

PRODUKSI BIODIESEL DARI LIMBAH MINYAK GORENG DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS KOH

MUHAMMAD FACHMIRIZAL¹

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Indonesia

Article Info

Article history

Received December 4, 2023

Revised December 4, 2023

Accepted December 4, 2023

Keywords

Biodiesel, characteristic test, waste cooking oil

ABSTRACT

Industrialization and rapid population growth have led to huge energy demands in recent years and negative environmental impacts caused by fossil fuels. One solution is to use renewable fuels to replace fossil fuels with a cheap, fast and effective production process. The aim of this research is to obtain optimum methods and conditions for the biodiesel manufacturing process to provide the best yield and quality of biodiesel. Biodiesel production in this research uses waste cooking oil. This research method uses 2 methods, namely esterification with an acid catalyst (H₂SO₄) and transesterification with a base catalyst (KOH). The production process starts from the degumming process using H₃PO₄. Next is the esterification process at 1000 rpm for 90 minutes. The transesterification process uses a base catalyst (KOH) with varying concentrations (0.5, 0.75, 1) % at a temperature of 60 oC with a rotation of 1000 rpm and a time of 1.5 hours. The resulting biodiesel is tested for its characteristics (viscosity, density, acid number, flash point). The results of this research were analyzed into three comparisons of KOH concentrations which produced optimum yield values. Testing of the characteristics of waste cooking oil biodiesel was tested and analyzed whether the properties of the biodiesel met the biodiesel requirements set out in the ASTM D6751 and EN 14214 standards.

This is an open-access article under the [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



*Corresponding Author

Muhammad Fachmirizal, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercubuana Jakarta.
Email: fachmir31@gmail.com

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap bertambahnya tahun, perekonomian di Indonesia semakin meningkat. Dalam hal ini memiliki dampak yaitu kebutuhan akan energi semakin tinggi. Dalam hal ini, sulit mengatasi terkait memenuhi permintaan energi semakin bertambah dengan ketersediaan energi yang semakin tahun semakin menipis. Maka, saat ini solusi untuk mengatasi masalah tersebut dengan mengimpor bahan bakar. Hal ini terjadi karena

produksi dalam negeri sangat tinggi berbanding terbalik dengan persediaan energi yang ada. (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020).

Salah satu sumber konsumsi energi yang terbesar di seluruh dunia saat ini adalah bahan bakar minyak. Banyak sektor terutama sektor industri yang mengosumsi bahan bakar minyak sebagai sumber utama bahan bakar (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2020).. Hal ini sangat sulit di atasi apabila dengan penggunaan bahan bakar yang semakin meningkat tetapi berbanding terbalik dengan persediaan yang ada. Dengan masalah ini, Indonesia terus impor bahan bakar untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin hari semakin bertambah.

Biodiesel adalah mono-alkil ester asam lemak rantai panjang yang berasal dari minyak nabati atau lemak hewani yang tidak mengandung racun dan memiliki karakteristik bahan bakar yang diinginkan yang sebanding dengan diesel minyak bumi (Ibrahim et al., 2022). Maka, berdasarkan berbagai sumber yang telah di teliti bahwasanya biodiesel dapat diolah dari minyak nabati (Milano et al., 2018b; Liu et al., 2019) seperti limbah minyak goreng (Topare dan Patil, 2021; Binhayeeding dkk., 2020; Goh et al., 2020b), minyak nyamplung (Milano dkk., 2022), dan minyak serangga (Kale-uka dkk., 2021; Manzano Agugliaro dkk., 2012; Su et al., 2019). minyak goreng sisa (waste cooking oil/ WCO) (Ibrahim et al., 2022). Minyak nabati dapat diteliti lebih lanjut dikarenakan berpotensi sebagai biodiesel. Hal ini terjadi dikarenakan salah satu faktor yaitu bahan baku. Tingginya harga bahan baku dan produksi biodiesel yang tidak ekonomis mengakibatkan produk biodiesel kurang diminati. Maka, solusi dari permasalahan ini dengan diteliti lebih lanjut terkait bahan alternatif yang murah dan prosesnya yang efisien seperti minyak nabati (Milano et al., 2022).

