



PENGARUH SUHU DAN WAKTU REAKSI TERHADAP HASIL SINTESIS BODIESEL DARI MINYAK JELANTAH DENGAN PENAMBAHAN KATALIS CANGKANG TELUR AYAM

Agam Muarif*, Fatnia, Meriatna, Rozanna Dewi, Syamsul Bahri

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355

*Korespondensi: e-mail: agammuarif@unimal.ac.id

Abstrak

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif hasil sintesis dari sumber yang dapat diperbaharui seperti minyak nabati dan lemak hewani. Minyak jelantah adalah salah satu minyak nabati yang potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk produksi biodiesel. Pada proses transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel dari minyak jelantah dibutuhkan katalis untuk mempercepat laju reaksi. Salah satu katalis yang digunakan bersumber dari limbah cangkang telur. Cangkang telur memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang tinggi hingga mencapai 90%. Hal tersebut menjadi salah satu potensi cangkang telur untuk dijadikan sebagai katalis. Pada penelitian ini keefektifan limbah cangkang telur sebagai katalis ditentukan berdasarkan hasil sintesis biodiesel dari minyak jelantah. Selain itu, reaksi transesterifikasi pada produksi biodiesel dari minyak jelantah dilakukan dengan memvariasikan suhu (55, 60, 65 dan 70°C) dan waktu (30, 60, 90 dan 120 menit) reaksi. Kualitas biodiesel yang dihasilkan ditentukan berdasarkan nilai yield, viskositas, kadar Asam Lemak Bebas (ALB), densitas, kadar air, titik nyala dan Gas Chromatography (GC). Hasil sintesis biodiesel terbaik pada penelitian ini didapatkan pada suhu reaksi 60°C selama 120 menit berdasarkan nilai densitas sebesar 886 kg/ml, yield 8,35%, viskositas 2,9814 cSt, kadar ALB 0,423%, dan kadar air 0,0321%. Berdasarkan hasil uji dengan menggunakan GC diketahui bahwa metil ester pada biodiesel yang dihasilkan terdiri dari asam linoleat sebesar 27,53%, asam oleat 34,70%, asam palmitat 12,36%.

Kata kunci: cangkang telur ayam, biodiesel, asam lemak bebas, transesterifikasi

Doi: <https://doi.org/10.29103/jtku.v13i1.16432>

1. Pendahuluan

Semakin banyak orang yang menyadari bahwa mereka tidak dapat berfungsi tanpa energi (Kholiq, 2015). Bahan bakar fosil yang tersedia saat ini jumlahnya terbatas, dan pembakarannya seringkali berbahaya bagi lingkungan karena menggunakan sumber energi tak terbarukan (Fanny, dkk. 2018).

Berdasarkan pernyataan Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional (2019), dalam 10 tahun terakhir produksi minyak bumi mengalami penurunan, dari 346 juta barel (949 ribu bph) pada tahun 2009 menjadi sekitar 283 juta barel (778 ribu bph) ditahun 2018. Untuk itu perlu dilakukan pencarian suatu bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Salah satu bahan bakar tersebut adalah biodiesel. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh (Adhari, dkk. 2016) dapat diketahui bahwa minyak jelantah merupakan salah satu komponen alami yang dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber untuk pembuatan biodiesel. Kandungan asam lemak yang tinggi pada minyak jelantah menjadikannya sebagai kandidat yang menjanjikan untuk dikonversi menjadi bahan bakar biodiesel.

Reaksi transesterifikasi minyak jelantah untuk menghasilkan biodiesel membutuhkan bantuan katalis sehingga reaksinya dapat berjalan baik dan efektif. Penggunaan katalis basa NaOH atau KOH pada sintesis biodiesel dari minyak jelantah seringkali tidak cocok karena minyak jelantah memiliki konsentrasi asam lemak yang tinggi. Berdasarkan kondisi tersebut maka dibutuhkan jenis katalis lain yang dapat dijadikan sebagai alternatif. Salah satu contoh katalis yang dapat berfungsi sebagai katalis adalah basa padat, seperti CaO. CaO dapat dihasilkan dari hasil pengolahan limbah cangkang telur. Cangkang telur merupakan limbah yang banyak dihasilkan karena pada umumnya masyarakat Indonesia menggunakan telur sebagai lauk dan salah satu bahan dasar untuk olahan makanan. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya diketahui bahwa cangkang telur memiliki kandungan CaCO_3 sebesar 94% dan sisanya adalah magnesium karbonat, kalsium fosfat dan bahan organik. Limbah cangkang telur dikalsinasi pada suhu tertentu sehingga dihasilkan padatan CaO. Oleh karena itu cangkang telur dapat digunakan sebagai sumber CaO yang mempunyai kemurnian tinggi sehingga mampu berperan sebagai katalis dalam reaksi transesterifikasi minyak dan metanol menjadi biodiesel. Sumber bahan baku (kulit telur) tersedia cukup banyak dan pada saat ini hanya dibuang (tidak dimanfaatkan), oleh karena itu

