

Pengaruh Katalis *CaO/Fly Ash* Dalam Produksi Biodiesel Dari *Crude Palm Oil*

InayahTullah Ramadhani, Mustain Zamhari*, Dilia Puspa

Jurusan Teknik Kimia, Program Studi Teknologi Kimia Industri, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.

*Koresponden email: mustain_z@polsri.ac.id

Diterima: 20 Oktober 2025

Disetujui: 30 Oktober 2025

Abstract

This study aims to optimize biodiesel production from crude palm oil (CPO) by utilizing CaO/Fly Ash heterogeneous catalysts from limestone and coal combustion residues. Variations in the time and concentration of CaO/Fly Ash catalyst were tested to determine their effect on biodiesel yield percentage and product characteristics through esterification and transesterification processes. Limestone was used as the main source of CaO, while Fly Ash served to increase the stability, surface area, and support of the catalyst. The catalyst was analyzed using X-Ray Fluorescence (XRF) to determine the composition of the elements contained, while the effect of the catalyst on biodiesel was analyzed through density, viscosity, acid number, saponification number, and flash point tests. The transesterification process was carried out at 60, 90, and 120 minutes and with varying catalyst masses (8 g, 10 g, 12 g, 14 g) to obtain the optimum reaction conditions and the best characteristics for biodiesel. Optimal reaction conditions were achieved using 12 grams of CaO/Fly Ash catalyst and a reaction time of 120 minutes, resulting in the highest biodiesel yield of 86.6%, density of 863.9 kg/m³, viscosity of 4.35 cSt, a saponification number of 178.03 mg KOH/g, an acid number of 0.43 mg KOH/g, a cetane number of 54.7, and a flash point of 154°C with biodiesel characteristics that comply with the SNI 7182:2015 standard. This shows that the right combination of catalyst mass and reaction time can significantly increase biodiesel conversion efficiency. Excessive use of catalyst reduces efficiency due to the formation of side reactions.

Keywords: *cao/fly ash catalyst, crude palm oil, transesterification, conversion efficiency*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan produksi biodiesel dari crude palm oil (CPO) dengan memanfaatkan katalis heterogen CaO/ Fly Ash dari batu kapur dan sisa pembakaran batu bara. Variasi waktu dan konsentrasi katalis CaO/Fly Ash diuji untuk mengetahui pengaruhnya terhadap % yield biodiesel serta karakteristik produk melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi. Batu kapur digunakan sebagai sumber utama CaO sedangkan Fly Ash berfungsi untuk meningkatkan stabilitas, luas permukaan katalis dan penopang(support) pada katalis. Menganalisa katalis dilakukan X-Ray Fluorescence (XRF) untuk mengetahui komposisi unsur penyusun yang terkandung, sedangkan pengaruh katalis terhadap biodiesel dapat dianalisa dengan melalui uji densitas, viskositas, bilangan asam, angka penyabunan, titik nyala. Pada proses transesterifikasi dilakukan pada waktu (60, 90, 120 menit) dan massa katalis yang bervariasi (8gr, 10gr, 12gr, 14gr) untuk mendapatkan kondisi optimum reaksi dan karakteristik terbaik pada biodiesel. Kondisi reaksi optimal tercapai pada penggunaan katalis CaO/Fly Ash sebanyak 12 gram dan waktu reaksi 120 menit, menghasilkan yield biodiesel tertinggi sebesar 86,6%, densitas 863,9 kg/m³, viskositas 4,35 cSt, bilangan saponifikasi 178,03 mg KOH/g, bilangan asam 0,43 mg KOH/g, angka setana 54,7, titik nyala 154°C dengan karakteristik biodiesel yang sesuai dengan standar SNI 7182:2015. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi massa katalis dan waktu reaksi yang tepat dapat meningkatkan efisiensi konversi biodiesel secara signifikan. Penggunaan katalis dalam jumlah berlebih menurunkan efisiensi akibat terbentuknya reaksi samping.

Kata Kunci: *katalis cao/fly ash, crude palm oil (cpo), transesterifikasi, efisiensi konversi*

1. Pendahuluan

Secara umum, sumber daya yang bisa diolah menjadi biodiesel adalah minyak sawit mentah atau *Crude Palm Oil* (CPO). CPO merupakan minyak nabati terbesar di Indonesia yang berasal dari buah kelapa sawit. Produksi minyak CPO di Indonesia tahun 2023 mencapai 47,08 juta ton. Minyak sawit mempunyai potensi signifikan yang cukup untuk dijadikan bahan baku pembuatan biodiesel karena menghasilkan rendemen sekitar 28%. Sebagai negara penghasil utama minyak kelapa sawit mentah CPO, Indonesia

menargetkan peningkatan penggunaan energi yang bersumber dari alam terbarukan memiliki potensi besar untuk memproduksi biodiesel dengan menggunakan minyak kelapa sawit, produk turunannya [1].

