan agustus hingga desember yaitu 700 ton/hari, hal tersebut sejalan dengan tingginya jumlah limbah cair kelapa sawit yang di produksi. Data jumlah produksi TBS tertinggi digunakan dalam menghitung potensi biodiesel dari limbah cair kelapa sawit di PKS Sei Galuh dengan menggunakan sampel limbah sebanyak 5 liter.

Tabel 2. Data Faktor Emisi Kendaraan

Parameter	Faktor Emisi	
	Solar	Biodiesel
CO ₂ (kgCO ₂ eq/l)	3,14	2,5
NO _x (g/km)	0,4	0,2
HC (g/km)	0,5	0,3

Tabel 2 merupakan nilai faktor emisi bahan bakar solar dan biodiesel untuk menghitung emisi kendaraan di PKS Sei Galuh tahun 2022 dengan jenis kendaraan truk *colt diesel* kapasitas muatan 6 - 8 ton sebanyak 23 unit.

Tabel 3. Spesifikasi Mesin Kendaraan

Spesifikasi	Keterangan
Model	FE SHDX
Daya maksimum (PS/rpm)	136/2.900
Kecepatan maksimum (km/h)	105
Mesin	Diesel
Bahan bakar/kapasitas (L)	Solar/100
Konsumsi bahan bakar (L/km)	0,2
Efisiensi kerja mesin (%)	55

Tabel 3 di atas menunjukkan spesifikasi mesin kendaraan yang digunakan di PKS Sei Galuh sebagai alat pengangkutan TBS dari kebun menuju PKS. Data ini digunakan untuk menghitung total energi bahan bakar yang dapat dihasilkan di PKS Sei Galuh serta menghitung konsumsi bahan bakar pada kendaraan yang digunakan di PKS Sei Galuh.

Tabel 4. Nilai Karakteristik Biodiesel

Parameter	Keterangan
<i>Free Fatty Acid</i> (%FFA)	>2
Angka Asam (mg-KOH/g)	0,5
Densitas (kg/m ³)	850 – 890
Kadar air (% -volume, maks)	0,05
Viskositas (Cst)	2,3 – 6,0
<i>Low Heating Value</i> Biodiesel (MJ/Kg)	35

Tabel 4 menunjukkan data yang digunakan sebagai standar kualitas biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015 [24]. Parameter yang digunakan pada penelitian ini berupa FFA, densitas, kadar air dan viskositas yang dihitung sesuai dengan prosedur yang terdapat pada SNI 7182:2015. Nilai karakteristik biodiesel ini digunakan dalam menentukan kualitas biodiesel dari limbah cair kelapa sawit dan menghitung nilai energi yang terkandung pada biodiesel.

Proses Konversi *Palm Oil Mill Effluent* (POME) Menjadi Biodiesel

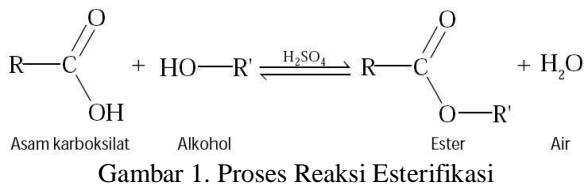
Pembuatan minyak biodiesel dari limbah cair kelapa sawit ini dilakukan dengan metode eksperimen di laboratorium. Penelitian ini berdasarkan jurnal terkait [14] melalui esterifikasi asam sulfat dan transesterifikasi menggunakan katalis basa. Adapun langkah-langkah eksperimen biodiesel berbahan baku limbah cair kelapa sawit sebagai berikut.

Penentuan Metode Proses

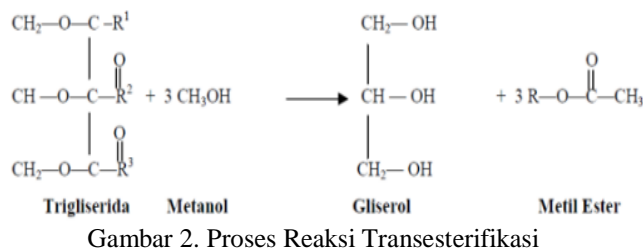
Penelitian ini menggunakan metode eksperimental melalui proses kimia esterifikasi dan transesterifikasi. Esterifikasi merupakan suatu reaksi dari asam karboksilat dan alkohol yang kemudian dapat membentuk ester seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Esterifikasi bertujuan agar kadar asam lemak bebas yang terkandung di dalam minyak dapat berkurang dengan syarat nilai kadar (<5 mg/g KOH) sehingga proses transesterifikasi untuk memproduksi biodiesel dapat dilakukan.

Reaksi transesterifikasi merupakan suatu reaksi pemisahan *fatty acid* dari gliserol menjadi *fatty acid ester* dan gliserol bebas. Reaksi transesterifikasi dapat menghasilkan metil ester asam lemak atau

biasa dikenal dengan biodiesel seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Transesterifikasi juga dapat mengubah sifat-sifat minyak sehingga dapat digunakan sebagai sumber energi bahan bakar. Berdasarkan nilai kadar asam lemak bebas yang tinggi dalam kandungan minyak dari bahan baku limbah cair kelapa sawit, pemilihan metode ini merupakan pilihan yang tepat untuk menghasilkan produk biodiesel.



Esterifikasi dilakukan dengan penambahan asam sulfat karena mudah didapatkan dan memiliki kemurnian yang tinggi sehingga proses reaksi dapat berlangsung dengan cepat [25]. Sementara itu, transesterifikasi dilakukan dengan penambahan katalis basa atau alkali seperti natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH).



Pemilihan Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan alat yaitu gelas beaker, corong pemisah, hot plate, magnetic stirrer, kondensor destilasi, erlenmeyer, neraca analitik, reaktor, gelas piala, pipet tetes, buret, labu leher dua, aluminium foil, piknometer, cawan porselin. Sedangkan untuk bahan yang digunakan yaitu limbah cair kelapa sawit (POME), n-heksana, H₂SO₄ (asam sulfat), ethanol, metanol, indikator PP, KOH, NaOH.

Proses Pengolahan Bahan Dasar Menjadi Biodiesel

Proses produksi biodiesel dari POME yang dilakukan di Laboratorium terdiri dari tiga tahapan yaitu tahap ekstraksi, esterifikasi dan transesterifikasi. Proses pengolahan sebagai berikut.