memanfaatkan kulit telur sebagai katalis merupakan usaha yang cukup relevan untuk mengurangi dampak lingkungan dan menurunkan biaya produksi. Selain itu, salah satu manfaat CaO adalah kelarutannya yang buruk dalam metanol, sehingga menyebabkan harganya terjangkau (Hidayati, 2017).

Hasil penelitian terdahulu dari penelitian tentang pembuatan dan uji kualitas biodiesel dari minyak jelantah atau minyak goreng bekas, menunjukkan bahwa kualitas biodiesel yang dihasilkan yaitu mempunyai mutu yang baik untuk digunakan sebagai bahan bakar karena memenuhi Standar Nasional Indonesia Biodiesel. Kemudian dapat diamati pada nilai hasil uji kualitas yang telah dilakukan dengan membandingkan SNI untuk bahan bakar biodiesel (Syamsidar, 2013). Penelitian tentang pengaruh nanokatalis ZnO dan CaO terhadap biodiesel dari minyak biji alpukat juga telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Berdasarkan dari hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa penggunaan katalis alkali pada reaksi transesterifikasi menyebabkan mudahnya terjadi reaksi saponifikasi sehingga membentuk sabun dan katalis alkali ini juga sangat sulit untuk dipisahkan. Oleh karena itu penggunaan katalis CaO ini memiliki aktivitas yang tinggi, tahan lama, biaya murah, serta kekuatan basa yang tinggi dan sangat mudah dipisahkan (Lestari, 2018).

Berdasarkan dari hasil kajian dari peneliti-peneliti sebelumnya maka pada penelitian ini dilakukan kajian lebih lanjut dari sintesis biodiesel dari minyak jelantah menggunakan katalis CaO dari limbah cangkang telur dengan variasi suhu dan waktu pada reaksi transesterifikasi.

2. Bahan dan Metode

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: pembakar, tungku pembakaran, termometer, pengaduk magnet, gelas ukur, kertas saring, dudukan, penetes, Erlenmeyer, corong pisah, labu leher tiga, alat distilasi, kondensor, gelas kimia, gelas ukur, buret, statif, dan timbangan analitik. Bahan-bahannya antara lain minyak goreng bekas, cangkang telur ayam, air suling, metanol, larutan NaOH 0,1 N, indikator PP, dan larutan H₂SO₄.

Penyiapan komponen, pembuatan katalis, reaksi esterifikasi untuk menurunkan kadar ALB minyak jelantah, pembuatan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi, dan terakhir pemurnian biodiesel merupakan lima tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Terdapat beberapa percobaan yang dilakukan dengan waktu reaksi transesterifikasi yang berbeda yaitu 30, 60, 90, dan 120 menit pada suhu 55, 60, 65, dan 70° Celcius.

Prosedur berikut digunakan dalam pembuatan biodiesel:

2.1 Preparasi Katalis

Membersihkan dan menyiapkan cangkang telur ayam merupakan langkah awal dalam pembuatan katalis. Kulit telur dikeringkan dalam oven selama dua jam pada suhu 105°C. Selanjutnya digunakan ayakan 80 mesh untuk menyaring bubuk cangkang telur setelah dihaluskan hingga menjadi bubuk dengan menggunakan blender. Langkah terakhir adalah pembuatan CaO padat dengan cara kalsinasi dalam tungku bersuhu 900°C selama empat jam.

2.2 Penurunan Kadar FFA dengan Reaksi Esterifikasi

Reaksi berlangsung pada suhu 60°C selama 60 menit dengan perbandingan minyak goreng bekas dan metanol dengan perbandingan 1:3, dengan tiga tetes H₂SO₄ sebagai katalis. Setelah itu, tunggu 1–2 jam di corong terpisah hingga adonan terpisah menjadi dua lapisan. Untuk menentukan nilai ALB, ester (lapisan bawah) dititrasi. Reaksi berlanjut ke transesterifikasi jika kadar ALB kurang dari 0,5%.

2.3 Proses Pembentukan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi

Produk yang telah diesterifikasi dipindahkan ke dalam labu leher tiga kemudian ditambahkan metanol yang sudah dicampurkan katalis CaO. Selanjutnya campuran larutan diaduk dengan kecepatan 360 rpm dengan menggunakan variasi suhu (55, 60, 65 dan 70°C) dan waktu (30, 60, 90 dan 120 menit). Hasil reaksi disimpan dalam corong pemisah selama 24 jam setelah waktu reaksi terlewati.