Kandungan asam lemak bebas dalam CPO tergolong tinggi, berkisar antara 3% hingga 5%. Tingkat kematangan buah kelapa sawit memengaruhi kadar asam lemak bebas ini; matang buahnya, kadar asam semakin tinggi, dan sebaliknya. Jumlah standar lemak bebas asam dalam biodiesel $\leq 2\%$, CPO perlu diproses terlebih dahulu untuk menurunkan kadar asam lemak bebasnya sebelum dapat untuk mengubah CPO menjadi biodiesel [2].

Dalam proses pembuatan biodiesel berbahan dasar CPO melibatkan metode esterifikasi dan transesterifikasi untuk memastikan konversi yang efisien dari minyak menjadi biodiesel, tahapan ini dibantu oleh katalis kalsium oksida (CaO). Katalis CaO ini sendiri merupakan hasil pengolahan batu kapur, yang berfungsi untuk meningkatkan laju reaksi dan efisiensi proses sehingga menghasilkan biodiesel berkualitas bagus dengan kadar FFA yang rendah [3].

Batu kapur diketahui mengandung sekitar 95% mineral kalsium karbonat (CaCO_3). Kandungan ini dapat mengkonversi menjadi kalsium oksida (CaO) melalui proses kalsinasi, yang memungkinkan sintesis kalsium dengan lebih efektif. Melalui metode ini, batu kapur dapat digunakan dalam berbagai aplikasi katalisis [4].

Salah satu material penyokong yang umum digunakan pada pengembangan katalis CaO adalah *fly ash*. *Fly ash* merupakan padatan sisa hasil pembakaran batubara, minyak, dan biomassa yang banyak dimanfaatkan karena kandungan mineral anorganiknya, seperti silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), yang cukup tinggi [5]. Sifat berpori dan luas permukaan *fly ash* membuatnya efektif sebagai penyokong katalis heterogen, sehingga dapat meningkatkan stabilitas katalis dan efisiensi proses konversi *Crude Palm Oil* (CPO) menjadi biodiesel.

Fly ash sawit berpotensi besar dimanfaatkan sebagai sumber silika dalam sintesis katalis heterogen. Kandungan silika yang tinggi pada *fly ash* memberikan karakteristik permukaan berpori dan luas permukaan spesifik yang memadai, sehingga mampu berperan sebagai adsorben efektif sekaligus mendukung pembentukan situs aktif katalitik pada permukaannya [6]. Penelitian ini mendapatkan *yield* biodiesel CPO sebesar 61,72%, dengan proses esterifikasi dan transesterifikasi, menggunakan suhu reaksi 60°C , perbandingan rasio mol minyak : metanol 1:8, dan konsentrasi katalis CaO/*Fly Ash* 7% [7].

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini bahan- bahan yang digunakan meliputi *Crude Palm Oil* (CPO) sebagai bahan baku utama, batu kapur (CaCO_3) sebagai sumber kalsium untuk sintesis katalis, *Fly Ash* sebagai pendukung (*support*) katalis, serta bahan kimia lainnya seperti H_2SO_4 , H_3PO_4 85%, etanol, metanol, NaOH, KOH, H_2O , aquadest, dan indikator fenolftalein (PP).

Alat-alat yang digunakan antara lain neraca analitik, erlenmeyer, furnace, desikator, corong pisah, gelas kimia, batang pengaduk, corong, termometer, hot plate, stirrer, stopwatch, gelas piala, ayakan 150 mesh, mortar, cawan porselen, viskometer, piknometer, oven, labu leher tiga, stirrer, pipet ukur, pipet tetes, bola karet, alat filtrasi vakum, pengaduk, aluminium foil, refluks kondensor, sarung tangan, dan kertas saring, alat sentrifugal.

