



Preparation of NaOH/CaO Superbase Catalyst from Limestone for the Biodiesel Production

Sintia Muharani[✉], Mustain Zamhari, dan Erwana Dewi

Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Sriwijaya Negara, Gedung Graha Pendidikan Telp. 0711-353414 Palembang 30139

Info Artikel

Diterima : 08-08-2023

Disetujui : 28-10-2023

Dipublikasikan: 30-11-2023

Keywords:

limestone, catalyst, CaO superbase catalyst, biodiesel.

Abstrak

Kebutuhan energi yang semakin meningkat menuntut penemuan energi baru dan terbarukan, salah satunya adalah biodiesel dari minyak tanaman atau lemak hewan. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan biodiesel alternatif dari minyak jelantah melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis CaO termodifikasi. Proses preparasi katalis CaO dari batu kapur melibatkan kalsinasi pada suhu 700°C, 800°C, dan 900°C. Katalis CaO superbasa diperoleh dengan perendaman dalam larutan amonium karbonat dan dipanaskan kembali pada suhu 900°C. Penelitian ini mencakup uji coba dengan variasi waktu dan suhu reaksi untuk memahami peran katalis dalam proses pembuatan biodiesel. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa katalis yang dikalsinasi pada suhu 900°C selama 4 jam memberikan hasil paling optimal, dengan intensitas 1656,88 yang mengindikasikan dominasi senyawa CaO. Penggunaan katalis CaO superbasa menghasilkan biodiesel dengan konversi mencapai 99,9% dan kadar ester mencapai 98,82%-99,07%. Biodiesel yang dihasilkan memenuhi standar SNI untuk densitas dan titik nyala, namun viskositas masih berada di bawah standar. Analisis kinetika reaksi transesterifikasi menunjukkan bahwa efisiensi reaksi dipengaruhi oleh penggunaan katalis CaO termodifikasi. Prosedur percobaan juga meliputi penentuan kandungan asam lemak bebas pada minyak jelantah, yang berhasil memenuhi standar industri dengan FFA maksimal 1%. Selain itu, yield biodiesel dipengaruhi oleh perbandingan mol minyak terhadap metanol dan konsentrasi katalis.

Abstract

The increasing need for energy demands the discovery of new and renewable energy, one of which is biodiesel from plant oil or animal fat. This research aims to produce alternative biodiesel from used cooking oil through transesterification reaction using modified CaO catalyst. The preparation process of CaO catalyst from limestone involves calcination at 700°C, 800°C, and 900°C. Superbase CaO catalyst was obtained by immersion in ammonium carbonate solution and reheating at 900°C. This research includes trials with variations in reaction time and temperature to understand the role of catalysts in the biodiesel production process. The results of XRD analysis showed that the catalyst calcined at 900°C for 4 hours gave the most optimal results, with an intensity of 1656.88 indicating the dominance of CaO compounds. The use of CaO superbase catalyst produced biodiesel with conversion reaching 99.9% and ester content reaching 98.82%-99.07%. The biodiesel produced meets SNI standards for density and flash point, but viscosity is still below the standard. Analysis of transesterification reaction kinetics showed that the reaction efficiency was influenced by the use of modified CaO catalyst. The experimental procedure also included the determination of free fatty acid content in used cooking oil, which successfully met the industry standard with a maximum FFA of 1%. In addition, biodiesel yield was affected by the mole ratio of oil to methanol and catalyst concentration.

Pendahuluan

Data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menunjukkan bahwa setiap tahunnya, cadangan minyak bumi di Indonesia terus mengalami penurunan. Pada tahun 2018, jumlah cadangan minyak bumi hanya mencapai 3156 juta barel (Migas, 2019). Pertumbuhan kebutuhan energi oleh manusia telah menciptakan tantangan baru dalam penyediaan sumber energi. Ketidakseimbangan antara ketersediaan energi dan permintaan menjadi isu yang perlu diatasi. Bahan bakar fosil sebagai sumber daya alam semakin berkurang dan perlu dicari alternatif lain. Dalam menghadapi situasi ini, manusia terus berusaha mencari solusi melalui inovasi, salah satunya adalah dengan mengembangkan biodiesel dari minyak tanaman atau lemak hewan (Dini Angelia *et al.*, 2022).

Penggunaan minyak jelantah seringkali berakhir dengan pembuangan ke perairan, yang jika terus-menerus dilakukan dapat menyebabkan peningkatan kadar COD dan BOD. Dampak dari situasi ini adalah terkait dengan kehidupan laut dan hewan-hewan di dalamnya yang mengalami kematian akibat kurangnya penetrasi sinar matahari ke dalam perairan (Mardiana, 2020). Untuk mengatasi situasi tersebut, salah satu solusi yang dapat digunakan adalah mengolah ulang Konversi minyak jelantah menjadi biodiesel merupakan solusi berkelanjutan. Biodiesel bisa dihasilkan dari minyak yang belum terpakai maupun minyak jelantah, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang lebih mahal. Pendekatan ini diharapkan dapat membantu lingkungan, mengatasi tantangan sumber energi, dan mengurangi biaya produksi biodiesel agar lebih terjangkau.

