

KATALISIS ENZIM LIPASE AMOBIL DENGAN CRUDE PALM OIL DITINJAU DARI PENGARUH WAKTU REAKSI

Silmi Tsabita*, Martha Aznury, Muhammad Yerizam

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Srijaya Negara, Bukit Lama, Kec. Ilir Barat. I, Kota Palembang, Sumatera Selatan 30128.

*Email: silmitsabita999@gmail.com

Abstrak

Biodiesel adalah salah satu bahan bakar alternatif terbarukan yang dapat menggantikan solar. Bahan baku yang digunakan berasal dari minyak nabati atau hewani, diolah melalui proses fisika dan kimia dengan komposisi yang tepat, sehingga menghasilkan bahan bakar yang ramah lingkungan, khususnya menggunakan minyak kelapa sawit yang dikenal sebagai Crude Palm Oil (CPO). Proses sintesis biodiesel melibatkan dua tahap reaksi: pertama, esterifikasi untuk mengurangi Free Fatty Acid (Asam Lemak Bebas) menggunakan asam sulfat, dan kedua, transesterifikasi untuk membentuk biodiesel dengan alkohol dan katalis. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi biodiesel dari CPO menggunakan katalis enzim lipase yang diimobilisasi menggunakan resin kation dengan variasi katalis (1,5%-3,5%) dan melihat pengaruh waktu reaksi (6, 12, dan 18 jam), dan kecepatan pengadukan 350 rpm dalam stirred tank reactor. Yield tertinggi mencapai 89,8%, angka saponifikasi 112,21 mg KOH/g, angka iodin 71 g I₂/100 g, angka setana tertinggi 80, dan kadar titik nyala 109 °C. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa waktu reaksi dan konsentrasi katalis berpengaruh signifikan terhadap kualitas biodiesel yang dihasilkan, dengan biodiesel memenuhi Standar kualitas nasional. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi biodiesel yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui di Indonesia.

Kata kunci: Biodiesel, Crude Palm Oil (CPO), enzim lipase amobil

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi yang beragam, seperti minyak bumi, gas, batubara, panas bumi, dan air, yang diolah menjadi bahan bakar. Seiring pembangunan ekonomi, kebutuhan bahan bakar dalam negeri meningkat. Pengembangan bahan bakar terbarukan terus dilakukan untuk menghasilkan sumber energi yang ramah lingkungan, alternatif bagi bahan bakar konvensional yang terbatas dan merusak lingkungan (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2021). Biodiesel yang merupakan alternatif terbarukan untuk solar, diproduksi dari minyak nabati atau hewani melalui proses fisika dan kimia yang tepat. Biodiesel memiliki berbagai keunggulan, seperti dapat diperbarui, ramah lingkungan, rendah sulfur, dan pembakaran yang lebih bersih (Maulidan, dkk., 2020). Konsumsi biodiesel diperkirakan akan terus meningkat, namun pabrik biodiesel di Indonesia masih sedikit. Salah satu bahan baku yang dapat dikembangkan adalah Crude Palm Oil (CPO) (Dewi & Dewi., 2019).

Kandungan asam lemak bebas CPO yang tinggi, sekitar 3%-5%, harus diturunkan

sebelum pengolahan lebih lanjut untuk menghasilkan biodiesel dengan kandungan asam lemak bebas ≤ 2% (Saleh, N., 2022). Proses pembuatan biodiesel dari CPO melibatkan esterifikasi dan transesterifikasi. Esterifikasi menggunakan katalis asam sulfat, sedangkan transesterifikasi menggunakan katalis basa (KOH atau NaOH). Katalis homogen menghasilkan limbah beracun, sehingga dapat digantikan dengan katalis heterogen yang lebih ramah lingkungan (Setianingsih, dkk., 2018).

Transesterifikasi menghasilkan campuran alkil ester (biodiesel) dan gliserol. Namun, metode transesterifikasi kimia memiliki beberapa kelemahan, termasuk kebutuhan energi yang tinggi dan tantangan dalam mengelola kandungan asam lemak bebas yang tinggi. Sebaliknya, metode katalisis enzimatik memerlukan energi yang lebih rendah dan menghasilkan limbah yang lebih sedikit. (Aznury, dkk., 2022). Enzim yang digunakan yaitu enzim lipase sebagai biokatalis yang mengkatalisis reaksi seperti hidrolisis, esterifikasi, transferifikasi dan aminolisis. kurangnya kemampuan lipase cair untuk

digunakan dalam jangka panjang dapat diatasi dengan imobilisasi pada pembawa padat.

