



PERANCANGAN REAKTOR BIODIESEL DARI LIMBAH MINYAK GORENG SISTEM BATCH SEMIOTOMATIS

M. Hasan Abdullah¹ dan Subaderi¹

¹ Program Studi Teknik Industri, Universitas Wijaya Putra Surabaya
Email: mhasanabdullah@uwp.ac.id

ABSTRAK

Biodiesel dapat dihasilkan dari bahan nabati dan bahan lain yang mempunyai kadar %FFA (*free fatty acid*) tinggi, termasuk limbah minyak goreng. Namun untuk mengolah bahan tersebut diperlukan proses yang cukup rumit. Beberapa tahapan proses memerlukan parameter yang dapat diatur secara tepat untuk mencapai kualitas biodiesel yang optimum. Maka diperlukan reaktor yang dapat mengendalikan proses secara efisien dan efektif. Rumusan permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang reaktor biodiesel skala kecil untuk mengolah limbah minyak goreng menjadi biodiesel yang sesuai dengan persyaratan mutu. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat reaktor biodiesel sistem *batch* semiotomatis yang mampu memproduksi biodiesel dari limbah minyak goreng. Reaktor ini juga dilengkapi dengan perangkat yang dapat mengendalikan suhu, waktu dan kecepatan reaksi. Sehingga dapat menghasilkan kualitas biodiesel yang optimum sesuai dengan standar yang ditentukan. Tahapan dalam penelitian ini dibagi menjadi tahapan desain dan pengujian. Tahapan desain meliputi persiapan alat dan bahan, pembuatan dan perakitan. Tahapan pengujian dilakukan untuk memastikan reaktor dapat bekerja dan menghasilkan biodiesel sesuai dengan persyaratan mutu. Pengujian dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu reaksi esterifikasi, transesterifikasi dan purifikasi. Dari hasil percobaan dengan 5 kg bahan minyak goreng bekas diperoleh biodiesel dengan rendemen 95% dan bilangan asam 0.28 mg-KOH/g di bawah 0.5 mg-KOH/g (sesuai standar SNI 7182-2015).

Kata kunci: Reaktor Biodiesel, Limbah Minyak Goreng

ABSTRACT

Biodiesel can be produced from vegetable materials that high %FFA (free fatty acids), including used cooking oil. The processing of these materials requires complicated process. Each process has certain parameters to achieve the appropriate biodiesel quality. Biodiesel reactor is needed that can control the process effectively. The formulation of the problem in this research is how to design a small-scale biodiesel reactor to process used cooking oil into biodiesel in accordance with quality requirements. This study aims to design and develop a semi-automatic batch biodiesel reactor capable of producing biodiesel from used cooking oil. This reactor is also equipped with devices that can control the temperature, time, and reaction speed. Reactor can produce high biodiesel quality in accordance with the specified standards. This research is divided into design and testing stages. The design stage includes the preparation of tools and materials, components, and assembly. Testing is intended to ensure the reactor can work and produce biodiesel in accordance with the quality requirements. Testing phase include esterification, transesterification, and purification reactions. From the results of the experiment with 5 kg of used cooking oil, biodiesel was obtained with a yield of 95% and an acid number of 0.28 mg-KOH/g below 0.5 mg-KOH/g (according to SNI 7182-2015 standards)

Keywords: Reactor Biodiesel, Used Coconut Oil

PENDAHULUAN

Kebutuhan bahan bakar minyak semakin meningkat sehingga mengakibatkan penurunan cadangan sumber minyak bumi. Fakta ini memotivasi banyak negara untuk mencari sumber bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui, diantaranya adalah biodiesel. Penelitian telah banyak dilakukan untuk membuat biodiesel tersebut. Biodiesel dibuat sebagai bahan bakar mesin diesel yang berasal dari minyak nabati. Biodiesel diproduksi dari hasil konversi trigliserida pada minyak yang diperoleh dari kelapa sawit, kedelai, jarak, biji bunga matahari serta tanaman lainnya. Bahan lain yang dapat digunakan untuk biodiesel adalah limbah minyak goreng bekas (Leung, Wu, & Leung, 2010).