Terdapat beberapa tahapan utama dalam penelitian ini, yaitu proses pembuatan / preparasi katalis CaO/*Fly Ash* dari batu kapur, proses produksi biodiesel melalui reaksi esterifikasi dan transesterifikasi, serta analisa sampel dan pengambilan data. Pada tahapan pertama, melakukan pengolahan batu kapur untuk mendapatkan CaO, kemudian diimpregnasi dengan *Fly Ash* untuk menghasilkan katalis yang bersifat stabil dan aktif. Tahap kedua meliputi produksi biodiesel dari *Crude Palm Oil* (CPO) dengan menggunakan katalis yang telah dibuat, dengan berbagai kondisi reaksi yang dianalisis. Percobaan dilakukan dengan berbagai variasi tetap yaitu perbandingan antara CaO dan *Fly Ash* 2 : 1, perbandingan mol : minyak 1:6, massa batu kapur 1 kg, CPO sebanyak 5 liter, kecepatan pengaduk 600 rpm, sedangkan variasi bebas seperti variasi massa katalis sebesar 8 gr, 10 gr, 12 gr, dan 14 gr serta variasi waktu reaksi selama 60 menit, 90 menit dan 120 menit.

Preparasi CaO dilakukan dengan menggunakan batu kapur (CaCO_3) alami, batu kapur yang masih berbentuk bongkahan kecil digerus hingga halus dengan menggunakan lumpang dan alu, kemudian diayak dengan ukuran 150 mesh untuk mendapatkan ukuran yang sama, batu kapur halus kemudian ditimbang sebanyak 15 gram dan dikalsinasi dalam furnace pada suhu 900°C selama 4 jam untuk menghilangkan kandungan CO_2 dan menghasilkan kalsium oksida (CaO) sebagai bahan aktif katalis, *Fly Ash* / abu terbang diayak dengan ukuran 150 mesh, *Fly Ash* dicampurkan dengan HCl 83 ml diaduk selama 2 jam pada suhu ruang untuk melarutkan kontaminan logam, disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam. Selanjutnya melakukan metode impregnasi basah dengan perbandingan massa CaO *Fly Ash* dan

sebesar 2:1 (berat/berat). Campuran dilarutkan ke dalam 100 mL air suling dan diaduk selama 3 jam pada suhu 80°C, Campuran disaring dan di-furnace pada suhu 800°C selama 3 jam guna memperkuat ikatan CaO dengan *Fly Ash*, sampel didinginkan hingga suhu ruang dan disimpan dalam desikator untuk menjaga kestabilannya. Katalis CaO/*Fly Ash* telah siap digunakan untuk tahap selanjutnya yaitu proses produksi biodiesel.

Tahapan produksi biodiesel, tahapan esterifikasi dengan menimbang sebanyak 200 gram *Crude Palm Oil* (CPO) yang dimasukkan gelas kimia 1.000 mL, dipanaskan menggunakan hot plate hingga suhu 50°C, setelah suhu stabil memasukkan larutan etanol sebanyak 15% (b/b) dan H₂SO₄ sebanyak 1% (b/b) ditambahkan secara perlahan esterifikasi berlangsung selama 90 menit, Menuangkan ke dalam corong pisah untuk melakukan proses pencucian sampai pH normal. Tahap selanjutnya transesterifikasi memasukkan larutan hasil esterifikasi ke dalam labu dasar bulat lalu memanaskan dalam refluks hingga suhu 65°C dan ditambahkan katalis CaO/*Fly Ash* 8gr ,10gr ,12gr dan 14gr dengan waktu 60 menit, 90 menit dan 120 menit dengan pengadukan terus-menerus. Setelah reaksi selesai, campuran reaksi dipindahkan ke dalam corong pisah dan didiamkan semalaman untuk memisahkan dua fasa lapisan atas berupa *crude* biodiesel, sedangkan lapisan bawah berupa gliserol. Gliserol dipisahkan dengan mengeluarkan lapisan bawah melalui keran corong pisah lalu dilakukan pencucian menggunakan air hangat (sekitar 60°C) secara berulang. Biodiesel yang telah dicuci kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 110°C selama 40 menit untuk menguapkan sisa air dan metanol, hingga diperoleh biodiesel yang sudah siap dianalisis.