Imobilisasi enzim adalah teknik menggabungkan enzim dengan matriks padat sehingga dapat digunakan berulang kali, mengatasi masalah biaya tinggi, rendemen rendah, dan waktu reaksi tinggi (Manurung, 2014). Metode ini memungkinkan enzim digunakan berulang kali dalam proses biokonversi batch dan juga dalam biokonversi kontinu, tergantung pada stabilitas enzim. Penelitian menunjukkan bahwa ko-imobilisasi lipase lebih efisien dibandingkan penggunaan lipase individu (Ben, dkk., 2022). Imobilisasi enzim dilakukan dengan resin kation sehingga mampu mempertahankan aktivitas enzim dalam jangka panjang karena resin kation bersifat mempunyai retensi air sebesar 3% atau lebih sebagai *carrier* (pembawa) untuk mengikat lipase pada pembawa dan mengeringkan lipase yang terikat pada pembawa tersebut dan enzim dapat dipakai berulang. Tujuan penelitian ini yaitu meneliti pembuatan biodiesel dari minyak CPO menggunakan enzim lipase amobil dengan melihat pengaruh waktu reaksi dan aktivitas katalis enzim lipase terhadap karakteristik biodiesel yang dihasilkan.

2. METODOLOGI

Penelitian menggunakan berbagai bahan yang digunakan meliputi minyak CPO dari pabrik minyak sawit, enzim lipase (eversa transform 2.0), CH₃OH (NGI Chemical), aquadest (puma), resin kation (flotrol s+), H₂SO₄ (merck), buffer fospat pH 7 (muda berkah), Na₂S₂O₃ (merck), wijs solution (merck), C₆H₁₀O₅ (nitra kimia), CHCl₃ (smart lab), dan NaCl (merck), C₂₀H₁₄O₄ (rofa). Alat laboratorium seperti Erlenmeyer (iwaki), gelas kimia (pyrex), neraca analitik (radwag), stirrer, pipet (pyrex), piknometer (duran), labu takar (pyrex), kaca arloji (pyrex), spatula (pyrex), viskometer (*brookfield*), dan stirred tank reactor (HY-4C Cycling Vibrator).

2.1 Tahap Imobilisasi Enzim Dengan Resin Kation

Aktivasi resin kation dilakukan dengan tujuan untuk membuka struktur resin dan membuatnya siap untuk mengikat enzim. Aktivasi resin kation dilakukan dengan merendam resin dalam larutan NaCl kemudian bilas ulang resin sampai pH air normal. Imobilisasi Enzim dilakukan dengan cara melarutkan enzim lipase dalam *buffer fosfat*

ph 7 dengan perbandingan 1:9 kemudian mencampurnya dengan resin kation yang telah diaktivasi dengan perbandingan 1:1. Dilakukan pengadukan dengan kecepatan 500 rpm dan diinkubasi pada suhu 30 °C selama 24 jam. Kemudian enzim yang telah terimobilisasi disaring dan dikeringkan didalam inkubasi pada suhu 32°C dan simpan enzim lipase amobil pada suhu 4°C.

2.2 Tahap Sintesa Biodiesel

2.2.1 Tahap Esterifikasi

Reaksi esterifikasi digunakan untuk mengurangi jumlah asam lemak bebas dalam CPO dilakukan dengan menimbang CPO 100 gram kemudian dimasukkan dalam beaker glass, dipanaskan dengan hot plate sampai temperatur 105°C. Tambahkan larutan metanol 15% dan H₂SO₄ 1% dari berat minyak secara perlahan-lahan, tuangkan dalam corong pisah untuk melakukan proses pencucian menggunakan air hangat, lalu biarkan sejenak hingga terbentuk lapisan air di bagian bawah. Setelah itu, lapisan air tersebut dibuang dan proses pencucian dilakukan setidaknya tiga kali, agar saat proses transesterifikasi tidak terganggu. Kemudian minyak dikeluarkan dan dipanaskan sampai kandungan air dan metanol menguap.