Minyak goreng merupakan salah satu bahan pokok yang banyak dikonsumsi termasuk di Indonesia. Minyak goreng yang sudah tidak terpakai atau *used cooking oil (UCO)* mempunyai potensi untuk diubah menjadi biodiesel. Biodiesel berbahan baku UCO untuk bahan bakar kendaraan harus memiliki kualitas dan karakteristik yang sesuai dengan persyaratan (Tsautsos & al, 2019). Di masyarakat kita minyak goreng bekas sebagian dibuang ke tanah atau saluran pembuangan air sehingga menjadi bahan pencemar. Beberapa kelompok masyarakat mengumpulkan minyak goreng bekas ke bank sampah. Dari hasil survei yang dilakukan di bank induk sampah di kota Surabaya, minyak goreng bekas yang terkumpul dapat mencapai 5000 – 6000 liter dalam sebulan (data bank sampah 2021). Ini berpotensi untuk dijadikan sumber bahan bakar biodiesel.

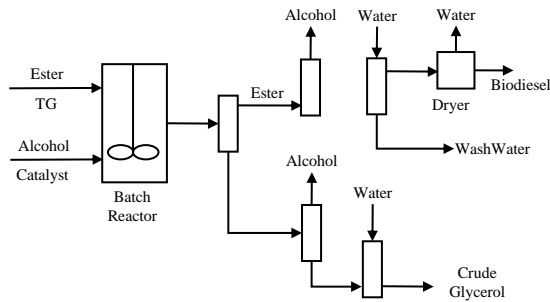
Pada umumnya biodiesel berbahan minyak goreng bekas dilakukan dengan mencampur minyak dan metanol melalui proses transesterifikasi. Kualitas biodiesel hasil proses ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, waktu, perbandingan molar metanol, katalis, pengadukan, serta kandungan asam lemak dan air pada minyak goreng (Gashaw & Theshita, 2014). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menghasilkan biodiesel yang optimal baik dari kualitas maupun biaya. Hasil *review* artikel terkait sintesa biodiesel dengan proses transesterifikasi diperoleh nilai optimum beberapa faktor; suhu reaksi (50°C - 60°C),

waktu reaksi (>90 menit), molar ratio metanol:oil (5.6 – 7.8:1), Katalis (NaOH, KOH), Kecepatan mixing 200rpm, 400rpm, 600rpm dan 800rpm. Hasil optimum pada 400rpm untuk waktu 60 menit. Putaran yang rendah akan menghasilkan formasi biodiesel yang rendah, sedangkan putaran yang tinggi akan meningkatkan penyabunan (Gashaw & Theshita, 2014). Perlakuan fitrasi awal pada bahan juga akan mempengaruhi karakteristik biodiesel (Setiawati & Edwar, 2012).

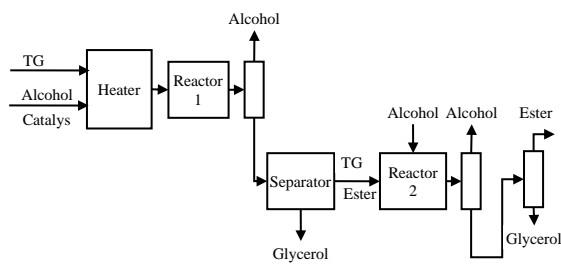
Proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati pada umumnya dilakukan melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa. Reaksi ini dapat dilakukan pada bahan baku minyak dengan kandungan asam lemak bebas atau *free fatty acid (FFA)* yang rendah. Minyak dengan kandungan FFA tinggi tidak dapat diproses menggunakan metode transesterifikasi, karena asam lemak tersebut akan bereaksi dengan katalis basa yang menyebabkan penyabunan sehingga mempersulit proses pemisahan ester (biodiesel) dengan *gliserol* (Yuliani, Primasari, Rachmania, & Rachimoellah, 2008). Untuk memproduksi biodiesel berbahan minyak dengan kandungan FFA di atas 3% memerlukan dua tahap proses yaitu esterifikasi dengan katalis asam dan transesterifikasi dengan katalis basa (Ribeiro, Castro, & Carvalho, 2011).

