
Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Biji Kepayang (*Pangium Edule Reinw*) Menggunakan Katalis Basa Heterogen Dari Limbah Cangkang Kerang Darah

Ramadani, Azhari*, Rizka Mulyawan, Nasrul ZA, Lukman Hakim

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355

Penulis Korespondensi: e-mail: Azhari@unimal.ac.id

Riwayat Artikel

Received: 11 Agustus 2023 | Final Revision: 15 September 2023 | Accepted: 17 September 2023

This is an open access article under the CC-BY-SA license



ABSTRAK

Biodiesel yakni jenis bahan bakar pengganti untuk mesin diesel yang diperoleh dari sumber daya yang dapat diperbaharui seperti minyak tumbuhan dan lemak dari hewan. Minyak biji kepayang merupakan salah satu sumber minyak nabati yang berpotensi sebagai bahan baku untuk produksi biodiesel. Katalis ialah zat yang digunakan untuk mempercepat laju reaksi tanpa ikut bereaksi. Tujuan penelitian ini untuk mengenakan cangkang kerang darah yang sudah menjadi abu sebagai katalis heterogen pada pembuatan biodiesel. Penelitian ini menggunakan dengan dua tahap proses. Tindakan ini diambil karena kandungan asam lemak tak terikat (ALB) di dalam minyak yang cukup tinggi mencapai 7,27%. Esterifikasi dipraktikkan untuk mengurangi konsentrasi asam lemak tidak terikat (ALB) dengan bantuan katalis H_2SO_4 agar tidak terjadi reaksi saponifikasi. Hasil dari esterifikasi dilanjutkan ke proses transesterifikasi. Pada transesterifikasi dilakukan dengan mereaksikan hasil minyak esterifikasi dengan metanol agar menghasilkan metil ester dan gliserol. Metil ester yang telah didapat di bagian atas lapisan dipisahkan dari gliserol dan kemudian dimurnikan. Penelitian yang belum dilakukan dalam memproduksi biodiesel dengan bahan baku berupa minyak biji kepayang menggunakan katalis CaO dari cangkang kerang darah. Macam-macam faktor proses seperti banyak katalis dan suhu reaksi dicermati pada penelitian ini untuk melihat pengaruh penggunaannya. Karakteristik dari biodiesel dibandingkan dan dievaluasi dengan mengacu pada parameter yang telah ditetapkan yaitu Standar Nasional Indonesia. Yield tertinggi yang telah didapatkan yaitu 51,85% dari penggunaan perbandingan molar minyak:metanol adalah 1:6 pada suhu 60°C dengan katalis 3% dan waktu reaksi 90 menit.

Kata Kunci: Asam Lemak Bebas, Biodiesel, Cangkang Kerang Darah, Minyak Biji Kepayang dan Saponifikasi

Pendahuluan.

Biodiesel ialah metil ester yang didapatkan dengan konversi minyak tumbuhan dan minyak hewan dengan transesterifikasi yang digunakan sebagai bahan bakar pengganti di mesin diesel. Pengaplikasian dari biodiesel mempunyai banyak kelebihan seperti sifatnya yang dapat terurai, tidak berbahaya, memiliki kadar emisi CO_2 dan sulfur yang rendah dan sangat ramah terhadap lingkungan (Marchetti & Errazu, 2008).

Kepayang adalah tumbuhan tahunan yang menghasilkan minyak nabati yang sangat menjanjikan sebagai bahan dasar biodiesel karena memiliki kadar minyak yang cukup tinggi. Minyak biji kepayang memiliki kadar asam linoleat sebanyak 42,2%, asam linolenat sebanyak 3,97% dan asam oleat yaitu 39,4% (Cakrawati, 2006). Terdapat beberapa keuntungan dalam menggunakan bahan bakar biodiesel yang terbuat dari minyak nabati, antara lain tersedianya minyak nabati yang mudah diperoleh, proses konversi minyak nabati menjadi biodiesel yang sederhana dan cepat, serta tingkat konversi minyak nabati menjadi biodiesel yang mencapai 95% (Prasetyo, 2018).

Salah satu jenis kerang yang jumlahnya cukup melimpah di Indonesia adalah kerang darah. Cangkang kerang darah terdiri dari unsur-unsur alami seperti $CaCO_3$ 98,7%, Mg 0,05%, Na 0,9%, P 0,02% dan lain-lainnya

0,2%. Kadar kalsium karbonat pada cangkang kerang darah yang tinggi cukup berpotensi untuk dimanfaatkan (Ahmad, 2017). Studi ini memanfaatkan kulit kerang darah sebagai katalis CaO yang selanjutnya diolah melalui proses transesterifikasi.