Tahap Ekstraksi

POME dan heksana dicampur ke dalam gelas beaker dengan perbandingan (1:1), Masukkan magnetic stirrer kedalam gelas beaker dan aduk di atas

hotplate pada kecepatan 300-400 rpm selama ± 2 jam, setelah pengadukan selesai, larutan dipindahkan ke dalam corong pemisah dan didiamkan selama ± 3 hari hingga terjadi pemisahan. Setelah terjadi pemisahan selama ± 3 hari, kotoran-kotoran POME yang terbentuk pada lapisan bawah larutan dibuang dan lapisan atas berupa campuran air, heksana dan minyak dimasukkan ke dalam labu leher dua untuk dilakukan destilasi. Proses destilasi dilakukan dengan rangkaian kondensor destilasi pada suhu 80-100 °C. Apabila destilat sudah tidak ada yang menetes lagi pada erlenmeyer, maka proses destilasi dinyatakan selesai. Pada tahap ini, minyak yang dihasilkan dilakukan pengujian terhadap parameter FFA dan densitas.

Tahap Esterifikasi

Minyak hasil destilasi sebanyak 100 ml dimasukkan ke dalam gelas reactor, Kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer di atas hotplate dengan kecepatan sedang hingga mencapai suhu 60°C. Asam Sulfat (H₂SO₄) sebanyak 1,55% dari berat minyak dicampurkan dengan metanol sebanyak 167 ml di dalam gelas beaker lainnya sebagai katalis. Setelah minyak mencapai suhu 60 °C, katalis yang telah dilarutkan dimasukkan ke dalam reaktor secara perlahan, kemudian reaktor ditutup secara rapat hingga terjadi proses batch. Pengadukan dilakukan selama ± 2 jam dan kecepatan agitasi magnetic stirrer diatur dengan kecepatan sedang pada suhu konstan 60 °C. Setelah ± 2 jam, hasil reaksi di dalam reaktor dimasukkan ke dalam corong pemisah dan didiamkan selama ± 1 hari, Produk metanol dan minyak yang terbentuk selama ± 1 hari dipisahkan di dalam wadah berbeda. Hasil minyak yang didapatkan kemudian dilakukan destilasi untuk menghilangkan zat-zat sisa yang tidak digunakan untuk proses selanjutnya. Pada tahap ini, minyak yang dihasilkan dilakukan pengujian terhadap parameter FFA.

Tahap Transesterifikasi

Minyak hasil esterifikasi sebanyak 70 ml dimasukkan ke dalam gelas reaktor dan diaduk dengan kecepatan rendah menggunakan magnetic stirrer hingga mencapai suhu 60 °C. Pada wadah terpisah katalis NaOH sebanyak 1,5% dari volume minyak dicampurkan dengan metanol sebanyak 35% dari volume minyak hingga larut. Setelah minyak di dalam gelas reaktor mencapai suhu 60°C campurkan perlahan katalis ke dalam gelas reaktor kemudian tutup rapat. Pencampuran dilakukan selama ± 1 jam dengan suhu konstan pada 60°C dan kecepatan pengadukan sedang. Setelah selesai, larutan yang telah tercampur dimasukkan kedalam corong

pemisah dan didiamkan selama ± 1 jam sampai terjadi pemisahan. Setelah itu, metanol dipindahkan pada wadah berbeda dan diukur volumenya. Sementara itu minyak biodiesel yang masih berada di corong pemisah dilakukan pencucian menggunakan aquades yang telah dipanaskan. Setelah pencucian selesai, biodiesel atau metil ester yang dihasilkan lalu dipanaskan hingga air yang tersisa teruap secara optimal. Hasil akhir minyak pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap parameter FFA, densitas, kadar air dan viskositas.

Verifikasi Hasil Biodiesel Palm Oil Mill Effluent

Minyak hasil pengolahan dilakukan pengujian terhadap parameter yang akan dianalisa pada setiap proses reaksi. Adapun perhitungan berdasarkan standar pada tabel 4 dengan menggunakan rumus matematis sesuai SNI biodiesel sebagai berikut [24].

Free Fatty Acid (FFA) dan Angka Asam

Perhitungan FFA dilakukan menggunakan titrasi KOH 0,08N, alkohol dan indikator PP dengan persamaan (1)-(2).

$$FFA = \frac{V \cdot N \cdot Mr \text{ Asam lemak (256)}}{W \cdot 1000} \cdot 100 \quad (1)$$

$$\text{Angka asam} = \frac{\%FFA \cdot Mr \text{ KOH (56)}}{\frac{Mr \text{ Asam Lemak}}{10}} \quad (2)$$

Dimana:

- V = Volume titrasi KOH (ml)
- N = Normalitas titrasi (0,08 KOH)
- W = Berat sampel uji coba (g)
- $\%FFA$ = Kadar asam lemak bebas

Densitas

Perhitungan densitas dilakukan menggunakan 10 ml sampel pada piknometer dengan neraca analitik dengan persamaan (3).

$$\text{Densitas} = \frac{m}{v} \quad (3)$$

Dimana:

- m = Selisih massa sebelum dan sesudah diisi Sampel (g)
- v = Massa sampel (ml)

Kadar Air

Kadar air dihitung pada cawan porselin pada neraca analitik dengan persamaan (4).

$$\text{kadar air} = \frac{m}{v} \cdot 100 \quad (4)$$

Viskositas

Perhitungan nilai viskositas dilakukan menggunakan viskometer dengan persamaan (5).

$$\mu = \mu_0 \frac{T \cdot \rho}{T_0 \cdot \rho_0} \quad (5)$$

Dimana:

- μ = Viskositas (Cst)
- μ_0 = Viskositas Cairan Pembanding
- T = Waktu Aliran Cairan Sampel
- T_0 = Waktu Aliran Cairan Pembanding
- ρ = Massa Jenis Cairan Sampel
- ρ_0 = Massa Jenis Cairan Pembanding

Perhitungan Potensi Biodiesel

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, diperoleh jumlah volume biodiesel dengan menggunakan sampel limbah sebanyak 5 liter. Jumlah data limbah cair yang digunakan pada penelitian ini untuk menghitung potensi biodiesel yaitu menggunakan data rata-rata di PKS Sei Galuh pada tahun 2022 yaitu sebanyak 490 m³/hari. Adapun perhitungan potensi biodiesel menggunakan rumus matematis (6).

$$N = W_{biodiesel} \cdot \dot{m} \quad (6)$$

Dimana:

- N = Jumlah biodiesel dari POME (ml)
- W_b = Berat metil ester (biodiesel) yang dihasilkan (ml)
- \dot{m} = Volumetric flow POME (ml)

Perhitungan Energi Biodiesel

Setelah diperoleh potensi biodiesel POME, selanjutnya pada perhitungan ini dapat diketahui nilai energi yang dihasilkan dari biodiesel terhadap mesin diesel.

