

PEMANFAATAN LIMBAH CAIR MINYAK JELANTAH RUMAH TANGGA UNTUK BAHAN BAKAR ALTERNATIF JENIS BODIESEL MENGGUNAKAN LIMBAH TULANG AYAM SEBAGAI KATALIS HETEROGEN DENGAN PARAMETER UJI *CETANE INDEX* ASTM D-4737, *DENSITY* DAN *FLASH POINT* PM ASTM D-93

UTILIZATION OF HOUSEHOLD USED WASTED OIL LIQUID WASTE FOR AN ALTERNATIVE FUEL TYPE OF BODIESEL USING CHICKEN BONE WASTE AS A HETEROGENOUS CATALYST WITH TEST PARAMETERS CETANE INDEX ASTM D-4737, DENSITY AND FLASH POINT PM ASTM D-93

Dian Kurnia Sari¹⁾, Rahma Nuryanti²⁾, Puti Syavia Gandawati³⁾

^{1,2,3)} Program Studi Teknik Analisis Laboratorium Migas Politeknik Akamigas Palembang, 30257, Indonesia

Corresponding Author E-mail: dian_ks@pap.ac.id, rahmanurnaynti@pap.ac.id dan putisyavia27@gmail.com

Abstract: Renewable energy refers to alternative energy source available in nature that will not run out even if it is used continuously. One of this renewable energy is biodiesel. Biodiesel is an alternative fuel expected to replace diesel which is produced from renewable materials such as vegetable oils or animal oils. Used cooking oil is included into domestic waste from cooking oil and it has the opportunity to make biodiesel because it contains triglycerides and free fatty acids. Biodiesel made from waste cooking oil is generally produced through transesterification process. Transesterification process in this study used methanol ratios and used cooking oil of 1:6 with addition of heterogeneous base catalyst (CaO). This research aims to determine the process of making biodiesel from used cooking oil using catalyst made from chicken bones and investigate the quality of biodiesel from used cooking oil. Based on the analysis of the test, density value was 868 (on spec), cetane index result was 51 (on spec), and the result for flash point PM was 110°C (on spec). The results of this study showed that the research carried out met the requirements of SNI No. 7182 of 2015 regarding biodiesel production.

Keywords: Biodiesel, Catalyst, Used Cooking Oil, Transesterification.

Abstrak: Energi terbarukan merupakan sumber energi alternatif di alam yang tidak akan habis walaupun digunakan secara terus menerus salah satunya yaitu biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif pengganti diesel yang dibuat dari bahan yang dapat diperbaharui seperti minyak nabati / minyak hewani. Minyak jelantah adalah minyak goreng bekas yang dibuang dari dapur rumah tangga dan memiliki peluang dalam pembuatan biodiesel karena minyak jelantah mengandung trigliserida, disamping asam lemak bebas. Biodiesel terbuat dari limbah cair minyak jelantah yang umumnya diproduksi melalui proses transesterifikasi. Pada proses transesterifikasi menggunakan rasio metanol 1 : 6 minyak jelantah, dan penambahan katalis basa heterogen (CaO). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses pembuatan biodiesel dari minyak jelantah menggunakan katalis berbahan tulang ayam dan mengetahui kualitas biodiesel dari minyak jelantah. Berdasarkan analisa pengujian ini diperoleh nilai density sebesar 868 (on spec), hasil cetane index diperoleh sebesar 51 (on spec), dan hasil untuk flash point PM sebesar 110°C (on spec). Hasil penelitian ini telah menunjukkan bahwa penelitian yang dilakukan memenuhi persyaratan SNI Nomor 7182 Tahun 2015 untuk pembuatan biodiesel.

Kata kunci: Biodiesel, Katalis, Minyak Jelantah, Transesterifikasi.

1. PENDAHULUAN

Energi terbarukan merupakan sumber energi alternatif di alam yang tidak akan habis walaupun digunakan secara terus menerus, saat ini sumber energi utama adalah bahan bakar fosil. Produksi biodiesel menggunakan minyak berkualitas rendah, seharusnya melakukan proses esterifikasi, untuk mengurangi kadar FFA (*free fatty acid*). Proses transesterifikasi tidak menginginkan

kadar FFA tinggi karena dapat menyebabkan penurunan produksi dan kesulitan untuk membedakan produk. (Pardede, 2016).