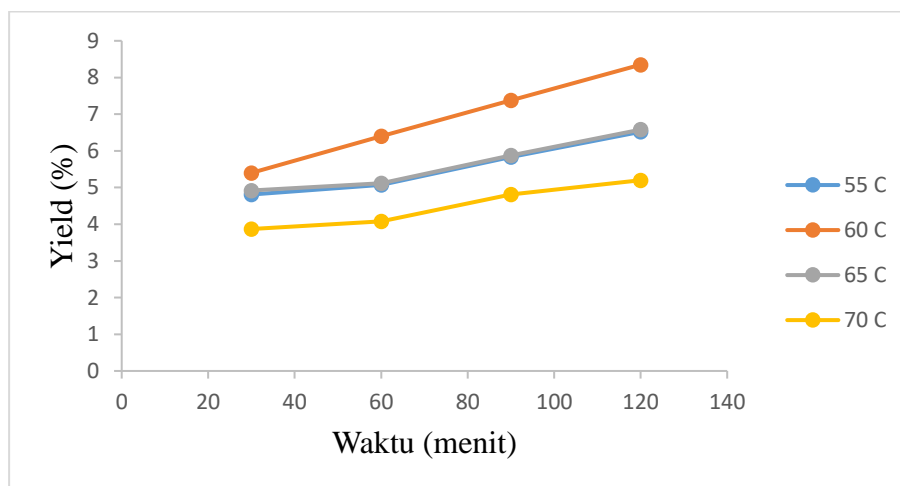
2.4 Pemurnian Biodiesel

Distilasi digunakan untuk memurnikan biodiesel yang dihasilkan. Langkah ini dilakukan untuk biodiesel dari zat lain, seperti air dan metanol.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Analisa Nilai *Yield* (%)

Yield merupakan analisa dengan membandingkan berat produk dengan berat bahan baku yang digunakan. Gambar 1 menunjukkan hasil sebagai fungsi suhu dan waktu reaksi.



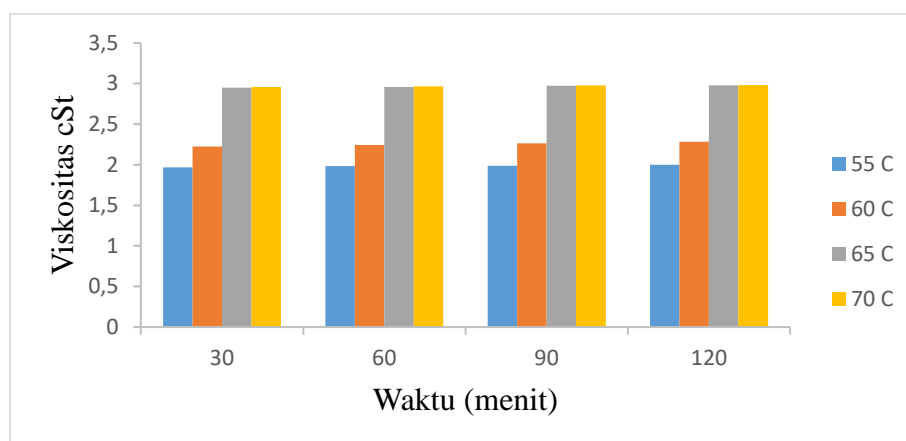
Gambar 1 Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi terhadap %Yield

Berdasarkan data yang diperoleh dari uji laboratorium seperti yang ditampilkan pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa semakin lama waktu reaksi yang digunakan pada saat proses transesterifikasi maka persentase *yield* yang dihasilkan semakin besar. Pada penelitian ini didapatkan nilai yield terbesar yaitu 8,35% pada kondisi reaksi dengan menggunakan suhu 60°C selama 120 menit. Secara teoritis diketahui bahwa semakin tinggi suhu reaksi dan semakin lama waktu reaksi yang digunakan, maka kontak antar zat akan semakin besar sehingga dapat zat hasil konversi yang dihasilkan juga semakin besar (Susilowati, 2006). Tingginya suhu yang digunakan akan meningkatkan energi kinetik selama proses reaksi sehingga berpengaruh terhadap hasil reaksi (Hayyan, dkk., 2010). Semakin

meningkatnya suhu maka pergerakan molekul akan semakin cepat, sehingga ikatan karbon dalam trigliserida dapat terputus. Akan tetapi apabila suhu terlalu tinggi juga dapat mengganggu kesetimbangan reaksi. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Julia (2007) yang menyatakan bahwa penurunan konversi biodiesel dapat disebabkan karena hilangnya sebagian metanol akibat penguapan.

