

TRANSESTERIFICATION OF BIODIESEL FROM KAPOK SEED OIL (*Ceiba pentandra*)

Nove Kartika Erliyanti^{1)*}, Afida Kartika Sari²⁾, Achmad Chumaidi³⁾,
Rachmad Ramadhan Yogaswara⁴⁾, Erwan Adi Saputro⁵⁾

^{1,4,5)} Department of Chemical Engineering, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
Jl. Raya Rungkut Madya No. 1 Gunung Anyar, Surabaya, East Java, 60294, Indonesia

^{2,3)} Department of Chemical Engineering, Politeknik Negeri Malang
Jl. Soekarno Hatta No.9 Malang, East Java, 65141, Indonesia

* E-mail corresponding author: nove.kartika.nke.tk@upnjatim.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: 31-07-2021 Received in revised form: 21-09-2021 Accepted: 22-09-2021 Published: 01-10-2021</p> <hr/> <p><i>Keywords:</i> Biodiesel Flash point Kapok seed oil Pour point</p>	<p><i>The purpose of this study was to determine the effect of KOH concentration and reaction time on the flash point and pour point of biodiesel from kapok seed oil. The biodiesel transesterification process is carried out in a batch reactor equipped with stirrer. The first step in this research is to reduce the free fatty acid content (esterification process). The second step is transesterification of biodiesel from kapok seed oil. The concentrations of KOH used in this research were 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0% by weight of the oil and the reaction time were 0.25, 0.5, 1.0, and 1.5 hours. The operating conditions used in this study were a temperature of 60 °C and a pressure of 4 bar. The results showed that the concentration of KOH and reaction time had a significant effect on the flash point and pour point of biodiesel. The best flash point and pour point were obtained at a concentration of 0.5% KOH and a reaction time of 1.5 hours, which were 163 °C and -8 °C.</i></p>

TRANSESTERIFIKASI BIODIESEL DARI MINYAK BIJI KAPOK (*Ceiba pentandra*)

Abstrak- Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari pengaruh konsentrasi KOH dan waktu reaksi terhadap titik nyala dan titik tuang biodiesel dari minyak biji kapuk. Proses transesterifikasi biodiesel dilakukan pada reaktor *batch* yang dilengkapi dengan pengaduk. Tahap pertama dalam penelitian ini adalah menurunkan kandungan asam lemak bebas (proses esterifikasi). Tahap kedua adalah transesterifikasi biodiesel dari minyak biji kapuk. Konsentrasi KOH yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,5; 1,0; 1,5; dan 2,0% dari berat minyak dan waktu reaksi 0,25; 0,5; 1,0; dan 1,5 jam. Kondisi operasi yang digunakan pada penelitian ini adalah suhu 60 °C dan tekanan 4 bar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi KOH dan waktu reaksi mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap titik nyala dan titik tuang biodiesel. Titik nyala dan titik tuang terbaik dihasilkan pada konsentrasi KOH 0,5% dan waktu reaksi 1,5 jam, yaitu sebesar 163 °C dan -8°C.

Kata kunci: biodiesel, minyak biji kapuk, titik nyala, titik tuang.

PENDAHULUAN

Cadangan minyak mentah yang semakin menipis seiring dengan meningkatnya permintaan petrodiesel dan harga minyak mentah yang baik telah memicu meningkatnya kebutuhan bahan bakar fosil dan bahan bakar alternatif (Bridges *et al.*, 2015; Coady *et al.*, 2017; de Man and German, 2017; Narula, Sudhakara Reddy and Pachauri, 2017). Bahan bakar alternatif yang diharapkan

dapat mengurangi ketergantungan impor minyak mentah dan dapat melindungi keberlanjutan lingkungan. Berbagai bahan bakar yang dieksplorasi akhir-akhir ini berasal dari minyak bumi merupakan alternatif yang menjanjikan untuk minyak diesel. Minyak bumi mempunyai kelemahan diantaranya adalah mempunyai polusi yang sangat tinggi dan membuat cadangan minyak bumi semakin menipis (Tan *et al.*, 2019; Athar and

Zaidi, 2020). Oleh karena itu diperlukan suatu bahan bakar alternatif lainnya yang dapat diperbaharui dan tidak merusak lingkungan, salah satunya adalah biodiesel.