Perhitungan Energi Biodiesel

Untuk menghitung nilai energi pada biodiesel terlebih dahulu mencari laju aliran massa bahan bakar dengan mengetahui nilai densitas biodiesel dan laju aliran volume biodiesel dengan rumus sebagai berikut.

$$m = \rho \cdot V \quad (7)$$

Dimana:

- m = Laju aliran massa bahan bakar (kg/s)
- ρ = Densitas (kg/m³)
- V = Laju aliran volume (m³/s)

Laju aliran massa bahan bakar yang diperoleh dapat digunakan dalam menghitung nilai kalor dengan konstanta LHV biodiesel yaitu 35 MJ/kg, maka rumus perhitungan kalor sebagai (8).

$$Q = m \cdot LHV \tag{8}$$

Dimana:

Q = Nilai kalor (J)

LHV = Kandungan nilai kalor bahan bakar (J/kg)

Dengan diperolehnya nilai kalor dari biodiesel maka dapat dihitung nilai energi dari biodiesel dengan perkalian efisiensi mesin *colt diesel* 136 PS yaitu 55% [26].

Perhitungan Waktu Operasional

Pada perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh kinerja mesin diesel terhadap kemampuan jarak tempuh dan waktu operasional mesin dengan menggunakan parameter *volumetric flow* per hari, jumlah konsumsi bahan bakar mesin dan kecepatan maksimum mesin. Sehingga dapat dihitung jumlah konsumsi bahan bakar pada kendaraan di PKS Sei Galuh. Adapun perhitungan jarak tempuh menggunakan rumus (9).

$$VT = \frac{\text{volumetric flow (l)}}{\text{konsumsi bahan bakar } (\frac{l}{km})} \tag{9}$$

Dimana:

VT = Kemampuan jarak tempuh mesin (km)

Dengan hasil kemampuan jarak tempuh mesin dan kecepatan mesin 105 km/jam, maka dapat dihitung waktu operasi mesin dengan rumus (10).

$$t = \frac{VT}{\text{kecepatan maksimum } (\frac{km}{hour})} \tag{10}$$

Dimana:

t = Waktu operasi (h)

Perhitungan Emisi biodiesel

Perhitungan emisi pada kendaraan dihitung berdasarkan standar IPCC 2006 dengan menggunakan parameter jumlah konsumsi bahan bakar kendaraan dan jarak tempuh selama sehari operasional menggunakan rumus matematis sebagai berikut [27]:

$$E = N \times EF \times K \tag{11}$$

Dimana:

E = Total Emisi

N = Jumlah Kendaraan

EF = Faktor Emisi GRK

K = Jumlah Konsumsi Bahan Bakar Atau Jarak Tempuh

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Biodiesel POME

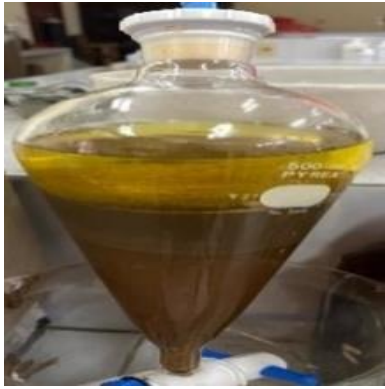
Hasil eksperimen biodiesel POME yang dilakukan melalui reaksi esterifikasi dan transesterifikasi sebagai berikut.

Analisis Hasil Proses Ekstraksi Biodiesel dari POME

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Universitas Riau selama ± 2 minggu dengan menggunakan sampel limbah cair kelapa sawit yang berasal dari PKS Sei Galuh milik PTPN V. Sampel yang digunakan diambil dari *inlet* kolam pertama sehingga zat-zat pengotor dan senyawa-senyawa lainnya masih terdapat di dalam limbah tersebut, sehingga diperlukannya perlakuan untuk memisahkan zat-zat serta senyawa yang tidak diperlukan pada pembuatan biodiesel.

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya oleh [14], untuk memisahkan minyak, zat serta senyawa-senyawa yang terdapat di dalam limbah cair kelapa sawit menggunakan metode ekstraksi pada tahap preparasi. Ekstraksi dilakukan dengan menggunakan pelarut heksana. Heksana merupakan pelarut non-polar yang tidak larut dalam air sehingga lemak, minyak dan beberapa senyawa hidrokarbon lainnya cocok dilarutkan dalam pelarut non-polar [28]. Selain itu, pelarut heksana biasa digunakan di Laboratorium sebagai pemisah dan pencucian larutan dari zat-zat pengotor atau senyawa-senyawa yang tidak larut dalam air sehingga cocok digunakan pada tahap ekstraksi pembuatan biodiesel.

Tahap ekstraksi berlangsung selama ± 3 hari dengan mencampurkan limbah sebanyak 5 liter dan larutan n-heksana dengan perbandingan (1:1). Pada tahap ini larutan yang telah tercampur pada gelas *beaker* diaduk menggunakan di atas *hot plate* dengan kecepatan antara 300-500 rpm selama ± 2 jam dengan tujuan menghomogenkan larutan agar minyak yang terlarut dalam larutan semakin banyak. Setelah pengadukan selesai dilakukan, larutan dipindahkan ke dalam corong pemisah dan didiamkan selama ± 3 hari sehingga terbentuk beberapa lapisan seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Tahap Ekstraksi Bahan Baku Awal

Gambar 3 terlihat bahwa terdapat beberapa lapisan hasil dari proses ekstraksi dengan larutan n-heksana. Lapisan atas merupakan minyak yang terlarut dalam solven. Lapisan kedua dan ketiga merupakan zat-zat pengotor yang terdapat pada limbah hasil produksi TBS di pabrik Sei Galuh yang tidak diperlukan dalam pembuatan biodiesel. Lapisan atas tersebut dipindahkan ke dalam wadah berbeda untuk tahap destilasi.