Limbah minyak goreng dapat berasal dari minyak goreng minyak jagung, minyak samin, minyak sayur (Setyawardhani & Wahyuni, 2009), minyak kelapa serta dari minyak kelapa sawit (Lubis, 1992). Limbah minyak goreng ini sangat mudah kita temukan di sekitar kita. Hal ini karena minyak goreng merupakan salah satu kebutuhan pokok yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari. Karena, dengan bertambahnya jumlah penduduk maka berpengaruh dengan konsumsi minyak goreng yang tinggi maka tidak dipungkiri limbah minyak goreng ini juga bertambah (Rahayu et al., 2020).

Biodiesel dapat dimanfaatkan dengan sumber limbah minyak goreng dengan alasan beberapa aspek, salah satunya diperoleh dengan harga yang murah atau dapat diperoleh gratis karena sudah tidak dapat di pakai lagi dan stok persediaannya selalu ada dan mudah ditemukan baik di lingkungan rumah tangga maupun industri (Prasetyo, 2018). Dengan memanfaatkan limbah ini, kita telah mengatasi masalah pembuangan limbah minyak yang berdampak ke lingkungan dan kesehatan masyarakat dan sebagai *renewable energy* (energi terbarukan) (Kuncahyo, et al., 2013).

Dalam proses biodiesel, ada dua proses, yaitu proses Esterifikasi dan Transesterifikasi. Proses Transesterifikasi nanti menggunakan bantuan katalis sebagai laju reaksi dalam produksi biodiesel. Katalis dapat bersifat heterogen dan homogen (Ibrahim et al., 2022). Namun, kondisi optimal untuk produksi biodiesel (perbandingan metanol / minyak dan konsentrasi katalis) tidak konsisten, sangat bergantung pada properti WCO. (Hosseinzadeh-Bandbafha et al., 2022) yang menunjukkan bahwa hasil terbaik diperoleh pada rasio molar 6:1 dan 1 wt% KOH. Menurut (Borges & Díaz, 2012), hanya minyak rafinasi / mentah dengan nilai asam kurang dari 1 dapat digunakan dalam proses alkali-katalis. Langkah pra-perawatan diperlukan untuk minyak dengan nilai asam lebih besar dari 2 (Borges & Díaz, 2012).

Pada umumnya, katalis yang digunakan seperti KOH, H₂SO₄, dan NaOH (Milano et al., 2018). Hasil dari rendemen (yield) sangat mempengaruhi dari jenis dan jumlah penggunaan dalam memproduksi biodiesel. Penggunaan katalis NaOH (0,75%) pada proses produksi biodiesel WCO menghasilkan rendemen sebesar 97 %. katalis KOH sebesar 0,8% menghasilkan rendemen sebesar 94%. Hasil rendemen yang sama dengan jumlah katalis sebesar 1% menghasilkan rendemen sebesar 94%. Selain itu, penggunaan katalis KOH sebesar 1,16% merupakan parameter optimum yang menghasilkan rendemen sebesar 98,26% (Ma et al., 2017).

Oleh karena itu, penulis fokus meneliti "Produksi Biodiesel dari Limbah Minyak Goreng dengan menggunakan Katalis KOH". Dimana, dalam penelitian ini melihat terlebih dahulu sifat fisikokimia *crude oil* setelah itu diproduksi menggunakan alat *double jacked reactor* serta di uji dan analisis sifat fisikokimia (FFA, nilai kalor, viskositas, densitas, flash point). Diharapkan dari penelitian tersebut diperoleh hasil yang dapat digunakan untuk menjadi acuan di dalam pengembangan biodiesel kedepannya.

1.1. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana memproduksi biodiesel dari limbah minyak goreng (*waste cooking oil*) dengan nilai hasil produksi (rendemen) yang tinggi?
2. Bagaimana metode dan kondisi proses pembuatan biodiesel yang optimum untuk memberikan hasil kualitas yang terbaik?
3. Bagaimana pengaruh perbandingan persentase katalis dan waktu terhadap hasil biodiesel yang ditinjau dari sifat fisikokimia?

