

## PEMANFAATAN MINYAK JELANTAH SEBAGAI BIODIESEL: KAJIAN TEMPERATUR DAN WAKTU REAKSI TRANSESTERIFIKASI

Erry Ika Rhofita

**Abstrak:** Produksi biodiesel dari minyak jelantah sebagai upaya mengurangi pencemaran lingkungan dan menekan biaya produksi. Kandungan asam lemak bebas yang tinggi pada minyak jelantah diperlukan dua kali proses dalam produksi biodiesel, yaitu proses esterifikasi dan transesterifikasi. Keberhasilan transesterifikasi ditentukan oleh temperatur reaksi, waktu reaksi, kecepatan putaran pengaduk, katalis, rasio molar metanol, jenis alkohol, kadar FFA bahan; dan kadar air bahan. Pada penelitian ini kajian ditekankan pada proses transesterifikasi khususnya perubahan temperatur (50°C, 55°C, 60°C, 65°C, dan 70 °C) dan waktu (30,60,90, dan 120 menit) terhadap jumlah rendemen biodiesel. Hasil pengujian GC-MS pada minyak jelantah diketahui bahwa kandungan asam lauric dan asam palmitoleic yang terdapat dalam minyak jelantah bahan baku biodiesel sebesar 0%Wt dan 4,6%Wt, dan kadar FFA sebesar 9,67%. Temperatur transesterifikasi optimal antara 60°C sampai 65°C, yang mampu menghasilkan rendemen biodiesel >93%. Jumlah rendemen biodiesel yang dihasilkan pada 30 menit transesterifikasi mencapai 80% dan 60 menit mencapai 90%.

**Kata kunci:** transesterifikasi, minyak jelantah, temperatur, waktu reaksi

*Abstract: The production of biodiesel from waste cooking oil as an effort to reduce environmental pollution and its production cost. Free fatty acid content is high on used cooking oil is required twice in the biodiesel production process, namely the process of esterification and transesterification. The success is determined by the transesterification reaction temperature, reaction time, the rotation speed of the stirrer, the catalyst, the molar ratio of methanol, a type of alcohol, FFA content material; and the moisture content of materials. In this research study ditekankan the transesterification process, especially changes in temperature (50°C, 55°C, 60°C, 65°C, and 70 °C) and time (30,60,90, and 120 minutes) to yield the amount of biodiesel. The results of GC-MS testing on used cooking oil is known that the content of lauric acid and palmitoleic acid contained in the raw material for biodiesel used cooking oil at 0% and 4.6 Wt% Wt, and FFA content of 9.67%. Transesterification optimal temperatures between 60°C to 65°C, capable menghasilkan biodiesel yield of > 93%. Total yield of biodiesel produced in 30 minutes transesterification reached 80%, and 60 minutes to reach 90%.*

**Keywords:** transesterification, waste cooking oil, temperature, time reaction

Salah satu produk minyak bumi yang paling banyak dimanfaatkan di sektor industri, pertanian, transportasi dan beberapa sektor lainnya adalah solar. Setiap tahun terjadi peningkatan konsumsi solar antara 20 sampai 35% seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan peningkatan ekonomi masyarakat. Data dari BPS RI tahun 2016 menyebutkan bahwa konsumsi bahan bakar solar di Indonesia pada berbagai sektor ditunjukkan oleh Tabel 1. Dengan adanya kondisi tersebut, mendorong pemerintah untuk mengeluarkan blueprint energi pada tahun 2006 yang menekankan dilakukan substitusi energi fosil menjadi energi baru terbarukan dan ramah lingkungan dengan target 5% dari kebutuhan energi nasional pada tahun 2025. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mensubstitusi kebutuhan energi fosil dengan memanfaatkan biodiesel sebagai pengganti solar, yang mana bahan bakunya masih dalam jumlah yang besar untuk dikembangkan, (Darmanto, 2006). Secara umum bahan baku yang dapat dimanfaatkan untuk pembuatan biodiesel adalah minyak nabati, yang terdiri dari minyak pangan (*edible oil*) dan minyak non-pangan (*non edible oil*). Hampir 90% bahan baku yang digunakan dalam pembuatan biodiesel berasal dari minyak