Destilasi dilakukan dengan tujuan *merecovery* heksana dan air yang masih terdapat di dalam minyak. Destilasi dilakukan pada suhu 80-100°C hingga tidak ada lagi yang menetes pada *erlenmeyer*. Analisa yang dilakukan pada tahap ekstraksi yaitu nilai FFA, angka asam dan densitas. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Tahap Ekstraksi Biodiesel

Proses	Parameter Uji		
	FFA	AA	Densitas
Ekstraksi	6,58 %	14,9 mg/KOH	0,9011 g/ml

Pengujian kadar FFA pada tahap ekstraksi menggunakan sampel minyak sebanyak 10 ml dilakukan dengan titrasi KOH dengan konsentrasi 0,08 dan etanol murni. Angka asam limbah cair pada tahap awal dibandingkan dengan penelitian [14] lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh beberapa kondisi seperti durasi penyimpanan yang cukup lama dan suhu penyimpanan bahan baku yang tinggi menyebabkan meningkatnya kadar asam lemak.

Selain itu, kadar air yang terkandung dalam minyak dalam jumlah yang cukup banyak dapat meningkatkan angka asam pada minyak. Peningkatan kandungan air ini terjadi pada saat proses pembuahan dan akibat perlakuan di pabrik serta penimbunan [29]. Berdasarkan Tabel 5, nilai angka asam pada minyak masih belum sesuai digunakan untuk bahan baku transesterifikasi karena

masih >2% atau >5 mg/KOH sehingga diperlukan reaksi dua tahap [30]. Penurunan angka asam dilakukan pada biodiesel untuk mencegah kerak maupun kotoran serta sifat korosif pada mesin pembakaran.

Pada tahap ekstraksi nilai densitas minyak masih tinggi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5 sehingga belum sesuai dengan standar biodiesel. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [31], tingginya nilai densitas pada minyak disebabkan oleh pencucian dan pemurnian yang kurang sempurna. Nilai densitas yang tinggi dapat mempengaruhi peningkatan konsumsi bahan bakar.

Analisis Hasil Reaksi Esterifikasi Biodiesel Dari POME

Asam lemak yang tinggi pada minyak harus diturunkan terlebih dahulu sebelum melakukan transesterifikasi. Penurunan kadar asam lemak dilakukan dengan esterifikasi berdasarkan hasil pengujian pada tabel 5. Tujuan dari proses esterifikasi yaitu agar proses transesterifikasi dapat berjalan secara optimal. Apabila asam lemak yang tinggi ditambahkan dengan katalis basa maka akan terjadi penyabunan sehingga berdampak pada kualitas biodiesel.

Tabel 6. Hasil Pengujian Tahap Esterifikasi Biodiesel

Proses	Parameter Uji	
	FFA	AA
Esterifikasi	0,69 %	1,5 mg/KOH

Berdasarkan Tabel 6, data FFA atau asam lemak pada tahap esterifikasi mengalami penurunan nilai dengan penambahan katalis asam sulfat sebanyak 1,5% dari berat volume minyak dan metanol sebanyak 334 ml. Rasio katalis asam sulfat dan metanol digunakan berdasarkan penelitian [14] dengan hasil angka asam yang paling optimum. Dibandingkan dengan penelitian [14], angka asam pada penelitian ini lebih tinggi. Angka asam sangat berpengaruh dari penambahan jumlah katalis. Semakin banyak katalis yang diberikan maka akan semakin rendah angka asam.

Berdasarkan penelitian [13], mengatakan bahwa penurunan angka asam tidak selalu sebanding dengan konversi FFA, melainkan terdapat konsentrasi optimum sebagai katalis esterifikasi sehingga pada penelitian [14] dengan penambahan katalis yang lebih banyak menghasilkan angka asam yang kembali tinggi karena melewati batas optimum katalis. Pada proses esterifikasi penelitian ini jumlah katalis telah berada pada nilai optimum dan kadar

asam lemak pada minyak telah dapat digunakan untuk proses transesterifikasi.

Analisis Hasil Reaksi Transesterifikasi Biodiesel dari POME

Setelah proses esterifikasi dan nilai FFA telah memenuhi syarat untuk proses transesterifikasi, maka diperoleh hasil dari proses transesterifikasi pada Tabel 7. Proses transesterifikasi merupakan proses akhir dari pembuatan biodiesel. Proses transesterifikasi dilakukan dengan penambahan katalis basa yaitu NaOH sebanyak 1,5% dan metanol sebanyak 35% dari berat volume minyak. Pada proses transesterifikasi terjadi proses konversi trigliserida yang terdapat pada limbah menjadi metil ester atau yang dikenal sebagai biodiesel. Hasil pengujian proses transesterifikasi ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Pengujian Tahap Transesterifikasi Biodiesel

Proses	Parameter Uji				Viskositas
	FFA	AA	Densitas	Kadar air	
Transesterifikasi	0,26%	0,57 mg/KOH	0,871 g/ml	0,062%	2,13 Cst

Pencampuran katalis basa serta metanol dengan minyak pada proses transesterifikasi ditunjukkan pada Gambar 4.



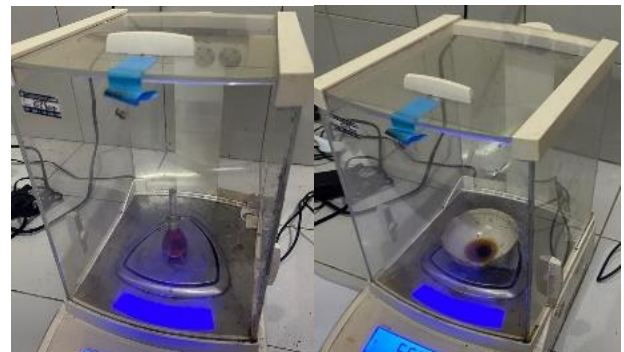
Gambar 4. Proses Transesterifikasi Dengan Penambahan Katalis Naoh dan Metanol

Hasil dari transesterifikasi yaitu biodiesel dan gliserol sebagai produk samping. Berdasarkan proses transesterifikasi terhadap angka asam dan kadar FFA pada minyak mengalami penurunan sebanyak 60%. Hasil ini berbeda dengan yang didapatkan oleh [14], hal ini terjadi karena pada penelitian ini nilai asam lemak bebas pada reaksi esterifikasi lebih tinggi dikarenakan proses

pengadukan yang belum optimum. Sementara itu, pada penelitian [18] dengan bahan baku yang sama memiliki nilai asam lemak yang cukup tinggi yaitu sebesar 9% dengan Metode Adsorben Zeolite teraktivasi.

