

Analisa Sifat Fisik Biodiesel Minyak Limbah Kelapa Menggunakan Katalis Zeolit

Andre Gerfino Kana^{1,*}, Soeparno Djiwo¹

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang, Jawa Timur, Indonesia

Kata kunci

Zeolit
Biodiesel
Viskositas
Densitas

ABSTRAK

Zeolit merupakan mineral kristalin alumina silika dengan struktur tiga dimensi, tersusun atas unit tetrahedral alumina dan silika yang membentuk rongga. Rongga tersebut umumnya mengandung ion logam, khususnya alkali atau alkali tanah, serta molekul udara yang dapat bergerak bebas. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis sifat fisik biodiesel yang dihasilkan dari minyak jelantah kelapa menggunakan katalis zeolit, sekaligus menilai kesesuaiannya dengan standar mutu biodiesel nasional (SNI). Pengujian viskositas dilakukan pada suhu 40°C dengan variasi massa zeolit sebagai katalis. Berdasarkan ketentuan KEP.148.K/10/DJE/2024, viskositas biodiesel yang diperbolehkan berada pada rentang 2,3–6,0 cSt. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa hanya sampel dengan penambahan 10 gram zeolit (2,67 cSt) yang memenuhi standar, sementara variasi lainnya menunjukkan nilai di bawah batas minimum. Sedangkan hasil uji densitas biodiesel berada pada kisaran 873–890 kg/m³, dengan nilai tertinggi pada penambahan.

* Corresponding author:

Andre Gerfino Kana (email: andregerfinokana41@gmail.com)

Diterima: 3 Februari 2026

Disetujui: 24 Maret 2026

Dipublikasikan: 31 Maret 2026

1 Pendahuluan

Perkembangan pesat perekonomian global telah menyebabkan penggunaan minyak bumi secara masif dan berkelanjutan, sehingga memicu kerusakan lingkungan, antara lain pemanasan global, efek rumah kaca, dan kontaminasi udara berupa kabut. Di Indonesia, energi fosil masih menjadi sumber energi utama, khususnya minyak bumi. Konsumsi minyak bumi nasional mencapai sekitar 1,6 juta barel per hari, sementara produksi domestik hanya berkisar 700.000–800.000 barel per hari. Kondisi ini menyebabkan lebih dari separuh kebutuhan harus dipenuhi melalui impor, dan jumlah yang diperkirakan akan terus meningkat jika peningkatan tidak segera ditangani. Berdasarkan Outlook Energi Indonesia 2018, kebutuhan energi pada tahun 2016 tercatat sebesar 795 juta setara barel minyak (SBM), dan diproyeksikan meningkat 2,3 kali pada tahun 2030 serta 5,7 kali pada tahun 2050, terutama untuk sektor industri dan transportasi. Ketergantungan impor energi tersebut turut berkontribusi pada defisit neraca perdagangan, terutama ketika nilai tukar rupiah melemah. Oleh karena itu, penelitian mengenai pengembangan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan semakin mendapat perhatian, dengan tujuan pengganti [1].

Perkembangan penelitian mengenai bahan bakar nabati semakin pesat dengan mengolah berbagai jenis lemak nabati menjadi alkil ester asam lemak. Puncak perkembangan ini terjadi pada pertengahan tahun 1980-an ketika ditemukan alkil ester asam lemak yang memiliki sifat mirip dengan minyak solar fosil, yang kemudian dikenal sebagai biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan dan ramah lingkungan sehingga banyak dikembangkan sebagai alternatif pengganti bahan bakar diesel konvensional. Sebagai bahan bakar yang berasal dari sumber daya hayati, biodiesel tersusun atas senyawa alkil ester asam lemak. Di wilayah tropis seperti Indonesia, biodiesel berbasis minyak nabati menjadi yang paling banyak dimanfaatkan, meskipun biodiesel juga dapat diproduksi dari minyak hewan [2].

Minyak pada dasarnya merupakan trigliserida dengan viskositas tinggi sehingga perlu melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi untuk menurunkan kekentalannya agar layak digunakan sebagai bahan bakar.

Seiring perkembangan penelitian, berbagai jenis bahan baku biodiesel telah diuji di berbagai negara, mulai dari biji jarak, kelapa sawit, minyak jelantah, hingga biji nyamplung sebagai inovasi terbaru. Di Indonesia, kelapa dipilih sebagai salah satu bahan baku potensial karena tanaman ini tersebar hampir di seluruh wilayah kepulauan Indonesia [3].

Menurut data Direktorat Jenderal Perkebunan (2019), Indonesia memiliki potensi besar sebagai produsen kelapa dengan luas perkebunan yang tersebar hampir di seluruh wilayah, mencapai 3.417.951 hektar pada tahun 2018. Kondisi tersebut menjadikan minyak kelapa mudah diperoleh dengan harga yang relatif terjangkau. Pemilihan kelapa sebagai bahan baku biodiesel didasarkan pada ketersediaannya yang melimpah di kepulauan Indonesia. Salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam produksi biodiesel adalah proses transesterifikasi, yaitu reaksi kimia antara trigliserida dan alkohol yang menghasilkan alkil ester dengan bantuan penambahan katalis [4].