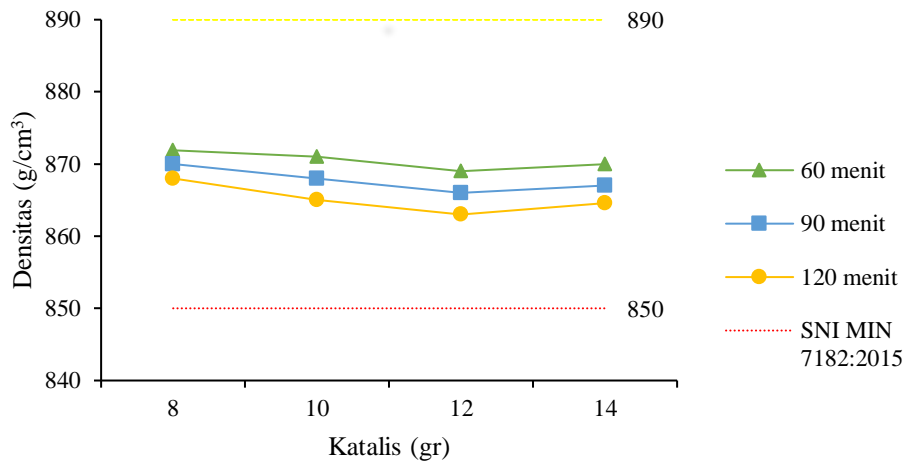
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Komposisi Katalis CaO/ *Fly Ash* dari Batu Kapur

Dalam produksi biodiesel dari CPO, katalis diperlukan untuk mempercepat reaksi secara optimal. CaO sering digunakan karena ketersediaannya melimpah, namun memiliki kelemahan seperti mudah menggumpal dan sebagian larut dalam metanol, sehingga aktivitasnya menurun. Untuk meningkatkan stabilitas, CaO dikombinasikan dengan *fly ash* sebagai penyangga. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan CaO murni menghasilkan aktivitas katalitik yang cukup tinggi. Berdasarkan hasil analisis XRF, batu kapur yang digunakan dalam penelitian ini diketahui mengandung CaO sebesar 53,51% dan memiliki kandungan Al₂O₃ 0,82%, SiO₂ 1,71%. CaO yang telah ditambahkan dengan *fly ash* mendapatkan hasil CaO sebesar 48,31 % dengan kandungan lain Al₂O₃ 4,18%, SiO₂ 11,91% , Fe₂O₃ 2,04% . CaO mengalami penurunan setelah dicampur dengan *fly ash*, sedangkan kandungan unsur lain seperti SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ meningkat karena berperan sebagai penyangga yang membantu meningkatkan luas permukaan katalis, mencegah penggumpalan partikel CaO, dan memperbaiki stabilitas katalis pada suhu tinggi selama proses transesterifikasi. Dengan demikian, walaupun CaO menurun, katalis hasil kombinasi CaO dan *fly ash* justru memiliki stabilitas dan kinerja katalitik yang lebih baik dibandingkan CaO murni.

3.2 Pengaruh Massa Katalis CaO/ *Fly Ash* dan Waktu Reaksi terhadap Densitas Biodiesel

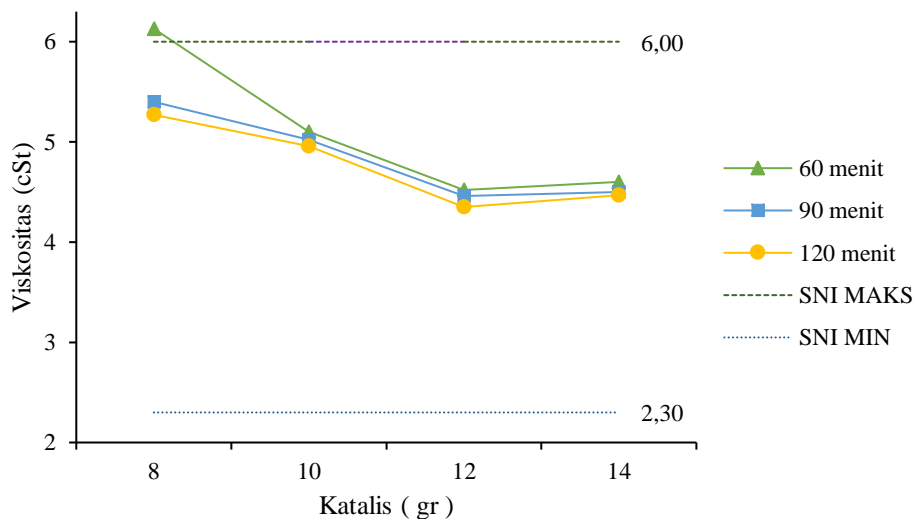
Densitas merupakan parameter penting dalam menilai kualitas biodiesel karena memengaruhi karakteristik aliran bahan bakar dan efisiensi pembakaran. Berdasarkan SNI 7182:2015, densitas biodiesel yang disyaratkan berada pada kisaran 0,850–0,890 g/mL pada suhu 40°C. Hasil analisis menunjukkan seluruh sampel biodiesel berada dalam rentang standar tersebut. Pada waktu reaksi 120 menit, densitas biodiesel mencapai 868 g/cm³ dengan katalis 8 g, menurun menjadi 863 g/cm³ pada katalis 12 gr, lalu meningkat kembali menjadi 864,6 g/cm³ pada katalis 14 gr. Penurunan densitas seiring penambahan massa katalis dan lamanya waktu reaksi disebabkan oleh semakin sempurnanya proses transesterifikasi, di mana senyawa metil ester menjadi lebih dominan menggantikan trigliserida dan gliserol sisa yang memiliki kepadatan lebih tinggi [8]. Hasil ini sesuai dengan sejumlah jurnal yang menyatakan bahwa penambahan katalis hingga batas tertentu dapat meningkatkan efisiensi konversi dan menurunkan kepadatan biodiesel, jika proses berlangsung pada suhu dan waktu yang tepat. Namun, jumlah katalis yang berlebihan akan menimbulkan reaksi pembentukan sabun dan menurunkan kualitas biodiesel.