Perbedaan penurunan angka asam dan FFA ini juga dipengaruhi oleh waktu dan suhu pada saat pengadukan tahap esterifikasi dan transesterifikasi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh [32], suhu dan waktu yang optimal dengan rasio penambahan katalis yang sesuai akan membantu dalam menurunkan nilai asam lemak bebas dan FFA pada minyak.

Nilai densitas dan kadar air yang dihasilkan pada tahap transesterifikasi dihitung menggunakan neraca analitik seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Pengukuran densitas menggunakan neraca analitik

Berdasarkan hasil transesterifikasi nilai densitas yang diperoleh telah memenuhi standar SNI. Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, biodiesel memiliki nilai densitas yang lebih tinggi. Menurut penelitian [32] dan [33], jumlah katalis basa yang digunakan pada proses transesterifikasi menjadi faktor yang mempengaruhi nilai densitas minyak. Semakin banyak penambahan katalis maka densitas biodiesel akan semakin meningkat dikarenakan terjadinya penurunan panjang rantai karbon dan peningkatan jumlah ikatan rangkap pada asam lemak pada setiap penambahan katalis yang tidak optimal dari jumlah volume minyak sehingga minyak akan semakin tidak jenuh dan mengakibatkan peningkatan massa jenis tersebut.

Nilai densitas merupakan perbandingan dari suatu volume sampel dengan berat air pada volume dan suhu yang sama. Oleh karena itu, terlihat pada tabel 7 semakin rendah nilai densitas maka kandungan air yang terdapat di dalam minyak juga sedikit. Menurut [34] dan [33] jumlah air yang sedikit pada minyak

menunjukkan kualitas minyak yang baik. Nilai kadar air yang kecil juga membantu menurunkan asam lemak bebas pada proses hidrolisis hal ini juga terlihat bahwa nilai asam lemak yang dihasilkan sebanding dengan kadar air pada minyak. Pada penelitian ini proses pencucian dan pemurnian pada minyak dilakukan dengan baik sehingga kadar air yang terdapat pada minyak telah sesuai dengan standar SNI biodiesel.

Proses transesterifikasi mempengaruhi nilai viskositas. Berdasarkan hasil penelitian nilai viskositas yang didapatkan belum memenuhi standar SNI biodiesel dengan nilai yang lebih rendah yaitu 2,13 Cst. Menurut [35] semakin lama waktu reaksi pada proses transesterifikasi dapat menurunkan nilai viskositas. Sementara itu, jumlah katalis basa yang digunakan pada proses transesterifikasi juga mempengaruhi nilai viskositas biodiesel. Hal ini dapat dilihat pada penelitian [34], meningkatnya nilai viskositas seiring dengan bertambahnya jumlah katalis basa yang digunakan karena terjadi penyerapan air oleh katalis pada saat transesterifikasi.

Potensi Biodiesel dari POME

Hasil dari eksperimen yang telah dilakukan dengan menggunakan sampel limbah cair sebanyak 5 liter menghasilkan minyak biodiesel sebanyak 52 ml dengan persentase *yield* sebesar 74,28%. Hasil ini sesuai dengan penelitian [14] dengan nilai FFA yang optimum memiliki nilai *yield* sebesar 65-75%. Berdasarkan jumlah biodiesel yang diperoleh dari eksperimen, maka 1 liter limbah cair kelapa sawit menghasilkan biodiesel sebanyak 10,4 ml/L POME. Sehingga dengan jumlah limbah cair kelapa sawit di PKS Sei Galuh 490 m³/hari didapat potensi biodiesel pada Tabel 8 dengan menggunakan persamaan (6).

Tabel 8. Potensi Biodiesel POME di PKS Sei Galuh

Jumlah POME	Minyak hasil ekstraksi	Biodiesel yang dihasilkan
5 L (percobaan)	128 ml	52 ml
1 L (percobaan)	25,6 ml	10,4 ml
490.000 (potensi perhari)	12.544 L	5.096 L
14.700.000 (potensi perbulan)	376.320 L	152.880 L

Potensi biodiesel yang diperoleh dengan menggunakan katalis asam sulfat dan katalis basa sebanyak 1,5% dari berat volume minyak dapat menghasilkan biodiesel dengan jumlah perhari 5.096 L dan 152.880 L perbulan. Potensi biodiesel yang dimiliki oleh PKS Sei Galuh dari limbah cair

kelapa sawit cukup banyak dan kualitas biodiesel telah memenuhi standar SNI sehingga dapat digunakan pada mesin diesel dan pengganti bahan bakar alternatif pada mesin diesel.

Potensi Energi Bahan Bakar Biodiesel POME

Perhitungan potensi energi bahan bakar dari biodiesel ini untuk mengetahui nilai kalor dan energi dari biodiesel berbahan baku limbah cair kelapa sawit di PKS Sei Galuh. Perhitungan menggunakan rumus matematis (7) dan (8) dengan hasil yang ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 9. Potensi Energi Biodiesel POME

Parameter	Keterangan
<i>Volumetric flow</i> (m ³ /s)	5,898 x 10 ⁻⁵
Densitas (kg/m ³)	871
Laju aliran massa bahan bakar (kg/s)	5.137,158 x 10 ⁻⁵
Kandungan kalor biodiesel (MJ/kg)	35
Kalor (J)	1.798.005,3
Efisiensi kerja mesin colt diesel	55%
Energi (J)	988.902,91

Berdasarkan Tabel 9, dari nilai densitas dan *volumetric flow* biodiesel, maka nilai kalor yang diperoleh sebanyak 1,798,005.3 J dan energi 988.902,91 J. Berdasarkan hasil tersebut dengan menggunakan rumus (7) dan (8) diperoleh nilai energi yang tidak sama dengan nilai kalor yang diberikan. Hal ini terjadi karena perhitungan menggunakan sistem mesin carnot atau kalor yang dapat mengubah energi bahan bakar menjadi energi mekanik pada mesin. Sehingga selisih dari kalor yang diinputkan dengan energi yang dihasilkan berupa sisa panas yang dibuang ke lingkungan sebesar 809.102,39 J dari efisiensi kerja mesin sebanyak 55%.