pangan, namun dalam aplikasinya penggunaan minyak pangan harus bersaing dengan kebutuhan konsumsi dan harganya relatif tinggi, sehingga tidak dapat mengurangi biaya produksi biodiesel. Berdasarkan studi kelayakan yang dilakukan oleh Haas and Foglia (2005); Felizardo, *et al* (2006); Wang, *et al* (2007); Canakci (2007); Gui, *et al* (2008); Pahn and Pahn (2008); Halim, *et al* (2009); dan Kunchahyo, *dkk*(2013), jenis minyak nabati yang paling efektif dan efisien untuk dijadikan bahan baku biodiesel adalah minyak goreng bekas atau yang dikenal dengan minyak jelantah. Alasan utama pengolahan biodiesel dari minyak jelantah; antara lain: 1) cara paling efektif untuk menurunkan biaya produksi biodiesel, karena berasal dari limbah rumah tangga atau industri dan murah; 2) pembuangan minyak jelantah secara langsung ke lingkungan dapat menimbulkan pencemaran lingkungan khususnya pencemaran air karena dapat menaikkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biology Oxygen Demand* (BOD); 3) data statistik menunjukkan peningkatan produksi minyak goreng antara 12 sampai 28% setiap tahunnya; dan 4) penggunaan minyak jelantah sebagai bahan konsumsi dapat mengganggu kesehatan, (Zhang, *et al.* 2003; Wang, *et al.* 2007; Shi and Bao. 2008; dan Juan, *et al.* 2016).

Tabel 1. Konsumsi bahan bakar solar Indonesia antara tahun 2011-2015

Sektor	Konsumsi tiap tahun (kilo liter)				
	2011	2012	2013	2014	2015
Transportasi	11.457.458	18.357.312	16.087.380	17.507.896	19.000.067
Industri	161.090	79.137	79.137	60.870	533.105
Pertanian	167.581	307.836	326.874	405.550	129.311
Lainnya	1.884.394	3.189.649	311.809	386.858	344.3304
Total konsumsi	13.502.942	21.933.934	16.805.200	18.361.174	23.105.787

Sumber : BPS RI tahun 2016

Kandungan minyak jelantah yang tinggi asam lemak (*free fatty acid*/FFA) diperlukan dua kali proses dalam pembuatan biodiesel. Proses pertama adalah esterifikasi dengan menggunakan katalis asam dan proses kedua adalah transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa. Kelemahan proses tersebut antara lain: 1) terjadinya *blocking*, yaitu terhalangnya reaksi antara trigliserida dengan metanol akibat pembentukan sabun yang menyebabkan meningkatnya konsumsi metanol dua kali lipat; 2) katalis diperlukan dalam jumlah besar; 3) sulitnya pemisahan biodiesel (FAME/*free acid methyl ester*) dengan gliserol akibat adanya sabun; 4) rendemen dan kualitas biodiesel menurun antara 3 sampai 10%, (Darnoko dan Cheryan. 2000; Hambali, *dkk.* 2008; dan Darmawan. 2013). Beberapa penelitian pembuatan biodiesel dari minyak jelantah melalui dua proses yaitu esterifikasi dengan katalis asam (asam sulfat) dan transesterifikasi dengan katalis basa (potassium hidroksida) telah dilakukan oleh Wang, *et al* (2007); Meng, *et al* (2008); Jaruyanon dan Wongsapai (2008); Suirta (2009); Wahyuni, *dkk* (2011); F. Guerrero (2011); Boumesbah, *et al* (2014); dan Raqeeb (2015). Dalam proses pembuatan biodiesel minyak jelantah jumlah rendemen dan kualitas biodiesel ditentukan oleh proses transesterifikasi. Beberapa faktor penentu keberhasilan reaksi transesterifikasi, antara lain: 1) waktu proses; 2) temperatur, 3) kecepatan putaran pengaduk (homogenisasi campuran); 4) katalis; 5) rasio molar metanol; 6) jenis reaktan (jenis alkohol); 7) kadar FFA bahan; dan 8) kadar air bahan, (Freedman, *et al.* 1984; Gerpen. 2005; dan Wahyuni, *dkk.* 2015).

Penelitian pembuatan biodiesel dari minyak jelantah telah banyak dilakukan sejak tahun 80an hingga sekarang. Zhang, *et al* (2003), mampu mengkonversi minyak jelantah menjadi biodiesel pada temperatur 60°C dalam waktu 4 jam untuk

menghasilkan rendemen biodiesel (FAME) sebesar 97%. Hal yang serupa dilakukan Omar, *et al* (2009) pada temperatur 60°C dan waktu 3 jam hanya mampu menghasilkan kadar FAME optimal sebesar 81,4%. Kadar FAME 94,3% dihasilkan dengan mengkonversi minyak jelantah pada temperatur 60°C dan waktu 2 jam. Pada temperatur 50°C hanya mampu menghasilkan rendemen biodiesel 76%, (Wahyuni, *dkk.* 2015) dan pada temperatur 80°C menghasilkan rendemen sebesar 81,4%, (Anastopoulos, *et al.* 2009). Berbeda dengan yang dilakukan oleh Ferlizardo, *et al* (2005) dan Syam, *et al* (2013), yang mampu mengkonversi minyak jelantah menjadi biodiesel dengan rendemen FAME 98% dalam waktu 1 jam.