Untuk menghasilkan biodiesel, trigliserida (lemak hewani) dan mono-alkohol mengalami transesterifikasi melalui bantuan katalis. Biodiesel, juga dikenal sebagai Fatty Acid Methyl Esters (FAME), merupakan jenis bahan bakar yang memiliki sifat ramah lingkungan dan tingkat kebersihan yang lebih tinggi. Bahan bakar ini memegang peranan kunci dalam pengembangan energi terbarukan (E. O. Ajala *et al.*, 2020). Namun, dalam proses produksinya, reaksi kimia kadang berjalan lambat, sehingga diperlukan suatu substansi untuk meningkatkan kecepatan reaksi kimia dalam produksi biodiesel.

Penggunaan batu kapur melibatkan penggunaannya sebagai bahan mentah dalam pembuatan katalis heterogen karena mengandung kalsium oksida (CaO). Selain itu, batu kapur juga berguna sebagai material dalam pembuatan jalan, bendungan, kaca, keramik, dan memiliki peran sebagai penjernih air.

Dalam pembuatan biodiesel, penggunaan katalis menjadi krusial untuk menaikkan kecepatan reaksi dan yield biodiesel yang dihasilkan. Katalis homogen memiliki kekurangan dalam hal kesulitan pemisahan dari hasil reaksi dan mungkin menghasilkan produk samping seperti sabun, sehingga membuat proses menjadi kurang efektif (Pasae, Y., dkk., 2019). Untuk mengatasi permasalahan ini, upaya penelitian terus dijalankan pada katalis heterogen guna mencapai proses produksi biodiesel yang lebih ramah lingkungan. Salah satu katalis heterogen yang mendapatkan banyak perhatian adalah kalsium oksida (CaO), yang memiliki tingkat aktivitas yang sangat baik dalam reaksi transesterifikasi. Selain itu, CaO juga memiliki keunggulan dalam hal ketersediaan dan biaya yang terjangkau, karena dapat diperoleh dari sumber daya alam seperti mineral (I. Lawan *et al.*, 2020).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Sari, *et al.*, 2012), katalis dibuat dari batu kapur dengan berbagai variasi suhu kalsinasi, melibatkan suhu 700°C, 800°C, dan 900°C, serta waktu kalsinasi selama 3 jam, 3,5 jam, dan 4 jam. Dalam analisis menggunakan XRD, terlihat bahwa katalis yang mengalami kalsinasi pada suhu 900°C selama 3 jam menunjukkan tingkat intensitas CaO yang paling tinggi. Puncak-puncak karakteristiknya terdeteksi pada sudut $2\theta = 32,21^\circ; 37,31^\circ; 53,83^\circ; 64,13^\circ; 67,33^\circ; 79,61^\circ; \text{ dan } 88,48^\circ$. Selanjutnya, proses transesterifikasi dilakukan dengan mencampur minyak jelantah dan metanol dalam perbandingan molar 1:16, dengan menambahkan 1 gram katalis CaO. Campuran ini diaduk pada suhu 60°C dengan kecepatan pengadukan 800 rpm selama 1 jam. Hasil analisis menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan memiliki yield sekitar 55%, densitas sekitar 0,86 gr/cm³, dan viskositas sekitar 1,45 mm²/s.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Febriana, *et al.*, 2021), fokusnya adalah produksi katalis CaO dari batu kapur melalui proses kalsinasi pada suhu 900°C selama 3 jam. Hasil analisis menggunakan XRD menunjukkan adanya puncak karakteristik CaO pada sudut $2\theta = 36,95^\circ; 54,38^\circ; 64,28^\circ; \text{ dan } 78,61^\circ$. Namun, hasil analisis FTIR mengisyaratkan bahwa katalis CaO yang dihasilkan dari batu kapur belum mencapai tingkat kemurnian senyawa CaO yang optimal. Dalam proses karakterisasi melalui SEM-EDX, struktur morfologi padatan menggambarkan adanya bentuk berbentuk balok dan prisma, dengan ukuran partikel yang terukur sekitar 10 μm .