Pada proses transesterifikasi terjadi reaksi perubahan bahan baku berupa trigliserida dengan menambahkan katalis baik katalis homogen maupun heterogen menjadi metil ester dan gliserol. Manfaat penggunaan katalis heterogen meliputi produktivitas yang tinggi, suasana reaksi yang tidak keras, masa pakai katalis yang lebih panjang, biaya katalis yang terjangkau, tidak bersifat pengikis, dan aman untuk lingkungan, serta minim masalah dalam pembuangan limbah, serta kemampuan untuk mengekstrak katalis dari larutan produksi dan menggunakannya kembali (Darmanto, 2010).

Dalam studi ini memproduksi biodiesel menggunakan reaksi transesterifikasi dari minyak kepayang menggunakan katalis CaO yang berasal dari cangkang kerang darah. Sebelumnya, belum ada penelitian yang dilakukan mengenai pembuatan biodiesel dari bahan baku minyak biji kepayang dengan menggunakan katalis tersebut. Selanjutnya dilakukan perbandingan karakterisasi dilakukan pada biodiesel yang meliputi pengukuran densitas, viskositas, bilangan asam, kadar air dan komposisi senyawa asam lemak biodiesel digunakan teknik gas kromatografi-spektrometri massa (GC-MS).

Metode Penelitian

Bahan pokok saat produksi biodiesel yaitu minyak kepayang. Untuk membantu prosesnya, digunakan bahan tambahan seperti metanol, asam sulfat (H_2SO_4), KOH, NaOH, indikator PP, aquadest, dan cangkang kerang darah sebagai katalis CaO. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi labu leher tiga, pengaduk magnetik, hot plate, oven, seperangkat alat distilasi, neraca analitik, gelas ukur, beaker glass, corong pemisah, piknometer dan viskometer. Penelitian ini terdiri dari empat tahap, yakni pembuatan katalis, penurunan asam lemak bebas, produksi biodiesel dan proses analisis.

Pada proses pembuatan katalis, cangkang kerang darah dicuci sampai bersih, kemudian dikeringkan dan dihancurkan dengan mortar. Setelah itu, cangkang kerang yang telah diabukan pada suhu $900^{\circ}C$ selama 5 jam, kemudian didinginkan dalam desikator dan disaring dengan ayakan berukuran mesh 200 setelah proses pengabuan selesai. Abu dari cangkang kerang ini digunakan dalam tahap selanjutnya.

Pada tahap penurunan kadar asam lemak bebas, minyak kepayang diumpankan pada labu tiga leher yang kemudian dipanaskan di suhu $60^{\circ}C$. Lalu, katalis H_2SO_4 direaksikan terlebih dahulu dengan metanol sebelum dicampurkan di labu tiga leher yang telah ada minyak kepayang yang juga telah mencapai suhu reaksi $60^{\circ}C$. Selanjutnya, campuran dipanaskan selama 120 menit hingga mencapai waktu reaksi yang diharapkan. Setelah waktu reaksi tercapai, kombinasi dimasukkan ke dalam corong separasi sampai terbentuk dua tingkatan, yakni tingkat atas yang terdiri dari metanol, air dan katalis serta tingkat bawah yang mewakili minyak hasil esterifikasi. Kemudian, dilakukan penganalisan dan apabila kadar asam lemak bebas mencapai angka kurang dari 2%, maka hasil esterifikasi dapat diperoleh, selanjutnya proses transesterifikasi dilanjutkan.

Dalam proses pembuatan biodiesel, minyak hasil esterifikasi dimasukkan ke dalam sebuah labu berleher tiga dan direaksikan sampai mencapai suhu reaksi yang sesuai. Kemudian, abu cangkang kerang darah dilarutkan dalam metanol dan dicampurkan ke dalam labu yang berisi minyak hasil esterifikasi. Selanjutnya, campuran dipanaskan selama 90 menit sampai waktu reaksi tercapai. Setelah itu, bahan campuran dimasukkan ke dalam alat pemisah dan dipisahkan menjadi dua lapisan, yakni lapisan atas terdiri dari metil ester dan lapisan bawah terdiri dari gliserol. Kedua lapisan tersebut kemudian dipecahkan. Lapisan atas yang berupa metil ester diambil dan disucikan dengan cara destilasi untuk memisahkan biodiesel dari metanol dan air.