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian untuk katalis heterogen sebagai pengganti katalis homogen. katalis heterogen memiliki banyak keuntungan seperti mudah dipisahkan serta dapat digunakan kembali, kurang sensitif terhadap kadar air dan FFA

(*free fatty acid*), dan lebih ramah lingkungan. CaO , Ca(OH)_2 , dan CaCO_3 adalah beberapa campuran senyawa kalsium yang digunakan sebagai katalis heterogen, tetapi CaO adalah katalis yang paling aktif (Arzamedi et.al, 2008).

Minyak jelantah adalah minyak goreng bekas yang telah dibuang dari dapur rumah tangga dan memiliki potensi untuk menghasilkan biodiesel karena, selain asam lemak bebas, minyak jelantah juga mengandung trigliserida. Limbah cair minyak jelantah dapat membahayakan masyarakat setempat jika dibuang dilingkungan.

2. TEORI DASAR

2.1 Minyak Jelantah

Minyak jelantah adalah salah satu pilihan bahan bakar yang menarik karena memiliki berbagai manfaatnya termasuk kandungan energi yang tinggi karena bobot dan volumenya yang kecil, tingginya potensi kalor, dan keadaan dalam bentuk cair (Maratul, 2017). Komposisi kimiawi minyak goreng akan berubah ketika minyak jelantah dipanaskan dan digunakan berulang kali. Di dalamnya, proses oksidasi, polimerisasi, hidrolisis, dan karamelisasi dapat menyebabkan perubahan ini (Kataren, 2005).

2.2 Biodiesel

Biodiesel adalah pengganti minyak diesel yang dibuat dari lemak hewan atau minyak tumbuhan. Bisa digunakan ketika dicampur dengan minyak diesel (solar). Biodiesel memiliki *flash point* yang nilainya lebih tinggi daripada bensin diesel, yang membuatnya aman untuk disimpan dan digunakan (Aziz, 2011). Biodiesel memiliki banyak keuntungan, salah satunya adalah lebih efisien dalam pembakaran karena dibandingkan dengan bahan bakar diesel minyak bumi, jumlah setananya yang tinggi (Sartika, 2015).

2.3 Reaksi Esterifikasi

Reaksi esterifikasi terjadi ketika asam karboksilat dan alkohol berinteraksi untuk membuat ester. Ester asam karboksilat dibuat oleh turunan asam karboksilat. Ester asam karboksilat ialah suatu senyawa yang

mengandung gugus $-\text{CO}_2\text{R}$ dengan R dapat berupa alkil maupun aril (Soerawidjaja, 2006).

2.4 Reaksi Transesterifikasi

Transesterifikasi ini mengubah asam lemak menjadi alkil ester atau mengganti alkohol dalam trigliserida dengan ester tambahan. Metode temperatur, jenis alkohol, katalis, waktu, jenis reaktor, dan proses pemisahan adalah semua faktor yang mempengaruhi proses transesterifikasi. Proses mereaksikan trigliserida dalam minyak dengan katalis basa atau asam dan alkohol disebut transesterifikasi (Indah, 2011).

2.5 Katalis

Reaksi yang tidak melibatkan katalis dapat terjadi pada suhu kamar hingga 250°C karena katalis mempercepat dan mengurangi energi aktivasi (Faizal, 2013). Menyediakan situs aktif mempertemukan reaktan adalah fungsi katalis dalam reaksi (Lestari, 2011).

2.6 Katalis Heterogen CaO

Katalis heterogen CaO mempunyai banyak keuntungan, seperti mengurangi penggunaan energi dan biaya pemisahan katalis sederhana, serta pemisahan yang mudah dengan gliserol. Oleh karena itu, salah satu biomassa banyak terdapat di negara ini adalah tulang ayam dengan kandungan anorganik sekitar 69%, tulang ayam dapat digunakan sebagai sumber kalsium dan fosfor (Yildirim, 2004). Tulang ayam mengandung C 38,30%, O 28,16%, Na 0,37%, Mg 0,27%, P 10,34%, dan Ca 22,56%. Ini menunjukkan persentase komposisi kalsium yang dapat didekomposisikan menjadi kalsium oksida melalui suhu tertentu (Mohadi dkk, 2013).