Gambar 1. Pengaruh Katalis CaO/ Fly Ash Pada Waktu Reaksi Terhadap Densitas Produk Biodiesel.

3.3 Pengaruh Massa Katalis CaO/ Fly Ash dan Waktu Reaksi terhadap Viskositas Biodiesel

Viskositas yang melampaui batas standar dapat menyulitkan proses filtrasi, serta meningkatkan risiko terjadinya kontaminasi. Sebaliknya, jika viskositas terlalu rendah, biodiesel menjadi terlalu cair sehingga penggunaan dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan kerusakan pada bagian-bagian mesin [9]. Menurut SNI 7182:2015, nilai viskositas kinematik biodiesel berada di kisaran 2,3 - 6 cSt. Pada waktu reaksi 60 menit dengan konsentrasi 8gr mendapatkan hasil yang tinggi sebesar 6.13 cSt, sementara viskositas terendah terdapat pada waktu 120 menit dengan konsentrasi 12 gr sebesar 4.35 cSt . Hal ini menunjukkan bahwa proses transesterifikasi berjalan lebih baik ketika jumlah katalis bertambah, karena lebih banyak trigliserida yang berhasil diubah menjadi metil ester, sehingga hasil akhirnya lebih encer atau memiliki viskositas lebih rendah. Viskositas sedikit naik di konsentrasi 14%, yang mungkin karena terlalu banyak katalis tidak meningkatkan reaksi secara efektif menyebabkan pengotor tidak terpisah sempurna, sehingga viskositas naik kembali.

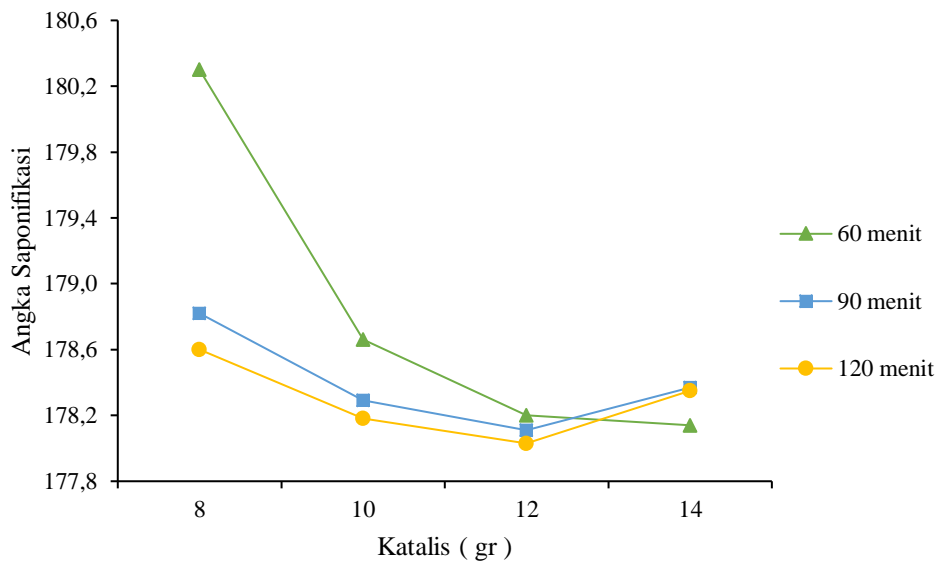


Gambar 2. Pengaruh Massa Katalis CaO/ Fly Ash dan Waktu Reaksi terhadap Viskositas Biodiesel

Pola ini menunjukkan bahwa penggunaan katalis secara berlebihan tidak selalu menghasilkan biodiesel yang lebih baik, dan justru bisa menurunkan kualitas produk. Penelitian ini didukung oleh penelitian [10] yang menyatakan bahwa viskositas biodiesel akan menurun seiring dengan meningkatnya efisiensi konversi trigliserida menjadi metil ester, namun akan naik kembali jika terjadi kontaminasi pada produk akhir.