2.2.2 Tahap Transesterifikasi

Minyak dengan kadar Asam Lemak Bebas (ALB) <2% dilanjutkan dengan tahap transesterifikasi dilakukan dengan cara mencampurkan minyak *Crude Palm Oil* (CPO) dengan metanol rasio mol minyak terhadap metanol sebesar 1:5 pengadukan 350 rpm pada suhu 30°C dengan variasi katalis enzim sebesar 1.5%, 2%, 2.5%, 3%, dan 3.5% terhadap waktu reaksi 6 jam, 12 jam dan 18 jam. Hasil produk kemudian dipisahkan dari enzim dan gliserol. Selanjutnya dilakukan analisa karakteristik biodiesel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil produk biodiesel diperoleh dengan variabel konsentrasi enzim terimobilisasi 1.5%, 2%, 2.5%, 3%, 3.5% dan waktu reaksi 6, 12, serta 18 jam pada suhu 30°C, menggunakan rasio minyak:metanol 1:5.

**Gambar 1. Biodiesel**

Biodiesel yang dihasilkan akan dibandingkan dengan standar nasional Indonesia (SNI 7182:2015) mengenai biodiesel. Proses pembuatan biodiesel dari *Crude Palm Oil* (CPO) menggunakan katalis enzim lipase amobil dilakukan melalui transesterifikasi trigliserida dengan alkohol.

**Gambar 2. Proses sintesa biodiesel**

Proses diawali dengan analisis mutu CPO, menunjukkan kadar pengotor memenuhi standar. Namun, karena kadar asam lemak bebas yang tinggi, dilakukan proses esterifikasi dengan katalis asam untuk mengurangi jumlah asam lemak bebas tersebut. Diikuti oleh transesterifikasi dengan enzim lipase amobil. Langkah utama sebelum imobilisasi enzim adalah mengaktifkan resin kation dilakukan dengan *backwash* 30 gram resin menggunakan aquades, lalu merendamnya dalam larutan NaCl (3 gram NaCl dalam 30 ml aquades) selama 30 menit. Setelah itu bilas kembali dengan aquades dan keringkan resin, tujuannya agar membuka struktur resin dan membuatnya siap untuk menyerap/mengikat enzim. Imobilisasi enzim mencampurkan enzim lipase dan buffer fosfat dengan rasio 1:1. Larutkan 30 ml enzim lipase dalam 270 ml buffer fosfat, lalu tambahkan 30 gram resin yang telah diaktifkan. dan resin kation diinkubasi 24 jam, lalu resin terimobilisasi disaring dan dikeringkan dalam inkubasi selama 3 jam pada suhu 33 °C.

Proses esterifikasi menggunakan 1% asam sulfat dilarutkan dalam metanol 15% ditambahkan perlakan lahan dengan temperatur konstan selama 90 menit, lalu dilakukan pencucian sampai terbentuk 3 lapisan, dipisahkan dan dipanaskan. Proses

transesterifikasi dengan variasi berat enzim lipase yaitu 1,05 gram, 1,4 gram, 1,75 gram, 2,1 gram, dan 2,45 gram dengan berat enzim dihitung sebagai persentase dari berat minyak. menggunakan 70 gram minyak dan hitung berat metanol yang diperlukan, yaitu 13,232 gram. Penambahan metanol dilakukan secara bertahap untuk menjaga aktivitas enzim. Campurkan minyak dan katalis, aduk pada 350 rpm, lalu setelah 20 menit, tambahkan 1/3 dari berat metanol. Ulangi proses ini hingga semua metanol ditambahkan, lalu aduk sampai waktu reaksi yang diinginkan. Pisahkan produk dari enzim dan gliserol, kemudian lakukan analisis karakteristik biodiesel.