Untuk memproduksi biodiesel secara efisien diperlukan sebuah reaktor. Reaktor yang digunakan untuk memproses minyak menjadi biodiesel mempunyai beberapa tipe. Secara umum proses untuk memproduksi biodiesel dapat dibedakan menjadi dua yaitu proses *batch* dan proses *continuous* (Amiri & Arabian, 2016). Saat ini berbagai jenis reaktor dapat digunakan untuk memproduksi biodiesel dan selalu mengalami perkembangan. Tipe reaktor *batch*, *continuous*, *ultrasonic* atau *sonochemical*, *supercritical*, *membrane*, *helicoid*, *microtube/micromixer*, *microwave*, *vegetable*, *zigzag/microchannel*, *static mixers* dapat digunakan untuk memproduksi biodiesel secara efisien (Mehboob, et al., Reactor Designs for The Production of Biodiesel, 2016). Proses untuk membuat biodiesel mengikuti beberapa tahapan diantaranya, pemanasan awal, penentuan bilangan asam untuk menghitung kebutuhan NaOH dan methanol, proses *mixing*, pemisahan *gliserol*,

pencucian dan pengeringan (Fallon, Gaudreau, Kirkpatrick, & Turcotte, 2005). Setiap proses dan tipe reaktor mempunyai kelebihan dan kekurangan sehingga masih berpotensi untuk dilakukan inovasi. Alur produksi biodiesel sistem *batch* dan *continuous* terlihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.



Gambar 1. Proses biodiesel sistem *batch*



Gambar 2. Proses biodiesel sistem *continuous*

Penelitian ini diajukan untuk merancang dan membuat reaktor yang dapat mengolah limbah minyak goreng menjadi biodiesel. Reaktor ini dilengkapi dengan tabung untuk proses esterifikasi dan transesterifikasi, tabung pemisahan dan pencucian serta tabung pengeringan. Reaktor ini juga dilengkapi dengan perangkat yang dapat mengendalikan suhu, waktu dan kecepatan pengadukan sesuai yang diinginkan. Sehingga dapat menghasilkan kualitas biodiesel yang optimum sesuai dengan standar yang ditentukan.

METODE PENELITIAN

Bahan utama untuk membuat biodiesel adalah minyak goreng bekas yang diambil dari sebuah bank sampah di Surabaya. Minyak goreng bekas ini diperoleh dari rumah tangga yang dikumpulkan di bank sampah. Bahan lain yang digunakan dalam reaksi esterifikasi dan transesterifikasi adalah methanol dan katalis. Katalis yang digunakan adalah katalis asam berupa H_2SO_4 dan $NaOH$. Methanol digunakan

untuk melarutkan katalis dengan cara diaduk pada suhu $50^\circ C$ dan kecepatan 300 rpm.

Sebelum digunakan minyak goreng bekas disaring dengan kasa atau penyaring teh untuk menghilangkan kotoran dalam minyak. Kemudian diambil *sample* untuk dilakukan pengukuran angka asam.

Prosedur penentuan bilangan asam adalah sebagai berikut. Menimbang 5gr minyak dan masukkan dalam erlenmayer 250ml. Kemudian menambahkan 20ml IPA (*Isoprophil alcohol*) diaduk dengan *magnetic steerer* pada suhu $50^\circ C$ selama 30 menit. Setelah dingin menambahkan 3-4 tetes indikator PP, digoyang agar tercampur. Kemudian titrasi dengan KOH sampai warna berubah menjadi merah muda. Mencatat berapa ml KOH yang terpakai. Kemudian menghitung bilangan asam dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{bilangan asam} = \frac{\text{volume KOH} \times N \times BM}{\text{berat minyak}} \times 100\% \quad (1)$$

dimana:

- Volume KOH adalah jumlah ml yang terpakai untuk titrasi
- N adalah Molar KOH (0.1)
- BM adalah berat molekul KOH (56.1)
- Berat minyak adalah jumlah minyak yang tertimbang

Proses esterifikasi minyak menggunakan katalis asam H_2SO_4 . Perbandingan molar minyak dan metanol adalah 1:6 dan 1:9, dengan berat katalis 3% dan 5% dari berat minyak. Hasil esterifikasi tersebut kemudian dilakukan pemisahan dan dilanjutkan dengan proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi menggunakan katalis $NaOH$ sebesar 0.5% dari berat minyak. Molar rasio minyak dan metanol adalah 1:6. Setiap proses esterifikasi dan transesterifikasi dihitung rendemen dan bilangan asam. Rendemen adalah perbandingan berat hasil proses dengan berat bahan minyak yang digunakan.