Langkah keempat, yaitu penganalisan, dilakukan pengamatan terhadap beberapa parameter seperti yield, densitas, viskositas, kandungan air, bilangan asam, dan komposisi senyawa asam lemak biodiesel dengan menggunakan GC-MS.

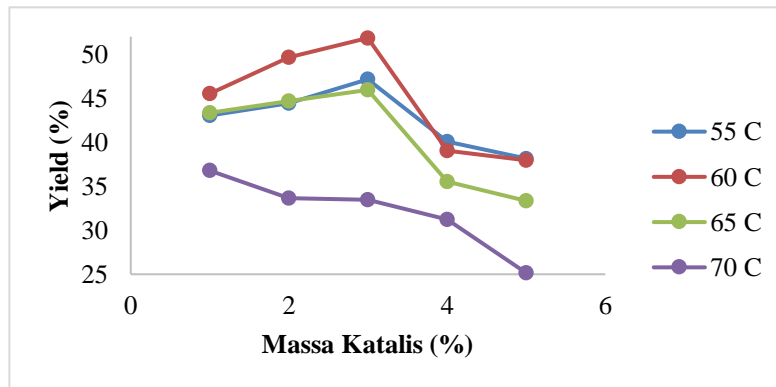
Hasil dan Pembahasan

Metil ester didapatkan dengan reaksi transesterifikasi minyak biji kepayang dengan metanol menggunakan katalis CaO dari berasal dari cangkang kerang darah. Setelah itu, sampel diambil dan dianalisis untuk

mengetahui sifat fisiknya. Beberapa variabel yang dianalisis termasuk yield, viskositas, densitas, kadar air dan angka asam dengan memvariasikan jumlah katalis dan suhu reaksi.

1. Pengaruh Variasi Massa Katalis (%) dan Suhu Reaksi (°C) Terhadap Yield (%)

Yield adalah ukuran utama untuk menentukan nilai ekonomis dan kemanjuran suatu produk. Yield biodiesel sangat penting untuk dipahami untuk menentukan seberapa efektif biaya proses produksi biodiesel dengan teknologi yang digunakan. Analisis yield membandingkan berat produk dengan berat bahan baku yang digunakan.



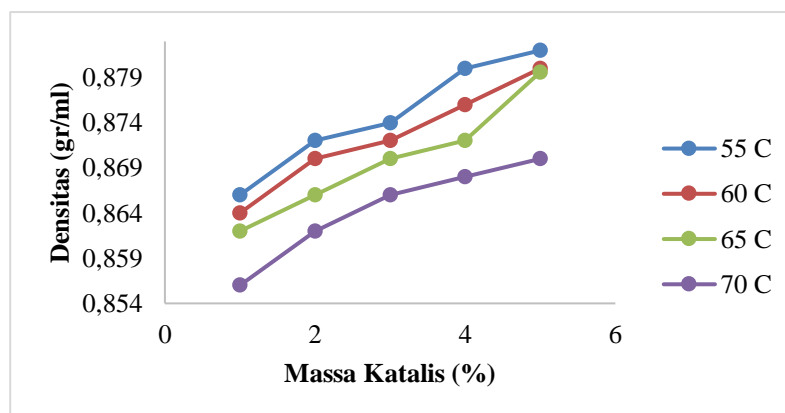
Gambar 1. Pengaruh Variasi Massa Katalis (%) dan Suhu Reaksi (°C) Terhadap Yield (%)

Peningkatan kuantitas katalis akan meningkatkan jumlah molekul yang teraktivasi sehingga kecepatan reaksi meningkat, dan hasil produksi juga meningkat sejalan dengan bertambahnya katalis. Peningkatan jumlah katalis berlebih menyebabkan campuran yang menjadi lebih kental dan meningkatkan konsumsinya. Senada dengan penjelasan Siregar *et al.*, (2015) bahwa penambahan katalis berlebih tidak meningkatkan yield biodiesel tetapi justru menurunkan yield biodiesel. Lebih lanjut lagi Lee *et al.*, (2009) menuturkan dengan meningkatnya jumlah katalis yang digunakan tidak menjamin peningkatan yield biodiesel karena cairan pada akhirnya akan menjadi kental, yang mengakibatkan penurunan efisiensi reaksi. Ada jumlah katalis yang ideal untuk mendapatkan hasil biodiesel yang tinggi (Khurshid, 2014). Setiap reaksi yang melebihi nilai katalis yang tepat akan menurunkan produksi biodiesel (Hossain dan Mazen, 2010).