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini bersifat komprehensif yang bermula dari upaya mengurangi biaya produksi dengan menggunakan bahan baku yang lebih murah dan tidak mempengaruhi harga minyak mentah yang dikonsumsi manusia, dan mengurangi harga biodiesel. Tujuan penelitian ini secara umum adalah pengembangan proses untuk meningkatkan nilai tambah dari pengolahan bahan baku minyak non-pangan. Secara khusus, tujuannya adalah untuk:

1. Memproduksi biodiesel dari limbah minyak goreng (*waste cooking oil*)
2. Mendapatkan metode dan kondisi proses pembuatan biodiesel yang optimum untuk memberikan hasil dan kualitas yang terbaik
3. Mendapatkan kondisi proses esterifikasi dan transesterifikasi biodiesel secara in-situ yang optimal yang dapat menghasilkan metil ester sesuai dengan Standar SNI, ASTM, EN

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagi Penulis
Penelitian ini membantu penulis untuk belajar menjadi pemikir, peneliti, dan penemu yang mampu mengembangkan suatu ilmu pengetahuan terkait *Renewable Energy* (energi terbarukan) agar menjadi lebih luas dan bermanfaat bagi khalayak umum.
 2. Bagi Masyarakat
Hasil penelitian ini diharapkan dapat membuka peluang masyarakat untuk hidup sehat dengan tidak menggunakan limbah minyak goreng untuk dikonsumsi serta sebagai informasi energi alternatif bagi masyarakat untuk dapat menemukan solusi dari masalah yang berkaitan terbatasnya sumber energi konvensional.
 3. Bagi Pemerintah
Penelitian ini menjadi masukan dan saran bagi pemerintah dalam mengelola suatu potensi untuk melaksanakan program green energi sehingga krisis energi di negara dapat diatasi
 4. Bagi Lingkungan
Hasil penelitian ini menjadi solusi terkait pencemaran lingkungan dari limbah minyak goreng yang ada di lingkungan sekitar
- ## 1.4. Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Adapun ruang lingkup penelitian ini adalah

1. Bahan baku yang digunakan adalah minyak goreng sisa (*waste cooking oil*)
2. Waktu yang diperlukan untuk proses esterifikasi dan transesterifikasi adalah 1.5 jam dengan suhu 60 °C dan putaran 1000 rpm.
3. Perbandingan variasi katalis KOH 0.5%, 0.75%, 1 %.
4. Uji sifat fisikokimia biodiesel (Viskositas, Nilai Asam, Titik Nyala, Densitas, nilai kalor)

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

2.1.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

- Double jacketed glass reactor
Dalam penelitian, ini berfungsi dalam pembuatan biodiesel untuk reaksi, pencampuran, distilasi dan filtrasi.
- Neraca Analitik (Digital Analytical Balance)
Timbangan ini berfungsi menimbang massa suatu bahan kimia yang akurat dengan akurasi $\pm 0,0001$ gram.
- Lemari Asam (Fumehood)
Dikarenakan dalam penelitian ini menggunakan bahan utamanya adalah bahan kimia yang sangat berbahaya bila terkena dengan lingkungan, maka menggunakan lemari asam ini yang terdapat aliran yang berada di atasnya.
- Aquastil Water Destilasi
Dalam penelitian yang dilakukan sangat membutuhkan air murni sesuai kebutuhan penelitian. Maka, alat ini dapat menyuling air sesuai kebutuhan penelitian.
- Rotary Evaporator

Alat ini berfungsi memisahkan antara pelarut dari larutan. Maka, dengan itu kita dapat mengambil ekstrak yang kita butuhkan.