$$\text{rendemen} = \frac{\text{berat hasil proses}}{\text{berat minyak}} \times 100\% \quad (2)$$

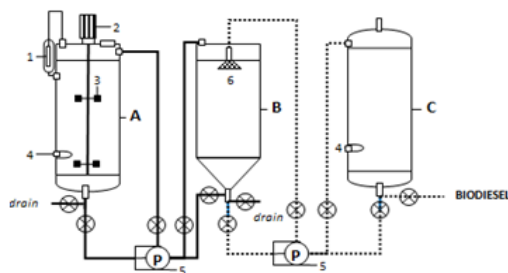
dimana:

- Berat hasil proses merupakan berat akhir setelah proses
- Berat minyak adalah berat bahan awal

Proses esterifikasi dan transesterifikasi dilakukan pada reaktor dengan mengatur suhu, kecepatan dan waktu reaksi. Proses diawali dengan reaksi esterifikasi dengan rasio molar minyak dan metanol adalah 1:6 menggunakan katalis H_2SO_4 sebesar 3% dari berat minyak. Perlakuan refluks dengan suhu $50^{\circ}C$ pada putaran dengan kecepatan 300 rpm selama 60 menit. Hasil proses transesterifikasi selanjutnya didiamkan selama satu jam dan dilakukan pemisahan *trigliserida*. Untuk proses transesterifikasi, rasio molar minyak dan methanol adalah 1:6 dengan menggunakan katalis NaOH sebesar 0.5% dari berat minyak. Perlakuan refluks dengan suhu $60^{\circ}C$ pada putaran dengan kecepatan 400 rpm selama 60 menit.

Biodiesel hasil transesterifikasi selanjutnya dilakukan pencucian dengan air hangat $50^{\circ}C$. Perbandingan volume biodiesel dan air adalah 2:1. Pencucian ini dilakukan untuk menghilangkan sisa katalis dan zat *impurities* lain pada biodiesel. Proses pencucian yang dilakukan dapat menurunkan bilangan asam dan menjernihkan biodiesel.

Proses pengeringan dengan memanaskan biodiesel pada reaktor dengan suhu mencapai $100-110^{\circ}C$. Pengeringan ini bertujuan untuk menghilangkan sisa air cucian dan alkohol dalam biodiesel. Biodiesel selanjutnya dilakukan pengukuran mutu. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran rendemen dan angka asam. Rangkaian rancangan reaktor yang akan dibuat seperti pada gambar-3 berikut.



Gambar 3. Rangkaian reaktor biodiesel

Keterangan Gambar:

- A. Tabung *Reaction*
- B. Tabung *Settling-Washing*
- C. Tabung *Drying-Evaporator*
- 1. Kondensor
- 2. Motor penggerak
- 3. Agitator (pengaduk)

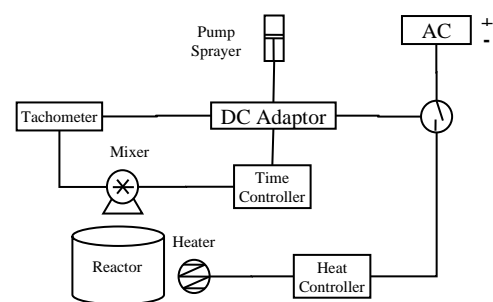
- 4. Elemen Pemanas
- 5. Pompa
- 6. *Water Sprayer*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persiapan Alat dan Bahan

Reaktor dirancang dengan sistem proses *batch semi-automatic*. Sistem *batch* ini dipilih karena mempunyai kemudahan dalam pembuatan dan perawatan (Mehboob, et al., *Reactor Designs for The Production of Biodiesel*, 2016). Minyak, alkohol dan katalis dapat direaksikan secara bersamaan pada satu tabung.

Tabung berkapasitas 10 liter dibuat dari bahan pelat besi yang telah dilapisi bahan polimer untuk menghindari terjadinya karat dan reaksi kimia yang tidak diinginkan. Tabung reaksi dan evaporasi dilapisi dengan bahan peredam panas. Tabung reaksi merupakan tabung yang digunakan untuk proses esterifikasi dan transesterifikasi. Tabung ini dilengkapi dengan motor penggerak, pengaduk, elemen pemanas dan kondensor untuk menangkap kembali alkohol yang menguap. Untuk mengatur suhu, kecepatan dan waktu reaksi maka tabung dilengkapi dengan *thermocontrol*, *tachometer* dan *timer*. Sehingga reaktor dapat bekerja secara otomatis. Rangkaian seperti terlihat pada **Gambar 3**, **Gambar 4** dan **Gambar 5**, menunjukkan skema rangkaian elektrikal dan hasil perakitan reaktor.