2.7 Metanol

Metanol yang sepenuhnya larut dalam air adalah cairan mudah menguap yang tidak berwarna dan berbau samar manis yang mirip dengan etil alkohol. Metanol dengan rumus kimianya CH_3OH dan berat molekul, yaitu 32,042, titik leleh -98°C dan titik didih, yaitu 64°C karena metanol juga lebih murah dan mudah dikonversi, biasanya digunakan dalam proses transesterifikasi (Indah, 2011).

2.8 Parameter Uji

a. *Cetane Index* ASTM D-4737

Metode penting untuk menentukan kualitas minyak biodiesel adalah CCI (*Calculated Cetane Index*) dapat digunakan sebagai penghitung nilai setana minyak biodiesel. Perhitungan Cetane index ini diperlukan data dari hasil *density* dan distilasi ASTM D-98. Apabila data ini telah lengkap, maka dengan mudah akan mendapat nilai dari *cetane index*.

b. Density

Density atau massa jenis adalah karakteristik yang menunjukkan perbedaan berat per volume. *Density* juga berkaitan dengan jumlah daya dan kalor yang dihasilkan oleh mesin diesel per volume bahan bakar yang digunakan. Pada suhu 40°C densitas biodiesel memiliki standar SNI adalah 850-890 kg/m³. Nilai yang lebih tinggi akan mengganggu konversi minyak nabati dan menyebabkan emisi, keausan, dan kerusakan mesin (Hasanatan, 2012).

c. Flash Point Pensky – Martens ASTM D-93

Flash point atau titik nyala adalah suhu terendah dimana uap bahan bakar dan udara bercampur untuk membuat campuran yang bisa terbakar maupun menyala. Biodiesel memiliki titik nyala lebih dari 100°C yang membuatnya lebih aman untuk disimpan dengan menggunakan minyak solar yang memiliki titik nyala paling rendah 52°C. Jika titik nyala biodiesel kurang dari 100°C, ini menunjukkan bahwa metanol masih ada dalam biodiesel.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Penelitian dan Tempat Penelitian

Pengambilan sampel minyak jelantah ini berasal dari minyak goreng bekas sisa penggorengan di rumah tangga. Penelitian ini terhitung dari tanggal 06 Mei 2024 sampai dengan 10 Juni 2024 yang dilakukan di Laboratorium Politeknik Akamigas Palembang.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

a. Studi Pustaka

Data-data yang diperoleh dalam penyusunan penelitian ini bersumber dari literatur yang berhubungan dengan judul dan bersesuaian, buku dan jurnal.

b. Pengambilan Data

Selain dari studi pustaka, data yang dicantumkan juga merupakan data yang diperoleh langsung dari hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Politeknik Akamigas Palembang.

3.3 Tahapan Penelitian

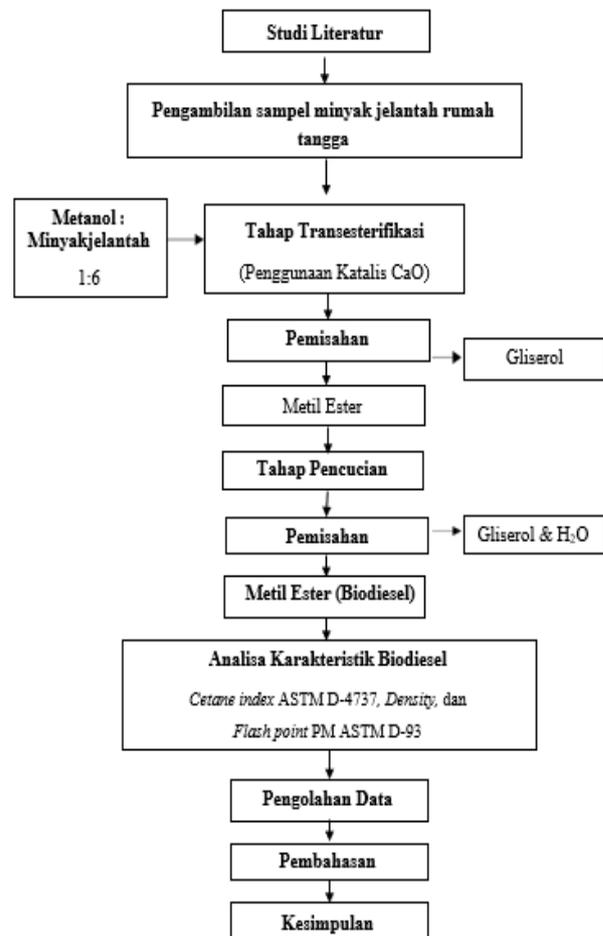
a. Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian ini merupakan tahap awal penelitian. Pada tahap ini dilakukan studi literatur mengenai penelitian sebelumnya baik dalam penyediaan alat dan bahan yang akan dibutuhkan.