- Vacuum Pump
Karena dalam penelitian ini kita harus mengurangi kadar air, maka alat ini berfungsi dengan air yang ada di suatu bahan di uapkan pada suhu dan tekanan yang rendah. Berikut gambar dari vacuum pump.
- Termometer air
Termometer air berfungsi untuk mengukur temperatur pada air, cairan, larutan.
- Corong pyrex
Alat ini berfungsi untuk membantu dalam pemindahan suatu cairan ke suatu wadah.
- Gelas Beker (Beaker glass)
Dalam penelitian, gelas ini memiliki peranan dalam pencampuran cairan dan memanaskan suatu cairan.
- Gelas Ukur
Alat ini berfungsi untuk mengukur baik jumlah larutan yang di pakai atau hasil dari cairan yang di teliti.
- Corong Pemisah
Alat ini berfungsi dalam pembuatan biodiesel untuk memisahkan antara cairan metil ester dan zat -zat yang lain seperti gliserol.
- Pompa air
Pompa air berfungsi untuk mensirkulasi air ke kondensator.
- Stabinger Viscometer
Dalam penelitian ini untuk menguji besaran nilai dari viskositas dan densitas.
- ECH Titrator
Dalam penelitian ini, alat ini berfungsi dalam menguji bilangan asam baik dari crude oil dan metil ester yang telah di lakukan proses dalam pembuatan biodiesel. Berikut gambar dari ECH Titrator.
- Pensky Martens Flash Point Tester
Hasil metil ester dari penelitian yang dilakukan maka menggunakan alat ini untuk menguji titik nyala.
- Bomb Calorimeter
Alat ini berfungsi dalam penelitian untuk mengetahui hasil dari biodiesel yang telah di lakukan.

2.2 Bahan

Dalam melakukan penelitian ini, ada beberapa bahan yang digunakan dalam pembuatan biodiesel yang berasal dari limbah minyak goreng. adalah bahan utamanya ialah limbah minyak goreng yang sudah tidak terpakai. Kemudian, larutan kimia H_3PO_4 , Sulfurid Acid (H_2SO_4), katalis Pottasium Hidroksida (KOH), larutan kimia metanol, air suling dan kertas filter.

2.3. Pelaksanaan Penelitian

2.3.1 Proses Pembuatan Biodiesel

Limbah minyak goreng yang sudah tidak terpakai lagi di uji nilai asamnya terlebih dahulu. Setelah mendapatkan hasilnya, maka di lakukan proses degumming agar dapat nilai asam yang sebelumnya berkurang dan dapat di proses lebih lanjut . Adapun tahapan pembuatan biodiesel dilakukan sebagai berikut:

- **Tahap degumming**, setelah nilai asam dari minyak sudah diketahui, maka dimulai tahap ini. Tahap ini dilakukan agar dapat menghilangkan fosfatida pada minyak. Kemudian, minyak tersebut di masukkan ke alat didalam double jacket. Minyak tadi ditambahkan 2% vol % H_3PO_4 20% lalu dipanaskan pada temperatur 60 oC dengan putaran 1000 rpm dan waktu yang digunakan selama 30 menit. Minyak yang telah di proses maka di filter selama 2 jam. Setelah di filter , minyak tadi di cuci dengan air dengan temperatur 50 oC.
- **Tahap esterifikasi**, Pada tahap ini, minyak akan dilakukan pencampuran dengan cairan methanol yang mana dilakukan perbandingan antara minyak dan cairan methanol yaitu 2:1. Kemudian, setelah pencampuran maka ditambahkan juga larutan 1% vol % H_2SO_4 . Tahap ini menggunakan suhu 60 °C, kemudian putaran 1000 rpm dan berlangsung selama 1,5 jam. Kemudian minyak tadi di filter lagi untuk mendapatkan metil ester yang diinginkan.

- **Tahap transesterifikasi**, setelah minyak yang sudah difilter akan dilakukan pencampuran katalis KOH dengan perbandingan (0,5%; 0,75%; 1%). Proses ini berlangsung selama 1,5 jam dan temperatur 60 °C.
- **Tahap pencucian**, minyak tadi setelah melalui berbagai proses maka di tambahkan aquadest pada temperatur 45-60 °C untuk proses selanjutnya yaitu pencucian. Pencucian ini dilakukan sampai pH menjadi normal.
- **Tahap evaporasi**, minyak yang telah dicuci akan di keringkan supaya air yang terkandung pada minyak tadi hilang.
- **Tahap filtrasi**, minyak yang telah dikeringkan akan difilter dengan kertas filter.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah diuji karakteristik biodiesel dari limbah minyak goreng pada suhu 60 °C, perbandingan volume minyak: metano Pada penelitian ini telah diuji karakteristik biodiesel dari limbah minyak goreng pada suhu 60 °C, perbandingan volume minyak: metanol adalah 1:2. Variasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah waktu reaksi esterifikasi dan transesterifikasi adalah 1,5 jam dan variasi katalis KOH dengan persentasi perbandingan (0,5%; 0,75%; 1%). Pada awalnya, limbah minyak goreng ditentukan kadar FFA (bilangan asam) nya terlebih dahulu sebelum direaksikan dengan metanol. Biodiesel yang dihasilkan di uji karakterisasi (viskositas, densitas, titik nyala, bilangan asam, nilai kalor).