Gambar 4. Sistem elektrikal reaktor



Gambar 5. Prototipe reaktor

Bahan utama menggunakan Minyak goreng bekas. Minyak goreng dilakukan penyaringan untuk menghilangkan kotoran dari sisa penggorengan. Filtrasi ini juga dapat menurunkan kadar % FFA (Setiawati & Edwar, 2012). Selanjutnya dilakukan pengukuran bilangan asam. Pada percobaan ini diambil minyak goreng bekas sebesar 5 kg.



Gambar 6. Minyak goreng bekas

Hasil pengukuran diperoleh bilangan asam rata-rata dan berat molekul dari minyak goreng bekas sebagai berikut.

Tabel 1. Karakteristik minyak goreng bekas

Karakteristik	Hasil
Bilangan Asam	8.42 mg-KOH/g
% FFA	4.23
Berat Molekul	880,4 gr/mol
Warna	Coklat tua

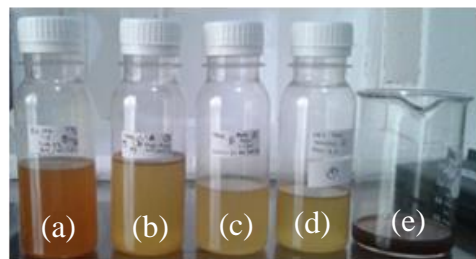
Pada tabel-1 terlihat bahwa bilangan asam bahan cukup tinggi maka perlu dilakukan proses esterifikasi sebelum diproses transesterifikasi (Ribeiro, Castro, & Carvalho, 2011). Katalis yang digunakan pada proses esterifikasi adalah katalis asam kuat H_2SO_4 . Sedangkan pada proses transesterifikasi menggunakan katalis basa kuat NaOH.

Pengujian Reaktor

Pengujian reaktor dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu esterifikasi, transesterifikasi, pemisahan, pencucian dan pengeringan. Proses esterifikasi dan transesterifikasi dilakukan pada tabung A secara bergantian. Setelah proses esterifikasi, minyak kemudian dialirkan ke tabung B untuk diendapkan dan memisahkan trigliserida. Selanjutnya hasil esterifikasi dialirkan kembali ke tabung A untuk dilakukan proses transesterifikasi. Setelah proses transesterifikasi selesai, biodiesel kotor dialirkan ke tabung B kembali untuk diendapkan dan dipisahkan antara biodiesel dan gliserol. Selanjutnya, biodiesel dilakukan proses pencucian.

Pencucian dilakukan pada tabung B dengan menyemprotkan air hangat yang dialirkan dari tabung C. Setelah didiamkan beberapa saat, air cucian akan mengendap dibawah dan biodiesel akan berada di atas. Air cucian kemudian dibuang dari kran yang ada dibawah tabung B.

Pencucian biodiesel dilakukan sebanyak dua kali. Metode pencucian dengan penyemprotan dapat mengurangi jumlah emulsi dengan efektif (Rhofita, 2017). Pada saat pencucian akan terbentuk warna putih seperti susu dan warna kuning. Setelah didiamkan beberapa saat akan terjadi endapan dan pemisahan antara air dan biodiesel. Air cucian akan mengendap di bawah dan selanjutnya dilakukan pembuangan. Biodiesel yang terbentuk kemudian dialirkan ke tabung C. Tabung C berfungsi untuk memanaskan air pencucian dan juga untuk melakukan proses pengeringan atau evaporasi. Gambar 7 menunjukkan sampel hasil proses esterifikasi, transesterifikasi, pencucian dan residu berupa gliserol.