Perubahan peningkatan temperatur reaksi transesterifikasi secara langsung akan mempengaruhi jumlah rendemen dan kualitas biodiesel yang dihasilkan sesuai dengan pergerakan dan tumbukan antara molekul minyak (minyak jelantah) dengan reaktan (metanol). Besarnya energi aktivasi dari tumbukan meningkat seiring peningkatan pertambahan waktu reaksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas dan kuantitas konversi minyak jelantah menjadi biodiesel dengan menitik beratkan pada perubahan temperatur dan waktu transesterifikasi.

## **METODE**

### **Bahan**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak jelantah, karbon aktif dari tempurung kelapa, metanol (96%), potassium hidroksida (KOH), asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), dan air. Minyak jelantah diperoleh dari sisa penggorengan keripik singkong di UMKM Keripik cap “Bawang” Kelurahan Dinoyo Kota Malang. KOH dan asam sulfat diperoleh dari Merck. Metanol yang digunakan mempunyai kemurnian 96% yang diperoleh dari Toko Sari Kimia, Kota Malang.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor tipe *batch* sistem otomatis dengan pemanas ganda, kasa saring ukuran 50 mesh dan 80 mesh, dan corong pemisah.

### **Tahap Perlakuan Awal**

Penelitian dimulai dengan menyaring minyak jelantah dengan menggunakan kasa saring ukuran 60 mesh dan 80 mesh dengan tujuan menghilangkan sisa kotoran. Kemudian minyak jelantah dilakukan proses pemucatan (*bleaching*) dengan memanaskan minyak pada temperatur 70°C selama 1 jam disertai dengan pengadukan 300 rpm serta menambahkan karbon aktif dari tempurung kelapa sebanyak 7% dari berat minyak.

### **Proses Esterifikasi**

Pada proses esterifikasi minyak jelantah sebanyak 1 liter direaksikan dengan 20% metanol dan katalis asam (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dengan rasio molar minyak dan katalis sebesar 1 : 5,6. Proses esterifikasi berlangsung selama 90 menit pada temperatur 60°C dan kecepatan pengadukan 600 rpm.

### **Proses Transesterifikasi**

Proses transesterifikasi dilakukan dengan mereaksikan minyak jelantah hasil esterifikasi dengan 20% metanol dengan bantuan katalis basa (KOH) dengan rasio molar minyak dan katalis sebesar 1 : 5,6. Kecepatan pengaduk yang digunakan 600 rpm dan melibatkan 2 faktor yaitu temperatur transesterifikasi dan waktu transesterifikasi. Perlakuan temperatur reaksi transesterifikasi diberikan pada 5 level yaitu pada temperatur 50°C, 55°C, 60°C, 65°C, dan 70 °C. Sedangkan untuk waktu reaksi transesterifikasi, diberikan pada 4 level yaitu 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.

### Pengendapan dan Pencucian

Setelah proses transesterifikasi, biodiesel diendapkan selama 8 jam hingga terbentuk 2 lapisan, lapisan atas berupa biodiesel (FAME) dan lapisan bawah berupa gliserol. Selanjutnya biodiesel dipisahkan dari gliserol dan dilakukan pencucian dengan menggunakan air hingga pH air mencapai 7 (netral). Biodiesel hasil pencucian selanjutnya dihilangkan kadar airnya melalui proses pemanasan pada temperatur 70°C selama 20 menit.

### Analisis Produk

Biodiesel yang diperoleh dari serangkaian proses tersebut selanjutnya ditimbang untuk mengetahui jumlah rendemen atau kadar FAME (% Wt) yang diperoleh.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Komposisi Minyak Jelantah

Hasil analisis GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*) diketahui komposisi minyak jelantah bahan baku biodiesel ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi asam lemak minyak jelantah hasil pengujian

Asam Lemak	Rumus Kimia	% Wt (Hasil Pengujian)	% Wt (Syam, <i>et al.</i> 2013)
Octanoic	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	5,89	6,18
Decanoic	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub>	6,73	7,13
Dodecanoic	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	34,79	35,36
Tetradecanoic	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	26,14	24,68
Hexadecanoic	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	12,77	12,53
9-Hexadecenoic	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	2,01	1,17
Octadecanoic	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	4,02	4,63
9-Octadecenoic	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	7,65	8,32