3.2 Analisa Nilai Viskositas (cSt)

Analisis uji laboratorium menunjukkan bahwa viskositas biodiesel yang dihasilkan dari minyak jelantah dipengaruhi oleh waktu reaksi transesterifikasi. Viskositas (cSt) sebagai fungsi suhu dan waktu reaksi ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini.

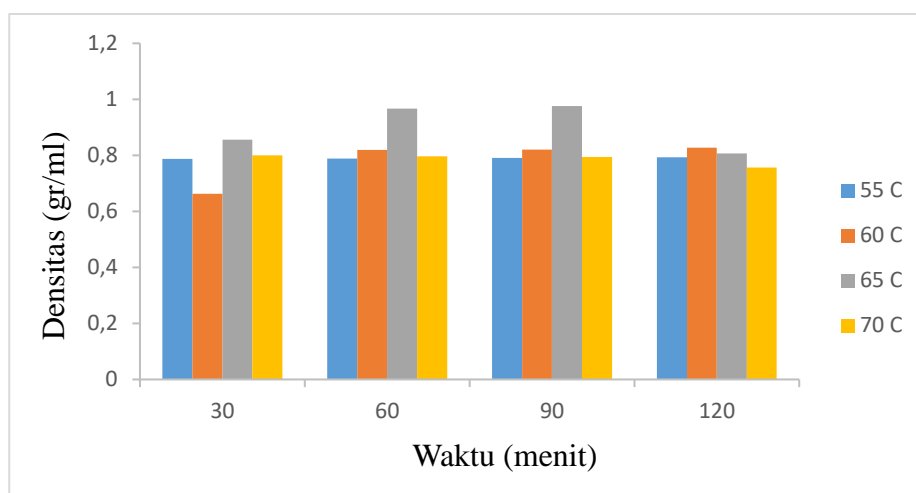


Gambar 2. Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi terhadap Viskositas (cSt)

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 2 dapat diketahui bahwa viskositas biodiesel hasil sintesis dari minyak jelantah memiliki nilai yang cenderung meningkat seiring dengan peningkatan waktu reaksi dan suhu. Nilai viskositas terbesar yang dapat adalah 2,9814 cSt dengan kondisi reaksi menggunakan suhu 70°C dan waktu reaksi 120 menit. Secara keseluruhan viskositas biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 189 k/10/DJE/2019 yang menetapkan batas viskositas sebesar 2,3-6,0 cSt.

3.3 Analisa Nilai Densitas (gr/ml)

Densitas merupakan nilai yang didapatkan dari hasil perbandingan massa sampel dengan volume pada tekanan dan suhu tertentu. Densitas biodiesel yang melebihi nilai ambang batas pada SNI sebaiknya tidak digunakan karena dapat menyebabkan meningkatnya keausan mesin sehingga akan menimbulkan kerusakan pada mesin. Pengaruh waktu dan suhu reaksi terhadap nilai densitas dapat dilihat pada Gambar 3.



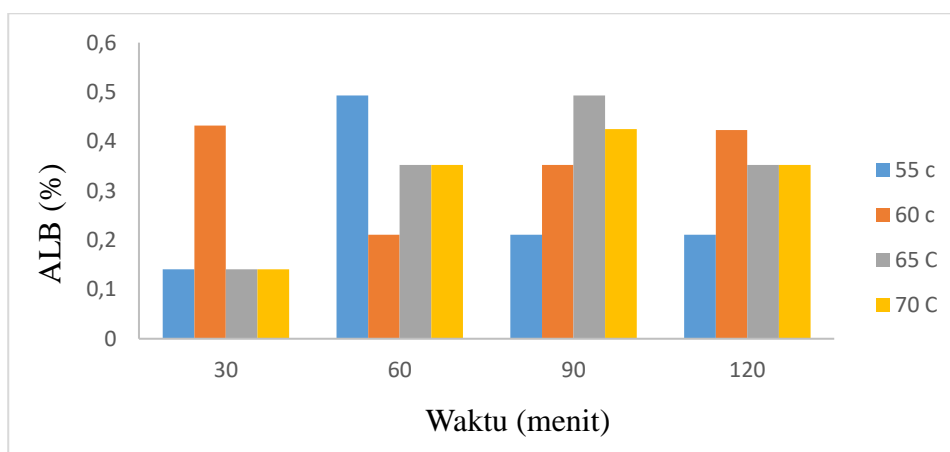
Gambar 3. Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi terhadap Nilai Densitas (gr/ml)