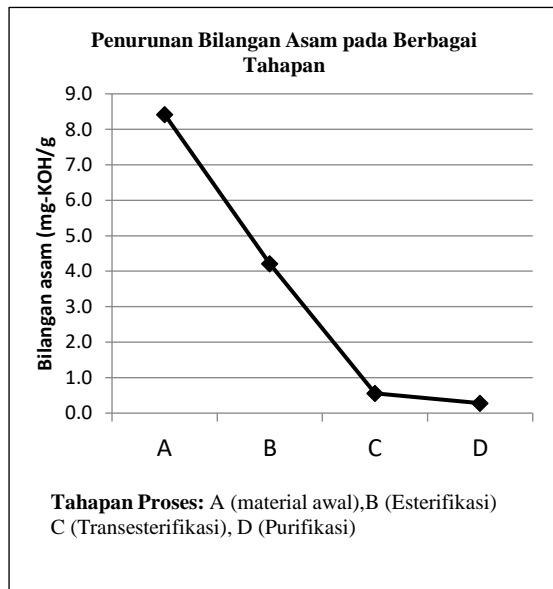
Gambar 7. Hasil tahap pengujian:
(a) Esterifikasi, (b) Transesterifikasi, (c),(d) Biodiesel hasil pencucian ke-1 dan ke-2, (e) Gliserol

Suhu pada tabung pengeringan dapat diatur secara otomatis. Suhu pengeringan diatur pada suhu 110°C. Proses pengeringan ini dapat menguapkan air dan alkohol yang tersisa. (Gashaw & Theshita, 2014). Setelah dingin, biodiesel dapat dialirkan ke wadah untuk dilakukan pengujian.



Gambar 8. Pengujian biodiesel

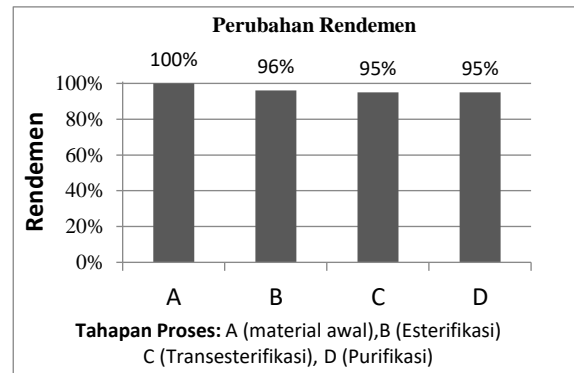
Biodiesel hasil pengeringan dilakukan pengukuran rendemen dan bilangan asam. Rendemen (*yield*) diukur untuk mengetahui efisiensi reaktor dalam mengolah minyak goreng bekas menjadi biodiesel. Bilangan asam merupakan salah satu karakteristik yang harus diukur pada biodiesel dan tidak melebihi batas maksimal 0.5 mg-KOH/g sesuai standar SNI (BSN, 2015).



Gambar 9. Penurunan bilangan asam pada berbagai tahapan proses

Pada Gambar 9 terlihat bahwa bilangan asam sebagai salah satu parameter penting pada biodiesel dapat menurun secara signifikan

setelah melewati beberapa tahapan proses. Minyak goreng bekas yang mempunyai bilangan asam tinggi 8.42 mg-KOH/g, dapat diolah menjadi biodiesel melalui reaktor menjadi 0,28 mg-KOH/g. Angka ini telah memenuhi standar SNI.



Gambar 10. Penurunan rendemen pada berbagai tahapan proses

Selama proses esterifikasi dan transesterifikasi terjadi pembentukan residu (gliserol) sehingga akan mengurangi berat bahan semula. Dari berat minyak semula 5 kg akan terbentuk biodiesel akhir sebesar 95%. Perubahan rendemen dapat dilihat pada gambar 10. Rendemen sangat dipengaruhi oleh katalis yang digunakan. Jenis katalis sangat mempengaruhi terhadap hasil rendemen atau *biodiesel yield* (Sulaiman, 2016). Katalis jenis *homogeneous base* (NaOH) dan *homogeneous acid catalyst* (H₂SO₄) dapat menghasilkan biodiesel dengan rendemen sampai dengan 95%. Karakteristik bodiesel yang terbentuk ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Karakteristik akhir biodiesel hasil pengukuran

Karakteristik	Hasil
Bilangan Asam	0,28 mg-KOH/g
% FFA	0,14
Rendemen	95%
Warna	Kuning jernih