b. Pengambilan Sampel

Sampel yang digunakan adalah dari minyak goreng bekas penggorengan rumah tangga (minyak jelantah). Sampel minyak diambil sebanyak 1 liter yang diisi langsung. Kemudian sampel dibawa ke Laboratorium Politeknik Akamigas Palembang untuk dilakukan analisa selanjutnya.

c. Skema Penelitian



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

a. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain: Botol sampel minyak jelantah, *beaker glass*, corong, gelas ukur, erlenmeyer, pipet ukur, *magnetic stirer*, labu pemisah, labu didih dasar bulat 1.000 ml, corong pemisah, *hot plate*, penyangga, kondensor, dan spatula.

b. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain: NaOH 0,1 N, minyak jelantah, metanol, katalis CaO, dan *aquadest*

3.5 Prosedur Penelitian

a. Tes FFA (*Free Fatty Acid*)

1. Apabila asam lemak bebas > 5% proses esterifikasi dengan katalis asam pekat dan dilanjutkan proses transesterifikasi.
2. Apabila asam lemak bebas < 5%, maka dapat dilanjutkan proses transesterifikasi.

Tahap pengujian FFA (*free fatty acid*):

1. Ambil 5 g sampel 50 ml metanol 95% lalu tambahkan 3 tetes indikator PP.
2. Titrasi sampel dengan NaOH 0,1 N.
3. Setelah itu, berubah warna menjadi merah muda, catatlah volume NaOH.

b. Proses Transesterifikasi

1. Minyak jelantah (250 ml) dimasukkan ke dalam labu leher tiga, lalu masukkan *magnetic stirer*.
2. Masukkan 41 ml metanol ke dalam sampel.
3. Kemudian masukkan 25 g CaO sebagai katalis.
4. Rangka refluks kondensor, atau labu leher tiga, dihubungkan dengan kondensor, dan kemudian dipanaskan di atas *hot plate* hingga suhu 70°C. Kecepatan agitasi *magnetic stirer* diatur untuk mempercepat *transfer* panas di dalamnya.
5. Hasil reaksi di dalam labu leher tiga didinginkan setelah satu jam dan dimasukkan ke dalam labu pemisah. Kemudian didiamkan selama kurang lebih dari satu jam.
6. Apabila proses *settling* selesai, produk *crude* metil ester dan gliserol dipisahkan ke dalam wadah yang

berbeda.

7. Kemudian lakukan proses pencucian dengan menggunakan air panas dengan suhu 60 °C.
8. Setelah dicampurkan dengan air panas, diamkan 1 hari terbentuk 2 lapisan (lapisan air di bawah).
9. Pada air cucian lapisan bawah dibuang dan bagian atas berupa minyak yang sudah dicuci.
10. Hasil pencucian berupa metil ester dikeluarkan kedalam wadah *beaker glass*, dan dipanaskan di atas *hot plate* hingga semua air teruapkan dan dilakukan sambil diaduk.
11. Setelah itu, masukkan ke dalam labu pemisah dan diamkan selama ± 3 hari.
12. Langkah terakhir pisahkan antara biodiesel dan minyak lemak.