3.1. Sifat Karakteristik Minyak Mentah

Minyak goreng sisa (*waste cooking oil*) diuji terlebih dahulu sifat fisikokimia (Nilai asam). Pengujian kadar asam pada campuran minyak tersebut diuji menggunakan alat *Elektrochemie Halle GmbH (ECH) Titrator*. Hasil tersebut dihasilkan secara otomatis. Dari hasil pengamatan tabel 4.1 mencatat bahwa nilai asam sebagai berikut:

Tabel 3. 1. Bilangan Asam Limbah Minyak Goreng

Nama Sampel	Sifat Minyak Mentah
	Bilangan Asam (mg KOH /g)
Limbah Minyak Goreng	2.6

Dari tabel 3.1 Dari pengamatan diketahui bahwa nilai asam untuk limbah minyak goreng, nilai asam pada minyak tersebut rendah namun perlu proses reaksi kimia saat produksi biodiesel untuk menurunkan bilangan asam pada minyak tersebut menggunakan proses transesterifikasi menggunakan alat *double jacket reactor glass*.

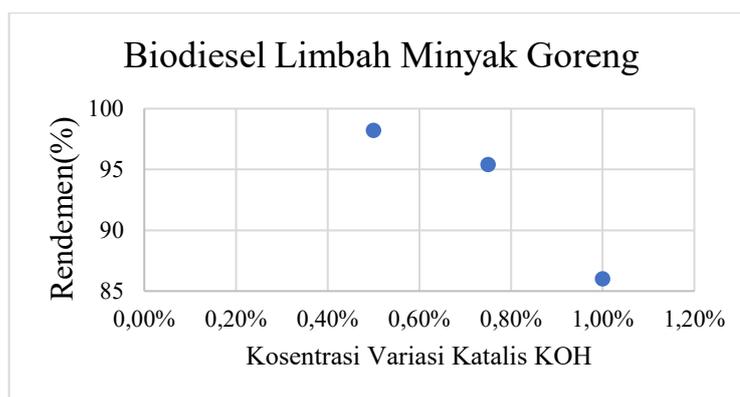
3.2. Pengaruh variasi KOH terhadap Rendemen (*Yield*) Biodiesel

Reaksi transesterifikasi adalah reaksi pembentukan ester dari asam lemak yang ada dalam minyak nabati dengan menggunakan methanol berlebih dan penambahan katalis. Pembuatan metil ester pada penelitian ini menggunakan katalis KOH yang divariasikan konsentrasinya. Biodiesel dengan rendemen yang paling besar diharapkan dapat memenuhi syarat mutu biodiesel. Pengaruh konsentrasi biodiesel terhadap rendemen dapat dilihat pada tabel 3.2. sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Hasil variasi KOH terhadap rendemen biodiesel

No	Nama Sampel	Variasi		Rendemen (%)
		Katalis KOH (%)	Waktu Transesterifikasi (jam)	
1	WCO	0.50%	1.5	98.2
2	WCO	0.75%	1.5	95.4
3	WCO	1%	1.5	86

Pada gambar 3.1 menunjukkan grafik persen rendemen metil ester yang dihasilkan dengan variasi konsentrasi katalis yang digunakan berdasarkan perbandingan persentase dari berat minyak yaitu: 0.5%, 0.75%, 1% dengan kondisi perbandingan minyak dan metanol 1:2 dan temperatur 60°C.



Gambar 3. 1 Pengaruh variasi KOH terhadap *yield* Biodiesel

Gambar 3.1 memperlihatkan bahwa hasil metil ester terbanyak dihasilkan pada variasi konsentrasi KOH 0.5% dengan rendemen 98.2 % v/v. Rendemen terkecil dihasilkan variasi konsentrasi KOH 1.5 % dengan rendemen 78.3%. Dari grafik disimpulkan makin tinggi konsentrasi KOH tersebut semakin kecil rendemennya. Oleh karena itu, peningkatan jumlah dosis katalis yang lebih tinggi juga mendukung pembentukan sabun dan menurunkan hasil FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) (Sadaf et al., 2018). Terbentuknya sabun akan meningkatkan kelarutan dari metil ester (biodiesel) yang diproduksi di gliserin. Akibatnya, emulsi antara dua fase akan terbentuk, meningkatkan viskositas reaktan, dimana akan membuat pemisahan dua fase menjadi lebih sulit. Oleh karena itu, *yield* biodiesel menjadi berkurang.