Proses transesterifikasi memiliki beberapa keterbatasan, antara lain waktu reaksi yang relatif lama serta tahapan yang cukup kompleks sehingga memerlukan biaya produksi yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode mikroemulsi sebagai alternatif untuk mengatasi permasalahan viskositas minyak nabati yang tinggi. Metode mikroemulsi dilakukan dengan mencampurkan fase minyak nonpolar (minyak nabati atau solar) dengan pelarut polar, seperti etanol, menggunakan bantuan surfaktan dan kosurfaktan. Teknik ini dinilai lebih sederhana serta lebih ekonomis dibandingkan transesterifikasi. Dalam penelitian ini, minyak kelapa digunakan sebagai bahan baku biodiesel dan dicampurkan dengan metanol sebagai pelarut. Selanjutnya surfaktan berupa butanol ditambahkan ke dalam campuran, kemudian diaduk dan diamkan hingga terbentuk sistem satu fase. Biofuel yang dihasilkan kemudian diuji karakteristiknya, meliputi densitas, viskositas, nilai kalor, titik nyala (*flash*), angka setana, serta *FTIR* untuk melihat gugus fungsi yang terbentuk, sehingga rantai karbon yang panjang dapat terputus dan diperoleh *biodiesel* dengan kualitas baik [5].

Penelitian yang dilakukan oleh Rengga (2020) yang membahas mengenai *catalytic cracking* dengan menggunakan minyak biji karet sebagai umpan dan katalis H_2SO_4 . Fokus penelitian adalah pengaruh perengkahan katalitik terhadap karakteristik fisik *octane booster* yang dihasilkan dari minyak biji karet. Penelitian ini melibatkan perengkahan katalitik dengan variasi waktu reaksi antara 0,5 hingga 2 jam dan suhu reaksi antara 160 hingga 250 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada variasi waktu reaksi dengan suhu 160 °C, waktu optimum perengkahan tercapai pada 1 jam dengan densitas 0,913 g/L, viskositas 0,276 poise, dan *octane number* (*ON*) sebesar 87,77. Selanjutnya, pada variasi suhu dengan waktu reaksi tetap 1 jam, hasil optimum diperoleh pada suhu 220 °C dengan densitas 0,921 g/L, viskositas 0,280 poise, dan *ON* sebesar 96.

Proses perengkahan tersebut kemudian dianalisis menggunakan teknik *FTIR* dan *GC-MS* untuk memahami perubahan senyawa yang terjadi. Hasil analisis menunjukkan bahwa katalis H_2SO_4 mampu memutus rantai CO_2 pada gugus *ester-trigliserida*. Analisis menggunakan *GC-MS* menunjukkan bahwa proses perengkahan menyebabkan terputusnya senyawa dengan rantai karbon panjang, sehingga terbentuk senyawa alifatik seperti alkena, asam karboksilat, alkana, alkohol, alkanal, dan alkadiena (C7–C8). Selain itu, dihasilkan pula senyawa alifatik bercabang (C6–C8 dan C12) serta senyawa aromatik, termasuk benzena dan senyawa siklik (C6–C8) jenuh maupun tak jenuh. Hal ini menunjukkan bahwa perengkahan katalitik dapat mengubah gugus fungsi dalam minyak biji karet serta memendekkan struktur rantai karbon. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pemahaman efek perengkahan katalitik terhadap komposisi dan sifat fisik minyak biji karet, yang merupakan informasi berharga dalam pengembangan potensi penggunaannya sebagai bahan baku dalam produksi *octane booster* [6].

Zeolit merupakan mineral alumina silika berbentuk kristal dengan kerangka tiga dimensi yang memiliki pori-pori berukuran molekuler. Bahan ini memiliki sifat kimia penting, antara lain berfungsi sebagai penyerap adsorben, penukar ion resin, serta katalis dengan aktivitas tinggi. Berbagai jenis bahan padat telah banyak dikembangkan dan dimanfaatkan sebagai katalis heterogen maupun penyangga katalis dalam produksi biodiesel. Namun pemanfaatan zeolit alam sebagai katalis maupun sebagai pendukung katalis masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada modifikasi zeolit alam melalui metode impregnasi KOH agar dapat diaplikasikan sebagai katalis dalam proses transesterifikasi minyak kelapa sawit [7].

Zeolit adalah mineral kristalin alumina silika dengan struktur tiga dimensi yang tersusun dari unit tetrahedral alumina dan silika. Di dalam kerangka strukturnya terdapat alumina dan silika dengan rongga-rongga di dalam yang berisi ion-ion logam, biasanya alkali atau alkali tanah dan molekul air yang dapat bergerak bebas. Secara kimia *zeolit* dapat dinyatakan dengan rumus empiris $M_2/nO \cdot Al_2O_3 \cdot ySiO_2 \cdot wH_2O$, dimana y adalah 2 atau lebih besar, n adalah valensi kation, dan w melambangkan air yang terkandung di dalam pori-porinya. Hingga saat ini, telah ditemukan 40 jenis *zeolit* alam dan lebih dari 140 jenis *zeolit* sintesis. Potensi *zeolit* alam di Indonesia sangat besar karena sebagian besar wilayah Indonesia terdiri dari gunung berapi yang merupakan sumber mineral *zeolit*. *Zeolit* alam termasuk material mikropori yang memiliki luas permukaan cukup besar, sehingga banyak dimanfaatkan di berbagai bidang, seperti pemurnian minyak, industri petrokimia, adsorben, verifikasi gas,

pertanian, hortikultura, hingga sebagai katalis. Dalam penggunaannya, *zeolit* alam dapat berperan sebagai logam tersebut pada *zeolit* akan mendistribusikannya secara merata pada permukaan pengemban, sehingga menambah luas permukaan spesifik sistem katalis secara keseluruhan [8].