Setelah memperoleh potensi energi biodiesel, maka untuk menghitung kemampuan biodiesel yang dihasilkan berdasarkan kemampuan jarak tempuh dan waktu operasional yang dilakukan oleh mesin *colt diesel* menggunakan rumus (9) dan (10) diperoleh hasil pada Tabel 10.

Tabel 10. Kinerja Mesin *Colt Diesel*

Parameter	Keterangan
<i>Volumetric flow</i> (l)	5.096
Konsumsi bahan bakar (l/km)	0,2
Kemampuan jarak tempuh mesin (km)	25.480
Waktu operasional (h)	243
Jarak tempuh kendaraan (km/day)	280
Pemakaian bahan bakar (L/day)	56

Pada tabel 10 menunjukkan bahwa dengan *volumetric flow* sebanyak 5.096 L mesin mampu memperoleh jarak tempuh sebesar 25.480 km, dengan jarak tempuh tersebut mesin dapat beroperasi selama 243 jam. Hal ini disesuaikan dengan spesifikasi mesin *colt diesel* yaitu konsumsi bahan bakar mesin 5 km/l atau 0,2 l/km. Berdasarkan kapasitas tempuh kendaraan di PKS Sei Galuh sejauh 280 km/hari, maka mengkonsumsi bahan bakar sebanyak 56 liter per unit sehingga total konsumsi bahan bakar kendaraan di PKS Sei Galuh sebanyak 1.288 L/hari untuk 23 unit truk.

Dari potensi biodiesel yang dihasilkan sebanyak 5.096 L/hari dan total konsumsi bahan bakar mesin sebanyak 1.288 L/hari dengan total jarak tempuh 6.440 km/hari, maka biodiesel yang masih tersisa sebanyak 3.808 L/hari. Biodiesel yang tersisa dapat digunakan untuk beberapa hari kedepan untuk kendaraan di PKS Sei Galuh. Namun, biodiesel juga dapat memberikan *income* terhadap perusahaan dengan kualitas biodiesel yang telah memenuhi nilai standar tersebut dapat di jual dengan harga yang telah ditetapkan oleh pemerintah [15].

Analisa GRK Terhadap Penggunaan Bahan Bakar Biodiesel POME dan Solar di PKS Sei Galuh

Hasil konsumsi bahan bakar kendaraan di PKS Sei Galuh dengan menggunakan biodiesel dan solar diperoleh perbandingan nilai emisi dengan menggunakan persamaan (11) ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Perbandingan Total Emisi Bahan Bakar Kendaraan Solar dan Biodiesel di PKS Sei Galuh

Parameter	Solar	Biodiesel
CO ₂	93.019,4 Kg/l	74.060 Kg/l
NO _x	59.248 g/km	29.624 g/km
HC	74.060 g/km	44.436 g/km

Dapat dilihat dari Tabel 11 bahwa penggunaan bahan bakar biodiesel secara keseluruhan memberikan penurunan terhadap emisi CO₂, NO_x dan HC. Perhitungan emisi dilakukan selama satu hari kendaraan beroperasi dengan total kendaraan 23 unit dan total jarak tempuh keseluruhan yaitu 6.440 km. Emisi CO₂ mengalami penurunan sebanyak 20,4% dengan peralihan bahan bakar biodiesel. Emisi gas CO₂ merupakan salah satu yang berkontribusi dalam peningkatan suhu bumi dan perubahan iklim secara signifikan. Selain itu, emisi CO₂ yang dilepaskan ke atmosfer dapat memberikan dampak negatif pada organisme laut karena gas CO₂

yang diserap oleh laut akan membentuk asam karbonat.

Emisi dari gas NO_x yang dihasilkan dari bahan bakar biodiesel dapat mengurangi emisi sebanyak 50% dari penggunaan solar sebelumnya. Gas NO_x merupakan gabungan dari NO (Monoksida Nitrogen) dan NO₂ (Dioksida Nitrogen) yang berkontribusi terhadap polusi udara dan membentuk kabut asap sehingga memiliki dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Perhitungan emisi NO_x dihitung berdasarkan jarak tempuh kendaraan di PKS Sei Galuh.

Sementara itu gas HC atau hidrokarbon dapat mengurangi emisi sebanyak 40% dari peralihan bahan bakar solar ke bahan bakar biodiesel. Meskipun dampaknya tidak sebesar gas rumah kaca utama seperti CO₂, emisi HC juga dapat berkontribusi terhadap pemanasan global melalui pembentukan ozon troposfer dan partikel aerosol. Hal tersebut dapat mengganggu kesehatan manusia, seperti iritasi pada mata, hidung dan tenggorokan dan beberapa jenis HC berpotensi karsinogenik dan dapat menyebabkan masalah kesehatan jangka panjang. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh [23] menyatakan bahwa bahan bakar alternatif yang sempurna untuk mesin diesel adalah biodiesel. Hal ini juga diperkuat oleh penelitian [36] bahwa emisi biodiesel 93% lebih rendah dibandingkan dengan solar konvensional.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimental dan diskusi pada penelitian biodiesel berbahan baku limbah cair kelapa sawit di PKS Sei Galuh, dapat disimpulkan dengan menggunakan Metode Eksperimental melalui reaksi esterifikasi asam sulfat dan transesterifikasi katalis basa dengan jumlah rata-rata limbah cair sebanyak 490 m³/hari mampu menghasilkan biodiesel sebanyak 52 ml/ 5 liter limbah cair yang digunakan sebagai sampel atau sebanyak 10,4 ml/ liter limbah cair. Kualitas biodiesel yang dihasilkan dengan parameter FFA 0,26%, angka asam 0,57 mg/KOH, densitas 0,871 g/ml telah memenuhi standar SNI biodiesel. Sementara itu, parameter kadar air 0,062% dan viskositas 2,13 Cst hampir memenuhi standar SNI.