3.1 Analisa Karakteristik Minyak *Crude Palm Oil*

Hasil analisa karakteristik minyak *Crude Palm Oil* dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1. Tabel Analisa Karakteristik Minyak *Crude Palm Oil*

Perlakuan	ALB (%)	Zat Pengotor (%)
Sebelum	3,84	-
Sesudah	0,768	0,03

3.3.1 Analisa Kadar Asam Lemak Bebas (SNI 2901:2015)

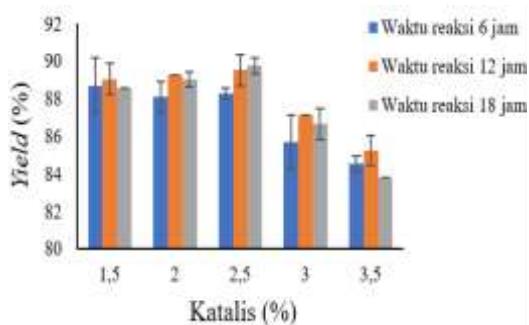
Bahan baku memiliki kandungan asam lemak bebas <2% adalah syarat minyak tersebut dapat digunakan sebagai minyak biodiesel. Analisa yang dilakukan menunjukkan kadar asam lemak bebas (ALB) 3,84%, yang belum memenuhi syarat biodiesel. Esterifikasi dengan H₂SO₄ diperlukan untuk menurunkan ALB di bawah 2%. Setelah proses, ALB turun menjadi 0,768%, sehingga minyak siap untuk ke tahap transesterifikasi.

3.3.2 Analisa Zat Pengotor (SNI 2901:2015)

Prinsip analisis zat pengotor adalah mengukur kandungan zat yang tidak larut dalam minyak sawit. Zat pengotor ini berasal dari pasir, kerikil, atau serat sawit yang tidak tersaring selama pengolahan. Zat pengotor dinyatakan dalam (%) yang dapat disaring menggunakan kertas saring setelah minyak dilarutkan dalam suatu pelarut. Berdasarkan Analisa yang dilakukan diperoleh zat pengotor sebesar 0,03% sehingga memenuhi standar mutu minyak kelapa sawit (BSN, 2006).

3.2 Analisa %Yield (SNI 7182:2015)

Yield biodiesel adalah persentase hasil dari perbandingan antara biodiesel yang dihasilkan dan minyak awal. Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi katalis dan waktu reaksi terhadap % yield biodiesel, *Yield* dianalisis dengan membandingkan berat produk biodiesel dengan berat CPO. Dalam penelitian ini, analisa ini dilakukan dengan melakukan penimbangan berat dari produk biodiesel yang dihasilkan. Kemudian membandingkannya dengan berat *Crude Palm Oil* (CPO) atau bahan baku yang digunakan. Hasil analisis persentase yield biodiesel dapat dilihat pada Gambar 3 :



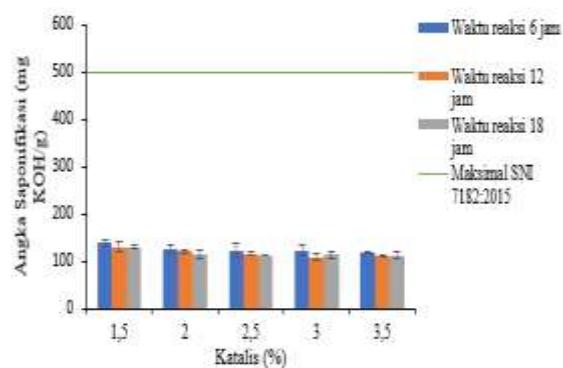
Gambar 3. Grafik Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Katalis terhadap %Yield

Pada Gambar diatas hasil persentase *yield* tertinggi pada waktu reaksi 6 jam dengan konsentrasi katalis 1,5% yaitu 88,7%, pada 12 jam dengan konsentrasi katalis 2,5% yaitu 89,5%, dan pada 18 jam dengan konsentrasi 2,5% yaitu 89,8%. *Yield* terendah terletak pada waktu reaksi 6 jam dengan konsentrasi katalis 2% yaitu 88,1%, untuk waktu 12 jam dengan konsentrasi katalis 3,5% yaitu 85,2% dan untuk waktu reaksi 18 jam dengan konsentrasi 3,5% yaitu 83,8%. Nilai %*yield* memenuhi standar SNI 7182:2015 yaitu >51. Hasil *yield* meningkat seiring dengan bertambahnya waktu reaksi dan suhu yang lebih tinggi. Rendahnya *yield* disebabkan oleh pemanasan yang tidak optimal yang mengakibatkan sisa kandungan air dan pemisahan gliserol yang kurang efektif. Hal ini menyebabkan kualitas biodiesel menjadi tidak konsisten seiring berjalan waktu karena gliserol membuat biodiesel menjadi lebih kental (Maulidan, dkk., 2020).