Penelitian yang berjudul "Prediction of Biodiesel from Cooking Oil using CaO Catalyst" mencatat data dari reaksi transesterifikasi biodiesel yang melibatkan katalis CaO yang mengalami kalsinasi pada suhu 200°C. Hasilnya menunjukkan bahwa presentase hasilnya adalah 76,7%. Sebaliknya, penggunaan katalis CaO tanpa kalsinasi menghasilkan presentase yield sebesar 87,7%. Dalam penelitian ini, tidak ada penggunaan katalis CaO yang dimodifikasi, dan akibatnya, hasil yield yang diperoleh tidak sesuai dengan standar SNI (Mohamad *et al.*, 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan biodiesel alternatif dari minyak bekas yang telah dimodifikasi melalui proses reaksi transesterifikasi. Selain itu, penelitian ini juga akan menganalisis data kinetika reaksi transesterifikasi untuk memahami peran katalis CaO modifikasi dalam produksi biodiesel. Dalam penelitian ini, akan diteliti pengaruh waktu dan suhu terhadap kinetika reaksi, sehingga dapat dipahami faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi reaksi dan pembentukan biodiesel. Harapannya, hasil dari penelitian ini akan memberikan wawasan lebih mendalam tentang potensi produksi biodiesel alternatif dari minyak jelantah dan kontribusinya dalam mengembangkan sumber energi yang berkelanjutan.

Metode

Proses pembuatan dan analisis katalis NaOH/CaO dari Batu Kapur melibatkan berbagai bahan dan alat yang diperlukan untuk melaksanakan eksperimen tersebut. Bahan-bahan yang digunakan mencakup batu kapur sebagai bahan utama untuk katalis, minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel, isopropil alkohol sebagai pelarut, NaOH (sodium hidroksida) sebagai bahan untuk aktivasi batu kapur, fenolftalein sebagai indikator dalam reaksi transesterifikasi, metanol sebagai pelarut, aquadest untuk keperluan pengenceran dan pencucian, serta mengukur sifat kebasahan katalis CaO superbasa dengan menggunakan indikator *hammet*.

Sementara itu, alat-alat yang digunakan meliputi neraca analitik, labu erlenmeyer, hotplate dengan magnetic stirrer, cawan porselin, statif dan klem, pipet volume dan pipet tetes, bola karet dan pengaduk, kaca arloji, kertas saring, gelas kimia, ayakan 50 mesh, corong pemisah, desikator, thermometer, oven, furnace, mortar, dan piknometer. Selama penelitian, bahan-bahan tersebut akan dikelola dan diproses dengan hati-hati sesuai dengan prosedur eksperimental yang telah ditentukan. Berbagai metode analisis dan karakterisasi akan digunakan untuk memastikan kualitas dan keefektifan katalis yang dihasilkan serta menilai kualitas biodiesel dari reaksi transesterifikasi. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan wawasan lebih dalam tentang potensi produksi biodiesel berbahan dasar minyak jelantah dengan katalis NaOH/CaO superbasa dari batu kapur serta kontribusinya dalam pengembangan sumber energi yang berkelanjutan.

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah preparasi katalis yang dimulai dengan menghaluskan batu kapur alami (CaCO_3) menggunakan lumpang dan alu. Selanjutnya, sebanyak 75 gram CaCO_3 diayak menggunakan ayakan berukuran 100 mesh. Tahap selanjutnya adalah kalsinasi CaCO_3 dalam furnace pada suhu 700°C , 800°C , dan 900°C dengan berbagai durasi untuk menghilangkan pengotor dan mengalami restrukturisasi. Untuk menghasilkan katalis CaO superbasa, sebanyak 7 gram CaO direndam dalam larutan amonium karbonat, kemudian dikeringkan dalam oven sebelum ditempatkan kembali dalam furnace pada suhu 900°C . Setelah itu, katalis disimpan dalam desikator untuk menjaga kondisinya tetap kering.

Langkah kedua dari percobaan ini penentuan kandungan asam lemak bebas (ALB) dalam minyak jelantah. Proses ini dimulai dengan menimbang 20 gram sampel minyak jelantah dalam erlenmeyer berkapasitas 250 mL. Selanjutnya, isopropil alkohol dan indikator fenolftalein ditambahkan ke dalam sampel minyak, dan campuran dipanaskan hingga mencapai suhu $50\text{-}60^\circ\text{C}$. Setelah mencapai suhu yang tepat, larutan NaOH digunakan untuk melakukan titrasi sampel hingga biodiesel yang terbentuk mengalami perubahan warna menjadi merah muda.

Langkah ketiga dalam eksperimen melibatkan produksi biodiesel dengan cara mentransesterifikasi minyak jelantah menggunakan metanol dan 1 gram katalis CaO dengan rasio molar 1:16. Reaksi berlangsung selama 1 jam pada suhu 60°C dengan pengadukan pada kecepatan 800 rpm. Setelah transesterifikasi selesai, campuran reaksi dipisahkan menggunakan corong pemisah untuk memisahkan biodiesel dan gliserol dari katalis yang mengendap.