Dengan jumlah potensi biodiesel yang diperoleh sebanyak 5.096 L/hari dan 152.880 l/bulan dapat memenuhi konsumsi bahan bakar kendaraan di PKS Sei Galuh sebanyak 1.288 L/hari untuk 23 unit truk

yang beroperasi dan total jarak tempuh sejauh 280 km/hari. Potensi energi yang dihasilkan dari biodiesel berbahan baku limbah cair sebesar 988.902,91 J dengan nilai kalor 1.798.005,3 J pada efisiensi mesin *colt diesel* 55%. Dari hasil peralihan penggunaan bahan bakar solar menjadi biodiesel dapat mengurangi emisi CO₂, NO_x dan HC secara berturut-turut sebanyak 20,4%, 50% dan 40% di PKS Sei Galuh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan Terima kasih kepada pihak pihak yang telah membantu di dalam penelitian ini, mulai dari bimbingan, saran, kritik dan support sehingga penelitian ini dapat diselesaikan secara lancar.

REFERENSI

- [1] F. Hidranto, "Industri Sawit Topang Pertumbuhan Ekonomi," *Indonesia.go.id*, 2021.
<https://www.indonesia.go.id/kategori/indonesia-dalam-angka/3247/industri-sawit-topang-pertumbuhan-ekonomi?lang=1?lang=1>.
- [2] G. P. K. S. Indonesia, "Kinerja Industri Minyak Sawit," *GAPKI*, 2023.
<https://gapki.id/news/2023/01/25/kinerja-industri-minyak-sawit-2022/> (accessed Sep. 07, 2023).
- [3] A. Mutia, "Produksi Minyak Sawit RI Capai 45,12 Juta Ton pada 2022, Ini Provinsi dengan Produksi Terbesar," *databoks.katadata*, 2022.
<https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/12/01/produksi-minyak-sawit-ri-capai-4512-juta-ton-pada-2022-ini-provinsi-dengan-produksi-terbesar#>
- [4] A. Arif, "Ekspor CPO Indonesia Diprediksi Turun 1 Juta Ton Tahun Ini," *Katadata.co.id*, 2022.
<https://katadata.co.id/tiakomalasari/berita/629dd5a901968/ekspor-cpo-indonesia-diprediksiturun-1-juta-ton-tahun-ini#:~:text=Gabungan%28Gapki%29> memprediksi ekspor, disebabkan cuaca ekstrem dan penurunan ekspor ke Rusia. (accessed Sep. 07, 2023).
- [5] M. A. Rizaty, "Riau Miliki Luas Perkebunan Kelapa Sawit Terluas pada 2021," *databoks*, 2022.
- [6] A. S. Rahayu *et al.*, "Buku Panduan Konversi POME Menjadi Biogas Pengembangan Proyek di Indonesia," *Winrock Int.*, p. 100, 2015, [Online]. Available: <https://www.winrock.org/wp-content/uploads/2016/05/CIRCLE-Handbook-INDO-compressed.pdf>
- [7] N. I. H. A. Aziz and M. M. Hanafiah, "Life cycle analysis of biogas production from anaerobic digestion of palm oil mill effluent," *Renew. Energy*, vol. 145, pp. 847–857, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.06.084.
- [8] Syamriati, "Kajian Dampak Industri Limbah Kelapa Sawit Terhadap Kualitas Perairan Sungai Budong-Budong Sulawesi Barat," Universitas Hasanuddin, 2021. [Online]. Available: [http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/15405/2/P032191002_tesis_bab 1-2.pdf](http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/15405/2/P032191002_tesis_bab%201-2.pdf)
- [9] N. J. Nmaduka, N. U. Obioma, A. C. Victor, O. C. Chukwudi, and O. C. Juliet, "Impact of Palm Oil Mill Effluent (POME) Contamination on Soil Enzyme Activities and Physicochemical Properties," *Res. J. Environ. Toxicol.*, vol. 12, no. 1, pp. 34–41, 2018, doi: 10.3923/rjet.2018.34.41.
- [10] W. Y. Irwansyah, Danial, and A. Hiendro, "Potensi pemanfaatan palm oil mill effluent (POME) sebagai bahan baku pembangkit listrik tenaga biogas (PLTBg) di PKS PT. Fajar Saudara Kusuma," *J. SI Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 2, no. 1, p. p8, 2018.
- [11] W. Wiharja, W. S. Winanti, P. Prasetyadi, and A. I. Sitomurni, "Produksi Biogas dari Limbah Cair Kelapa Sawit dengan Menggunakan Reaktor Unggun Tetap tanpa Proses Pretreatment," *J. Teknol. Lingkungan*, vol. 22, no. 1, pp. 078–084, 2021, doi: 10.29122/jtl.v22i1.3250.
- [12] Y. M. Alkusma, H. Hermawan, and H. Hadiyanto, "Pengembangan Potensi Energi Alternatif Dengan Pemanfaatan Limbah Cair Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan Di Kabupaten Kotawaringin Timur," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 14, no. 2, p. 96, 2016, doi: 10.14710/jil.14.2.96-102.
- [13] Abdullah, R. N. Rahmawati Sianipar, D. Ariyani, and I. F. Nata, "Conversion of palm oil sludge to biodiesel using alum and KOH as catalysts," *Sustain. Environ. Res.*, vol. 27, no. 6, pp. 291–295, 2017, doi: 10.1016/j.serj.2017.07.002.
- [14] S. Arita, M. Rifqi, T. Nugoroho, Tuty E. Agustina, and F. Hadiah, "Pembuatan biodiesel dari limbah cair kelapa sawit dengan variasi