Gambar 3 menunjukkan nilai densitas biodiesel hasil sintesis yang bervariasi. Densitas biodiesel yang dihasilkan menggunakan suhu reaksi 55°C dan 60°C dengan variasi waktu reaksi 30, 60, 90 dan 120 menit terus mengalami peningkatan, sedangkan pada suhu 70°C nilai densitas dengan variasi waktu yang sama mengalami penurunan. Biodiesel hasil sintesis dari minyak jelantah menggunakan suhu reaksi 65°C dengan waktu 30, 60 dan 90 menit memiliki nilai densitas secara berurutan 0,856, 0,859 dan 0,886 gr/ml. Nilai densitas yang didapatkan pada kondisi tersebut sesuai dengan SNI 7182: 2015 karena berada diantara range standar yaitu 0,85 – 0,89 gr/ml. Sedangkan untuk waktu 120 menit dengan suhu yang sama nilai densitas biodiesel yang dihasilkan menurun dan dibawah standar yaitu 0,807 gr/ml.

Secara teoritis tren kenaikan densitas biodiesel dipengaruhi oleh konversi minyak jelantah menjadi produk biodiesel yang cenderung menurun. Jika semakin rendah nilai konversinya, maka trigliserida yang terdapat pada biodiesel akan semakin banyak. Hal tersebutlah yang akan mempengaruhi nilai densitas biodiesel tersebut.

3.4 Analisa Kadar ALB (%)

Asam Lemak Bebas (ALB) merupakan suatu senyawa organik yang memiliki rantai karbon panjang dengan gugus asam karboksilat (COOH) pada ujung rantai. ALB adalah salah satu komponen yang terdapat di dalam minyak nabati dan lemak hewani. Kadar ALB merupakan salah satu komponen yang perlu diperhatikan karena dapat mempengaruhi kualitas dan stabilitas biodiesel yang dihasilkan. Berikut adalah hasil pengujian kadar ALB biodiesel dari minyak jelantah menggunakan katalis CaO dari limbah cangkang telur (Gambar 4).



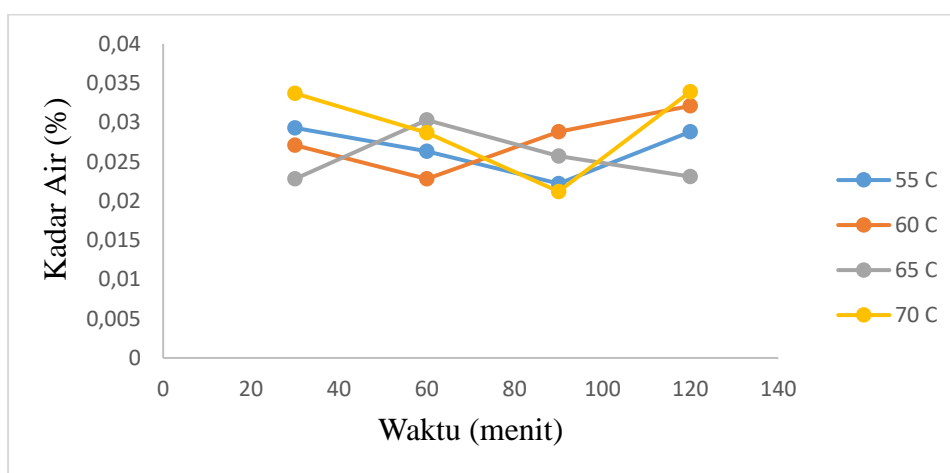
Gambar 4. Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi terhadap kadar ALB (%)

Gambar 4 diatas menunjukkan kadar ALB biodiesel dari minyak jelantah memiliki nilai yang fluktuatif. Kadar ALB yang tidak stabil berhubungan dengan bahan baku minyak jelantah yang digunakan. Pada penelitian ini minyak jelantah diambil dari beberapa sumber yang berbeda sehingga memiliki kualitas yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil pengujian kadar ALB terendah terdapat pada kondisi reaksi menggunakan suhu 55, 65 dan 70°C dengan waktu reaksi selama

30 menit yaitu sebesar 0,141%. Sedangkan kadar ALB tertinggi berada pada kondisi suhu reaksi 55°C dengan waktu 60 menit dan suhu 65°C dengan waktu 90 menit yaitu sebanyak 0,493%. Kadar ALB biodiesel pada penelitian telah memenuhi standar yaitu SNI 7182: 2015.