Kenaikan suhu dapat memengaruhi reaksi dengan meningkatkan energi kinetik selama proses tersebut, yang mengakibatkan penurunan produksi biodiesel (Hayyan *et al.*, 2010). Suhu yang lebih tinggi dapat menstimulasi molekul, sehingga memungkinkan molekul bergerak dengan cepat dan mengganggu ikatan karbon dalam trigliserida. Keseimbangan reaksi akan terganggu jika suhu terlalu tinggi. Hal tersebut searah dengan pernyataan dari Julia (2007) dimana penurunan konversi biodiesel disebabkan oleh penguapan parsial metanol.

2. Pengaruh Variasi Massa Katalis (%) dan Suhu Reaksi (°C) Terhadap Densitas (g/ml)

Massa jenis adalah perbandingan antara massa contoh dengan volumenya, dibandingkan dengan massa air pada volume dan suhu yang sama. (Kataren, 2005). Jika densitas biodiesel melebihi ketentuan tersebut, biodiesel akan melakukan pembakaran yang tidak optimal. Konsentrasi biodiesel yang terlalu tinggi tidak dapat digunakan pada mesin diesel karena bisa meningkatkan keausan mesin, emisi, dan menyebabkan kerusakan pada mesin (Prihandana *et al.*, 2006). Menurut SNI 2019, densitas biodiesel berkisar 850-890 kg/m³. Penelitian ini mendapatkan densitas yang hasilnya bervariasi. Tren kenaikan densitas ini dipengaruhi dengan konversi pada biodiesel yang cenderung menurun. Apabila konversi biodiesel semakin menurun, jumlah trigliserida dalam biodiesel akan semakin meningkat, sehingga densitas biodiesel juga semakin tinggi. Menurut Faizal *et al.* (2013), katalisator dengan jumlah yang lebih banyak dapat menstimulasi aktivitas penghasil sabun. Keadaan ini menyebabkan peningkatan densitas metil ester karena adanya zat sisa atau zat yang tidak berubah dari reaksi menggunakan katalis yang kurang intens menghasilkan jumlah ester metil yang lebih sedikit.

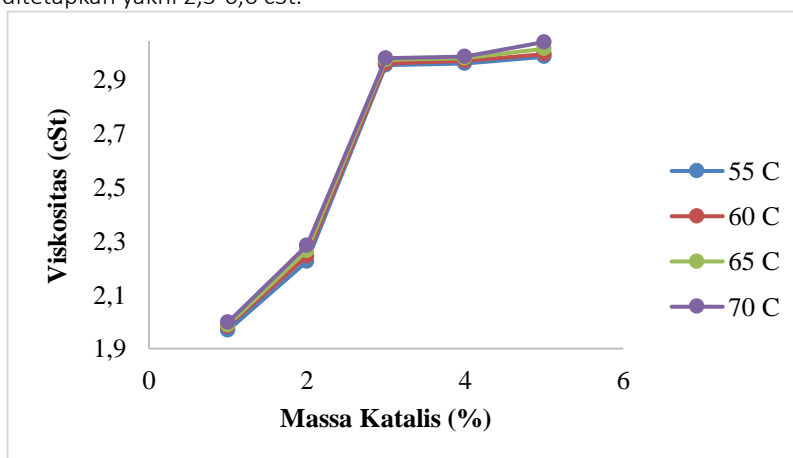


Gambar 2. Pengaruh Variasi Massa Katalis (%) dan Suhu Reaksi ($^{\circ}\text{C}$) Terhadap Densitas (gr/ml)

Pengaruh variasi temperatur yang diberikan tidak terlalu berdampak pada densitas metil ester. Penurunan nilai densitas dipengaruhi oleh temperatur karena semakin meningkatnya temperatur akan mempercepat kecepatan reaksi dan tumbukan antara molekul pereaksi akan semakin cepat sehingga dengan meningkatnya temperatur transesterifikasi, kemungkinan terbentuknya metil ester akan semakin besar. Temperatur memiliki hubungan terbalik dengan densitas. Meningkatnya temperatur zat, kian rendah massa jenis zat itu dan meningkatnya temperatur zat tersebut, semakin besar volume zat tersebut (Febriana *et al* 2020).

3. Pengaruh Variasi Massa Katalis (%) dan Suhu Reaksi ($^{\circ}\text{C}$) Terhadap Viskositas (cSt)

Viskositas adalah karakteristik penting pada produksi metil ester (biodiesel). Minyak tumbuhan umumnya memiliki tingkat kekentalan yang tinggi. Kekentalan adalah rintangan bagi fluida yang mengalir di dalam pipa kapiler karena gravitasi. Ini sering kali diukur dalam bentuk waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tertentu. Laju aliran akan melambat ketika viskositas meningkat. Mengacu pada SNI 2019, viskositas pada biodiesel telah ditetapkan yakni 2,3-6,0 cSt.