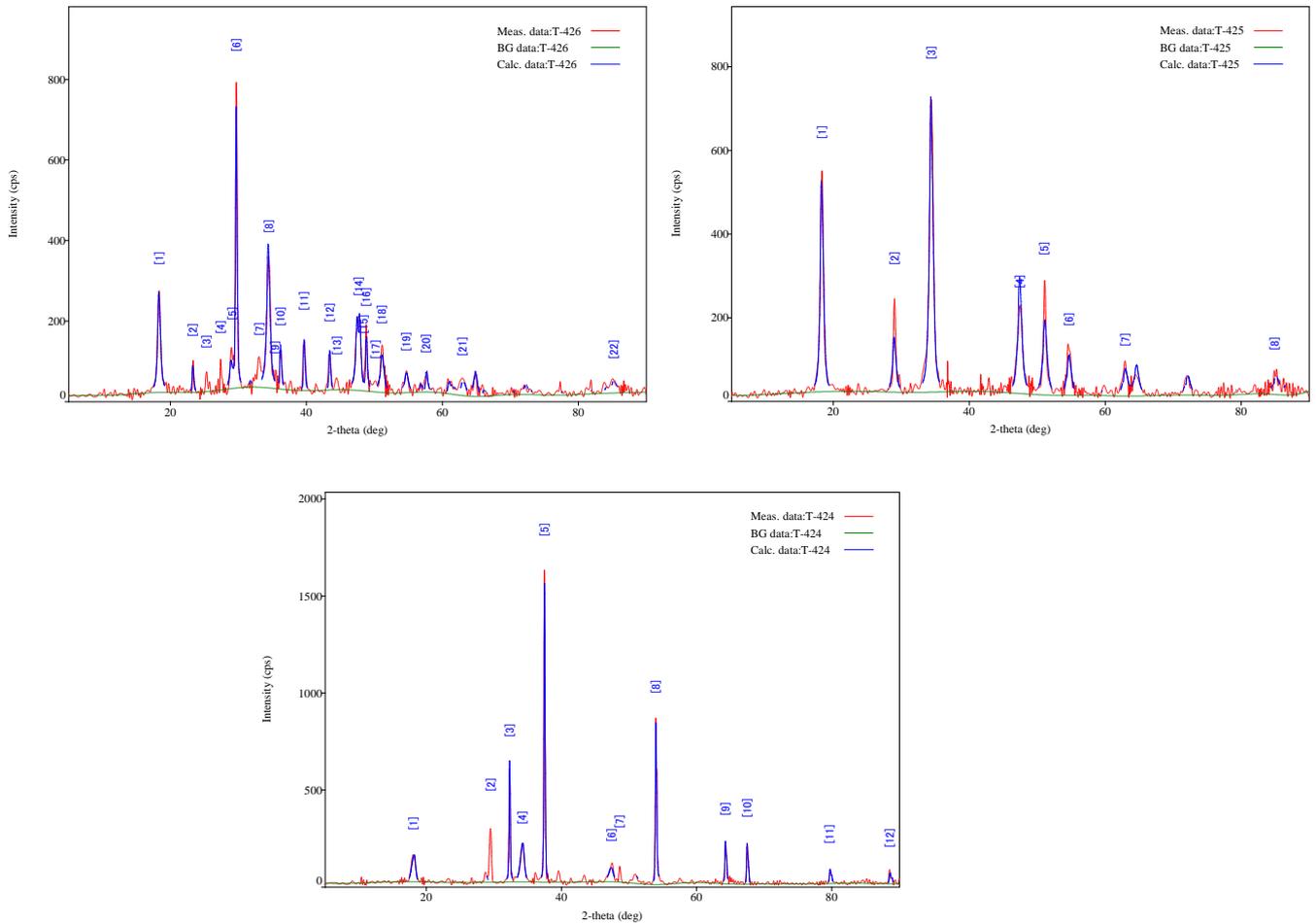
Hasil dan Pembahasan

Uji XRD pada Katalis

XRD adalah metode analisis yang sangat berguna dalam karakterisasi material kristalin. Ini berdasarkan prinsip difraksi sinar-X oleh kristal, yang memungkinkan kita untuk mengetahui tata letak atom-atom dalam struktur kristal dan mengidentifikasi fasa kristalin dalam suatu sampel. XRD memungkinkan kita untuk mengidentifikasi komponen-komponen kristalin dalam suatu sampel dengan membandingkan pola difraksi yang dihasilkan dengan database referensi yang berisi pola difraksi dari berbagai fasa kristalin yang diketahui. XRD dapat digunakan untuk menentukan parameter struktur kisi kristal, seperti panjang dan sudut ikatan antar-atom. Informasi ini membantu dalam memahami sifat-sifat kristal dan hubungan struktur-struktur berbeda.