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang paling potensial untuk mesin diesel tanpa modifikasi mekanis dan sesuai dengan solar yang tersedia saat ini (Tang and Niu, 2019; Athar and Zaidi, 2020). Biodiesel merupakan ester monoalkil dari asam lemak rantai panjang yang dihasilkan dari minyak nabati atau hewani dan alkohol dengan atau tanpa bantuan katalis (Janaun and Ellis, 2010; Kafuku and Mbarawa, 2010; Ahmad *et al.*, 2011; Satyanarayana and Muraleedharan, 2011; Shahid and Jamal, 2011). Minyak nabati sebagai bahan baku biodiesel mempunyai kesamaan dengan molekul minyak diesel yaitu molekul dengan panjang rantai tidak bercabang dan jenuh. Molekul minyak nabati adalah trigliserida dengan susunan rantai tak bercabang dengan panjang yang bervariasi dengan tingkat kejenuhan yang berbeda.

Komposisi minyak nabati sebagian besar terdiri dari trigliserida (90 – 98%), sejumlah kecil mono dan digliserida. Trigliserida terdiri dari tiga asam lemak dan molekul gliserol (Schuchardt, Sercheli and Matheus, 1998; Aluyor *et al.*, 2009; Anastopoulos *et al.*, 2009). Beberapa kelebihan biodiesel adalah biodiesel mempunyai titik nyala dan angka setan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan fosil diesel, bebas sulfur, dapat terurai secara alami, dan tidak beracun (Hasan and Rahman, 2017). Minyak nabati sebagai bahan baku biodiesel dapat diperoleh dari berbagai tanaman, biomassa, dan alga (Chua *et al.*, 2020).

Salah satu tanaman yang dapat dijadikan sebagai bahan baku biodiesel adalah biji kapuk. Biji kapuk mengandung 24% minyak dari berat kering. Kandungan asam tak jenuh pada minyak biji kapuk sebesar 71,95% dan bilangan *iodine* yang telah memenuhi standard spesifikasi biodiesel (88 g/g) (Erliyanti, 2016). Bilangan *iodine* yang tinggi menyebabkan nilai titik tuang (*pour point*) minyak biji kapuk menjadi rendah, sehingga biodiesel ini sangat cocok bagi negara-negara yang memiliki musim dingin (Dewajani, 2008). Minyak dari biji kapuk merupakan minyak non-nabati yang berpotensi sebagai bahan baku biodiesel karena lebih hemat biaya dan mudah didapatkan (Karmee and Chadha, 2005).

Beberapa penelitian tentang pembuatan biodiesel dari minyak biji kapuk telah dilakukan. Suryandari, dkk (2013) JRT telah melakukan penelitian tentang transesterifikasi biodiesel dari minyak biji kapuk menggunakan katalis MgO/CaO. (Sofyan, Tanjung and Santosa, 2014) telah melakukan penelitian tentang optimasi untuk mencari beberapa variabel yang mempunyai

pengaruh pada proses pembuatan biodiesel dari minyak biji randu menggunakan katalis KOH dan proses transesterifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu reaksi merupakan variabel yang paling berpengaruh terhadap rendemen biodiesel minyak biji randu. Waktu reaksi yang optimal adalah 105 menit dengan rendemen sebesar 77,39%.

Fajar dan Hendrawati (2015) prosidng SB telah melakukan penelitian tentang proses esterifikasi transesterifikasi biodiesel dari minyak biji kapuk dengan menggunakan variabel penelitian berupa konsentrasi katalis KOH dan waktu reaksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa didapatkan rendemen tertinggi pada konsentrasi katalis KOH 1,5%, waktu reaksi 2 jam, dan jumlah metanol 20% yaitu sebesar 92,24%. (Ningsih *et al.*, 2019) telah melakukan penelitian tentang biodiesel dari minyak biji kapuk randu menggunakan katalis *Ca/Hydrotalcite*. Penelitian tersebut menghasilkan rasio molar 1 minyak:20 metanol menghasilkan kadar FAME tertinggi sebesar 5,55% dengan *yield* sebesar 3,92%.

Selama ini proses pembuatan biodiesel dari minyak biji kapuk sebagian besar masih dilakukan pada kondisi atmosferik. Proses pembuatan biodiesel dengan proses transesterifikasi untuk mencapai kondisi yang optimal baik dari segi kuantitas maupun kualitas produk pasti membutuhkan informasi teknis tentang parameter yang mempengaruhi produk tersebut. Waktu reaksi merupakan salah satu parameter yang mempunyai pengaruh besar terhadap kondisi optimal produk biodiesel.