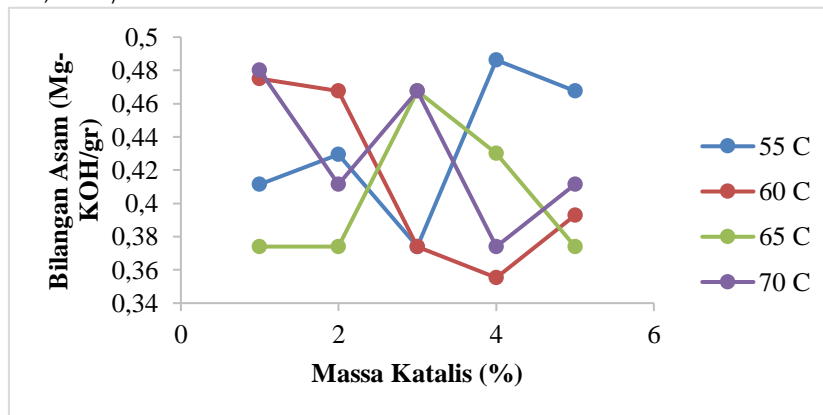
Gambar 3. Pengaruh Variasi Massa Katalis (%) dan Suhu Reaksi ($^{\circ}\text{C}$) Terhadap Viskositas (cSt)

Proses pengubahan ester dengan bantuan katalis sangat memengaruhi angka kekentalan minyak. Reaksi penyabunan dapat terbentuk dengan konsentrasi katalis basa yang lebih tinggi. Perubahan ini bisa menyebabkan sisa bahan kimia atau kontaminan tidak diubah menjadi metil ester, yang pada akhirnya akan meningkatkan kekentalan metil ester. Dalam hal ini, pengaplikasian katalis basa yang kurang tinggi akan memproduksi metil ester dengan viskositas yang lebih rendah (Faizal *et al.*, 2013). Suhu reaksi memiliki

pengaruh yang signifikan pada viskositas biodiesel. Semakin tinggi suhu, semakin tinggi pula nilai viskositas biodiesel (Silaban dan Makalalag, 2020).

4. Pengaruh Variasi Massa Katalis (%) dan Suhu Reaksi (oC) Terhadap Bilangan Asam (Mg-KOH/g)

Bilangan keasaman merujuk pada jumlah miligram KOH yang dibutuhkan untuk menyeimbangkan satu gram ALB. Nilai asam tinggi memperlihatkan ALB masih terdapat dalam biodiesel. Bahan bakar nabati yang mengandung asam lemak tak terikat dapat menghasilkan endapan atau lapisan pada injektor mesin diesel (Prihandana *et al.*, 2006).



Gambar 4. Pengaruh Variasi Katalis (%) dan Suhu Reaksi (°C) Terhadap Angka Asam (Mg-KOH/g)

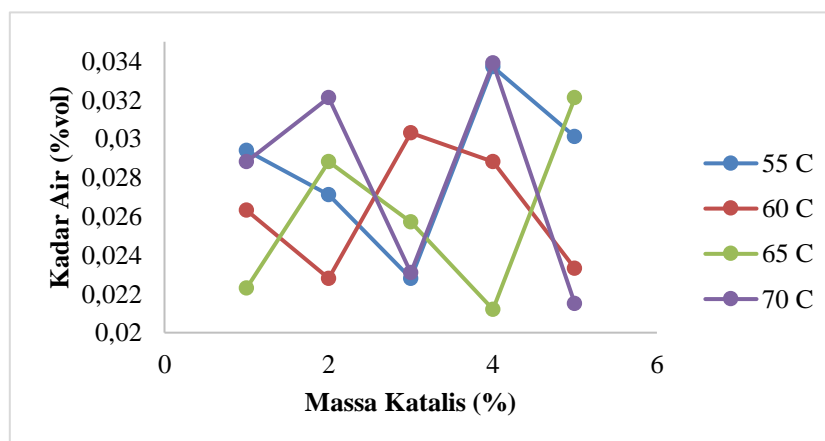
Dampak dari perubahan jumlah asam terjadi ketika asam lemak bebas (ALB) dalam minyak kepayang diubah melalui reaksi esterifikasi. Reaksi ini melibatkan asam lemak dan alkohol yang direaksikan dengan bantuan katalis asam H_2SO_4 untuk menghasilkan ester dan air. Dari Knothe *et al* (2005), Proses esterifikasi dianggap lengkap jika asam lemak bereaksi dengan alkohol (metanol) maka akan terbentuk metil ester dan air. Pengurangan kandungan asam terjadi karena asam lemak bebas di dalamnya akan bereaksi dengan ion metoksida pada saat proses transesterifikasi dan menghasilkan ester (Kusumaningsih *et al.*, 2006).