3.5 Analisa Kadar Air (%)

Kandungan air yang terdapat di dalam biodiesel akan mempengaruhi kualitas biodiesel karena dapat menyebabkan terjadinya proses hidrolisis sehingga akan meningkatkan bilangan asam dan sifat korosif serta dapat menurunkan pH. Selain itu, apabila nilai kadar air melebihi ambang batas yang sudah ditentukan akan berdampak pada proses konversi minyak nabati menjadi biodiesel berjalan secara tidak sempurna (Prihandana, dkk, 2006). Kadar air pada biodiesel juga berpengaruh terhadap kemampuan menyala, kecepatan proses pembakaran dan kecepatan perjalanan api. Pengaruh suhu dan waktu reaksi terhadap kadar air dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi terhadap Kadar Air (%)

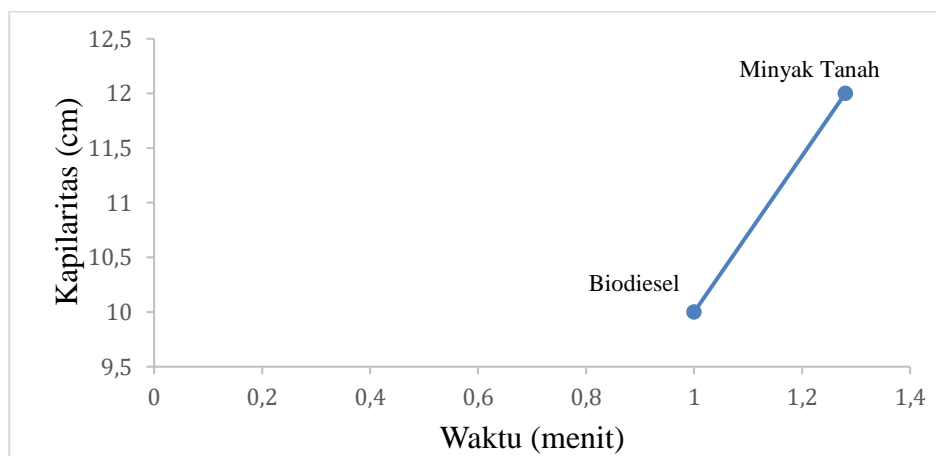
Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa kadar air yang didapatkan pada penelitian ini tidak konstan dan cenderung fluktuatif. Kadar air tertinggi yaitu 0,0339% yang didapatkan dari hasil reaksi menggunakan suhu reaksi 70°C selama 120 menit. Sedangkan kadar air terendah juga terdapat pada suhu yang sama

dengan waktu reaksi selama 90 menit yaitu sebanyak 0,0212%. Berdasarkan nilai kadar air biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi SNI 7182: 2015.

Nilai kadar air yang terdapat pada biodiesel dari hasil penelitian ini cenderung tidak konstan. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya akumulasi jumlah air pada minyak jelantah saat proses transesterifikasi berlangsung. Kandungan air tersebut berasal dari hasil reaksi esterifikasi yang menghasilkan ester dan air sebagai produknya. Sedangkan penurunan kadar air biodiesel dapat disebabkan karena adanya penambahan persentase katalis. Selain itu, suhu yang digunakan dalam proses reaksi cukup tinggi atau cukup lama yang menyebabkan air menguap secara sempurna, sehingga kadar air yang terdapat dalam biodiesel menurun.

3.6 Analisa Titik Nyala

Titik nyala merupakan salah satu sifat pada bahan bakar yang harus diketahui karena dapat menjadi satu acuan untuk menentukan langkah-langkah keselamatan yang perlu diterapkan ketika bahan bakar ditangani, diangkut dan disimpan. Titik nyala juga diperlukan dengan tujuan untuk membatasi jumlah alkohol dalam biodiesel. Titik nyala suatu bahan bakar memiliki standar sesuai SNI minimal yaitu 100°C. Gambar 6 berikut menunjukkan bagaimana titik nyala dipengaruhi oleh kapilaritas dan suhu reaksi.