2 Metode Penelitian

A. Alat dan Bahan

Pengujian Alat yang digunakan:

- Viskokapiler
- Piknometer
- *Pensky-Martens Closed Cup*

(PMCC) Bahan yang digunakan:

- *Zeolit*
- Butanol
- Etanol

B. Pembuatan bahan pengujian biodisel 500 ml

1. Pembuatan Minyak kelapa 50%, etanol 10%, butanol 40%, *zeolit* 5gr

- a. Persiapan bahan
Bahan yang digunakan terdiri dari 50% minyak kelapa, 40% butanol, dan 10% etanol
- b. Proses Pencampuran Awal
Pencampuran bahan harus diperhatikan secara cermat, dimulai dari minyak kelapa, diikuti oleh etanol, dan terakhir butanol. Setelah semua bahan dicampurkan sesuai urutan, campuran diaduk secara merata selama 1 jam menggunakan alat pengaduk untuk memastikan homogenitas fasa.
- c. Penambahan Katalis *Zeolit*
Setelah proses pencampuran selesai sampel, ditambahkan katalis *zeolit* dengan massa sebesar 5 gram. Sampel mengandung total volume campuran sebesar 500 ml.

2. Pembuatan Minyak kelapa 50%, etanol 10%, butanol 40%, *zeolit* 10gr

- a. Persiapan bahan
Bahan yang digunakan terdiri dari 50% minyak kelapa, 40% butanol, dan 10% etanol.
- b. Proses Pencampuran Awal
Pencampuran bahan harus diperhatikan secara cermat, dimulai dari minyak kelapa, diikuti oleh etanol, dan terakhir butanol. Setelah semua bahan dicampurkan sesuai urutan, campuran diaduk secara merata selama 1 jam menggunakan alat pengaduk untuk memastikan homogenitas fasa.
- c. Penambahan Katalis *Zeolit*
Setelah proses pencampuran selesai, sampel ditambahkan katalis *zeolit* dengan massa sebesar 5 gram. Sampel mengandung total volume campuran sebesar 500 ml.

3. Pembuatan Minyak kelapa 50%, etanol 10%, butanol 40%, *zeolit* 15gr

- a. Persiapan bahan
- b. Bahan yang digunakan terdiri dari 50% minyak kelapa, 40% butanol, dan 10% etanol
- c. Proses Pencampuran Awal
Pencampuran bahan harus diperhatikan secara cermat, dimulai dari minyak kelapa, diikuti oleh etanol, dan terakhir butanol. Setelah semua bahan dicampurkan sesuai urutan, campuran diaduk secara merata selama 1 jam menggunakan alat pengaduk untuk memastikan homogenitas fasa.
- d. Penambahan Katalis *Zeolit*
Setelah proses pencampuran selesai, sampel ditambahkan katalis *zeolit* dengan massa sebesar 5 gram. Sampel mengandung total volume campuran sebesar 500 ml.

4. Pembuatan Minyak kelapa 50%, etanol 10%, butanol 40%, *zeolit* 20gr

- a. Persiapan bahan
Bahan yang digunakan terdiri dari 50% minyak kelapa, 40% butanol, dan 10% etanol.
- b. Proses Pencampuran Awal
Pencampuran bahan harus diperhatikan secara cermat, dimulai dari minyak kelapa, diikuti oleh etanol, dan terakhir butanol. Setelah semua bahan dicampurkan sesuai urutan, campuran diaduk secara merata selama 1 jam menggunakan alat pengaduk untuk memastikan homogenitas fasa.
- c. Penambahan Katalis *Zeolit*
Setelah proses pencampuran selesai, sampel ditambahkan katalis *zeolit* dengan massa sebesar 5 gram. Sampel mengandung total volume campuran sebesar 500 ml.