3.3 Analisa Saponifikasi (SNI 7182:2015)

Angka penyabunan melihatkan ukuran relatif molekul asam lemak yang ada dalam gliserida. Nilai ini diukur sebagai jumlah mg

KOH yang dibutuhkan untuk menyabunkan 1 gram minyak secara sempurna (Nurdiani, dkk., 2021). Senyawa intermediat ini dapat menyebabkan penyumbatan pada alat injeksi mesin. Analisis dilakukan dengan metode titrimetri sesuai SNI 7182:2015. Hasil analisa dapat dilihat pada Gambar 4 :



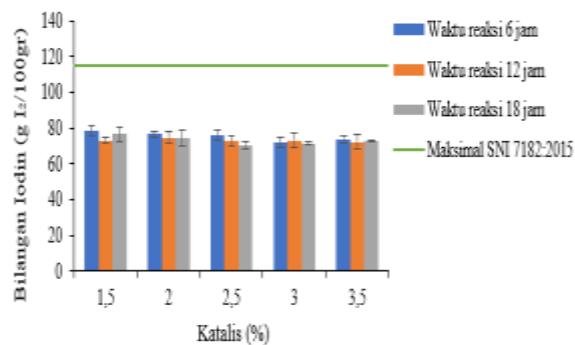
Gambar 4. Grafik Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Katalis terhadap Angka Saponifikasi

Hasil analisis angka saponifikasi dilakukan dengan metode triplo. Angka saponifikasi tertinggi pada waktu reaksi 6 jam dengan konsentrasi katalis 1,5% yaitu 139,33 mg KOH/gr, untuk waktu reaksi 12 jam dengan konsentrasi yang sama, angka saponifikasi mencapai 130,91 mg KOH/gr sedangkan pada waktu reaksi 18 jam dengan konsentrasi katalis 1,5% angka saponifikasi adalah 129,98 mg KOH/gr. Angka saponifikasi terendah pada waktu reaksi 6 jam dengan konsentrasi katalis 3,5% yaitu 117,82 mg KOH/gr, pada waktu reaksi 12 jam dengan konsentrasi katalis 3% yaitu 109,41 mg KOH/gr, dan waktu reaksi 18 jam dengan konsentrasi enzim 2,5% dan 3,5% yaitu 112,21 mg KOH/gr. Semua hasil memenuhi standar SNI 7182:2015 (<500). Peningkatan angka saponifikasi menandakan berat molekul minyak semakin kecil, akibat penyabunan trigliserida pada suhu dan konsentrasi tinggi, sehingga kebutuhan HCl untuk KOH berkurang. Akibatnya angka penyabunan menjadi tinggi, sementara angka saponifikasi rendah, karena selama reaksi terjadi sedikit penyabunan, yang mengakibatkan bilangan penyabunan rendah (Mardawati, dkk., 2019).

3.4 Analisa Iodin (SNI 7182:2015)

Bilangan iodin menunjukkan tingkat ketidakjemuhan asam lemak yang ada dalam minyak. Iodium dapat berikatan dengan asam

lemak tak jenuh, membentuk senyawa yang jenuh. Jumlah iodium yang digunakan menunjukkan jumlah ikatan rangkap dalam minyak tersebut (Ikram, dkk., 2021). Pengukuran bilangan iodin dilakukan melalui titrasi iodimetri dengan metode Wijs sesuai dengan SNI 7182:2015. Hasil pengukuran ini sangat penting untuk menentukan sifat fisik dan kimia minyak, termasuk stabilitas dan ketahanan terhadap oksidasi. Hasil analisa bilangan iodin dapat dilihat pada Gambar 5 :