Proses pembuatan biodiesel pada kondisi atmosferik membutuhkan waktu reaksi yang lama untuk mendapatkan hasil yang optimal. Salah satu cara untuk mempersingkat waktu reaksi adalah dengan cara meningkatkan suhu reaksi. Suhu reaksi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan metanol yang merupakan salah satu bahan dalam pembuatan biodiesel dan memiliki titik didih rendah akan cepat menguap (Erliyanti, 2016; Erliyanti, N. K., Saputro, E.A., Yogaswara, R.R., Chumaidi, 2020). Solusi lainnya adalah dengan meningkatkan tekanan operasi, sehingga dibutuhkan suatu reaktor yang dapat dioperasikan perubahan tekanannya, yaitu reaktor *batch* bertekanan yang dilengkapi dengan pengaduk.

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian proses transesterifikasi biodiesel dari minyak biji kapuk (*Ceiba pentandra*) pada reaktor *batch* bertekanan dan berpengaduk. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari pengaruh konsentrasi KOH dan waktu reaksi terhadap nilai titik nyala (*flash point*) dan titik tuang (*pour point*) biodiesel minyak biji kapuk. Tekanan yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 4 bar.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak biji kapuk yang berasal dari Pandaan Kabupaten Pasuruan Jawa Timur, KOH, metanol, H₂SO₄, dan H₃PO₄.

Alat

Alat yang digunakan pada proses transesterifikasi biodiesel minyak biji kapuk adalah reaktor *batch* bertekanan yang dilengkapi dengan pengaduk, indikator temperatur, dan indikator tekanan.

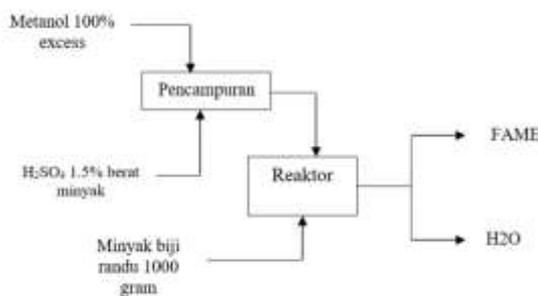
Prosedur Penelitian

Proses Degumming

Proses *degumming* bertujuan untuk memisahkan getah atau kotoran dari karbohidrat, resin, protein, dan residu. Getah atau kotoran yang terkandung pada minyak biji kapuk akan mengganggu proses pemurnian karena getah tersebut dapat menyebabkan emulsi sabun (Ericson, 1990). Proses ini tidak mengurangi kandungan asam lemak bebas dalam minyak biji kapuk (Putri *et al.*, 2012). Prosed *degumming* pada penelitian ini dilakukan pada suhu operasi 70 °C, waktu reaksi 30 menit dengan menggunakan H₃PO₄ sebesar 0,1% volume minyak.

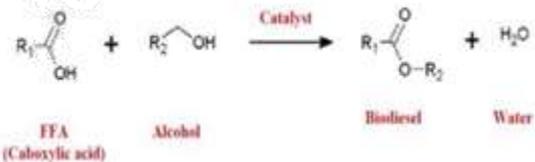
Proses Esterifikasi

Proses esterifikasi bertujuan untuk menurunkan kadar *Free Fatty Acid* (FFA) atau asam lemak bebas yang ada pada minyak biji kapuk. Kadar FFA yang tinggi akan menghambat proses transesterifikasi biodiesel karena dapat membentuk sabun oleh FFA dengan katalis basa (Chai *et al.*, 2014; Dorado, *et al.*, 2002; Goodrum, 2002; Manaf *et al.*, 2019). Kadar FFA yang tinggi juga menyebabkan *yield* yang dihasilkan rendah, dan tingkat kesulitan yang tinggi dalam pemisahan produk (Kulkarni and Dalai, 2006; Ma *et al.*, 1998). Kadar FFA yang diizinkan maksimum sebesar 1%, kadar FFA yang terlalu tinggi dapat membentuk reaksi saponifikasi dengan katalis (Pandey, *et al.*, 2011). Diagram alir proses esterifikasi disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses esterifikasi