3.4 Pengaruh Massa Katalis CaO/ Fly Ash dan Waktu Reaksi terhadap Saponifikasi Biodiesel

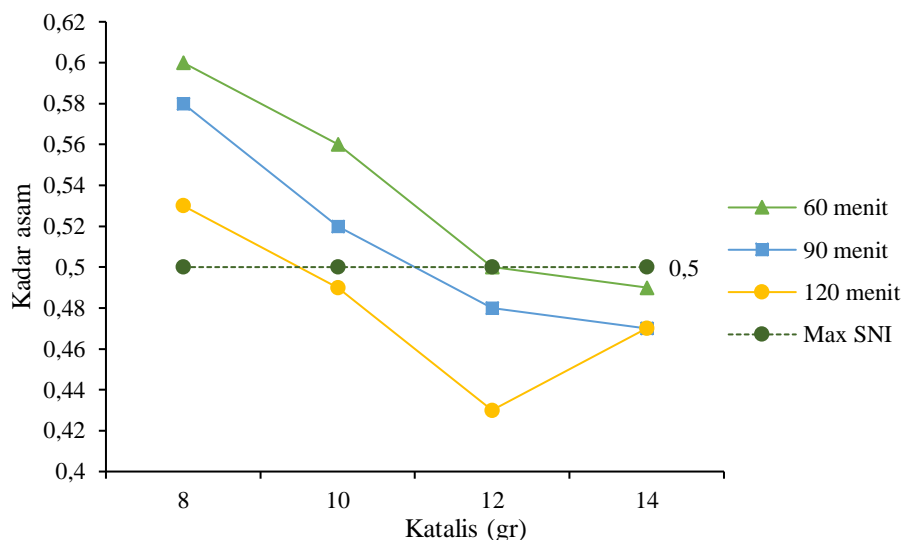
Bilangan saponifikasi pada biodiesel cenderung stabil berada pada kisaran 178,03-180,30 mgKOH/g pada waktu 60 menit sampai 120 menit. Bilangan saponifikasi yang dihasilkan ini masih dibawah batas maksimum dalam SNI 7182:2015 yaitu 500 mgKOH/g. Dari nilai angka saponifikasi pada seluruh variasi menunjukkan rantai asam lemak relatif tetap, serta proses transesterifikasi berlangsung secara efektif yang bahwa proses transesterifikasi mampu mengubah trigleserida secara optimal pada variasi jumlah katalis yang digunakan [11]. Angka saponifikasi yang rendah menjadi indikator penting dalam menilai kualitas biodiesel, karena menunjukkan rendahnya kadar asam lemak bebas dan senyawa-senyawa tak bereaksi . Kadar asam lemak bebas dalam biodiesel dapat meningkat apabila reaksi antara asam lemak dan alkohol tidak berlangsung secara sempurna, sehingga sebagian asam lemak tetap berada dalam bentuk bebas tanpa membentuk metil ester. Kondisi ini berdampak negatif terhadap mutu biodiesel. Dari grafik terlihat bahwa seiring bertambahnya jumlah katalis (dari 8 gr hingga 12 gr), angka saponifikasi cenderung menurun untuk semua waktu reaksi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak katalis yang digunakan, semakin banyak trigliserida yang berhasil diubah menjadi metil ester [12] .



Gambar 3. Pengaruh Massa Katalis CaO/ Fly Ash dan Waktu Reaksi terhadap Saponifikasi Biodiesel

3.5 Pengaruh Massa Katalis CaO/ Fly Ash dan Waktu Reaksi terhadap Bilangan Asam Biodiesel

Bilangan asam pada biodiesel adalah parameter kimia yang digunakan untuk mengukur jumlah miligram KOH yang diperlukan untuk menetralkan asam lemak bebas dalam setiap gram sampel biodiesel. Nilai ini mencerminkan sisa kandungan asam lemak bebas (*Free Fatty Acid/FFA*) yang masih terdapat dalam biodiesel setelah proses transesterifikasi [13].