KESIMPULAN

Perancangan reaktor biodiesel sistem *batch* ini dapat dioperasikan secara semiotomatis melalui tiga tahapan, esterifikasi, transesterifikasi dan purifikasi. Pengoperasian reaksi esterifikasi pada reaktor menggunakan katalis H₂SO₄ sebesar 3% dari berat minyak dengan rasio molar minyak dan metanol adalah

1 : 6. Suhu reaksi 50°C pada dengan kecepatan 300 rpm selama 60 menit. Hasil esterifikasi selanjutnya dilakukan pemisahan trigliserida. Pengoperasian proses transesterifikasi menggunakan katalis NaOH sebesar 0.5% dari berat minyak, dengan rasio molar minyak dan methanol adalah 1 : 6. Suhu reaksi 60°C dengan kecepatan 400 rpm selama 60 menit. Selanjutnya dilakukan pemisahan biodiesel dan gliserol. Pengoperasian purifikasi biodiesel dilakukan dengan mencuci dengan air hangat 50°C dengan cara disemprot. Setelah proses pencucian kemudian dilakukan pemanasan dengan suhu 110°C.

Pengujian reaktor dengan tiga tahapan menggunakan 5 kg bahan minyak goreng bekas. Hasil pengujian diperoleh biodiesel dengan rendemen 95% dan bilangan asam bilangan asam 0.28 mg-KOH/g di bawah 0.5 mg-KOH/g. Angka ini sesuai standar SNI 7182-2015.

Perancangan dan pembuatan reaktor pada penelitian ini masih bersifat prototipe yang nantinya akan digunakan untuk merancang reaktor skala komersial. Untuk mendesain skala komersial perlu dilakukan percobaan dan pengujian lebih lanjut. Perlu pengujian lanjutan secara komprehensif terhadap biodiesel yang dihasilkan untuk memenuhi persyaratan mutu sebagaimana yang disyaratkan SNI atau standar yang berlaku.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Wijaya Putra yang telah memfasilitasi dalam penelitian dan pengembangan teknologi ini.

DAFTAR PUSTAKA

Amiri, P., & Arabian, D. (2016). The Effect of Reactor Configuration and Performance on Biodiesel Production from Vegetable Oil. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 3(2), 403-411.

BSN. (2015). *SNI 7182 Biodiesel*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Fallon, W., Gaudreau, K., Kirkpatrick, N., & Turcotte, I. (2005). *The Design and Construction of A Small-Scale Biodiesel Plant*. Bellairs: McGill University.

Gashaw, A., & Theshita, A. (2014). Production of Biodiesel from Waste Cooking Oil and Factors Affecting its Formation.

International Journal of Renewable and Sustainable Energy, III(5), 92-98.

- Leung, D., Wu, X., & Leung, M. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applcation Energy*, 87(doi:10.1016/j.apenergy.2009.10.006), 1083-1095.
- Mehboob, A., Nisar, S., Rashid, U., Thomas, S., Choong, Y., Khalid, T., & Qadeer, H. A. (2016). Reactor Designs for The Production of Biodiesel. *International Journal of Chemical and Biochemical Science (IJCBS)*, 10, 87-94.
- Rhofita, E. I. (2017). Perancangan Mesin Pencucian Biodiesel dengan Sistem Penyemprotan Air dalam Minyak . *Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Industri (SNTIKI)*. Pekanbaru.
- Ribeiro, A., Castro, F., & Carvalho, J. (2011). Influence of Free Fatty Acid Content in Biodiesel Production on Non-Edible Oils. *WASTES: Solutions, Treatments and Opportunities 1st International Conference*. Braga.
- Setiawati, E., & Edwar, F. (2012). Teknologi Pengolahan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Teknik Mikrofiltrasi dan Transesterifikasi sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel. *Jurnal Riset Industri*, VI(2), 117-127.
- Sulaiman, S. (2016). Overview of Catalysts in Biodiesel Production. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, XI(1).
- Tsautsos, T., & al. (2019). Quality Characteristics of Biodiesel Produced from Used Cooking Oil in Southern Europe. *ChemEngineering*, III(19).
- Yuliani, F., Primasari, M., Rachmania, O., & Rachimoallah, M. (2008). Pengaruh Katalis Asam H₂SO₄ dan Suhu Reaksi Biodiesel dari Minyak Karet (havea brasiliensis) menjadi Biodiesel. *Jurnal Teknik Kimia*, 3(1), 171-177.