Komposisi minyak jelantah hasil pengujian jika dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Syam, *et al.*(2013) memiliki kandungan asam lemak yang hampir sama. Hanya kandungan asam lemak Dodecanoic dan 9-Hexadecenoic yang mempunyai perbedaan signifikan. Dodecanoic merupakan isomer dari asam lauric dan 9-Hexadecenoic merupakan isomer dari asam palmitoleic. Berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Leung, *et al.* (2006) yang menyebutkan bahwa kandungan asam lauric dan asam palmitoleic yang terdapat dalam minyak jelantah bahan baku biodiesel sebesar 0 %Wt dan 4,6%Wt. Perbedaan jumlah komposisi asam lemak yang terkandung dalam minyak jelantah juga bergantung pada frekuensi pemakaian dan jenis bahan yang digoreng dengan minyak tersebut. Diperkuat oleh hasil analisis GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*) yang dilakukan Banani, *et al.* (2015) menyatakan bahwa komposisi asam lemak pada minyak jelantah ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi asam lemak minyak jelantah hasil analisis Banani, *et al* (2015)

Asam Lemak	Nama Metil Ester	Rumus Kimia	Rumus Umum	%Wt
Palmitic acid/ Hexadecanoic acid	Methyl Palmitate/Methyl Hexadecanoate	$C_{16}H_{32}O_2$	C16:0	15,86
Stearic acid / Octadecanoic acid	Methyl Stearate/Methyl Octadecanoate	$C_{18}H_{36}O_2$	C18:0	4,87
Oleic acid / 9(E)- Octadecenoic acid	Methyl Oleate/ Methyl 9(E) Octadecenoate	$C_{18}H_{34}O_2$	C18:1 (E)	29,83
Linoleic acid / 9(Z),12(Z) Octadecadienoic acid	Methyl Linoleate /Methyl 9(Z),12(Z) Octadecadienoate	$C_{18}H_{32}O_2$	C18:2 (Z,Z)	28,85
Linolenic acid/ 9(Z),12(Z),15(Z)- Octadecatrienoic acid	Methyl Linoleate /Methyl 9(Z),12(Z),15(Z)- Octadecadienoate	$C_{18}H_{30}O_2$	C18:3 (Z,Z,Z)	2,49

### Kadar *Free Fatty Acid* (FFA) Minyak Jelantah

Kadar *free fatty acid* (FFA) yang dikenal dengan kadar asam lemak bebas pada minyak jelantah bahan baku biodiesel sebesar 9,67%. Kadar FFA minyak jelantah yang relatif tinggi >2% perlu diturunkan melalui proses esterifikasi dengan bantuan katalis asam ( $H_2SO_4$ ). Menurut Canacki *et al.* (1999) dan Ramadhas *et al.* (2005) minyak dengan kadar FFA tinggi (>2%) tidak dapat secara langsung diproses transesterifikasi, tetapi harus diturunkan kadar FFAnya melalui esterifikasi. Freedman and Pryde (1982); Liu (1994); Mittelbach *et al.* (1992); Wang *et al.* (2001); Chanakci (2003); Wang *et al.* (2006); Tiwari *et al.* (2007) dan Yingying *et al.* (2012) perlu dilakukan reaksi dua tahap yaitu esterifikasi dan transesterifikasi dalam proses produksi biodiesel untuk dapat menghasilkan kadar FAME yang tinggi. Apabila minyak dengan kadar FFA tinggi (>2%) langsung diproses transesterifikasi dengan katalis basa (KOH) akan terbentuk sabun yang dikenal dengan reaksi penyabunan/reaksi *saponifikasi*. Reaksi *saponifikasi* terjadi antara asam lemak bebas (FFA) dengan katalis basa, sehingga efektifitas katalis akan menurun karena sebagian katalis bereaksi dengan asam lemak yang secara tidak langsung akan menurunkan kadar FAME dan mempersulit pemisahan antara FAME dengan gliserol (Gambar 1).



Gambar 1. Reaksi saponifikasi  
(Gerpen and Knothe, 2005)

Esterifikasi dengan katalis asam diperlukan untuk menurunkan kadar FFA sebelum transesterifikasi dilakukan. Kadar FFA dan kadar air yang berlebih secara langsung akan menurunkan kadar FAME 75% jika dilakukan proses transesterifikasi secara langsung (satu proses). Menurut Lee *et al.*, (2002), rendemen transesterifikasi dapat ditingkatkan dari 25 % menjadi 96 % dengan menurunkan kadar FFA minyak jelantah dari 10% menjadi 0,23 %. Secara terperinci mekanisme esterifikasi ditunjukkan oleh Gambar 2.