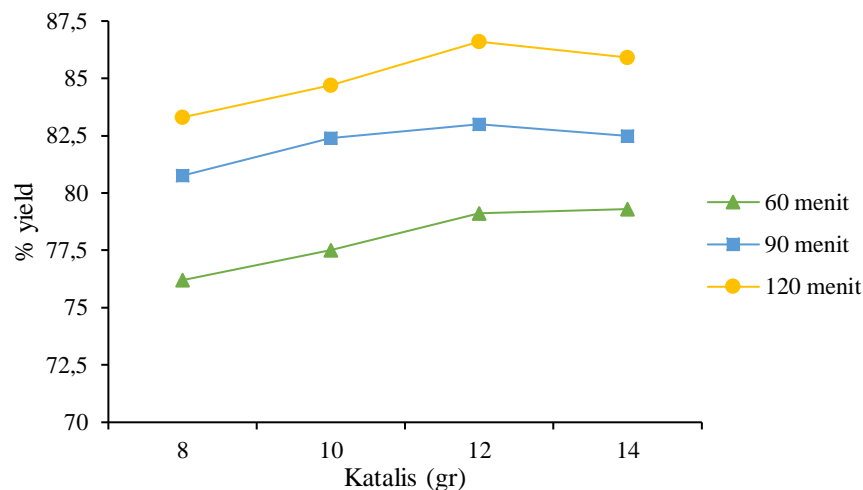
Gambar 4. Pengaruh Massa Katalis CaO/ Fly Ash dan Waktu Reaksi terhadap Bilangan Asam Biodiesel

Berdasarkan hasil analisis grafik **Gambar 4**, penambahan katalis dari 8 gr hingga 12 gr menyebabkan penurunan bilangan asam secara konsisten pada seluruh variasi waktu reaksi. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah katalis dapat mempercepat proses transesterifikasi, sehingga lebih banyak asam lemak bebas (FFA) berhasil dikonversi menjadi metil ester. Bilangan asam terendah tercapai pada kondisi 12 gr katalis dan waktu reaksi 120 menit, yaitu sekitar 0,43%, yang berada jauh di bawah batas maksimum standar dan menunjukkan kondisi paling optimal untuk menurunkan kadar FFA dalam biodiesel.

Namun, penambahan katalis hingga 14 gr justru meningkatkan kembali bilangan asam, yang disebabkan oleh reaksi telah mencapai titik optimum pada penggunaan 12 gr, sehingga penambahan lebih lanjut tidak memberikan efek signifikan dan kelebihan katalis dapat memicu reaksi samping berupa pembentukan sabun (saponifikasi) yang menghambat konversi FFA [14]. Kontrol terhadap bilangan asam menjadi penting karena nilai yang tinggi dapat menurunkan kualitas biodiesel dan berpotensi mempercepat kerusakan mesin.

3.6 Pengaruh Massa Katalis CaO/ Fly Ash dan Waktu Reaksi terhadap % yield Biodiesel

Yield pada biodiesel merupakan persentase biodiesel yang dihasilkan dibandingkan dengan jumlah minyak yang dipakai sebagai bahan baku dalam proses produksinya. Nilai ini mencerminkan seberapa efisien proses pengolahan minyak nabati atau lemak menjadi biodiesel melalui proses kimia seperti transesterifikasi atau esterifikasi. *Yield* biodiesel tertinggi pada waktu 120 menit variasi katalis di berat 12 gr sebesar 86,6 %. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu reaksi 120 menit reaksi yang terjadi sangat baik. Namun, mengalami penurunan pada katalis 14 gr sebesar 85,9 % ini disebabkan katalis sudah mencapai titik jenuhnya saat jumlah katalis melebihi nilai optimum, reaksi transesterifikasi tidak efisien, dapat muncul efek negatif seperti saponifikasi, yaitu pembentukan sabun yang mengikat sebagian produk biodiesel sehingga sulit dipisahkan dari campuran [15].



Gambar 5. Pengaruh Variasi Katalis CaO/ Fly Ash Terhadap %yield Produk Biodiesel

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis, biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi standar mutu SNI 7182:2015. Hal ini menegaskan bahwa biodiesel yang diperoleh layak digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Kondisi reaksi optimal pada proses produksi biodiesel dicapai pada penggunaan katalis CaO/Fly Ash sebesar 12 gram dengan waktu reaksi 120 menit, menghasilkan yield biodiesel tertinggi sebesar 86,6%. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi massa katalis dan waktu reaksi yang tepat berperan penting dalam meningkatkan efisiensi konversi trigliserida menjadi metil ester, sehingga kualitas biodiesel yang dihasilkan memenuhi kriteria kelayakan sebagai bahan bakar.