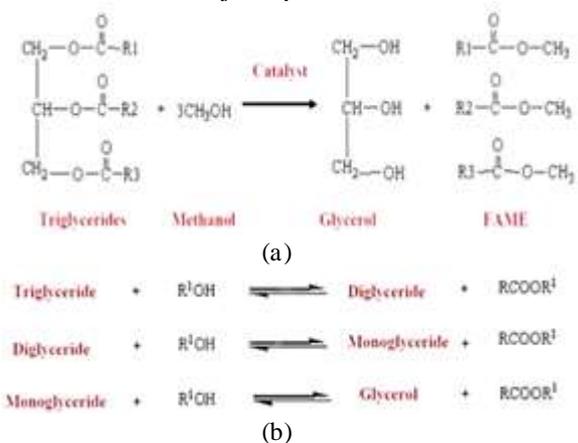
Pada proses esterifikasi langkah pertama yang dilakukan adalah minyak biji kapuk dianalisis kadar FFA nya menggunakan metode titrimetri. Jika kadar FFA > 1%, maka dilakukan proses esterifikasi. Metanol yang digunakan dalam proses esterifikasi ini sebesar 20% berat minyak, molar rasio metanol:mol minyak biji kapuk = 6:1, dan direaksikan dengan katalis asam (H₂SO₄) sebesar 1,5% berat minyak. Suhu operasi dipertahankan 60 °C dan waktu reaksi selama 2 jam. Reaksi esterifikasi disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Reaksi esterifikasi diadopsi dari (Athar and Zaidi, 2020)

Proses Transesterifikasi

Transesterifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah transesterifikasi alkoholis, yaitu reaksi antara trigliserida yang ada di dalam lemak atau minyak dengan alkohol dengan atau tanpa katalis untuk membentuk biodiesel (FAME) dan gliserol (Athar and Zaidi, 2020). Proses transesterifikasi pembuatan biodiesel dari minyak biji kapuk (*Ceiba pentandra*) dilakukan dalam reaktor *batch* bertekanan yang dilengkapi dengan pengaduk. Minyak hasil esterifikasi dengan kadar FFA yang telah sesuai dengan standard sebanyak 1000 gram dengan bantuan katalis basah yaitu KOH (konsentrasi 0,5, 1,0, 1,5, dan 2,0% berat minyak) direaksikan dengan metanol sebesar 20% berat minyak (mol ratio metanol:mol minyak = 6:1). Waktu reaksi proses transesterifikasi selama 0,25, 0,5, 1,0, dan 1,5 jam, suhu operasi dipertahankan 60 °C, dan tekanan operasi sebesar 4 bar. Reaksi transesterifikasi disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. (a) Reaksi transesterifikasi secara umum, (b) mekanisme reaksi transesterifikasi diadopsi dari (Athar and Zaidi, 2020)

Produk berupa *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) atau biodiesel dan gliserol diambil ketika proses transesterifikasi telah selesai. Produk kemudian dipisahkan menggunakan corong pisah, sehingga didapatkan biodiesel.

Proses Pencucian

FAME atau biodiesel yang telah dipisahkan dengan gliserol kemudian dimurnikan dengan metode pencucian *bubblewash*. Pencucian menggunakan air dengan volume 25-50% dari volume biodiesel dengan waktu pencucian \pm 0,5 jam. Proses pencucian dilakukan berkali-kali sampai air yang digunakan pada proses pencucian menjadi jernih. FAME kemudian dipisahkan dengan air pencuci menggunakan corong pisah selama satu jam. Produk berupa FAME kemudian dianalisis titik nyala (*flash point*) berdasarkan ASTM D 93 dan titik tuang (*pour point*) berdasarkan ASTM D 97 di Laboratorium Produksi Unit Pertamina Perak Barat Surabaya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil *pre-treatment* bahan baku

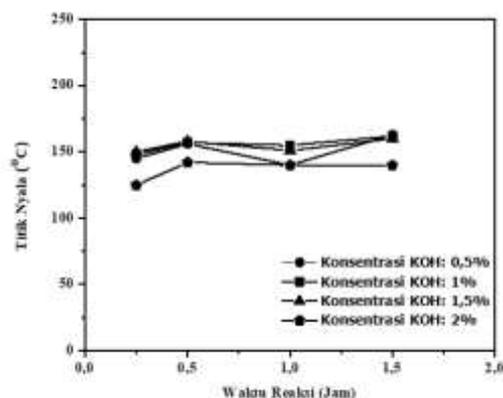
Pre-treatment bahan baku meliputi *degumming* dan esterifikasi. Proses *degumming* dilakukan untuk menghilangkan getah yang terkandung dalam minyak biji. Getah tersebut dapat mengganggu proses transesterifikasi dan menyebabkan kadar FAME atau biodiesel menjadi rendah. (Prasetyo, 2019). Proses esterifikasi bertujuan untuk menurunkan kadar FFA dari minyak biji kapuk.