Pengaruh penambahan jumlah katalis mengakibatkan kandungan air yang masih terdapat dalam reaksi hasil dari reaksi esterifikasi menyebabkan bilangan asam menjadi naik-turun dan tidak konstan. Adanya kandungan air pada campuran saat dilakukannya reaksi transesterifikasi dengan penambahan katalis menimbulkan akumulasi kandungan air pada campuran sehingga bilangan asam yang terbentuk tidak konstan. Kemungkinan lain sebab kinerja katalis yang dipakai pada proses transesterifikasi kurang optimal sehingga menyebabkan hal tersebut terjadi. Perubahan suhu memengaruhi kecepatan reaksi dan tumbukan molekul pereaksi akan semakin cepat. Dengan meningkatnya suhu dalam proses transesterifikasi, tumbukan molekul akan semakin cepat dan kemungkinan terbentuknya metil ester lebih besar. Selain itu, jumlah asam lemak bebas juga akan semakin berkurang. Dikarenakan adanya hambatan molekul air terhadap katalis yang diterapkan pada suhu yang tinggi, proses konversi minyak atau lemak menjadi biodiesel tidak terjadi secara optimal. Hal ini mengakibatkan angka asam biodiesel meningkat pada konsentrasi katalis yang tinggi (Oktaningrum, 2010). Penurunan nilai asam menunjukkan terjadinya proses esterifikasi yang mengubah asam lemak bebas menghasilkan mono-, di-, atau trigliserida saat berinteraksi melalui gliserol menghasilkan metil ester ketika bereaksi dengan metanol, sehingga nilai asam menurun. Kenaikan angka asam menunjukkan adanya reaksi hidrolisis, yang mengindikasikan bahwa lebih banyak gliserol dan asam lemak bebas yang dihasilkan.

5. Pengaruh Variasi Massa Katalis (%) dan Suhu Reaksi (°C) Terhadap Kadar Air (%)

Minyak nabati atau hewani yang dipakai sebagai bahan dasar dalam pembuatan biodiesel harus tidak mengandung air. Keberadaan air akan mengurangi efisiensi penggunaan katalis. Kelebihan kandungan air dapat memicu ketidaksempurnaan yang terjadi saat mengubah minyak nabati menjadi biodiesel. Hal itu dapat menaikkan bilangan asam, menurunkan pH, dan membuat biodiesel menjadi lebih korosif. Oleh karena itu, penting untuk memperhatikan jumlah air yang masuk selama proses hidrolisis biodiesel

(Prihandana *et al.*, 2006).



Gambar 5. Pengaruh Variasi Katalis (%) dan Suhu Reaksi (°C) Terhadap Kadar Air (% vol)

Kandungan air dalam biodiesel umumnya tidak stabil. Fenomena tersebut disebabkan oleh penumpukan air dalam minyak kepayang selama proses transesterifikasi berlangsung. Kandungan air tersebut berasal dari hasil reaksi esterifikasi, dimana saat menurunkan asam lemak bebas (ALB) minyak kepayang menggunakan reaksi esterifikasi menghasilkan ester dan air sebagai produknya.

Penurunan kadar air biodiesel disebabkan oleh meningkatnya jumlah katalis yang digunakan dan juga kadar air yang terbentuk selama reaksi transesterifikasi. Kenaikan konsentrasi air dapat meningkatkan hidrolisis trigliserida serta air, yang menghasilkan gliserol juga ALB. Terlalu banyak katalis dapat menghasilkan proses penyabunan yang sangat responsif terhadap air. Seiring dengan itu, kelebihan air dalam reaksi transesterifikasi menginduksi hidrolisis trigliserida yang diikuti oleh penyabunan (Andalia & Pratiwi, 2018). Semakin rendah tingkat kadar air pada biodiesel, semakin sedikit proses hidrolisis yang terjadi dan semakin rendah konsentrasi asam lemak (Aini *et al.*, 2020). Selanjutnya, kadar air yang dihasilkan rendah karena suhu yang diterapkan dalam reaksi cukup tinggi atau berlangsung cukup lama. Selain itu, penggunaan suhu yang tinggi menyebabkan penguapan air genap, maka dari itu kandungan air pada biodiesel menjadi sedikit.