CaO memiliki sifat alkalis yang kuat dan dapat digunakan sebagai katalis superbasa dalam berbagai reaksi kimia, termasuk transesterifikasi, reaksi aldol, dehidrasi alkohol, hidrasi karbon dioksida, dan banyak lagi. Analisis XRD digunakan untuk mengidentifikasi fase-fase kristalin dalam katalis CaO dan memantau perubahan struktur kristal yang mungkin terjadi selama aktivasi atau reaksi katalitik. Metode analisis yang digunakan akan bergantung pada sifat katalis CaO dan tujuan spesifik dari pengujian. Pengujian katalis CaO

superbasa ini memiliki peran yang krusial dalam peningkatan dan pengembangan reaksi katalitik yang efisien dan berkelanjutan. Grafik hasil XRD katalis CaO Superbasa dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 3. Grafik Hasil Analisis XRD Katalis CaO Superbasa pada Suhu 700°C, 800°C, dan 900°C

Tabel 1. Data Hasil Analisis XRD pada Katalis CaO Superbasa

Sampel		Hasil Pemeriksaan			
Suhu (°C)	Waktu (jam)	Intensity CaO (cps)	Crystallite Size (Å)		
			90°(α)	90°(β)	90°(γ)
700	4	774,57	3.582	3.852	4.889
800	4	737,56	3.5856	3.5856	4.9022
900	4	1656,88	4.8111	4.8111	4.8111

Pada Tabel 1, analisis menunjukkan bahwa katalis dikalsinasi pada suhu 900°C selama 4 jam memberikan hasil yang paling optimal. Hal ini dapat dari nilai intensitas sebesar 1656,88 pada analisis XRD yang menunjukkan keberadaan senyawa CaO secara dominan. Selain itu, hasil analisis lain seperti densitas dan titik nyala juga menunjukkan bahwa katalis yang diproses pada suhu 900°C memiliki kinerja terbaik.

Pada suhu kalsinasi 700°C, terjadi masalah dengan kalsinasi yang belum sempurna. Dapat dilihat pada hasil analisa XRD dominan masih CaCO₃, serta terdapat senyawa Ca(OH)₂ atau *portlandite*. Sementara pada suhu 800°C, kalsinasi juga belum sempurna dan pada katalis ini dominan terdapat senyawa Ca(OH)₂. Hal ini dipengaruhi oleh waktu dan suhu kalsinasi yang digunakan dalam proses produksi katalis. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami dan mengatasi masalah kalsinasi yang belum sempurna pada suhu yang lebih rendah. Sedangkan, pada penelitian lain oleh Yolanda Citra Sari dkk (2022) menunjukkan bahwa

katalis dengan suhu kalsinasi 900°C selama 3 jam menghasilkan intensitas CaO tertinggi pada analisis XRD. Penelitian ini dilanjutkan dengan transesterifikasi minyak jelantah menggunakan katalis CaO pada suhu 60°C dan menghasilkan biodiesel dengan yield sebesar 55%, densitas 0,86 g/cm³, dan viskositas 1,45 mm² /s.

Uji Sifat Kebasaan Katalis

Perbedaan utama antara katalis CaO dan katalis CaO superbasa terletak pada tingkat aktivitasnya. Katalis CaO memiliki tingkat aktivitas yang lebih rendah daripada katalis CaO yang telah dimodifikasi menjadi superbasa. Penerapan katalis CaO superbasa telah terbukti meningkatkan efisiensi reaksi transesterifikasi minyak nabati menjadi biodiesel dengan tingkat konversi yang sangat tinggi, mencapai 99,9%, dan kandungan ester yang tinggi, berkisar antara 98,82% hingga 99,07% (Fanny *et al.*, 2012). Peningkatan aktivitas katalis CaO menjadi superbasa, yang menghasilkan performa katalitik yang lebih baik dalam reaksi transesterifikasi minyak nabati menjadi biodiesel, umumnya disebabkan oleh modifikasi struktural atau kimia pada katalis.

Beberapa faktor yang dapat menjelaskan mengapa katalis CaO superbasa lebih efisien daripada CaO biasa adalah CaO superbasa memiliki sifat dasar yang lebih kuat, yang memungkinkan mereka untuk lebih efektif mengkatalisis reaksi transesterifikasi. Sifat dasar yang kuat dapat lebih mudah mengaktifkan ikatan-ikatan kimia dalam minyak nabati dan reagen reaksi, yang mengarah pada konversi yang lebih tinggi. Selain itu, modifikasi katalis CaO menjadi superbasa dapat meningkatkan luas permukaan aktif katalis, memungkinkan lebih banyak interaksi antara katalis dan reagen. Permukaan yang lebih besar ini meningkatkan kemungkinan kontak antara reagen dan katalis, yang meningkatkan efisiensi reaksi. Katalis CaO superbasa memiliki sifat-sifat yang dioptimalkan untuk reaksi transesterifikasi, yang memungkinkan mereka untuk mencapai tingkat konversi yang tinggi dan kadar ester yang tinggi. Perubahan ini dapat dicapai melalui metode modifikasi khusus yang melibatkan perancangan sifat kimia dan fisik katalis. Ini adalah contoh bagaimana rekayasa katalis dapat meningkatkan kinerja katalitik dalam berbagai aplikasi kimia. Hasil ini menunjukkan bahwa modifikasi katalis CaO menjadi superbasa mampu meningkatkan performa katalitik secara signifikan, dan menawarkan potensi yang menarik untuk berbagai aplikasi dalam reaksi katalitik.