3.6 Parameter Analisa

a. Cetane Index ASTM D-4737

Prosedur percobaan Cetane Index ASTM D-4737:

1. Menentukan *density* bahan bakar, sesuai dengan metode D-1928.
2. Melakukan distilasi dan menentukan 10%, 50%, dan 90% *recovery* pada suhu bahan bakar, seperti yang ada pada metode D-86.
3. Dapat menghitung rumus CCI sebagai berikut:

$$CCI = 45,2 + (0,0892)(T_{10N}) + [0,131 + (0,901)(B)][T_{50N}] + [0,0523 - (0,420)(B)][T_{90N}] + [0,00049][(T_{10N})^2 - (T_{90N})^2 + (107)(B) + (60)(B)^2]$$

Dimana:

CCI = *calculated cetane index*

B = $[e^{(-3,5)(DN)}] - 1$

T10 = suhu 10% *recovery*, °C $T_{10N} = T_{10-215}$

T50 = suhu 50% *recovery*, °C $T_{50N} = \text{suhu } T_{10-260}$

T90 = suhu 90% *recovery*, °C $T_{90N} = T_{10-310}$

b. Density

Prosedur percobaan *density*:

1. Menimbang piknometer 50 ml kosong
2. Mengisi piknometer dengan sampel
3. Timbang piknometer + sampel
4. Mengukur suhu sampel dalam piknometer

5. Menghitung *density* dengan rumus:

$$\text{Density} = \frac{(\text{berat piknometer} + \text{sampel}) - (\text{berat piknometer})}{50 \text{ ml}}$$

c. *Flash point* PM ASTM D-93

Bahan yang digunakan pada pengujian *flash point* antara lain: biodiesel, toluen atau aseton sebagai *solvent* pembersih mangkok tes.

Peralatan pada pengujian *flash point* antara lain:

1. Alat ASTM Pensky – Martens yang sesuai dalam spec. E. 123 untuk alat PM cc,
2. Termometer standar,
3. Gas elpijibeserta selang,
4. Pemantik api,
5. Kertas saring, dan
6. Barometer dengan ketelitian $\pm 0,5$ kPa.

Prosedur percobaan pada pengujian *flash point* antara lain:

Prosedur A:

1. Pastikan mangkok tempat sampel telah dibersihkan dan kering sebelum memulai. Sampai ada tanda batas, masukkan contoh ke dalam mangkok. Pasang termometer dan tutup mangkok. Temperatur sampel dan mangkok harus berada di bawah perkiraan *flash point*, atau 18°C (32°F).
2. Pasang termometer dan pengaduk, hubungkan saluran bahan bakar gas, dan buka aliran.
3. Setelah itu, api dipasang dan diatur hingga diameternya berkisar antara 3,2 dan 4,8 mm.
4. Kemudian atur pemanas menjadi $9\text{--}11^{\circ}\text{F}$ ($5\text{--}6^{\circ}\text{C}$) per menit.
5. Tentukan kecepatan pengaduk (90–120 rpm) atau putarnya.
6. Panaskan contoh sampai 18°F (10°C) di bawah titik nyala jika titik nyala diperkirakan 220°F atau kurang, tempatkan api test uji pada suhu sampel uji sekitar $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($41 \pm 9^{\circ}\text{F}$), selanjutnya, pekerjaan ini diulangi setiap kali suhu naik 2°F sampai titik nyala tercapai. Jika api percoba dijalankan, jangan diaduk. Jika titik nyala di atas 230°F , dipanaskan juga contoh di bawah titik nyala sampai 30°F (160°C), dan

pengukuran pembacaan dilakukan setiap 5°F (2°C).

7. Selama tes hentikan pengadukan, arahkan nyala percoba ke permukaan ruang uap contoh selama 0,5 detik dan diamkan selama 1 detik dan angkat dengan cepat ke posisi yang tinggi.
8. Catat suhunya sebagai titik nyala waktu dan muncul penyambaran terang sesaat. Jika titik nyalanya hampir tercapai, sinar biru seringkali diliputi api percoba.
9. Kemudian kita dapat mematikan pemanas, pengadukan dan aliran *fuelgas* (elpiji).
10. Jika telah mencapai suhu di bawah 55°C (130°F) saat telah didinginkan, bukalah peralatan yang telah dipakai lalu bersihkanlah.

Prosedur B:

1. Masukkan sampel ke mangkok sampai ada tanda batasnya. Temperatur sampel dan mangkok harus berada di bawah perkiraan *flash point*, atau 18°C (32°F).
2. Selanjutnya, letakkan mangkok di peralatan uji, pasang termometer dan pengaduk. Kemudian, tingkatkan panas hingga $1,1\text{--}6^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ ($2\text{--}3^{\circ}\text{F}$). Atur pengaduk pada 250 rpm (± 10 rpm), dan api pada 3,2–4,8 rpm.
3. Lakukan pekerjaan seperti yang dinyatakan pada langkah 6-10 dalam prosedur A.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahap Transesterifikasi

Dimana tahap transesterifikasi ini menggunakan katalis sebanyak 25 g yang didapatkan dari 10% sampel minyak jelantah sebanyak 250 ml, hal ini dikarenakan keterbatasan jumlah katalis.