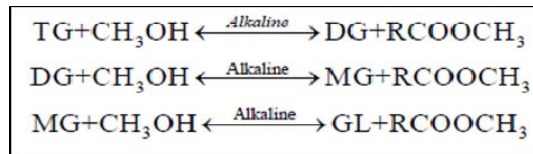
Pada penelitian ini proses esterifikasi dengan bantuan katalis asam ( $H_2SO_4$ ) berlangsung selama 90 menit pada temperatur  $60^\circ C$  dan kecepatan pengadukkan 600

rpm. Setelah proses esterifikasi kadar FFA minyak jelantah menjadi 1,87%, sehingga proses transesterifikasi dapat dilakukan sebagai rangkaian produksi biodiesel.

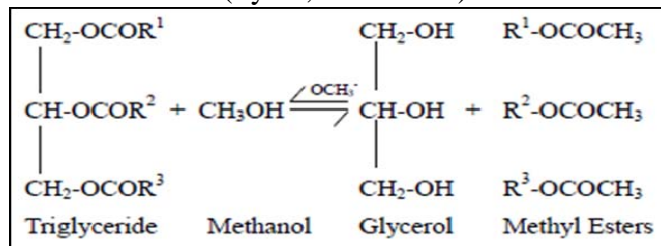


Gambar 2. Reaksi esterifikasi (Gerpen and Knothe, 2005)

Setelah proses esterifikasi dilakukan, selanjutnya dilakukan metanolisis atau yang dikenal dengan proses transesterifikasi. Dalam proses ini terdapat tiga langkah untuk mengkonversi minyak jelantah menjadi biodiesel (Gambar 3). Berdasarkan stoikiometri reaksi, satu mol trigliserida (minyak jelantah) memerlukan tiga mol metanol untuk menghasilkan tiga mol FAME (biodiesel) dan satu mol gliserol seperti yang ditunjukkan di Gambar 4.



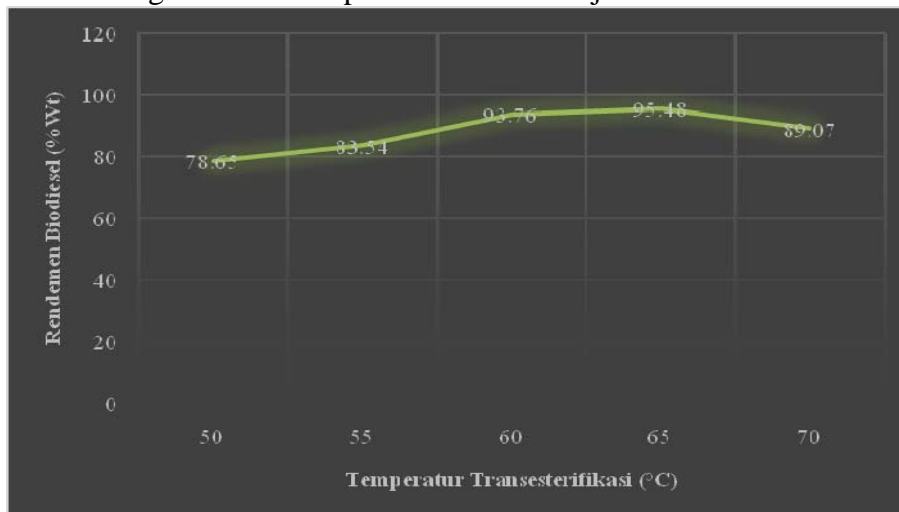
Gambar 3. Tahapan konversi minyak menjadi biodiesel (Syam, et al. 2013)



Gambar 4. Stokiometri reaksi transesterifikasi (Syam, et al. 2013)

**Pengaruh Temperatur Transesterifikasi terhadap Rendemen Biodiesel**

Transesterifikasi pada rangkaian pembuatan biodiesel dilakukan dengan menggunakan 5 variasi temperatur reaksi yang berbeda, yaitu 50°C, 55°C, 60°C, 65°C, dan 70°C. Rendemen biodiesel (dalam %Wt) yang dihasilkan dari proses transesterifikasi dengan variasi temperatur reaksi ditunjukkan oleh Gambar 5.