Hasil proses *degumming* pada penelitian ini dihasilkan gum/getah berwarna putih yang merupakan *oil-slime* dan *latex* (Putri *et al.*, 2012). Beberapa pengotor lain yang terkandung dalam minyak biji kapuk berupa karotenoid, alkaloid, fosfatida, dan lain-lain juga dihilangkan menggunakan proses *degumming* (Putri *et al.*, 2012).

Pada tahap awal minyak biji kapuk dianalisis kadar FFAnya. Kadar FFA minyak biji kapuk sebelum *pre-treatment* adalah sebesar 7,570%. Kadar FFA minyak biji kapuk setelah mengalami proses *pre-treatment* diperoleh sebesar 0,560%, sehingga telah memenuhi syarat maksimum yang diizinkan yaitu sebesar 1% (Putri *et al.*, 2012). Hal ini dikarenakan pada proses esterifikasi FFA diubah menjadi *fatty acid ester* sehingga kadar FFA turun. Kadar FFA yang rendah diharapkan dapat menekan terjadinya reaksi penyabunan (Leung, Wu and Leung, 2010).

Pengaruh konsentrasi KOH dan waktu reaksi terhadap titik nyala (*flash point*) biodiesel dari minyak biji kapuk

Titik nyala (*flash point*) adalah titik temperatur terendah yang menyebabkan bahan bakar dapat menyala. Parameter titik nyala ini berkaitan dengan penentuan keamanan dalam penanganan dan penyimpanan bahan bakar (Suyanto and Arifin, 2003). Titik nyala biodiesel lebih tinggi dibandingkan dengan titik nyala solar, sehingga biodiesel dapat dikategorikan dalam *non-flammable liquid*. Pengaruh konsentrasi KOH dan waktu reaksi terhadap titik nyala (*flash point*) biodiesel dari minyak biji kapuk disajikan pada Gambar 4. KOH pada penelitian ini digunakan sebagai katalis pada proses pembuatan biodiesel.



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi KOH dan waktu reaksi terhadap titik nyala (*flash point*) biodiesel dari minyak biji kapuk

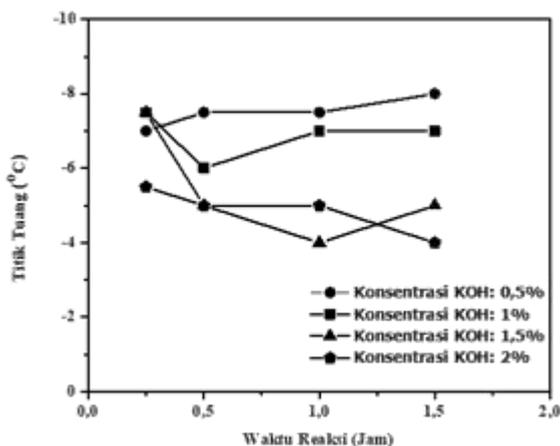
Gambar 4 menunjukkan bahwa konsentrasi KOH dan waktu reaksi mempunyai pengaruh terhadap titik nyala biodiesel. Titik nyala biodiesel tertinggi dihasilkan pada konsentrasi KOH 0,5% dengan waktu reaksi 1,5 jam, yaitu sebesar 163°C. Titik nyala terendah pada biodiesel minyak biji kapuk dihasilkan pada konsentrasi KOH 2% dengan waktu reaksi 0,25 jam, yaitu sebesar 125 °C. Penambahan konsentrasi KOH dan lamanya waktu reaksi dapat meningkatkan nilai titik nyala biodiesel. Penambahan katalis KOH dalam jumlah besar, maka basa (OH^-) yang pada awalnya berperan sebagai katalisator dan setelah mencapai kondisi seimbang, gugus OH^- tersebut akan beralih fungsi sebagai pereaksi (menggantikan metanol) dan akan terjadi reaksi penyabunan, sehingga akan menurunkan titik nyala dari biodiesel (Salamah *et al.*, 2010). Penambahan katalis semakin besar mengakibatkan residu *coke* terbentuk dalam jumlah yang besar karena adanya agregasi situs aktif (Aziz *et al.*, 2019). Residu *coke* tersebut dapat menutupi permukaan katalis sehingga dapat mengurangi situs aktif dan mengakibatkan proses reaksi berjalan kurang sempurna serta menurunkan titik nyala biodiesel.