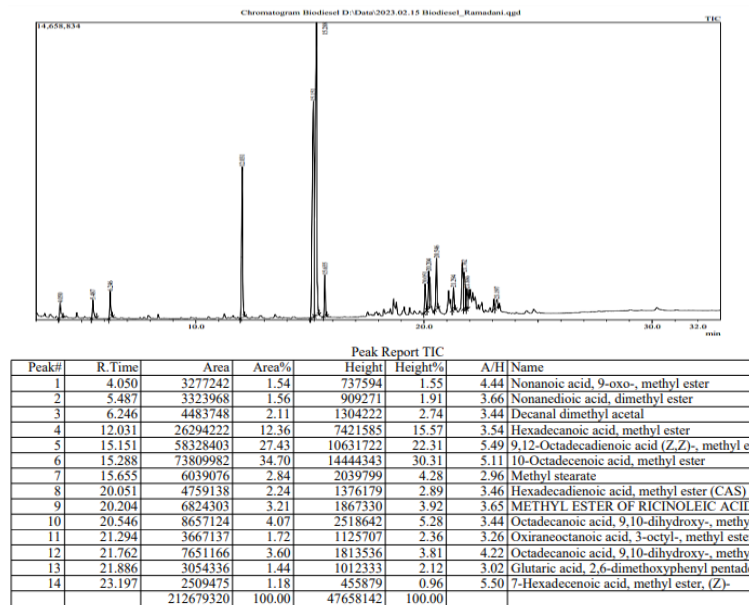
6. Analisa Komposisi Senyawa Hidrokarbon Pada Biodiesel

Analisa komposisi senyawa hidrokarbon pada biodiesel menggunakan alat kromatografi gas-spektrometri massa (GC-MS). GC-MS merupakan teknik analisis dengan menggabungkan keunggulan dari kromatografi gas dan spektrometri massa yang bertujuan menganalisis senyawa-senyawa dalam suatu sampel.

Gambar 6 adalah hasil penganalisisan komponen biodiesel dengan perangkat GC-MS. Grafik tersebut menunjukkan bahwa penelitian ini menghasilkan metil ester yang sejalan dengan asam lemak yang terdapat dalam minyak kepayang. Berdasarkan hasil dari GC-MS terdapat 14 puncak metil ester dari minyak kepayang. Asam lemak yang dominan dalam minyak kepayang terletak pada puncak-puncak tertinggi, yakni puncak 5 dan 6. Pada puncak 5, terdapat asam linoleat dengan proporsi sebesar 27,43%, sementara pada puncak 6 terdapat asam oleat dengan proporsi sebesar 34,70%.

Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian, disimpulkan bahwa minyak yang diekstrak dari biji kepayang memiliki potensi sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel. Selain itu, cangkang kerang darah juga dapat dimanfaatkan dalam proses tersebut dapat berfungsi sebagai katalis heterogen. Adapun yield biodiesel tertinggi sebesar 51,85% pada penggunaan katalis 3% dan suhu reaksi 60°C. Hasil dari GC-MS menunjukkan bahwa produk yang dihasilkan adalah biodiesel. Komponen utama dari minyak kepayang adalah linoleat yang berjumlah 27,43% dan oleat yang berjumlah 34,70%. Sifat-sifat biodiesel yang telah diperoleh serta diuji terbukti. Penelitian ini hasilnya telah sesuai dengan acuan dari Standar Nasional Indonesia (SNI) 2019.



Gambar 6. Hasil Analisis dengan GC-MS

Daftar Pustaka

Ahmad, I. 2017. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*) Sebagai Bahan Abrasif Dalam Pasta Gigi. *Jurnal Galung Tropika*, 6(1), 49–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.31850/jgt.v6i1.210>

Aini, Z., Yahdi & Sulistiyana. 2020. Kualitas Biodiesel Dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Cangkang Telur Ayam Ras Dengan Perlakuan Suhu Yang Berbeda. *Spin Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia*. Vol. 2 (2): 98-115. <https://doi.org/10.20414/spin.v2i2.2723>

Andalia, W., & Pratiwi, I. 2018. Kinerja Katalis Naoh Dan KOH Ditinjau Dari Kualitas Produk Biodiesel Yang Dihasilkan Dari Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Tekno Global*, Vol. 7 (2). <https://doi.org/10.36982/jtg.v7i2.549>

Darmanto, S. 2010. Analisa Unjuk Kerja Biodiesel Kapuk Randu. 10(2), 1–10. <https://doi.org/10.26714/traksi.10.2.2010.%25p>

Faizal, M., Maftuchah, U., & Auriyani, W. A. 2013. Pengaruh Kadar Metanol, Jumlah Katalis, Dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel Dari Lemak Sapi Melalui Proses Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(4), 29–37.