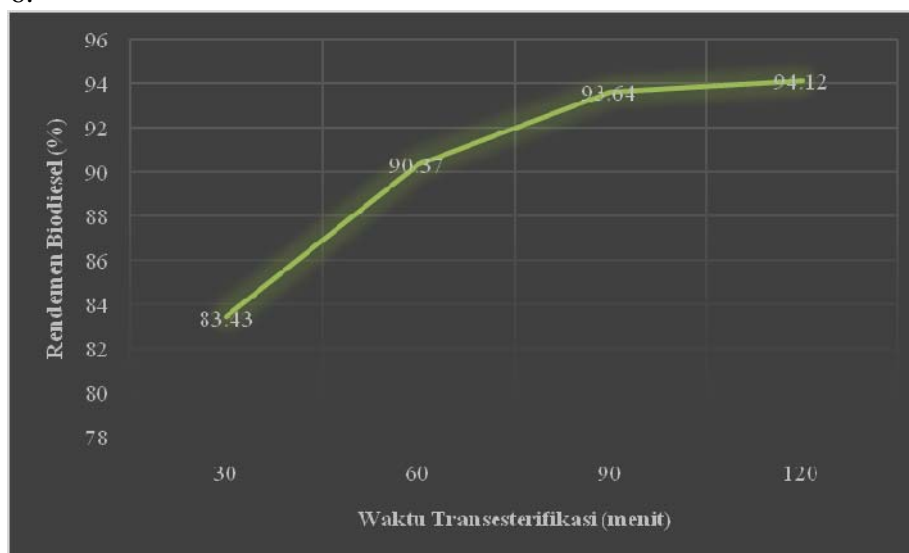


Gambar 5. Pengaruh temperatur transesterifikasi terhadap rendemen biodiesel

Kenaikan jumlah rendemen biodiesel terjadi setiap adanya penambahan temperatur yang digunakan dalam transesterifikasi dan mencapai titik puncaknya pada temperatur 65°C. Setelah melewati temperatur 65°C yang merupakan temperatur titik didih metanol, perlahan-lahan rendemen biodiesel akan menurun yang disebabkan oleh menguapnya kandungan metanol. Penguapan metanol yang terjadi pada titik didihnya akan menghasilkan banyak gelembung metanol yang terbentuk sehingga akan menghambat perpindahan massa pada fase antarmuka (*interface phase*) yang berdampak pada berkurangnya konversi FAME yang terbentuk, (Zabeti, *et al.* 2009). Penyebab lain adalah bertambahnya kinetika reaksi saponifikasi trigliserida. Mohammed, *et al.* (2013); Wahyuni, dkk (2015); dan Azduwin, *et al.* (2016), juga menyatakan bahwa temperatur transesterifikasi yang direkomendasikan harus dibawah titik didih metanol (<65,5°C) yaitu antara 50°C sampai 60°C.

### Pengaruh Waktu Transesterifikasi terhadap Rendemen Biodiesel

Waktu proses transesterifikasi dilakukan dengan 4 variasi waktu yang berbeda yaitu 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Rendemen biodiesel (dalam %Wt) dihasilkan dari proses transesterifikasi dengan variasi waktu reaksi ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh waktu transesterifikasi terhadap rendemen biodiesel

Kenaikan jumlah rendemen terjadi seiring dengan penambahan waktu reaksi, penambahan waktu transesterifikasi kesempatan molekul-molekul minyak untuk bertumbukan dan mengubah energi kinetik menjadi energi potensial. Pada proses transesterifikasi, 30 menit pertama transesterifikasi menghasilkan jumlah rendemen 80%, setelah 60 menit transesterifikasi menghasilkan rendemen biodiesel sebesar 90%, sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Refaat, *et al.* (2008); Majid, dkk (201); dan Gashaw and Teshita (2014).

### KESIMPULAN

Produksi biodiesel minyak jelantah dilakukan melalui dua proses, esterifikasi dengan katalis asam dan transesterifikasi dengan katalis basa. Penggunaan dua proses tersebut bergantung pada kadar *free fatty acid* (FFA) yang terkandung dalam minyak jelantah. Minyak dengan kadar FFA >2% diwajibkan menggunakan dua proses (esterifikasi dan transesterifikasi) dalam produksi biodiesel. Dua faktor yang paling berpengaruh terhadap kualitas dan kuantitas biodiesel adalah temperatur dan waktu