5. Pembuatan Minyak kelapa 50%, etanol 10%, butanol 40%, *zeolit* 25gr

- a. Persiapan bahan
Bahan yang digunakan terdiri dari 50% minyak kelapa, 40% butanol, dan 10% etanol.
 - b. Proses Pencampuran Awal
Pencampuran bahan harus diperhatikan secara cermat, dimulai dari minyak kelapa, diikuti oleh etanol, dan terakhir butanol. Setelah semua bahan dicampurkan sesuai urutan, campuran diaduk secara merata selama 1 jam menggunakan alat pengaduk untuk memastikan homogenitas fasa.
 - c. Penambahan Katalis Zeolit
Setelah proses pencampuran selesai sampel ditambahkan katalis *zeolit* dengan massa sebesar 5 gram. Sampel mengandung total volume campuran sebesar 500 ml.
- C. Pengambilan data pengujian
1. Pengambilan data pengujian Viskositas
 - a. Bersihkan viskometer dengan alkohol dan keringkan
 - b. Panaskan biodiesel diangka 40 °C
 - c. Isi viskometer dengan sampel biodiesel hingga batas yang ditentukan
 - d. Hisap biodiesel menggunakan bola hisap hingga batas garis pada viskositas kapiler
 - e. Timer waktu yang perlukan dari garis start ke garis finish di viskositas kapiler
 - f. Hitung viskositas kinematik menggunakan rumus viskositas
 - g. Viskositas biodiesel pada 40°C harus berada dalam rentang 2,3-6,0 mm² /s. (Menurut standra SNI)
 2. Pengambilan data pengujian Densitas
 - a. Alat pengukur piknometer
 - b. Timbangan analitik
 - c. Termometer
 - d. Biodiesel
 - e. Langkah-langkah
 - f. Bersihkan piknometer dan keringkan.
 - g. Timbang piknometer kosong
 - h. Isi piknometer dengan biodiesel dan timbang kembali
 - i. Ukur suhu sampel, pastikan pada 40°C
 - j. Hitung kepadatan menggunakan rumus densitas
 - k. Menetapkan kepadatan biodisel pada 40°C antara 850-890 kg/m³. (sesuai standar SNI)
 3. Pengujian Titik Nyala
(Flashpoint) Alat dan Bahan :
 - a. Alat uji titik nyala *flashpoint* senter
 - b. Termometer
 - c. BiodieselLangkah-langkah:
 - a. Masukkan sampel biodiesel ke dalam cawan uji
 - b. Panaskan sampel dengan laju pemanasan sesuai standar
 - c. Pada interval suhu tertentu, dekatkan nyala api ke permukaan sampel
 - d. Catat suhu saat muncul nyala api singkat (*flash*)Titik nyala biodiesel minimal 100°C. Nilai ini menunjukkan keamanan dalam penanganan dan penyimpanan bahan bakar. (Berdasarkan SNI)

3 Hasil dan Pembahasan

A. Data Hasil Pengujian Viskositas

Pengujian viskositas bertujuan untuk mengetahui sejauh mana penambahan zeolit sebagai katalis mempengaruhi tingkat kekentalan biodiesel yang diperoleh dari minyak limbah kelapa melalui metode mikroemulsi. Parameter viskositas memiliki peran penting dalam menilai mutu biodiesel karena berhubungan langsung dengan karakteristik aliran bahan bakar, proses pembentukan kabut pada sistem injeksi, serta performa pembakaran dalam mesin diesel. Viskositas yang terlalu tinggi dapat mengganggu aliran bahan bakar dan meningkatkan konsumsi energi pompa, sementara viskositas yang terlalu rendah dapat menyebabkan kebocoran pada sistem injeksi dan pelumasan yang tidak optimal.

Tahapan-tahapan dalam pengambilan data viskositas adalah sebagai berikut:

- 1) Menimbang *Zeolit* sesuai dengan variabelnya yaitu 5, 10, 15, 20 dan 25 gram pada timbangan analitik
- 2) Melarutkan masing-masing variabel Zeloit dengan *Aquadest* 100 mL kedalam *Beakerglass* 150 mL

- 3) Mengaduk larutan dengan magnetik *Stirer* pada *Hot Plate* dengan pemanasan 60°C dan kecepatan 40rpm agar larutan dapat homogen dengan sempurna
- 4) Diamkan larutan sampel pada suhu ruang hingga mencapai suhu ruang yaitu 30°C
- 5) Sambil menunggu larutan dingin, pastikan viskositas dalam keadaan bersih dan telah dikalibrasi
- 6) Masukkan *Aquadest* kedalam viskositas dan menempatkan termometer kedalam *Aquadest*. Mencatat waktu alir (detik), suhu dan nilai viskositas (cps)
- 7) Masukkan larutan *Zeolit* berdasarkan variabelnya kedalam viskositas dan menempatkan termometer untuk mencatat waktu alir (detik), suhu dan nilai viskositas (cps)
- 8) Melakukan pengukuran dua kali run untuk mendapatkan nilai rata-rata dan standar deviasi Berikut hasil pengujian viskositas:

Tabel 1 Uji Viskositas

No	Sampel	Suhu (°C)	Waktu (detik)		Viskositas (cps)		Rata- rata
			I	II	I	II	
1.	<i>Aquadest</i>	40	3.41	3.43	0.6560	0.6560	0.6560
2.	<i>Zeolit</i> 5 gram	40	11.02	11.14	1.952	1.943	1.95
3.	<i>Zeolit</i> 10 gram	40	14.14	14.53	1.883	1.751	1.82
4.	<i>Zeolit</i> 15 gram	40	11.39	11.45	2.040	2.093	2.07
5.	<i>Zeolit</i> 20 gram	40	12.11	11.86	1.908	1.925	1.92
6.	<i>Zeolit</i> 25 gram	40	12.32	12.08	2.132	2.123	2.13

Berdasarkan standar mutu pada Nomor 148.K/EK.05/DJE/2024. Satuan yang digunakan adalah cSt (*Centistokes*) sehingga satuan hasil pengujian perlu diubah.