Tabel 2. Data Hasil Analisis Uji Kebasaan pada Katalis CaO Superbasa

Indikator	H ₊	Warna Sebelum Reaksi	Warna Setelah Reaksi
Phenolphthalein	9,3	Merah muda	Tak berwarna
4-nitroaniline	-	Kuning	Kuning
diphenylamine	-	Tidak berwarna	Tidak berwarna

Dalam penelitian ini, katalis diuji untuk sifat basanya dengan menggunakan tiga indikator berbeda, yaitu phenolphthalein, 4-nitroaniline, dan diphenylamine. Hasil uji menggunakan phenolphthalein menunjukkan perubahan warna dari merah muda menjadi tidak berwarna, menandakan tingkat kekuatan basa katalis sebesar 9,3.

Karena keterbatasan bahan dan sumber daya, penelitian hanya menggunakan indikator phenolphthalein dan tidak menguji menggunakan indikator 4-nitroaniline dan diphenylamine. Dengan demikian, kekuatan basa katalis diketahui berada dalam range 9,3. Namun, hasil ini tidak memenuhi harapan karena katalis CaO super basa seharusnya memiliki kekuatan basa melebihi 15 hingga 26.

Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan lebih banyak sumber daya dan indikator lain untuk memastikan kekuatan basa sebenarnya dari katalis. Hasil ini menjadi panduan untuk mengoptimalkan pembuatan katalis superbasa dengan kekuatan basa yang diharapkan agar dapat digunakan secara lebih efektif dalam produksi biodiesel dari minyak jelantah.

Analisa Hasil Analisa Mutu Biodiesel pada Variasi Suhu dan Waktu Katalis**Tabel 3.** Data Analisa Mutu Biodiesel pada Variasi Suhu dan Waktu Katalis

No	Sampel		Yield (%)	Densitas (gr/cm ³)	Viskositas Kinematik (cSt)	FFA (%)
	Suhu (°C)	Waktu (Jam)				
1	700	2	88,2	0,851	1,057	0,525
2		3	89	0,855	1,090	0,512
3		4	89,85	0,868	1,036	0,550
4	800	2	90,05	0,859	1,110	0,550
5		3	92,1	0,863	1,114	0,627
6		4	92,4	0,876	1,169	0,653
7	900	2	97,15	0,872	1,137	0,614
8		3	99,75	0,885	1,163	0,678
9		4	93,45	0,894	1,118	0,64
SNI-04-7182-2006				0,85-0,89	2,3-6	

Tingkat yield dalam produksi biodiesel adalah parameter kunci untuk menilai efisiensi proses transesterifikasi. Beberapa faktor, seperti rasio mol minyak terhadap metanol dan konsentrasi katalis, memiliki dampak langsung terhadap hasil produksi biodiesel. Peningkatan perbandingan mol minyak terhadap metanol juga berdampak positif pada yield biodiesel, karena jumlah metanol yang lebih banyak dalam minyak akan mendorong reaksi menuju pembentukan produk, sehingga meningkatkan yield biodiesel (Prihanto & Irawan, 2018). Grafik perbandingan nilai yield terhadap waktu pada berbagai suhu kalsinasi menunjukkan bahwa secara umum, semakin lama waktu kalsinasi, nilai yield cenderung meningkat pada setiap suhu kalsinasi yang diuji. Namun, penting untuk memperhatikan batasan durasi kalsinasi yang optimal, karena suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat memengaruhi kualitas produk akhir dan efisiensi proses secara keseluruhan.