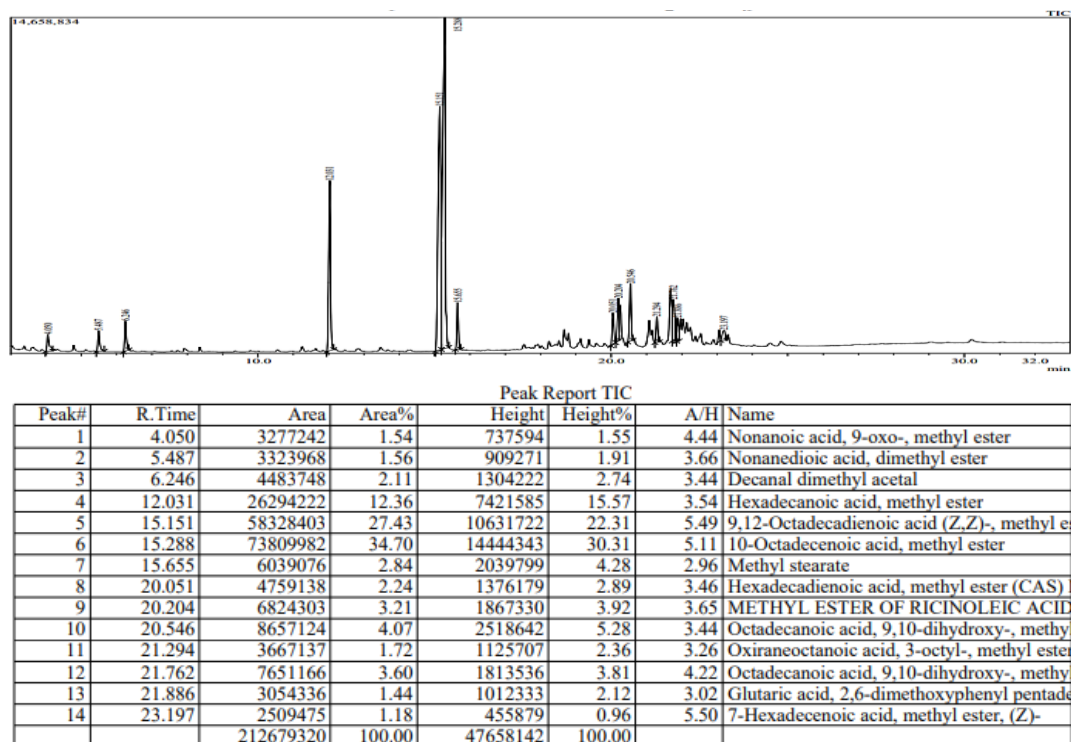
Gambar 6. Kapilaritas dan Waktu Reaksi Terhadap Titik Nyala (°C)

Berdasarkan Gambar 6 terlihat jelas bagaimana dampak waktu respons dan kapilaritas pada titik nyala. Setelah dilakukan pemantauan, terlihat bahwa minyak tanah memiliki daya serap yang lebih besar dan lebih lama yaitu 12 cm dibandingkan biodiesel yang berkapasitas 10 cm dengan lama pembakaran 1 jam.

Hasil penelitian menunjukkan nyala api berwarna orange terang yang dihasilkan oleh titik nyala biodiesel. Lampu semprong berbahan bakar minyak tanah mempunyai masa pakai 1 jam 28 menit, sedangkan apinya bisa menyala selama satu jam. Titik nyala api biodiesel yang paling tinggi didapatkan pada kondisi reaksi transesterifikasi menggunakan suhu 70°C dengan waktu reaksi 120 menit yaitu 120°C. Berdasarkan dari nilai titik nyala tersebut diketahui bahwa biodiesel yang dihasilkan memenuhi SNI 7182: 2015.

3.7 Analisa Gas Chromatography (GC)

Analisa komposisi senyawa hidrokarbon pada biodiesel menggunakan instrument *Gas Chromatography* (GC). Berikut adalah Gambar 7 yang merupakan hasil analisa menggunakan GC. Analisis kromatogram GC terhadap komposisi biodiesel hasil sintesis dari minyak jelantah menggunakan katalis CaO dari limbah cangkang telur. Metil ester yang dihasilkan penelitian ini secara struktural mirip dengan asam lemak yang terdapat pada minyak jelantah seperti terlihat pada kromatogram. Analisis GC terhadap minyak goreng bekas menunjukkan empat belas puncak metil ester yang berbeda. Komponen asam lemak terpenting pada minyak jelantah terdapat pada puncak tertinggi yaitu puncak 5 dan 6. Puncak 5 mengandung asam linoleat sebesar 27,43% sedangkan puncak 6 mengandung asam oleat sebesar 34,70%. Pada puncak 4 terdapat konsentrasi asam palmitat sebesar 12,36%.



Gambar 7 Hasil Analisa Komposisi Biodiesel Menggunakan GC

4. Simpulan dan Saran

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa minyak jelantah berpotensi sebagai bahan baku biodiesel dan cangkang telur ayam ras berpotensi sebagai katalis heterogen. Dengan menggunakan katalis sebesar 4% dari berat sampel dan suhu reaksi 60°C, penelitian ini mencapai rendemen maksimum sebesar 8,35%. Biodiesel hasil sintesis dari minyak jelantah yang diperoleh dan dikarakterisasi dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang sudah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182: 2015 untuk beberapa karakteristik dan kondisi reaksi.