3.3. Uji Karakteristik Biodiesel

Dari hasil pengamatan tabel 3.3 menunjukkan sifat-sifat biodiesel perbandingan katalis KOH Hampir semua hasil yang diperoleh masih dalam batas yang ditentukan oleh standar Internasional untuk biodiesel ASTM (*American Standard Testing and Material*) dan (*European Standard*). Uji karakteristik meliputi Viskositas kinematik (ASTM D445 dan EN ISO 3104), Densitas (ASTM D4052 dan EN ISO 3675) viskositas dan densitas diuji menggunakan alat *Stabinger Viscometer SVM 3001* Anton paar, Bilangan asam (ASTM D664 dan EN ISO 14104) diuji menggunakan alat *Elektrochemie Hallae GmbH (ECH) Titrator*, Nilai kalor (ASTM D240) diuji menggunakan alat *calorimeter bomb*, Titik Nyala (ASTM D-93 dan EN ISO 22719) diuji menggunakan alat *Prensky Marters*.

Tabel 3.3 Uji karakteristk Biodiesel WCO

Properties	Unit	Biodiesel			Data pengujian biodiesel minyak goreng limbah			
		ASTM D6751	Standard test method	EN 14214	Standard test method	KOH 0.5%	KOH 0.75%	KOH 1%
Viskositas 40 °C	mm ² /s	1,9-6.0	D445	3.5-5.0	EN ISO 3104	4.531	4.601	4.547
Densitas 40 °C	kg/m ³	850-890	D4052	860-900	EN ISO 3675	860	863.8	862.3
Bilangan asam	mgKOH/g	0,5 (maks)	D664	0.5 (max)	EN ISO 14104	0.17	0.23	0.21
Nilai kalor	MJ/kg	-	D240	-	-	38.77	39.75	38.77
Titik nyala	°C	100-170	D93	101 (min)	EN ISO 22719	164.3	159.2	163

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Biodiesel dengan menggunakan limbah minyak goreng dengan pencampuran katalis KOH menghasilkan rendemen sesuai dengan konsentrasi penggunaan yaitu (0.5 %, 0.75 % dan 1%). Rendemen terbaik dihasilkan dari katalis KOH 0,5 % dengan rendemen 98,2 % dan rendemen terendah dengan katalis KOH 1% yaitu 86%. Faktor yang membuat rendemen semakin kecil dalam penggunaan katalis yang tinggi yaitu terbentuknya sabun yang memungkinkan adanya zat pengotor sisa reaksi yang ada menghambat dari jumlah rendemen (yield).
2. Hasil biodiesel dari limbah minyak goreng dengan variasi konsentrasi katalis KOH (0.5; 0.75; 1%) rata rata telah memenuhi syarat mutu biodiesel standar.
3. Hasil biodiesel dari limbah minyak goreng dengan variasi konsentrasi KOH yang memiliki karakteristik yang terbaik adalah Konsentrasi KOH 0.5% dengan temperatur 60 °C putaran 1000 rpm, dimana hasil viskositas 4.531 mm²/s, densitas (860 kg/m³), bilangan asam (0.17 mgKOH), nilai kalor (38.77 MJ/kg), titik nyala (164.3 °C) sehingga layak untuk digunakan karena sesuai standar dan aman untuk penggunaan karena seperti viskositas yang rendah sehingga biodiesel cepat mengalir. Densitas dan nilai asam yang rendah berpengaruh pada massa dan menghasilkan rendemen yang banyak. Selain itu, suhu yang tinggi membuat penyalan lebih mudah terbakar dan membuat perambatan api lebih cepat.