Gambar 4 menunjukkan bahwa waktu reaksi yang lama akan berpengaruh terhadap titik nyala

biodiesel. Titik nyala biodiesel terendah dihasilkan pada waktu reaksi 0,25 jam konsentrasi KOH 2%, yaitu sebesar 125 °C. Hal ini dikarenakan pada waktu reaksi tersebut reaksi belum berjalan sempurna sehingga belum banyak trigliserida yang terurai menjadi FAME atau biodiesel dan titik nyala menjadi rendah. Titik nyala biodiesel dari penelitian ini telah sesuai dengan standard SNI 04-7182-2006 (SNI biodiesel) yaitu minimum sebesar 100 °C dan sesuai standard ASTM D 93 biodiesel yaitu minimum sebesar 65 °C.

Pengaruh konsentrasi KOH dan waktu reaksi terhadap titik tuang (*pour point*) biodiesel dari minyak biji randu

Titik tuang (*pour point*) adalah titik temperatur terendah dari bahan bakar minyak masih dapat mengalir karena adanya gaya gravitasi apabila didinginkan pada kondisi tertentu. Titik tuang merupakan salah satu parameter yang berpengaruh karena merupakan salah satu persyaratan praktis dari prosedur pemakaian dan penimbunan suatu bahan bakar. Bahan bakar akan sulit dialirkan/dipompa jika di bawah temperatur titik tuang (Suyanto and Arifin, 2003). Pengaruh konsentrasi KOH dan waktu reaksi terhadap titik tuang (*pour point*) biodiesel dari minyak biji kapuk ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh konsentrasi KOH dan waktu reaksi terhadap titik tuang (*pour point*) biodiesel dari minyak biji kapuk

Gambar 5 menunjukkan bahwa konsentrasi KOH dan waktu reaksi mempunyai pengaruh terhadap titik nyala biodiesel dari minyak biji kapuk. Titik tuang (*pour point*) biodiesel minyak biji kapuk terendah dihasilkan pada konsentrasi KOH 0,5% dengan waktu reaksi 1,5 jam yaitu sebesar -8 °C. Hal ini dikarenakan konsentrasi KOH yang sedikit dengan waktu reaksi yang lama masih banyak mengandung asam lemak tak jenuh yang memiliki ikatan rangkap. Adanya ikatan rangkap (isomer cis) pada biodiesel dari minyak biji randu

mengakibatkan struktur dari molekul tersebut membengkok, sehingga menjadi lebih sulit untuk membentuk kristal (Ming *et al.*, 2005). Titik tuang terendah dihasilkan pada konsentrasi KOH 2% dengan waktu reaksi 1,5 jam yaitu sebesar -4 °C. Hal ini dikarenakan konsentrasi KOH yang semakin tinggi dapat mempercepat laju reaksi sehingga asam lemak tak jenuh memiliki ikatan rangkap lebih sedikit.

Titik tuang (*pour point*) biodiesel dari minyak biji kapuk pada penelitian ini telah sesuai dengan standard SNI 04-7182-2006, yaitu maksimal 18 °C dan standard ASTM D 97, yaitu maksimal 18 °C. Nilai titik tuang pada biodiesel yang semakin rendah maka semakin baik sebab akan mengurangi kecenderungan biodiesel tersebut membeku pada suhu yang rendah (Risnoyatiningih, 2010). Titik tuang biodiesel pada penelitian ini menunjukkan bahwa biodiesel dari minyak biji kapuk dengan tekanan 4 bar dapat digunakan pada daerah baik yang bersuhu rendah/dingin dan daerah tropis.