5. Daftar Pustaka

1. Aini, Z., Yahdi, Y., & Sulistiyana, S. (2020). Memanfaatkan katalis cangkang telur ayam ras dengan perlakuan suhu berbeda untuk menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi dari minyak bekas. *SPIN: Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia*, Volume 2, Edisi 2, halaman 98-115.
2. Adhari, H., Yusnimar, Y., & Utami, S. P. (2016). Transformasi minyak

jelantah menjadi biodiesel menggunakan katalis yang mengandung zinc carbonate precipitant (ZNO): pengaruh dosis katalis dan lama reaksi. *Teknik dan Sains*, 3(2), 1-7, Jurnal Online Mahasiswa (JOM).

3. Anisah, P. M., Suwandi, S., & Agustian, E. (2018). Dampak Durasi Transesterifikasi Terhadap Hasil Produksi Biodiesel dari Minyak Goreng Daur Ulang. *EProceedings of Engineering*, Volume 5, Edisi 1
4. Busyairi, M., Za'im Muttaqin, A., Meicahyanti, I., & Saryadi, S. (2020). Proses Transesterifikasi dan Pemanfaatannya dalam Produksi Biodiesel dari Minyak Goreng Daur Ulang, dengan Perhatian Khusus pada Peran Katalis dan Waktu Reaksi. Volume 5, Edisi 2, *Jurnal Teknik Serambi*.
5. Fanny, W. A., Subagjo, S., & Prakoso, T. (2018). Penciptaan katalis berbasis kalsium oksida untuk produksi biodiesel. Volume 11, Edisi 2, halaman 66–73, *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*.
6. Hadiyanto, H., Afianti, A. H., Navi'a, U. I., Adetya, N. P., Widayat, W., & Sutanto, H. (2017). Pembuatan katalis heterogen C/CaO/NaOH dari limbah cangkang kerang hijau (*Perna varidis*) untuk produksi biodiesel. Nomor artikel: 4559–4563 dalam *Jurnal Teknik Kimia Lingkungan*.
7. Hidayati, N. (2017). Produksi Biodiesel Melalui Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas Menggunakan Katalis Kalsium Oksida. Makalah diterbitkan dalam *Journal of Natural Materials Technology*, volume 1, edisi 1, halaman 1–5.
8. Kurniawan, E., & Perdana, F. (2022). Proses Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis Kalsium Oksida dari Hasil Samping Cangkang Siput (*Achatina Fulica*) pada Limbah Minyak Goreng. Diterbitkan dalam *Journal of Chemical Process and Materials Technology* volume 1 edisi 1 halaman 1-7.
9. Lestari, P. P. (2018). Produksi Biodiesel dari Minyak Biji Alpukat dan Peran Nanokatalis ZnO/CaO. Volume 2, Edisi 1, Halaman 1–8, *Jurnal Ilmiah Kimia dan Pendidikan*.
10. Miskah, S., Apriani, R., & Miranda, D. (2017). Pengaruh kecepatan pengadukan dan waktu respon terhadap konversi biodiesel berbasis transesterifikasi dari lemak ayam. Makalah diterbitkan dalam *Journal of Chemical Engineering*, volume 23, edisi 1, halaman 57–66.
11. Oko, S., & Feri, M. (2019). Proses pembuatan katalis CaO dengan cara impregnasi cangkang telur ayam dengan KOH kemudian digunakan untuk membuat biodiesel dari minyak jarak. Diterbitkan dalam *Journal of Technology*, volume 11, edisi 2, halaman 103–110.

12. Oko, S., & Syahrir, I. (2018). Produksi Biodiesel dari Minyak Sawit dengan Penggunaan Katalis CaO Superbasa yang Berasal dari Cangkang Telur yang Digulung. Dalam *Journal of Technology*, volume 10, edisi 2, halaman 113–122.
13. Oko, S., Mustafa, M., Kurniawan, A., & Putri, K. N. E. (2021). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Daur Ulang Menggunakan Katalis Cangkang Telur NaOH, CaO, dan C. Volume 15, Edisi 2, halaman 147–156, *Jurnal Riset Teknologi Industri*.
14. Suryandari, A. S., Ardiansyah, Z. R., Putri, V. N. A., Arfiansyah, I., Mustain, A., Dewajani, H., & Mufid, M. (2021). Enzim Berasal dari Limbah Cangkang Telur untuk Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis CaO Heterogen. *Jurnal Energi Berkelanjutan dan Bahan Alami*, 5(1), 22-27.
15. Yusmartini, E. S., & others. (2020). Transformasi Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel Dengan Penggunaan Katalis Al₂O₃ Berbasis Rfccu. Volume 4, Edisi 2, halaman 27–32, *Jurnal Distilasi*.