transesterifikasi. Jumlah rendemen biodiesel yang dihasilkan pada 30 menit transesterifikasi mencapai 80% dan 60 menit mencapai 90%. Temperatur transesterifikasi paling optimal antara 60°C sampai 65°C.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anastropoulos, George; Zanniku, Ypatia; Stounas, Stamoulis; and Kalligeros, Stamatis. 2009. *Transesterification of vegetable oil with ethanol and characterization of the key fuel properties of ethyl esters*. *Energies* 2009,2,p:362-376.
- Azduwin, K.; Najeeb, A.K.; Ridzuan, M.J.M.; and Zarina, Z. 2006. *Transesterification of waste frying oil (WFO) over dolomite as catalyst*. *Journal of Engineering and Applied Science* Vol.11, No.3, p:1681-1686.
- Banani, Ridha; Yousef, Snoussi; Bezzarga, Mounir; and Abderrabba, Manef. 2015. *Waste frying oil with high level of free fatty acids as one of the prominent sources of biodiesel production*. *J. Matter Environ. Sci.* 6(4),P:178-1185.
- Bourmesbah, I.; Sadouk, Z. Hachaichi; and Tazerouti, A. 2014. *Biodiesel production from waste frying oil and determination of fuel properties*. *Reveu des Energies Renouvelables SIENR'14*, p:109-113.
- BPS RI. 2016. *Neraca energi Indonesia 2011-2015*. <https://www.bps.go.id/index.php/publikasi/4361>, tanggal akses 20 Februari 2017.
- Canakci, M. 2007. *The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstock*. *Bioresour. Technol*,98,p:183-190.
- Canaki, M. And Van, Gerpen JH. 1999. *Biodiesel production via acid catalysis*. *Trans.of ASAE* 42(5),p:1203-1210.
- Chanacki, M. 2001. *A pilot plant to produce biodiesel from high free fatty acid feedstock*. ASAE Paper No.01-6049St. Joseph, Mich: ASAE, p:1-19.
- Darmanto, S. dan Ireng, S.A. 2006. *Analisa biodiesel minyak kelapa sebagai bahan bakar alternatif minyak diesel*. *Traksi* Vol.4,No.2,hal:64-72
- Darmawan; Indra, Fery; dan Susila, I Wayan. 2013. *Proses produksi biodiesel dari minyak jelantah dengan metode pencucian dry-wash*. *Sistem, JTM*Vol.2,No.1,hal:80-87.
- Darnoko, D. Dan Cheryan, M. 2000. *Kinetics of palm oil transesterification in batch reactor*. *Journal American Oil Chem.Soc.*77, p:1263-1267.
- F. Guerrero, Carola A.; Romero, Andreas, G.; and Sierra, Fabio E. 2011. *Biodiesel production from waste cooking oil: in biodiesel-feedstocks and processing technologies*. Dr. Margarita Stoytcheva (Ed). In Tech. Rijeka, Croatia, P: 1-44.
- Ferlizardo, P.; N.C.M. Joana; I. Raposo; J.F. Mendes; R. Berkemeier, and J.M. Bordado. 2006. *Production of biodiesel from waste frying oil*. *Waste Manage*,26;p:487-494.
- Freedman, B. And E.H. Pryde. 1982. *Fatty esters from vegetable oil for use as a diesel fuel*. In *vegetable oil fuels*. Proc. Int. Conf. On Plant and Vegetable Oil as fuel. Fargo N.D. 2-4 August 1982, St. Joseph, Mich: ASAE, p:117-122.
- Freedman,B.;R.O. Butterfield; and E.H. Pryde. 1986. *Transesterification kinetics of soybean oil*. *JAOCS* 63(10), p:1375-1380.
- Gashew, Alemayehu and Teshita, Abile. 2014. *Production of biodiesel from waste cooking oil and factors affecting its formation: a review*. *International Journal of Renewable and Sustainable Energy* 3 (5), p:92-98.
- Gui, M.M.; R.t. Lee; and S. Bhatia. 2008. *Feasibility of edible oil vs non-edible oil as biodiesel feedstock*. *Energy*,33,p:1646-1653.