Penelitian selanjutnya disarankan tidak menggunakan katalis lebih dari 12 gram dan waktu reaksi melebihi 120 menit, karena kombinasi tersebut telah memberikan hasil optimal dengan yield biodiesel tertinggi dan kualitas sesuai SNI 7182:2015.

5. Daftar Pustaka

- [1] Laila, L., and O. Liatiana. "Experiment Study Of Total Acid Number And Viscosity Of Palm Oil Based Biodiesel From PT Smart Tbk." *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri* 2.1 (2017): 27-31.

- [2] Saleh, Nurmeizon. "Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil (CPO) Dilakukan dengan Tahap Esterifikasi dan Transesterifikasi." *Ensiklopedia of Journal* 4.4 (2022): 104-107.
- [3] Oko, Syarifuddin, and Irmawati Syahrir. "Sintesis biodiesel dari minyak sawit menggunakan katalis CaO superbasa dari pemanfaatan limbah cangkang telur ayam." *Jurnal Teknologi* 10.2 (2018): 113-122.
- [4] M. Megawati, A. Alimuddin, Dan L. Abdul Kadir, "Komposisi Kimia Batu Kapur Alam Dari Industri Kapur Kabupaten Kolaka Sulawesi Tenggara," *Saintifik*, Vol. 5, No. 2, Hal. 104–108, Jul 2019, Doi: 10.31605/Saintifik.V5i2.230.
- [5] Widiarti, N., and E. Kusumastuti. "Modifikasi Katalis CaO Dengan SrO Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel Menggunakan." *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences* 38.1 (2015): 49-56
- [6] R. Maulana, Z. Helwani, Dan E. Saputra, "Preparasi Katalis Cao / Fly Ash Dan Penggunaannya Pada Reaksi," *Jom Fteknik*, Vol. 4, No. 1, Hal. 1–5, 2017.
- [7] Pandiangan, K. D., et al. "High-performance CaO/SiO₂ composite prepared from limestone and pumice silica as catalyst for rubber seed oil transesterification." *RASAYAN Journal of Chemistry* 17.01 (2024): 14-20.
- [8] S. Oko, Mustafa, A. Kurniawan, Dan D. Willain, "Sintesis Biodiesel Dari Minyak Kedelai Melalui Reaksi Transesterifikasi Dengan Katalis Cao/Naoh," *J. Teknol. Vol.*, Vol. 13, No. 1, Hal. 1–6, 2021, [Daring]. Tersedia Pada: <https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.13.1.1-6>
- [9] M. Busyairi *Et Al.*, "Potensi Minyak Jelantah Sebagai Biodiesel Dan Pengaruh Katalis Serta Waktu Reaksi Terhadap Kualitas Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi," *Serambi Eng.*, Vol. V, No. 2, 2020.
- [10] Akbar, Riswan. "Karakteristik Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Menggunakan Metil Asetat Sebagai Pensuplai Gugus Metil." *Jurna Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya* (2008).
- [11] N. Suleman, Abas, Dan M. Papatungan, "Esterifikasi Dan Transesterifikasi Stearin Sawit Untuk Pembuatan Biodiesel," *J. Tek.*, Vol. 17, No. 1, Hal. 66–77, Jun 2019, Doi: 10.37031/Jt.V17i1.54.
- [12] F. Fahed Banihani, "Transesterification And Production Of Biodiesel From Waste Cooking Oil: Effect Of Operation Variables On Fuel Properties," *Am. J. Chem. Eng.*, Vol. 4, No. 6, Hal. 154, 2016, Doi: 10.11648/J.Ajche.20160406.13.
- [13] Hastuti, Zulaicha Dwi, Dwi Husodo Prasetyo, and Erlan Rosyadi. "Pemanfaatan CPO asam lemak bebas tinggi sebagai bahan bakar." *Jurnal Energi dan Lingkungan (Enerlink)* 11.1 (2015).
- [14] B. Changmai, C. Vanlalveni, A. P. Ingle, R. Bhagat, Dan L. Rokhum, "Widely Used Catalysts In Biodiesel Production: A Review," *Rsc Adv.*, Vol. 10, No. 68, Hal. 41625–41679, 2020, Doi: 10.1039/D0ra07931f.
- [15] Maisarah, Nurhayati, Dan A. Linggawati, "Transesterification Of Crude Palm Oil (Cpo) To Biodiesel Using Heterogeneous Catalyst K-Cao From Anadara Granosa Synthesized By Sol Gel Method," In *Journal Of Physics: Conference Series*, Iop Publishing Ltd, Nov 2020. Doi: 10.1088/1742-6596/1655/1/012035.