Febriana, I., Ridwan, KA., Aneasari, M., & Jauhari, T., 2020. Study of The Effect of Calcium Oxide (CaO) Derived From Blood Clam (*Andara Granosa*) and Reaction Time To Quality Of Biodiesel From Wasted Cooking Oil. *Journal of Physics: Conference Series*, 1500(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1500/1/012045>

Hayyan, A., Alam, Md.Z., Mirghani, M.E.S., Kabbashi, N.A., Hakimi, N.I.N.M, Siran, Y.M., & Tahiruddin, S. 2010. sludge palm oil as a renewable raw material for biodiesel production by two-step processes. *Bioresources Technology* 101: 7804- 7811. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.045>

Hossain, A.B.M.S & Mazen, M.A. 2010. Effects Of Catalyst Types And Concentrations On Biodiesel Production From Waste Soybean Oil Biomass As Renewable Energy And Environmental Recycling Process. *Australian Journal Of Crop Science*, 4(7): 550-555. <https://doi.org/10.3316/informit.536705085735213>

Kusumaningsih, T., Pranoto, & Saryoso, R. 2006. Pembuatan Bahan Bakar Biodiesel dari Minyak Jarak: Pengaruh Suhu dan Konsentrasi KOH pada Reaksi Transesterifikasi Berbasis Katalis Basa. *Jurnal*

- Bioteknologi 3(1): 20- 26. <https://doi.org/10.13057/biotek/c030104>
- Lee, D. W., Park, Y. M., & Lee, K.Y. 2009. Heterogeneous Base Catalyst For Transesterification In Biodiesel Synthesis. *Catalyst Surveys From Asia*, 13(2): 63-77. <https://doi.org/10.1007/s10563-009-9068-6>.
- Marchetti, J. M., & Errazu, A. F. 2008. Comparison of Different Heterogeneous Catalysts And Different Alcohols For The Esterification Reaction Of Oleic Acid. *Fuel*, 87(15–16), 3477–3480. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2008.05.011>.
- Prasetyo, J. 2018. Studi Pemanfaatan Minyak Jelantah Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*. 2(2), 45-54. <http://dx.doi.org/10.32493/jitk.v2i2.1679>
- Silaban, D. P & Makalalag, A.K. 2020. Produksi dan Karakterisasi Biodiesel Berbahan Baku Minyak Jelantah. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri Vol 12(1)*: 31-40. <https://dx.doi.org/10.33749/jpti.v12i1.6428>.
- Siregar, A. L. M., Idral, & Zultinir. 2015. Pembuatan Biodiesel Berbahan Baku CPO Menggunakan Reaktor Sentrifugal dengan Variasi Rasio Umpan dan Komposisi Katalis. *JOMFTEKNIK*. Vol 1 (1):1-6.
- Cakrawati, D. 2006. Pengaruh Pra Fermentasi dan Suhu Maserasi Terhadap Beberapa Sifat Fisikokimia Minyak Kasar Kluwak, Skripsi, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Julia, D., 2007. Kajian Pengaruh Temperatur dan Persen Berat KOH Terhadap Konversi Produk Transesterifikasi Minyak Kelapa. Skripsi. Universitas Mulawarman.
- Oktaningrum, G.N. 2010. Pengaruh Konsentrasi Katalis KOH Dan Suhu Pada Proses Transesterifikasi In Situ Bungkil Wijen (Sesame Cake) Terhadap Produksi Biodiesel. Skripsi. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Ketaren. 2005. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. Jakarta: Penerbit UI Press.
- Khurshid, S.N.A. 2014. Biodiesel Production By Using Heterogen Catalyst. Thesis. Swedia: Royal Institute Of Technology.
- Knothe, G., Gerpen, J.V., & Krahl, J. 2005. *The Biodiesel Handbook*. United States of America: AOCS Press.
- Prihandana, R., Hendroko, R., & Nuramin, M. 2006. Menghasilkan Biodiesel Murah Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM. Agromedia Pustaka, Jakarta.