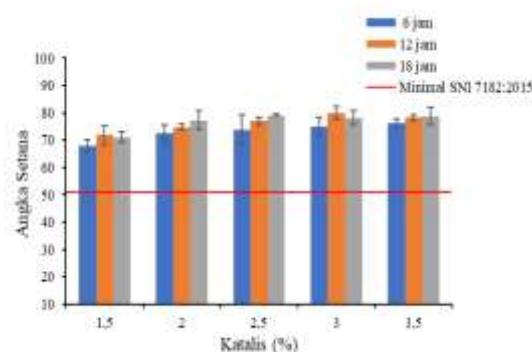


Gambar 5. Grafik Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Katalis terhadap Bilangan Iodin

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode triplo dengan variasi konsentrasi katalis 1,5%, 2%, 2,5%, 3%, dan 3,5%, serta waktu reaksi 6 jam, 12 jam, dan 18 jam. Angka iodin tertinggi dicapai pada waktu reaksi 6 jam dengan konsentrasi enzim 1,5%, yaitu 78,26 g I₂/100 g. Pada waktu reaksi 12 jam dengan konsentrasi enzim 2%, angka iodin adalah 74,45 g I₂/100 g, dan pada waktu reaksi 18 jam dengan konsentrasi enzim 1,5%, angka iodin mencapai 76,56 g I₂/100 g. Sebaliknya, angka iodin terendah ditemukan pada waktu reaksi 6 jam dengan konsentrasi 3%, yaitu 71,91 g I₂/100 g, pada waktu reaksi 12 jam dengan konsentrasi 3,5% yang menghasilkan 72,33 g I₂/100 g, dan pada waktu reaksi 18 jam dengan konsentrasi enzim 2,5%, yaitu 70,64 g I₂/100 g. Nilai angka iodin yang diperoleh dari penelitian ini sudah memenuhi standar SNI 7182:2015 untuk biodiesel, yang menetapkan batas maksimal 115. Bilangan iodin mencerminkan derajat ketidakjenuhan; semakin tinggi bilangan iodin, semakin tinggi pula derajat ketidakjenuhan, dan angka iodin yang tinggi dianggap tidak menguntungkan untuk bahan bakar (Henny, dkk., 2020).

3.5 Analisa Angka Setana (ASTM D 613)

Angka setana merupakan indikator penting yang menggambarkan kualitas bahan bakar diesel, diantara berbagai pengukuran lainnya yang mempengaruhi kualitas keseluruhan bahan bakar diesel (Dyah, S., & Sukaryo, D., 2018). Dipengaruhi oleh komposisi bahan bakar, angka setana mempengaruhi kebisingan, emisi, dan kemampuan mesin menyala. Penelitian ini menguji angka setana berdasarkan prosedur standar ASTM D 613 dengan rumus empiris, yaitu dengan hasil angka penyabunan dan angka iodin (Reda, A., 2014):

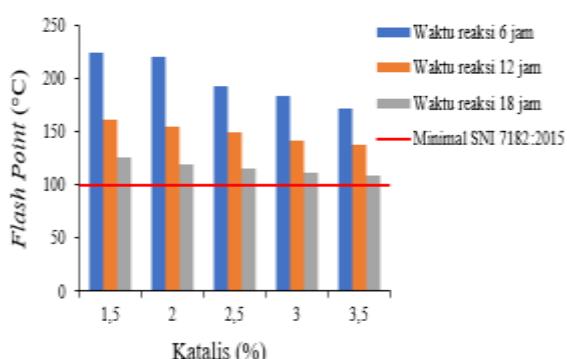


Gambar 6. Grafik Pengaruh Waktu Reaksi dan Konsentrasi Katalis terhadap Angka Setana

Dari hasil analisa menunjukkan hasil nilai tertinggi pada waktu reaksi 6 jam dengan konsentrasi katalis 3,5% yaitu 76,08, pada 12 jam dengan konsentrasi katalis 3% yaitu 79,87, dan pada 18 jam dengan konsentrasi katalis 2,5% yaitu 79. Angka setana terendah pada waktu reaksi 6 jam dengan konsentrasi katalis 1,5% yaitu 67,93, pada waktu reaksi 12 jam dengan konsentrasi katalis 1,5% yaitu 71,76 dan pada waktu reaksi 18 jam dengan konsentrasi enzim 1,5% yaitu 71,10. Hasil sudah memenuhi standar SNI 7182:2015, dengan minimal angka setana 51. Angka setana tinggi menunjukkan pembakaran lebih baik dan keterlambatan pembakaran lebih singkat. Menurut Mardawati, dkk., (2019), semakin tinggi angka setana, semakin cepat mesin dapat menyala dan menghasilkan tenaga yang besar. Semakin rendah angka setana, semakin buruk kualitas penyalaan karena membutuhkan suhu yang lebih tinggi.