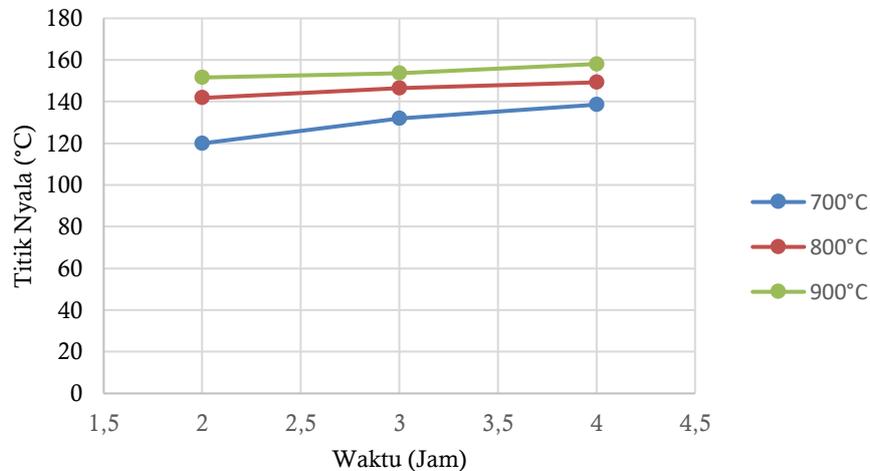
Tabel 3. menunjukkan bahwa %FFA (*Free Fatty Acid*) yang dihasilkan dari proses transesterifikasi biodiesel berada dalam rentang antara 0,512% hingga 0,678%. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa %FFA yang diperoleh memenuhi syarat pembuatan biodiesel. Standar industri mengharuskan kadar FFA maksimal untuk biodiesel adalah 1% (Rizca Aulyana Lutfi Alfianita, 2019), dan dengan kadar FFA yang diperoleh di bawah batas maksimum tersebut, biodiesel yang dihasilkan dianggap sesuai dengan persyaratan kualitas yang ditetapkan. Kadar FFA yang rendah penting untuk menjaga efisiensi proses transesterifikasi dan kualitas biodiesel yang dihasilkan. Semakin tinggi tingkat keasaman, maka biodiesel akan memiliki sifat korosivitas yang lebih tinggi terhadap mesin (Nenobahan *et al.*, 2020).

Densitas atau massa jenis adalah sebuah parameter yang mengindikasikan perbandingan berat bahan bakar minyak pada suhu tertentu dengan berat air pada volume dan suhu yang sama. Biasanya, pengukuran densitas dilaksanakan dengan perangkat seperti Piknometer. Densitas berkaitan erat dengan kemampuan serta nilai kalor yang dihasilkan oleh mesin diesel per volume unit bahan bakar (Atmoko *et al.*, 2014). Densitas atau massa jenis biodiesel adalah salah satu parameter yang mempengaruhi kualitas dan performa bahan bakar. Untuk menghasilkan biodiesel dengan nilai kalor yang tinggi, densitas yang rendah dan sesuai dengan standar SNI-04-7182-2006 diperlukan. Densitas biodiesel yang dihasilkan berada dalam kisaran 0,851 gr/ml hingga 0,855 gr/ml, perlu ditingkatkan eliminasi zat pengotor seperti sabun kalium dan gliserol untuk meningkatkan homogenitas dan kualitas biodiesel. Proses transesterifikasi dapat menyebabkan penurunan densitas trigliserida yang digunakan, namun penggunaan katalis basa yang kurang optimal dapat menyebabkan densitas biodiesel menjadi lebih rendah dari yang diinginkan.

Viskositas merupakan suatu parameter yang menggambarkan tingkat hambatan dari cairan dalam mengalir atau seberapa besar tahanan geser yang dimiliki oleh cairan tersebut. Semakin tinggi viskositas, maka cairan akan semakin kental dan mengalir dengan lebih sulit (Ahmad Halid S. *et al.*, 2016). Viskositas yang tinggi bisa mengakibatkan berkurangnya efisiensi dalam proses pencampuran bahan bakar dan udara, serta mengganggu pembakaran di dalam ruang bakar, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi kinerja mesin (Abd Rabu *et al.*, 2013). Berdasarkan Grafik 4.5, hasil uji menunjukkan bahwa viskositas kinematik pada berbagai variasi komposisi biodiesel belum memenuhi standar SNI-04-7182-2006. Viskositas yang tidak sesuai dengan standar dapat berdampak pada proses pencampuran bahan bakar di ruang bakar. Saat viskositas bahan bakar tinggi, pencampuran bahan bakar mungkin tidak optimal, dan akibatnya, ukuran

tetes bahan bakar yang tercampur menjadi lebih besar. Keadaan ini dapat mengakibatkan peningkatan dalam pembentukan endapan dan emisi bahan bakar (Syamsidar, 2013).

Titik nyala adalah nilai yang menunjukkan suhu terendah di mana bahan bakar minyak dapat terbakar ketika terpapar dengan nyala api sebentar. Penentuan titik nyala memiliki relevansi krusial dalam aspek keselamatan terkait penyimpanan dan transportasi bahan bakar minyak, dengan tujuan untuk menghindari potensi risiko kebakaran. Nilai flash point yang rendah menandakan bahan bakar lebih mudah terbakar saat pembakaran. Tingkat keberkahan bahan bakar yang diukur dengan nilai setana juga berpengaruh terhadap durasi keterlambatan penyalaaan yang lebih singkat.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Suhu dan Waktu Kalsinasi Katalis terhadap Titik Nyala Produk Biodiesel

Dari Gambar 4, kita dapat memahami bagaimana titik nyala biodiesel dipengaruhi oleh suhu katalis dan lamanya waktu reaksi. Semakin tinggi suhu katalis, semakin tinggi juga titik nyala biodiesel pada waktu reaksi tertentu. Pada suhu 700°C, titik nyala biodiesel pada waktu 2 jam adalah 120,3°C, sedangkan pada suhu 800°C, titik nyala biodiesel pada waktu 2 jam meningkat menjadi 141,8°C. Kemudian pada suhu 900°C, titik nyala biodiesel pada waktu 2 jam mengalami kenaikan menjadi 151,6°C. Semakin lama waktu reaksi, cenderung titik nyala biodiesel meningkat pada suhu katalis yang sama. Dari analisis data ini, dapat disimpulkan bahwa suhu katalis dan lamanya waktu reaksi merupakan faktor kritis yang mempengaruhi titik nyala biodiesel.