Tabel 2 Merubah Satuan Viskositas

No	Sampel	Viskositas (cps)	Viskositas (cSt)
1.	<i>Zeolit</i> 5 gram	1.95	2.22
2.	<i>Zeolit</i> 10 gram	1.82	2.07
3.	<i>Zeolit</i> 15 gram	2.07	2.35
4.	<i>Zeolit</i> 20 gram	1.92	2.18
5.	<i>Zeolit</i> 25 gram	2.13	2.42

B. Data Hasil Pengujian Densitas

Densitas merupakan salah satu parameter fisik penting dalam evaluasi kualitas biodiesel. Densitas yang sesuai akan memastikan bahwa biodiesel memiliki karakter pembakaran dan pengaliran bahan bakar yang optimal. Densitas yang terlalu tinggi dapat menghambat atomisasi bahan bakar di dalam sistem injeksi, sementara densitas yang terlalu rendah bisa menyebabkan pembakaran yang tidak efisien dan tenaga mesin berkurang. Oleh karena itu, nilai densitas yang ideal perlu dicapai agar biodiesel dapat bersaing secara teknis dengan bahan bakar diesel konvensional.

Tahapan-tahapan dalam pengambilan data viskositas adalah sebagai berikut:

- 1) Menimbang piknometer kosong terlebih dahulu
- 2) Mengisi piknometer dengan *aquadest* hingga penuh dan tutup rapat
- 3) Menimbang piknometer berisi *aquadest*
- 4) Gunakan data massa *aquadest* untuk menghitung volume piknometer
- 5) Mencatat data hasil perhitungan
- 6) Gunakan data massa *aquadest* untuk menghitung volume piknometer
- 7) Mencatat data hasil perhitungan
- 8) Menimbang *zeolit* sesuai dengan variabelnya yaitu 5, 10, 15, 20 dan 25 gram pada timbangan analitik
- 9) Memasukan *zeolit* kedalam *beakerglass* dan tambahkan dengan *aquadest* 100mL
- 10) Menimbang piknometer berisi *zeolit* sesuai dengan variabel yang ditentukan
- 11) Gunakan data massa *aquadest* untuk menghitung volume piknometer
- 12) Mencatat data hasil perhitungan

Berikut hasil pengujian viskositas:

1. *Aquadest*

Tabel 3 Uji Densitas Aquadest

Sampel	Massa (Gram)	Volume (ml)	Massa Jenis (gr/ml)	Rata-rata (gr/ml)
I	10.294	10	1.029	1.029
II	10.293	10	1.029	

2. *Zeolit 5 gram*

Tabel 4 Uji Zeolit 5 gram

Sampel	Massa (Gram)	Volume (ml)	Massa Jenis (gr/ml)	Rata-rata (gr/ml)
I	8.8558	10	0.8855	0.885
II	8.8552	10	0.8855	

3. *Zeolit 10 gram*

Tabel 1 Uji Zeolit 10 gram

Sampel	Massa (Gram)	Volume (ml)	Massa Jenis (gr/ml)	Rata-rata (gr/ml)
I	8.9036	10	0.8903	0.890
II	8.9025	10	0.8902	

4. *Zeolit 15 gram*

Tabel 2 Uji Zeolit 15 gram

Sampel	Massa (Gram)	Volume (ml)	Massa Jenis (gr/ml)	Rata-rata (gr/ml)
I	8.8194	10	0.882	0.882
II	8.8190	10	0.882	

5. *Zeolit 20 gram*

Tabel 3 Uji Zeolit 20 gram

Sampel	Massa (Gram)	Volume (ml)	Massa Jenis (gr/ml)	Rata-rata (gr/ml)
I	8.720	10	0.884	0.884
II	8.740	10	0.884	

6. *Zeolit 25 gram*

Tabel 4 Uji Zeolit 25 gram

Sampel	Massa (Gram)	Volume (ml)	Massa Jenis (gr/ml)	Rata-rata (gr/ml)
I	8.869	10	0.883	0.883
II	8.861	10	0.883	

Berikut hasil keseluruhan data pada pengujian densitas :

Tabel 5 Hasil Uji Densitas

No	Nama Sampel	Densitas (40 °C)
1.	<i>Aquadest</i>	1.029 g/ml
2.	<i>Zeolit 5 gram</i>	0.885 g/ml
3.	<i>Zeolit 10 gram</i>	0.890 g/ml
4.	<i>Zeolit 15 gram</i>	0.882 g/ml
5.	<i>Zeolit 20 gram</i>	0.884 g/ml
6.	<i>Zeolit 25 gram</i>	0.883 g/ml

Standar mutu pada Nomor 148.K/EK.05/DJE/2024. Satuan yang digunakan adalah Kg/m³ sehingga satuan hasil pengujian perlu diubah.