- katalis asam sulfat pada proses esterifikasi,” *J. Tek. Kim.*, vol. 26, no. 1, pp. 1–11, 2020, doi: 10.36706/jtk.v26i1.54.
- [15] R. T. Setiadi and N. P. Miefthawati, “Potential analysis of used cooking oil as raw material for biodiesel production in pekanbaru city Analisis Potensi minyak jelantah sebagai bahan baku produksi biodiesel di kota pekanbaru,” vol. 3, no. June, pp. 70–79, 2023.
- [16] A. Mukminin, E. Megawati, D. Ariyani, I. K. Warsa, J. Monde, and S. Sapril, “Pengaruh Waktu Reaksi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Bantuan Katalis Bassa NaOH terhadap Sifat Fisika dan Kimia Produk Biodiesel,” *J. Educ.*, vol. 5, no. 2, pp. 5119–5127, 2023, doi: 10.31004/joe.v5i2.1250.
- [17] T. E. Agustina *et al.*, “Biodiesel Production of Palm Oil Mill Effluent by Using Hydrotalcite Catalyst,” *J. Ecol. Eng.*, vol. 23, no. 6, pp. 172–181, 2022, doi: 10.12911/22998993/148153.
- [18] D. Sarwanto, I. K. Nugraheni, N. Nuryati, A. A. BP, T. Triyono, and W. Trisunaryanti, “Preparasi Palm Oil Mill Effluent (Pome) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis Koh,” *J. Sains dan Terap. Kim.*, vol. 14, no. 2, p. 99, 2020, doi: 10.20527/jstk.v14i2.6902.
- [19] N. Rachmadona, M. Aznury, and C. Ogino, “Katalis Biodiesel Production From Palm Oil Mill Effluent By Using Thermomyces Lanuginosus Lipase As a Catalyst,” *J. Chem. Sci.*, no. November, pp. 29–33, 2017.
- [20] N. Afandi and N. P. Miefthawati, “Analisis Potensi Biodiesel dari Biji Karet Menjadi Energi Listrik Serta Konsumsi dan Biaya Bahan Bakar (Studi Kasus: Lahan 200 Desa Simpang Jonder, Kabupaten ...,” *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan ...*, vol. 9, no. 1, pp. 1–11, 2023, [Online]. Available: <https://ejournal.unp.ac.id/index.php/jtev/article/view/120723>
- [21] P. Kuncahyo, A. Z. M. Fathallah, and Semin, “Analisa Prediksi Potensi Bahan Baku Biodiesel Sebagai Suplemen Bahan Bakar Motor Diesel Di Indonesia,” *J. Tek. POMITS*, vol. 2, no. 1, pp. 545–555, 2013, [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/ALBICEE/lembar-observasi-siswa-50178674>
- [22] N. A. HAWARI, “Life Cycle Assessment (Lca) Untuk Rantai Pasok Agroindustri Perkebunan Kelapa Sawit,” Universitas Islam Negeri Sultan Sarif Kasim, 2021. [Online]. Available: <http://repository.uin-suska.ac.id/id/eprint/45659>
- [23] F. Liu, M. Shafique, and X. Luo, “Literature review on life cycle assessment of transportation alternative fuels,” *Environ. Technol. Innov.*, vol. 32, p. 103343, 2023, doi: 10.1016/j.eti.2023.103343.
- [24] Badan Standarisasi Nasional, “Standar Nasional Indonesia 7182:2015 Biodiesel,” Badan Standarisasi Nas., no. 1, pp. 1–88, 2015.
- [25] J. Van Gerpen, B. Shanks, R. Pruszek, D. Clements, and G. Knothe, *Biodiesel Production Technology*. National Renewable Energy Laboratory, 2004. [Online]. Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/36244.pdf>
- [26] T. Kegl, A. Kovač Kralj, M. Kegl, and B. Kegl, “Diesel engines,” *Green Energy Technol.*, pp. 5–27, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-54708-0_2.
- [27] “IPCC 2006.” https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/find_ef.php (accessed Jan. 03, 2024).
- [28] S. Utomo, “Pengaruh Konsentrasi Pelarut (n-HEKSANA) Terhadap Rendemen Hasil Ekstraksi Minyak Biji Alpukat Untuk Pembuatan Krim Pelembab Kulit,” *J. Konversi*, vol. 5, no. 1, p. 39, 2016, doi: 10.24853/konversi.5.1.39-47.
- [29] D. Nurfiqih, L. Hakim, and M. Muhammad, “Pengaruh Suhu, Persentase Air, Dan Lama Penyimpanan Terhadap Persentase Kenaikan Asam Lemak Bebas (Alb) Pada Crude Palm Oil (Cpo),” *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 10, no. 2, p. 1, 2021, doi: 10.29103/jtku.v10i2.4955.
- [30] A. S. Ramadhas, S. Jayaraj, and C. Muraleedharan, “Biodiesel production from high FFA rubber seed oil,” *Fuel*, vol. 84, no. 4, pp. 335–340, 2005, doi: 10.1016/j.fuel.2004.09.016.
- [31] Evy Setiawati and Fatmir Edwar, “Teknologi Pengolahan Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas Dengan Teknik Mikrofiltrasi Dan Transesterifikasi Sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel,” *Riset Industri*, vol. VINO 2, pp. 1–11, 2012.
- [32] A. Sartika, Nurhayati, and Muhdarina, “Esterifikasi Minyak Goreng Bekas dengan Katalis H₂SO₄ dan Transesterifikasi dengan Katalis CaO dari Cangkang Kerang Darah: Variasi Kondisi Esterifikasi,” *Jom Fmipa*, vol. 2, no. 1, pp. 178–185, 2015.
- [33] F. I. Darmawan, I. W. Susila, and H. Syamsidar, “Proses produksi biodiesel dengan metode dry-wash system,” *Teknosains Media Inf. Sains dan Teknol.*, vol. 2, no. 1, pp. 209–218, 2013, [Online]. Available: www.wartaekonomi.com/indicator

- [34] N. Suleman, Abas, and M. Paputungan, "Esterifikasi dan Transesterifikasi Stearin Sawit untuk Pembuatan Biodiesel," *J. Tek.*, vol. 17, no. 1, pp. 66–77, 2019, doi: 10.37031/jt.v17i1.54.
- [35] M. Busyairi, A. Z. Muttaqin, I. Meicahyanti, and S. Saryadi, "Potensi Minyak Jelantah Sebagai Biodiesel dan Pengaruh Katalis Serta Waktu Reaksi Terhadap Kualitas Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi," *J. Serambi Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 933–940, 2020, doi: 10.32672/jse.v5i2.1920.
- [36] S. Pleanjai, S. H. Gheewala, and S. Garivait, "Greenhouse gas emissions from production and use of used cooking oil methyl ester as transport fuel in Thailand," *J. Clean. Prod.*, vol. 17, no. 9, pp. 873–876, 2009, doi: 10.1016/j.jclepro.2009.01.007.