Simpulan

Katalis CaO Superbasa yang diolah melalui kalsinasi pada suhu 900°C selama 4 jam menunjukkan hasil yang paling optimal, meskipun kekuatan basanya masih di bawah 15. Proses pembuatan biodiesel menggunakan katalis CaO telah memenuhi standar SNI untuk densitas, titik nyala, dan kadar asam lemak bebas. Namun, viskositas biodiesel masih berada di bawah standar yang ditetapkan.

Daftar Referensi

- Abd Rabu, R., Janajreh, I., & Honnery, D. (2013). Transesterification of waste cooking oil: process optimization and conversion rate evaluation. *Energy Conversion and Management*, 65, 764–769.
- Ahmad Halid S., N. B. (2016, Agustus). Pengolahan Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel. *Jurnal Entropi*, 11(2), 204-214.
- Ajala, E. O., Ajala, M. A., Ajao, A. O., Saka, H. B., & Oladipo, A. C. (2020). Calcium-carbide Residue: A Precursor for the Synthesis of CaO-Al₂O₃-SiO₂-CaSO₄ Solid Acid Catalyst for Biodiesel Production using Waste Lard. *Chem. Eng. J. Adv.*, p. 100033.

- Atmoko, W. P., Widjanarko, D., & Pramono. (2014). Pengaruh temperatur pada proses transesterifikasi terhadap karakteristik biodiesel dari minyak goreng bekas. *Journal of Mechanical Engineerin Learning*, 3(1), 39–46.
- Dini, A., & G. P. Angelia. (2022). Kinetika Reaksi Transesterifikasi Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis CaO Modifikasi. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur: *Jurnal Teknik Kimia*, 16(2).
- Fanny, W. A., subagjo, & Prakoso, T. (2012). Pengembangan Katalis Kalsium Oksida untuk Sintesis Biodiesel. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 11(2), 66-73.
- Febriana, I. D., Hamida, A., Jakfara, A., Rohmaha, M. A. F., Purbaningtiyas, T. E., Rahmawati, Z., & Wijaya, S. D. (2021). Pemanfaatan Batu Kapur Madura sebagai Katalis dalam Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung.
- Lawan, I., Garba, Z. N., Zhou, W., Zhang, M., & Yuan, Z. (2020). Synergies between the microwave reactor and CaO/zeolite catalyst in waste lard biodiesel production. *Renew. Energy*, 145, 2550–2560.
- Mardiana, S., Mulyasih, R., Tamara, R., & Sururi, A. (2020). Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga Minyak Jelantah dengan Ekstrak Jeruk dalam Perspektif Komunikasi Lingkungan di Kelurahan Kaligandu. *Jurnal Solma*, 9(1), 92-101.
- Mohamad, M., & N. N. Mohamad. (2017). Prediction of Biodiesel Yield During Transesterifikasi Process Using Response Surface Methodology. *Journal Fuel*, 104-112.
- Nenobahan, M. A., Ledo, M. E. S., & Nitsae, M. (2020). Pembuatan biodiesel minyak jelantah menggunakan biokatalis ekstrak kasar lipase dari biji kesambi (*Schleichera oleosa* L.). *Jurnal Saintek Lahan Kering*, 3(1), 20–25.
- Pasae, Y., Leste, J., Bulu, L., Tandiseno, T., & Tikupadang, K. (2019). Biodiesel Production From Waste Cooking Oil With Catalysts From Clamshell. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(3), 596-599.
- Prihanto, A., & Irawan, B. (2018). Pemanfaatan Minyak Goreng Bekas Menjadi Sabun Mandi. *Metana: Media Komunikasi Rekayasa Proses dan Teknologi Tepat Guna*, 14(2), 55-59.
- Sari, Y. C., Junaidi, R., & Hasan, A. (2022). Penggunaan Batu Kapur Sebagai Katalis Heterogen Untuk Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia (JPTI)*, 3(4), 363-371.
- SKK Migas. (2019). Langkah Strategis Meningkatkan Produksi Minyak Bumi.
- Syamsidar. (2013). Pembuatan dan Uji Kualitas Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Tekno Sains*, 7(2), 209-218.
- Yolanda Citra Sari, Robert Junaidi, Abu Hasan. 2022. Penggunaan Batu Kapur Sebagai Katalis Heterogen Untuk Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia (JPTI)* Vol. 3, No. 4, 363-371.