Perbandingan titik nyala (*flash point*) dan titik tuang (*pour point*) pada transesterifikasi biodiesel dari minyak biji kapuk pada tekanan atmosferik dan tekanan 4 bar

Penelitian ini juga membandingkan titik nyala (*flash point*) dan titik tuang (*pour point*) pada proses transesterifikasi biodiesel dari minyak biji kapuk pada tekanan atmosferik dan tekanan 4 bar. Hasil perbandingan tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan titik nyala dan titik tuang pada transesterifikasi biodiesel dari minyak biji kapuk pada tekanan atmosferik dan tekanan 4 bar

Parameter	Tekanan atmosferik	Tekanan 4 bar
Titik nyala	120 °C	163 °C
Titik tuang	-4 °C	-8 °C

Tabel 1 menunjukkan bahwa tekanan operasi mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap titik nyala dan titik tuang biodiesel dari minyak biji kapuk. Tekanan operasi yang tinggi akan mempercepat waktu reaksi sehingga didapatkan produk yang optimal baik dari segi kuantitas maupun kualitas.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah konsentrasi KOH dan waktu reaksi mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap titik nyala (*flash point*) dan titik tuang (*pour point*) hasil transesterifikasi biodiesel minyak biji kapuk pada tekanan 4 bar. Titik nyala dan titik tuang terbaik dihasilkan pada konsentrasi KOH 0,5% dan waktu reaksi 1,5 jam, yaitu sebesar 163 °C dan -8 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. L. *et al.* (2011) 'Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 15(1), pp. 584–593. doi: 10.1016/j.rser.2010.09.018.
- Aluyor, E. O. *et al.* (2009) 'Chromatographic analysis of vegetable oils: A review', *Scientific Research and Essays*, 4(4), pp. 191–197.
- Anastopoulos, G. *et al.* (2009) 'Transesterification of vegetable oils with ethanol and characterization of the key fuel properties of ethyl esters', *Energies*, 2(2), pp. 362–376. doi: 10.3390/en20200362.
- Athar, M. and Zaidi, S. (2020) 'A review of the feedstocks, catalysts, and intensification techniques for sustainable biodiesel production', *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Elsevier B.V., 8(6), p. 104523. doi: 10.1016/j.jece.2020.104523.
- Aziz, I. *et al.* (2019) 'Upgrading Crude Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas menggunakan Katalis H-Zeolit', *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1), pp. 79–86. doi: 10.15408/jkv.v5i1.10493.
- Bridges, A. *et al.* (2015) 'Uncertainty in energy planning: Estimating the health impacts of air pollution from fossil fuel electricity generation', *Energy Research and Social Science*. Elsevier Ltd, 6, pp. 74–77. doi: 10.1016/j.erss.2014.12.002.
- Chai, M. *et al.* (2014) 'Esterification pretreatment of free fatty acid in biodiesel production, from laboratory to industry', *Fuel Processing Technology*. Elsevier B.V., 125, pp. 106–113. doi: 10.1016/j.fuproc.2014.03.025.
- Chua, S. Y. *et al.* (2020) 'Biodiesel synthesis using natural solid catalyst derived from biomass waste — A review', *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry, 81, pp. 41–60. doi: 10.1016/j.jiec.2019.09.022.
- Coady, D. *et al.* (2017) 'How Large Are Global Fossil Fuel Subsidies?', *World Development*. Elsevier Ltd, 91, pp. 11–27. doi: 10.1016/j.worlddev.2016.10.004.
- Erliyanti, N. K., Saputro, E.A., Yogaswara, R.R., Chumaidi, A. (2020) 'SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK BIJI KAPUK (Ceiba SYNTHESIS OF BIODIESEL FROM KAPOK SEED OIL (Ceiba pentandra) IN HIGH PRESSURE STIRRED BATCH REACTOR', (September), pp. 1–6.
- Erliyanti, N. K. (2016) 'Karakteristik Biodiesel Dari Minyak Biji Randu (Ceiba Pentandra) Pada Reaktor Batch Berpengaduk Bertekanan Menggunakan Katalis Koh', *Journal of Research and Technology*, 2(Vol 2, No 1 (2016)), pp. 23–27. Available at: <http://journal.unusida.ac.id/index.php/jrt/article/view/29>.
- Hasan, M. M. and Rahman, M. M. (2017) 'Performance and emission characteristics of biodiesel–diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 74(March), pp. 938–948. doi: 10.1016/j.rser.2017.03.045.
- Janaun, J. and Ellis, N. (2010) 'Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 14(4), pp. 1312–1320. doi: 10.1016/j.rser.2009.12.011.
- Kafuku, G. and Mbarawa, M. (2010) 'Biodiesel production from Croton megalocarpus oil and its process optimization', *Fuel*. Elsevier Ltd, 89(9), pp. 2556–2560. doi: 10.1016/j.fuel.2010.03.039.
- Karmee, S. K. and Chadha, A. (2005) 'Preparation of biodiesel from crude oil of Pongamia pinnata', *Bioresource Technology*, 96(13), pp. 1425–1429. doi: 10.1016/j.biortech.2004.12.011.
- Kulkarni, M. G. and Dalai, A. K. (2006) 'Waste cooking oil - An economical source for biodiesel: A review', *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 45(9), pp. 2901–2913. doi: 10.1021/ie0510526.
- Leung, D. Y. C., Wu, X. and Leung, M. K. H. (2010) 'A review on biodiesel production using catalyzed transesterification', *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 87(4), pp. 1083–1095. doi: 10.1016/j.apenergy.2009.10.006.
- de Man, R. and German, L. (2017) 'Certifying the sustainability of biofuels: Promise and reality', *Energy Policy*, 109(May), pp. 871–883. doi: 10.1016/j.enpol.2017.05.047.
- Manaf, I. S. A. *et al.* (2019) 'A review for key challenges of the development of biodiesel industry', *Energy Conversion and Management*, 185(November 2018), pp. 508–517. doi: 10.1016/j.enconman.2019.02.019.
- Ming, T. C. *et al.* (2005) 'Strategies for decreasing the pour point and cloud point of palm oil products', *European Journal of Lipid Science and Technology*, 107(7–8), pp. 505–512. doi: 10.1002/ejlt.200400944.
- Narula, K., Sudhakara Reddy, B. and Pachauri, S. (2017) 'Sustainable Energy Security for