4.2 Saran

Dalam penelitian yang telah dilakukan, bahwasanya masih memiliki kekurangan dalam penelitian ini. Diharapkan, agar penelitian lebih lanjut untuk penyempurnaan lebih baik lagi baik dari metode dan bahan baku yang lain agar penggunaan limbah yang ada di sekitar kita dapat di jadikan biodiesel yang mana selain sebagai solusi mengatasi kekurangan energi juga dapat membantu mengatasi dari bahaya limbah baik di lingkungan ataupun Kesehatan di masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, S. H. Y. S., Hanapi, N. H. M., Azid, A., Umar, R., Juahir, H., Khatoon, H., & Endut, A. (2017). A review of biomass-derived heterogeneous catalyst for a sustainable biodiesel production. *Renewable and sustainable energy reviews*, 70, 1040-1051.
- Afrianto, R. (2014). *Sintesis Biodiesel Sawit melalui Reaksi Interesterifikasi Menggunakan Katalis Enzim Lipase Terimobilisasi: Kajian Penggunaan Ulang (Recycle) Enzim sebagai Katalis*. Universitas Sumatera Utara,
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T., Masjuki, H., & Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and sustainable energy reviews*, 16(4), 2070-2093.
- AVSL, S. B., Subramaniapillai, N., Mohamed, M. S. B. K., & Narayanan, A. (2021). Effect of rubber seed oil biodiesel on engine performance and emission analysis. *Fuel*, 296, 120708.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2020). *Outlook Energi Indonesia 2020*. Jakarta.
- Barabás, I., & Todoruț, I.-A. (2011). Biodiesel quality, standards and properties. *Biodiesel-quality, emissions and by-products*, 3-28.
- Borges, M. E., & Díaz, L. (2012). Recent developments on heterogeneous catalysts for biodiesel production by oil esterification and transesterification reactions: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2839-2849.
- Chen, C., Chitose, A., Kusadokoro, M., Nie, H., Xu, W., Yang, F., & Yang, S. (2021). Sustainability and challenges in biodiesel production from waste cooking oil: An advanced bibliometric analysis. *Energy Reports*, 7, 4022-4034.
- Dharma, S., Masjuki, H., Ong, H. C., Sebayang, A., Silitonga, A., Kusumo, F., & Mahlia, T. (2016). Optimization of biodiesel production process for mixed *Jatropha curcas*–*Ceiba pentandra* biodiesel using response surface methodology. *Energy Conversion and Management*, 115, 178-190.
- Fangfang, F., Alagumalai, A., & Mahian, O. (2021). Sustainable biodiesel production from waste cooking oil: ANN modeling and environmental factor assessment. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 46, 101265.
- Foteinis, S., Chatzisyneon, E., Litinas, A., & Tsoutsos, T. (2020). Used-cooking-oil biodiesel: Life cycle assessment and comparison with first-and third-generation biofuel. *Renewable Energy*, 153, 588-600.
- Gupta, A. R., & Rathod, V. K. (2018). Calcium diglyceroxide catalyzed biodiesel production from waste cooking oil in the presence of microwave: Optimization and kinetic studies. *Renewable Energy*, 121, 757-767.
- Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Nizami, A.-S., Kalogirou, S. A., Gupta, V. K., Park, Y.-K., Fallahi, A., . . . Aghbashlo, M. (2022). Environmental life cycle assessment of biodiesel production from waste cooking oil: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112411.