3.6 Analisa Titik Nyala (ASTM D 93)

Titik nyala adalah suhu terendah di mana bahan bakar dapat menyala jika didekatkan dengan api. Hasil uji titik nyala dengan alat *flash point tester* mengikuti standar internasional ASTM D93 untuk menentukan nilai titik nyala yang terkait dengan keamanan dalam penyimpanan dan penanganan bahan bakar (Prastyo, dkk., 2021). Cara pengujinya dengan menyiapkan 2-4 ml CPO, pemantik api, dan sambungan gas kemudian hisap CPO menggunakan suntikan dan masukkan ke *flash point tester*, menghidupkan alat dan sesuaikan suhu untuk CPO biodiesel. Hasil uji *flash point* dapat dilihat pada Gambar 7 :



Gambar 7. Grafik Pengaruh Waktu Reaksi Pada Konsentrasi Katalis terhadap Titik Nyala

Nilai *flash Point* tertinggi dari hasil analisa tersebut pada waktu reaksi 6 jam dengan konsentrasi 1,5% yaitu 225 °C. Untuk waktu reaksi 12 jam dengan konsentrasi yang sama, nilai *flash point* adalah 161 °C, sementara pada waktu reaksi 18 jam dengan konsentrasi katalis 1,5% mencapai 126 °C. Nilai *flash point* terendah pada waktu reaksi 6, 12, dan 18 jam dengan konsentrasi enzim 3,5% yaitu 172°C, 138°C, dan 109°C. *Flash point* biodiesel memenuhi standar SNI 7182:2015 dengan batas minimal 100°C. Nilai *flash point* yang lebih tinggi atau lebih rendah dipengaruhi oleh jumlah katalis yang digunakan. Biodiesel cenderung lebih mudah terbakar dan memiliki perambatan api lebih cepat karena nilai *flash point* yang lebih rendah akibat peningkatan jumlah katalis. Jika nilai titik nyala terlalu tinggi, penyalaan akan menjadi sangat sulit dan memerlukan lebih banyak energi untuk menghidupkannya. (Busyairi, dkk., 2020).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memproduksi Biodiesel yang dihasilkan dari *Crude Palm Oil* (CPO) dengan menggunakan katalis enzim lipase yang dimobilisasi menggunakan alat *stirred tank reactor*, dengan variabel konsentrasi enzim 1,5%-3,5% dan waktu reaksi 6, 12, serta 18 jam. Hasil analisis menunjukkan bahwa produk biodiesel terbaik pada penelitian ini diperoleh dari variasi katalis enzim 2,5% dengan waktu reaksi 18 jam. Angka setara tertinggi tercatat pada waktu reaksi 18 jam dengan konsentrasi katalis 2,5%, yaitu 79, %*yield* tertinggi pada waktu reaksi 18 jam dengan konsentrasi 2,5% yaitu 89,8%, titik nyala terendah pada waktu reaksi 6,12, dan 18 jam dengan konsentrasi katalis enzim 3,5%. Secara keseluruhan, penelitian menunjukkan bahwa beberapa biodiesel yang dihasilkan sudah memenuhi Standar Nasional Indonesia 7182:2015. Variabel waktu reaksi dan konsentrasi katalis memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas biodiesel yang diperoleh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Yth. Pimpinan PT Tunas Baru Lampung Tbk di Jl. Palembang Sekayu KM. 14 Kec. Talang Kelapa Kab. Banyuasin Palembang Sumatera Selatan. Dengan hormat, saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT Tunas Baru Lampung Tbk atas dukungan dan bantuannya dalam penelitian Tugas Akhir saya dengan memberikan bantuan berupa minyak *Crude Palm Oil* (CPO). Produk ini akan sangat bermanfaat bagi penelitian kami dalam rangka mencapai hasil yang diharapkan. Bantuan ini tidak hanya akan mendukung kelancaran penelitian saya tetapi juga berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Aznury, M., Zikri, A., Junaidi, R., Lupikawaty, M., & Oktariyensi, C. (2022). Pengaruh Metanol dalam Produksi Biodiesel dari Tamanu Oil Menggunakan Katalis Lipase. *Jurnal Selulosa*, 12(01), 33-40
- Ben Bacha, A., Alonazi, M., Alharbi, M. G., Horchani, H., & ben Abdelmalek, I. (2022). *Biodiesel Production by Single and Mixed Immobilized Lipases Using Waste Cooking Oil*. *Molecules*, 27(24).
- Busyairi, M., Za'im Muttaqin, A., Meicahyanti, I., dan Saryadi, S. 2020. Potensi Minyak