- India: An assessment of energy demand sub-system', *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 186, pp. 126–139. doi: 10.1016/j.apenergy.2016.02.142.
- Ningsih, E. *et al.* (2019) 'Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk (Ceiba Pentandra) Menggunakan Katalis Ca/Hydrotalcite', *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 4(1), p. 16. doi: 10.33366/rekabuana.v4i1.1023.
- Putri, E. M. M. *et al.* (2012) 'Biodiesel production from kapok seed oil (Ceiba pentandra) through the transesterification process by using cao as catalyst', *Global Journal of Researches in Engineering Chemical Engineering*, 12(2), pp. 6–11.
- Risnoyatiningih, S. (2010) 'Biodiesel from avocado seeds by transesterification process', *Jurnal Teknik Kimia*, 5(1), pp. 345–351.
- Satyanarayana, M. and Muraleedharan, C. (2011) 'A comparative study of vegetable oil methylesters (biodiesels)', *Energy*. Elsevier Ltd, 36(4), pp. 2129–2137. doi: 10.1016/j.energy.2010.09.050.
- Salamah, S., Ahtawan, A., and Wardana, H. S. (2010) 'Pemanfaatan Biji Kapuk yang Merupakan Limbah Industri Kapuk Untuk Pembuatan Bahan bakar Alternatif Biodiesel', *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode II*, A-213 - A-217.
- Schuchardt, U., Sercheli, R. and Matheus, R. (1998) 'Transesterification of Vegetable Oils: a Review General Aspects of Transesterification Transesterification of Vegetable Oils Acid-Catalyzed Processes Base-Catalyzed Processes', *J. Braz. Chem. Soc.*, 9(1), pp. 199–210.
- Shahid, E. M. and Jamal, Y. (2011) 'Production of biodiesel: A technical review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 15(9), pp. 4732–4745. doi: 10.1016/j.rser.2011.07.079.
- Sofyan, M., Tanjung, I. and Santosa, H. (2014) 'OPTIMASI VARIABEL YANG PALING BERPENGARU H PADA DENGAN PROSES TRANSESTERIFIKASI Abstrak', *Teknik*, 35(1), pp. 42–48.
- Suyanto, W., Arifin, Z. (2003) 'Bahan Bakar Pelumas', Yogyakarta Fakultas Teknik UNY.
- Tan, Y. H. *et al.* (2019) 'Biodiesel production from used cooking oil using green solid catalyst derived from calcined fusion waste chicken and fish bones', *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 139(February 2019), pp. 696–706. doi: 10.1016/j.renene.2019.02.110.
- Tang, X. and Niu, S. (2019) 'Preparation of carbon-based solid acid with large surface area to catalyze esterification for biodiesel production', *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry, 69, pp. 187–195. doi: 10.1016/j.jiec.2018.09.016.