- Ibrahim, N. A., Rashid, U., Hazmi, B., Moser, B. R., Alharthi, F. A., Rokhum, S. L., & Ngamcharussrivichai, C. (2022). Biodiesel production from waste cooking oil using magnetic bifunctional calcium and iron oxide nanocatalysts derived from empty fruit bunch. *Fuel*, *317*, 123525.
- Knothe, G., & Razon, L. F. (2017). Biodiesel fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, *58*, 36-59.
- Kirk, R.E. and Othmer, D. F., 1980, Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd ed., vol. 9, John Wiley and Sons, New York.
- Kuncahyo, P., Fathallah, A & Sanuri, S. (2013). Analisa prediksi potensi bahan baku biodiesel sebagai suplemen bahan bakar motor diesel di Indonesia. Teknik ITS.
- Lubis, A. U. (1992). Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) di Indonesia. PPP Marihat Bandar Kuala. Sumatra Utara.
- Ma, Y., Huang, R., Huang, S., Zhang, Y., Xu, S., & Wang, Z. (2017). Experimental investigation on the effect of n-pentanol blending on spray, ignition and combustion characteristics of waste cooking oil biodiesel. *Energy Conversion and Management*, *148*, 440-455.
- Mardhiah, H. H., Ong, H. C., Masjuki, H., Lim, S., & Lee, H. (2017). A review on latest developments and future prospects of heterogeneous catalyst in biodiesel production from non-edible oils. *Renewable and sustainable energy reviews*, *67*, 1225-1236.
- Milano, J., Ong, H. C., Masjuki, H. H., Silitonga, A. S., Kusumo, F., Dharma, S., . . . Wang, C.-T. (2018). Physicochemical property enhancement of biodiesel synthesis from hybrid feedstocks of waste cooking vegetable oil and Beauty leaf oil through optimized alkaline-catalysed transesterification. *Waste Management*, *80*, 435-449.
- Milano, J., Shamsuddin, A. H., Silitonga, A., Sebayang, A., Siregar, M. A., Masjuki, H., . . . Zamri, M. (2022). Tribological study on the biodiesel produced from waste cooking oil, waste cooking oil blend with *Calophyllum inophyllum* and its diesel blends on lubricant oil. *Energy Reports*, *8*, 1578-1590.
- Mofijur, M., Atabani, A., Masjuki, H. a., Kalam, M., & Masum, B. (2013). A study on the effects of promising edible and non-edible biodiesel feedstocks on engine performance and emissions production: a comparative evaluation. *Renewable and sustainable energy reviews*, *23*, 391-404.
- Naveen, S., Gopinath, K. P., Malolan, R., Ramesh, S. J., Aakriti, K., & Arun, J. (2020). Novel solar parabolic trough collector cum reactor for the production of biodiesel from waste cooking oil using calcium oxide catalyst derived from seashells waste. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, *157*, 108145.
- Prasetyo, J. (2018). Studi Pemanfaatan Minyak Jelantah sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel. Jurnal Ilmiah Teknik Kimia 2 (2), 1-10.
- Rahayu, S., Aliyah, H. & Tukasmo. (2020). Pemanfaatan Minyak Jelantah dan Arang Kayu untuk Membuat Sabun Daur Ulang. Jurnal Pengabdian KITA 3(1).
- Saka, S dan Kusdiana D. 2001. Biodiesel Fuel From Repessed Oil as Prepared in Supercritical Methanol. *Fuel* 80 : 225-231.
- Setyawardhani, D. A. & Wahyuni, M. (2009). Pengaruh Rasio Metanol atau Minyak terhadap Parameter Kecepatan Reaksi Metanolisis Minyak Jelantah dan Angka Setana Biodiesel. Teknik Fakultas Teknik UNS.
- Silitonga, A., Masjuki, H., Mahlia, T., Ong, H., Atabani, A., & Chong, W. (2013). A global comparative review of biodiesel production from *jatropha curcas* using different homogeneous acid and alkaline catalysts: Study of physical and chemical properties. *Renewable and sustainable energy reviews*, *24*, 514-533.
- Silitonga, A. S., & Ibrahim, H. (2020). *Buku Ajar Energi Baru Dan Terbarukan*: Deepublish.
- Stojković, I. J., Stamenković, O. S., Povrenović, D. S., & Veljković, V. B. (2014). Purification technologies for crude biodiesel obtained by alkali-catalyzed transesterification. *Renewable and sustainable energy reviews*, *32*, 1-15.
- Suherman, S., Sabri, M., Silitonga, A. S., & Suroso, B. (2022). Pengaruh Perbedaan Jumlah Katalis terhadap Angka Yield pada Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Sisa Menggunakan Pemanas Double Jacket. *Jurnal Rekayasa Mesin*, *17*(1), 113-120.
- Suzihaque, M., Alwi, H., Ibrahim, U. K., Abdullah, S., & Haron, N. (2022). Biodiesel production from waste cooking oil: A brief review. *Materials Today: Proceedings*, *63*, S490-S495.
- T PALILU, P. (2019). *Skrining Khamir Osmofilik Penghasil Enzim Lipase Sebagai Katalis Dalam Sintesis Biodiesel*. Universitas Gadjah Mada,