- Haas, M.J and T.A, Foglia. 2005. Alternate feedstocks and technologies for biodiesel production. In the biodiesel handbook, Knothe G., J.V. Gerpen and J. Krahl (Eds). AOCS Press. Urbana, Illinois, p:42-61.
- Halim, S.F.A.; A.H. Kamaruddin; and W.J.N. Fernando. 2009. *Continuous biosynthesis of biodiesel from waste cooking palm oil in packed bed reactor: optimization using response surface methodology (RSM) and mass transfer studies*. Bioresour. Technol, 100, p:710-716.
- Hambali, E.; Mujdalipah, S.; Tambunan, A.H.; Pattiwiri, A.W.; dan Hendroko, R. 2008. *Teknologi bioenergi*. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Jayuranon, P. and Wongsapai, W. 2008. *Biodiesel technology and management from used cooking oil in Thailand*. RE&PQJ Vol. 1, No.6, p:227-231.
- Juan Qi, Jing; Qing Lin, Jin; and Quan Fu, Hong. 2016. *One step production of biodiesel from waste cooking oil catalysed by SO<sub>3</sub>H-functionalized quaternary ammonium ionic liquid*. Current Science Vol.110, No.11; p:2129-2134.
- Kuncahyo, Priyohadi; Fathallah, Aguk Zuhdi M.; dan Semin. 2013. *Analisa prediksi potensi bahan baku biodiesel sebagai suplemen bahan bakar motor diesel di Indonesia*. Jurnal Teknik PomITS Vol.2, No.1, hal:62-66.
- Lee, K.; T. Foglia; and K.S. Chang. 2002. *Production of alkyl ester as biodiesel from fractionated lard and restaurant grease*. J. Am. Oil Chem. Soc., 79, p:191-195.
- Leung, D.Y.C. and Guo, Y. 2006. *Transesterification of neat and used frying oil: optimization for biodiesel production*. Fuel processing technology, 87, p:883-890.
- Liu, K. 1994. *Preparation of fatty acid methyl ester for gas chromatographic analysis of lipid in biological materials*. JAOCS 71(11), p:1179-1187.
- Meng, X.; Chen, G.; and Wang, Y. 2008. *Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test*. Fuel Processing Technology Vol.89, p:851-857.
- Mittelbatch, M.; B. Pokits; and A. Siberholtz. 1992. *Production and fuel properties of fatty acid methyl ester from used frying oil. In liquid fuel from renewable resources*. Proc. of An Alternative Energy Conference, St. Joseph, Mich: ASAE, p:74-78.
- Omar, W.N.N.; N. Nordin; M. Mohamed; and N.A.S. Amir. 2009. *A two step biodiesel production from waste cooking oil: optimization of pretreatment step*. Journal of Applied Sciences 9(17), p:3098-3103.
- Pahn, A.N and T.M. Pahn. 2008. *Biodiesel from waste cooking oil*. Fuel, 87, p:3490-3496.
- Raqeeb, Mohammed Abdul and R. Bhargavi. 2015. *Biodiesel production from waste cooking oil*. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research 7(12), p:670-681.
- Refaat, A. A.; Attia, N. K.; Sibak, H. A.; El Sheltawy, S. T.; dan El Diwani, G. I. 2008. *Production optimization and quality assesment of biodiesel from waste vegetable oil*. International Journal of Environmental Science and Technology, Vol.5(1), p:75-82.
- Shi, H. And Bao, Z. 2008. *Direct preparation of biodiesel from rapeseed oil leaced by two phase solvent extraction*. Bioresource Technology Vol.99; p:9025-9028.
- Suirta, I.W. 2009. *Preparasi biodiesel dari minyak jelantah kelapa sawit*. Jurnal Kimia Vol.3. No.1, hal:1-6.
- Syam, Azhari Muhammad; Maulinda, Leni; Ibrahim, Ishak; and Muhammad, Syafari. 2013. *Waste frying oils based biodiesel: process and fuel properties*. Smart Grid and Renewable Energy, 4, p:281-286.

- Tiwari, Kumar Alok.; Kumar, Akhilesh; and Rehemam; Hifjur. 2007. *Diesel production from jatopha oil (Jatropha curcas) with high free fatty acid: an optimized process*. Biomass and Bioenergy, 31,P;569-575.
- Wahyuni, Silviria; Ramli; dan Mahrizal. 2015. *Pengaruh suhu proses dan lama pengendapan terhadap kualitas biodiesel dari minyak jelantah*. Pillar of Physics Vol.6, hal:33-40.
- Wahyuni, Sri; Kadarwati, Sri; dan Latifah. 2011. *Sintesis biodiesel dari minyak jelantah sebagai sumber energi alternatif pengganti solar*. Sainteknol Vol.9, No.1, hal:51-62.
- Wang, J.; Ge, X.; Wang, Z.; and Jin, Y. 2001. *Experimental studies on the catalytic distillation for hydrolisis of methyl acetate*. Chem. Eng. Technol. 24(2);p:155-159.
- Wang, Y.; Ou, S.; Liu, P.; Yue, F.; and Tang, S. 2006. *Comparision of two differnt process to synthesis biodiesel by waste cooking oil*. Mol. Catal. A:Chem 252, p:107-112.
- Wang, Yong; Ou, Shiyi; Liu, Pengzhan; and Zhang, Zhisen. 2007. *Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed process*. Energy Conversion and Management Vol.48 Issue1;p:184-188.
- Yingying, Liu; Houfang, Lu; Wei, Jiang; Dongsheng, Li; Shije, Liu; and Bin, Liang. 2012. *Biodiesel production from crude Jatropha curcas L. oil with trace acid catalyst*. Energy Resources and Environmental Technology, Chinese Journal of Chemical Engineering 20(4),p:740-746.
- Zebani, M.; Wan, Daud W.M.A and Aroua, M.K. 2009. *Activity of solid catalysts for biodiesel production: a review*. Fuel processing technology 90,p:770-777.
- Zhang, Y.; Dube, M.A.; McLean, D.D.; and Kates, M.2003. *Biodiesel production from waste cooking oil 1: process design and technological assessment*. Bioresource Technology Vol.89, p:1-16.