Tabel 6 Hasil Merubah Satuan Densitas

No	Nama Sampel	Densitas (40 °C)	Densitas (40 °C)
1.	<i>Aquadest</i>	1.029 g/ml	1029 Kg/m ³
2.	<i>Zeolit 5 gram</i>	0.885 g/ml	885 Kg/m ³

3.	<i>Zeolit</i> 10 gram	0.890 g/ml	890 Kg/m ³
4.	<i>Zeolit</i> 15 gram	0.882 g/ml	882 Kg/m ³
5.	<i>Zeolit</i> 20 gram	0.884 g/ml	884 Kg/m ³
6.	<i>Zeolit</i> 25 gram	0.883 g/ml	883 Kg/m ³

C. Data Hasil Pengujian *Flashpoint*

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *zeolit* 10 gram menghasilkan biodiesel dengan massa jenis paling optimal, dan berpotensi memberikan kinerja pembakaran yang baik serta kompatibel dengan sistem injeksi bahan bakar diesel.

Pengujian nilai *flashpoint* bertujuan untuk mengetahui suhu minimum pada saat uap dari biodiesel dapat menyala sesaat ketika terkena sumber api. Pengujian ini menggunakan alat *flashpoint tester* dengan metode cup tertutup.

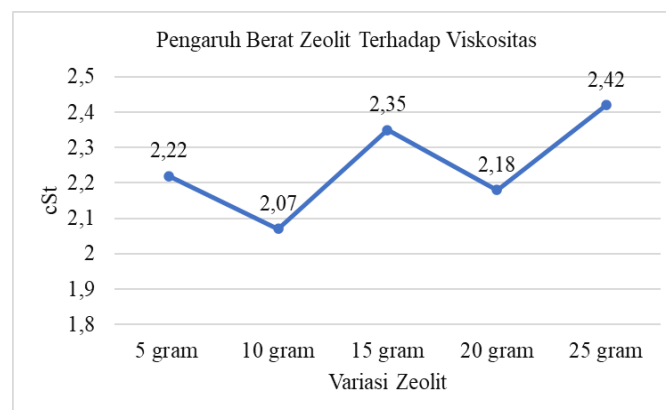
Berikut ini tahapan-tahapan Pengambilan data *flashpoint* sebagai berikut:

1. Menyiapkan Sampel biodiesel dengan variasi *zeolit* 5, 10, 15, 20, dan 25 gram disiapkan.
2. Alat *flashpoint tester* dikalibrasi dan dipanaskan secara bertahap.
3. Sampel diuji satu per satu hingga muncul nyala sesaat.
4. Suhu saat muncul nyala tersebut dicatat sebagai nilai *flashpoint*.

Tabel 7 Hasil Uji *Flashpoint*

No	Nama Bahan	Suhu (°C)
1	Tanpa <i>Zeolit</i>	120
2	5 gram	129
3	10 gram	132
4	15 gram	125
5	20 gram	127
6	25 gram	126

D. Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Viskositas



Gambar 1 Gerafik Uji Viskositas

Viskositas merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi kualitas biodiesel karena mempengaruhi karakteristik aliran bahan bakar serta kinerja sistem pembakaran mesin diesel. Pengujian viskositas dilakukan pada suhu 40°C terhadap biodiesel yang dikatalis dengan variasi berat *zeolit*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai viskositas biodiesel berada pada kisaran 2,07 cSt hingga 2,42 centistokes (cSt). Nilai viskositas tertinggi terdapat pada penambahan *zeolit* 25 gram, yaitu sebesar 2,42 cSt, sedangkan nilai terendah terdapat pada *zeolit* 10 gram dengan 2,07 cSt. Selengkapnya ditampilkan pada grafik berikut

Dari grafik terlihat bahwa penambahan berat *zeolit* mempengaruhi viskositas biodiesel secara naik turun. Pada 5 gram, viskositas tercatat 2,22 cSt. Ketika berat *zeolit* bertambah menjadi 10 gram, viskositas turun

menjadi 2,07 cSt . Lalu pada 15 gram , viskositas naik lagi menjadi 2,35 cSt . Pada berat 20 gram , viskositas sedikit turun menjadi 2,18 cSt , dan naik kembali pada 25 gram menjadi 2,42 cSt .

Menurut standar mutu biodiesel (KEP.148.K/10/DJE/2024 dan SNI 7182:2015), viskositas biodiesel sebaiknya berada pada rentang 2,3–6,0 cSt . Dari hasil uji, hanya sampel dengan berat *zeolit* 15 gram dan 25 gram yang sudah masuk dalam rentang tersebut. Artinya, berat *zeolit* pada angka ini bisa menghasilkan biodiesel dengan kekentalan yang sesuai standar.