- Jelantah Sebagai Biodiesel dan Pengaruh Katalis Serta Waktu Reaksi Terhadap Kualitas Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(2).
- Dewi, E. A., & Dewi, A. C. (2019). Prancangan Pabrik Biodiesel dari Crude Palm Oil (CPO) dan Metanol melalui Proses Transesterifikasi dengan Kapasitas 10.000 ton/tahun. *Jurnal tugas akhir teknik kimia*, 2(2), 37-42.
- Dyah, S., & Sukaryo, D. (2018). Uji Karakteristik Biodiesel Berbahan Dasar Limbah Jeroan Ikan diproses Menggunakan Mikro gelombang Metana, 14(2): 37–42.
- Henny Mandei, J., Edam, M., Assah, Y., & Makalalag, A. (2020). Metil Ester Minyak Kelapa Murni Yang Telah Diekstrak Senyawa Fenolik Dengan Variasi Waktu Transesterifikasi, 14(2).
- Ikram, M., Dani Supardan, M., & Thaib. (2021). Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil (CPO) Menggunakan Proses Kavitasi Hidrodinamik. In *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan (JIRL)*, 2 (2).
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2021). Menteri ESDM: Potensi Sumber Daya Energi Indonesia Tersedia pada laman <https://www.minerba.esdm.go.id/berita/minerba/detil/20121013-potensisumberdaya-energi-indonesia>. Diakses: 2 Maret 2024, jam 14.00.
- Manurung, R., Panjaitan, F. R., Afrianto, R., & Widyawati, M., (2014). *Lipase in Enzymatic Palm Biodiesel Production*. In Sriwijaya International Seminar on Energy and Environmental Science & Technology Palembang.
- Maulidan, F., Ramadhanti, F. A., & Wahyudi, B. (2020). Pemanfaatan CPO Off-Grade Dalam Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis CaO Pada Reaksi Transesterifikasi. *Chempro*, 1(2), 26-31.
- Mardawati, E., Hidayat, M. S., Rahmah, D. M., & Rosalinda, S. (2019). Produksi Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit Kasar Off Grade Dengan Variasi Pengaruh Asam Sulfat Pada Proses Esterifikasi Terhadap Mutu Biodiesel Yang Dihasilkan. *Jurnal Industri Pertanian*, 01(No. 03), 46–60.
- Prastyo, E., Farkhatus, D. S., & Astuti Ibrahim, P. (2021). Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Yield dan Kandungan Metil Ester Sintesis Biodiesel Ampas Tahu Metode Elektrokatalitik. In *Jurnal Tekno Insentif*, 15 (1).
- Nurdiani, I., Suwardiyono., & Kurniasari, L. (2021). Pengaruh Ukuran Partikel Dan Waktu Perendaman Ampas Tebu Pada Peningkatan Kualitas Minyak Jelantah. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 6(1), 28-36.
- Reda, A., (2014). *Production and characterization of biodiesel from the traditional tannery fleshing wastes*. In *J. Sci. & Technol*, 7(1).
- Saleh, N. (2022). Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil (CPO) Dilakukan dengan Tahap Esterifikasi dan Transesterifikasi. *Ensiklopedia of Journal*, 4(4), 104-107.
- Setianingsih, A., Bahri, S. (2018). Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil (CPO) dengan Katalis La/NZA. In *Jom Fteknik*, 5(1).