Tabel 4.1 Hasil Uji Transesterifikasi

Sampel	Metanol	CaO	Hasil
250 ml	41 ml	25 g	175 ml

Pada proses ini juga dilakukan pencampuran antara sampel minyak jelantah 250 ml menggunakan metanol 41 ml dan katalis CaO 25 g, lalu didapatkan hasil sebesar 175 ml metil ester. Metil ester yang dihasilkan ini didapat dari jumlah perbandingan antara metanol dan minyak jelantah. Menggunakan

rasio 1 : 6 ini karena telah dilakukan penelitian sebelumnya oleh Sinaga, dkk. pada tahun 2014 dengan rasio metanol : minyak jelantah sebesar 1 : 6 dengan perolehan *yield* biodiesel sebesar 72,87%.

4.2 Density

Dari data tabel 4.2 nilai *density* akan meningkat dengan penambahan metanol, dikarenakan penambahan dari metanol yang mengubah kesetimbangan reaksi dengan pembuatan produk yang dapat meningkatkan tingkat konversi. Dilihat pada data pengujian didapatkan hasil yaitu 868,00. Menurut SNI Nomor 7182 tahun 2015 di atas memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.

Tabel 4.2 Hasil Uji Density

Sampel	Density Hasil Pengujian (g/ml)	Hasil Konvers (kg/m ³)	Spesifikasi Density SNI 7182:2015 (kg/m ³)	Result
Biodiesel	0,868	868,00	850-890	On Spec.

4.3 Cetane Index ASTM D-4737

Nilai distilasi 50% dan hasil dari *density* yang dapat menyebabkan pengujian *cetane index* ini, didapatlah hasil mencapai 290°C dan *density* 0,868. Dilihat dari hasil pembacaan grafik *cetane index* sebesar 51 termasuk *on spec*. Menurut SNI Nomor 7182, penelitian di atas memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.

Tabel 4.3 Hasil Uji Cetane Index

Sampel	Suhu Distilasi 50% (°C)	Density (g/ml)	Hasil Cetane Index	Spesifikasi Cetane Index SNI 7182:2015	Result
Biodiesel	290	868,00	51	Min. 51	On Spec.

4.4 Flash Point Pensky – Marten (PM) ASTM D-93

Pada pengujian *flash point* ini didapatkan nilai 110°C. Nilai tersebut memenuhi nilai standar yang telah ditentukan sehingga biodiesel berada dalam batas aman terhadap bahaya kebakaran selama penyimpanan, penanganan dan transportasi. Menurut SNI Nomor 7182, spesifikasi biodiesel dari pengujian *flash point* Pensky-

Marten (PM), telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

Tabel 4.4 Hasil Uji Flash Point

Sampel	Pembacaan Termometer (°C)	Hasil Konversi (°C)	Spesifikasi Flash Point SNI 7182:2015 (°C)	Result
Biodiesel	110	110	Min. 110	On Spec.

5. KESIMPULAN

Dari pembahasan tersebut, maka dapat disimpulkan:

1. Pembuatan biodiesel dari minyak jelantah ini melalui beberapa proses, yaitu esterifikasi (jika FFA > 5%), transesterifikasi (dengan menambahkan katalis basa heterogen dari tulang ayam) selama ± 1 jam, proses pemisahan selama 1-3 hari, pemanasan (60°C) selama 15 menit, pendinginan, kemudian menjadi produk biodiesel.
2. Pada pengujian ini menunjukkan kualitas biodiesel dari minyak jelantah rumah tangga, didapat dari pengujian *density* dengan hasil 868 kg/m³ yang memenuhi spesifikasi (*on spec*). Untuk hasil *cetane index* diperoleh sebesar 51 (*on spec*), sedangkan hasil untuk *flash point* PM sebesar 110°C (*on spec*). Dengan demikian, hasil yang telah menunjukkan bahwa penelitian memenuhi persyaratan SNI Nomor 7182 Tahun 2015 untuk pembuatan biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Arzamedi, G., et.al. 2008. *Alkaline And Alkaline Earth Metals Compounds As Catalysts For The Metanolysis Of Sunflower Oil*. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 135 (1), 305-313.
- Aziz, I. 2011. *Esterifikasi Asam Lemak Bebas Dari Minyak Goreng Bekas*. *Jurnal Valensi*, Vol. 2 (3), 1-10. Retrieved on May 6, 2024.
- Faizal, M. 2023. *Pengaruh Kadar Methanol, Jumlah Katalis, dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel Dari Lemak Melalui Proses Transesterifikasi*. *Jurnal Teknik Kimia*, Vol. 19 (4), 1-35.
- Geminastiti. 2012. *Efisiensi Termal Kompor Tekanan Minyak Jelantah, Pengaruh Rasio*