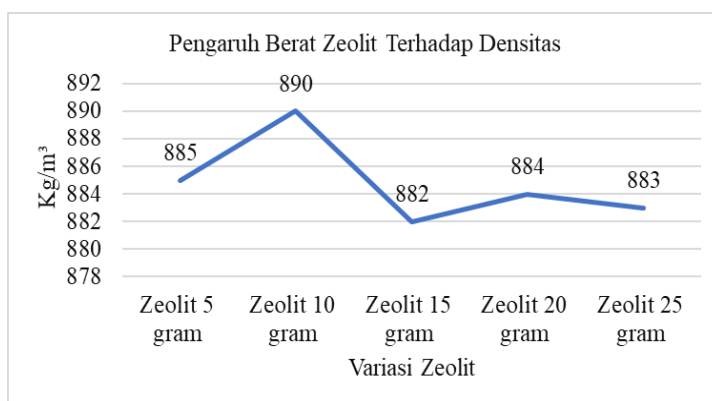
Pola naik turun ini terjadi karena jumlah katalis yang cukup mampu mempercepat pemecahan trigliserida menjadi metil ester. Pada penambahan zeolit yang terlalu sedikit, reaksi kurang sempurna sehingga masih terdapat senyawa berat yang menyebabkan viskositas lebih tinggi. Sebaliknya, ketika jumlah katalis terlalu banyak, difusi molekul ke dalam pori-pori zeolit menjadi terhambat dan sebagian situs aktif tidak bekerja efektif, sehingga reaksi tidak efisien dan viskositas kembali meningkat. Kondisi ini menunjukkan bahwa fluktuasi viskositas dipengaruhi oleh ketidakseimbangan jumlah katalis, distribusi katalis yang tidak merata, serta keberadaan senyawa sisa seperti mono- dan digliserida yang memengaruhi kekentalan biodiesel.

Dengan demikian, penambahan *zeolit* berpengaruh pada viskositas, dan berat 15–25 gram bisa direkomendasikan untuk menghasilkan biodiesel dengan viskositas yang baik.

E. Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian Densitas

Densitas atau massa jenis merupakan salah satu sifat fisik penting dalam evaluasi kualitas biodiesel karena berpengaruh langsung terhadap proses atomisasi bahan bakar, efisiensi pembakaran, serta tenaga yang dihasilkan oleh mesin diesel. Pengujian dilakukan pada suhu 40°C terhadap biodiesel yang dihasilkan dari variasi berat *zeolit* sebagai katalis.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai densitas biodiesel berkisar antara 882-890 kg/m³, dengan nilai tertinggi terdapat pada penambahan *zeolit* 10 gram dan nilai terendah pada *zeolit* 15 gram (873 kg/m³) .



Gambar 2 Grafik Uji Densitas

Dari grafik terlihat bahwa densitas biodiesel naik dari 885 kg/m³ pada *zeolit* 5 gram menjadi 890 kg/m³ pada *zeolit* 10 gram . Kemudian nilai densitasnya turun pada *zeolit* 15 gram (882 kg/m³) . Setelah itu, kepadatannya sedikit naik pada 20 gram (884 kg/m³) , lalu kembali turun sedikit pada 25 gram (883 kg/m³).

Ini menunjukkan bahwa *zeolit* 10 gram berperan optimal dalam proses konversi *Trigliserida* menjadi metile. Menurut standar mutu biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015 , densitas biodiesel yang ideal berada dalam rentang 850-890 kg/m³ . Dari hasil pengujian, seluruh sampel masih berada dalam rentang ini, namun hanya *zeolit* 10 gram yang tepat berada di batas maksimum, menandakan efisiensi reaksi dan kestabilan struktur senyawa yang baik.

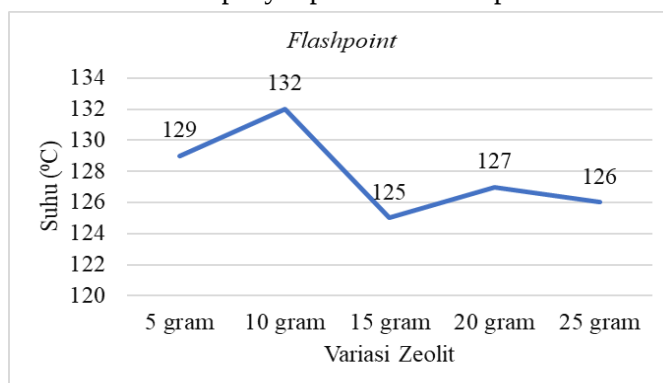
Variasi katalis yang lebih rendah atau lebih tinggi justru menghasilkan densitas lebih kecil karena adanya sisa reaktan dan senyawa samping seperti gliserol atau metanol yang tertinggal dalam biodiesel. Perbedaan ini juga dapat disebabkan oleh tingkat homogenitas biodiesel yang dihasilkan, mengingat katalis padat seperti zeolit tidak selalu terdispersi merata di dalam campuran reaksi. Dengan demikian, variasi jumlah katalis memberikan pengaruh langsung terhadap massa jenis biodiesel melalui perbedaan komposisi senyawa penyusunnya.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa variasi berat *zeolit* berpengaruh terhadap kepadatan biodiesel yang dihasilkan. Berat *zeolit* 10 gram dapat direkomendasikan karena menghasilkan biodiesel dengan kepadatan yang paling mendekati standar kualitas.

F. Analisa Data dan Pembahasan Hasil Pengujian *Flashpoint*

Flashpoint adalah suhu minimum pada saat uap bahan bakar dapat terbakar sesaat ketika terkena nyala api. Berdasarkan data, nilai *flashpoint* dari biodiesel minyak limbah kelapa yang diuji berada dalam rentang 125 °C hingga 132 °C, dengan nilai tertinggi tercapai pada penambahan *zeolit* 5 dan 10 gram.

Jika dibandingkan dengan standar SNI 7182:2015, seluruh variasi masih memenuhi syarat minimum titik nyala biodiesel, yaitu di atas 100°C. Dengan demikian, secara umum biodiesel hasil penelitian ini aman digunakan dan memenuhi standar keamanan penyimpanan dan transportasi bahan bakar.



Gambar 1 Grafik Uji *Flashpoint*

Pada penambahan *zeolit* 5 gram, titik nyala tercatat 129°C, kemudian meningkat pada penambahan *zeolit* 10 gram menjadi 132°C, yang merupakan nilai tertinggi pada variasi ini. Peningkatan ini menandakan bahwa penambahan *zeolit* hingga 10 gram mampu meningkatkan kualitas biodiesel dengan meminimalkan kandungan senyawa ringan yang mudah menguap, sehingga titik nyala menjadi lebih tinggi.

Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut kandungan senyawa ringan atau volatil yang mudah menguap lebih sedikit. Sebaliknya, pada penambahan katalis yang lebih banyak, kemungkinan terjadi reaksi samping yang menghasilkan fraksi ringan sehingga flash point menurun. Selain itu, adanya metanol sisa dalam biodiesel juga berperan menurunkan flash point, karena metanol memiliki sifat sangat mudah menguap. Perbedaan kandungan metanol sisa antar variasi menyebabkan nilai titik nyala biodiesel menjadi tidak stabil.

Pada penambahan *zeolit* 15 gram, titik nyala justru menurun menjadi 125°C, lalu sedikit meningkat menjadi 127°C pada 20 gram, dan kembali menurun menjadi 126°C pada 25 gram. Penurunan ini dapat disebabkan oleh kelebihan *zeolit* yang dapat memicu reaksi samping sehingga menghasilkan fraksi ringan yang menurunkan titik nyala.

4 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang Analisa Sifat Fisika Biodiesel Minyak Limbah Kelapa Menggunakan Katalis *zeolit* yang telah dilakukan dapat diambil dan ditarik beberapa kesimpulan untuk menjawab tujuan yang telah diujikan adalah sebagai berikut:

Variasi jumlah *zeolit* menyebabkan nilai viskositas cenderung tidak stabil dan fluktuatif. Hal ini disebabkan oleh reaksi yang belum sempurna serta distribusi katalis yang tidak merata sehingga masih terdapat senyawa sisa yang memengaruhi kekentalan biodiesel. Pada pengujian densitas, perbedaan jumlah *zeolit* menghasilkan variasi kerapatan massa jenis, sedangkan pada pengujian flash point, nilai titik nyala juga mengalami perubahan akibat perbedaan komposisi dan kestabilan campuran biodiesel.

Secara keseluruhan, biodiesel dari minyak limbah kelapa dengan katalis *zeolit* sebagian besar memenuhi standar SNI, terutama pada kepadatan dan titik nyala. Namun viskositasnya hanya sesuai standar pada jumlah katalis optimum, yaitu 10 gram. Hal ini menunjukkan pentingnya pengaturan jumlah *zeolit* agar biodiesel yang dihasilkan benar-benar memenuhi standar mutu.

5 Referensi

- [1] Nasional, B. S., 2015. Badan Standardisasi Nasional. *Sni 7182:2015*.
- [2] Adi, A. R., 2024. Pembuatan Metil Ester dari Minyak Biji Nyamplung dengan Katalis *Zeolit* Alam Terembani Zirkonia. *IJCR - Indonesian Journal of Chemical*, I(9), pp. 62-74.
- [3] Aini, F., 2013. Hubungan Antara Waktu Penyimpanan dan Nilai Viskositas Biodiesel Minyak Biji Kapuk. *Jurnal Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, II(2), pp. 31-47.
- [4] Demirbas, A., 2002. Biodiesel from Vegetable Oils Via Transesterification in Supercritical Metanol Energy and Management, XLIII(12), pp. 234-361.
- [5] Efendi, R., 2020. Pembuatan Biodiesel Minyak Jelantah Menggunakan Metode Esterifikasi Transesterifikasi Berdasarkan Jumlah Pemakaian Minyak Jelantah. *Jurnal Industri*, IV(12), pp. 402-409.
- [6] Febriansyah, H. B. U. F. & S. S., 2020. The Readiness of Indonesia to Implement Blended Biodiesel B30. E3S Web of Conferences. *Jurnal Teknik Kimia*, pp. 165-172.

- [7] Hamidi, N., 2011. Peningkatan Kualitas Bahan Bakar Biogas Melalui Proses Pemurnian dengan *Zeolit* Alam. *Jurnal Teknik*, II(3), pp. 227-231.
- [8] Hartono, R., 2020. Uji Karakteristik Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung dengan Proses Esterifikasi-Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*, IV(12), pp. 166-174.
- [9] Hermansyah, H., 2015. Rekayasa Katalis Penukar Ion untuk Sintesa Biodiesel Menggunakan Katalis *Zeolit* Alam Bayah Banten. *Jurnal Teknik Kimia*, IV(12), pp. 11-17.
- [10] Kristiana, T. O. A. & B. C., 2023. Producing High Quality Biodiesel from Used Cooking Oil in Indonesia International Council on Clean Transportation. *Jurnal Teknik*, II(12), pp. 125-166.