Optimal Campuran Minyak Jelantah dan Kerosin [Unpublished Thesis]. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang. Retrieved on May 6, 2024.

Hamid, A. 2016. *Penuntun Praktikum Metode Sifat Fisik Produk Minyak Bumi (BBM Non Penerbangan)*. Laboratorium Politeknik Akamigas. Retrieved on June 12, 2024.

Hasanatan, D. 2012. Pengaruh Rasio H_2SO_4 dan Waktu Reaksi Terhadap Kuantitas dan Kualitas Biodiesel Dari Minyak Jarak Pagar. *Jurnal Teknik Kimia*.

Indah, T. 2011. *Katalis Basa Heterogen Campuran CaO & SrO Pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit* [Paper Presentation]. Prosiding Seminar Nasional AV oER. ke-3.

Kataren, S. 2005. *Minyak dan Lemak Pangan*. Edisi Pertama. Jakarta: Universitas Indonesia.

Lestari, D. Y. 2011. *Kajian Tentang Deaktivasi Katalis* [Paper Presentation]. Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Penerapan MIPA UNY. Retrieved on May 6, 2024.

Maratul. 2017. *Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Pengaruh Rasio Reaktan, Variasi Waktu dan Berat Katalis (NaOH) Menggunakan Reaksi Transesterifikasi* [Unpublished Thesis]. Universitas Muhammadiyah Puwokerto. Retrieved on May 6, 2024.

Mohadi, R. dkk. 2013. *Preparasi dan Karakterisasi Kalsium Oksida (CaO) Dari Tulang Ayam*. *Chemistry Progress*, 6 (2). <https://doi.org/10.35799/cp.6.2.2013.3498>.

Nasrun., Eddy, K., & Inggit, S. 2016. *Studi Awal Produksi Bahan Bakar Dari Proses Pirolisis Kantong Plastik Bekas*. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*.

Pardede, P. 2006. *Pemanfaatan Tulang Ayam Sebagai Katalis Heterogen (CaO) Dalam*

Proses Pembuatan Biodiesel Dengan Menggunakan Pelarut Etanol Dari CPO [Unpublished Thesis]. Universitas Sumatera Utara. Referenced in <https://repositori.usu.ac.id>.

Sartika, A. 2015. *Esterifikasi Minyak Goreng Bekas Dengan Katalis H_2SO_4 dan Transesterifikasi CaO Dari Cangkang Kerang Darah Variasi Kondisi Esterifikasi*. *Jom FMIPA*, Vol. 3 (1), 54-65.

Soerawidjaja, T.H. 2006. *Fondasi-fondasi Ilmiah Dan Keteknikan Dari Teknologi Pembuatan Biodiesel* [Unpublished Thesis]. UGM Yogyakarta. Retrieved on May 10, 2024.

Wahyuni, N.A, Rahmanto, W.H. & Rahmad, N. 2010. *Pengaruh Katalis Abu Sekam Padi Sebagai Sumber Katalis Basa Pada Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas*.

Yildirim, O. 2004. *Preparation and Characterization Of Chitosan/Calcium Phosphate Based Composite Biomaterials*. *Izmir Institute Of Technology Turkey*, 35(5), 1322-1331.

Zuhdi, M.F.A. 2002. *Aplikasi Penggunaan Water Methil Ester Pada High Speed Marine Diesel Engine* [Paper Presentation]. Seminar Nasional Teori Aplikasi Teknologi Kelautan FTK ITS. Retrieved on May 10, 2024.