

## Perengkahan Metil Ester dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

*Cracking of Methyl Esters from Waste Cooking Oil with Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalyst*

Junety Monde<sup>1\*</sup>), Prapti Ira Kumalasari<sup>1)</sup>, Kevin Nugroho<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan, Program Studi Teknik Pengolahan Migas

\*email: junetymonde@gmail.com

*Received: 29/11/19; Revised: 29/12/19; Accepted: 29/12/19*

### Abstrak

Konsumsi minyak goreng di Indonesia meningkat setiap tahunnya. Penggunaan minyak goreng secara berulang menyebabkan penurunan kualitas mutu. Limbah minyak goreng yang dibuang ke perairan dapat menyebabkan rusaknya ekosistem perairan karena akan menutupi permukaan air sehingga sinar matahari tidak bisa masuk secara maksimal yang menyebabkan meningkatnya nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) serta *Biological Oxygen Demand* (BOD). Katalis logam memiliki tingkat sisi aktif yang tinggi dibandingkan dengan katalis lainnya. Penelitian ini melakukan perengkahan metil ester minyak jelantah menggunakan katalis Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah transesterifikasi pada suhu 55 °C dan perengkahan dengan variasi konsentrasi katalis 0,6%, 0,7%, 0,8% dan 0,9% berat minyak dalam 500 mL minyak jelantah pada suhu 55 °C. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dari biofuel yang dihasilkan dari perengkahan melalui analisa angka asam, angka penyabunan angka iodin dan *flash point*. Hasil penelitian diperoleh nilai terbaik pada konsentrasi katalis 0,9% dengan kandungan asam lemak bebas 0,0014 mgKOH/g FFA, nilai *flash point* 165,5 °C dan angka iodin 2,79 (massa/massa) serta angka penyabunan sebesar 5,3 mg KOH/g.

**Kata kunci:** katalis Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, metil ester, minyak jelantah, perengkahan

### Abstract

*Cooking oil consumption in Indonesia increases every year. Repeated use of cooking oil causes a decrease in quality. Waste cooking oil that is discharged into the waters can cause damage to the aquatic ecosystem because it will cover the surface of the water so that sunlight cannot enter optimally which causes an increase in the value of Chemical Oxygen Demand (COD) and Biological Oxygen Demand (BOD). Metal catalysts have an active side level which is high compared to other catalysts. In this study cracking of methyl esters of used cooking oil using a Pt / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst. The method used in this study was transesterification at 55 °C and cracking with varying catalyst concentrations of 0.6%, 0.7%, 0.8% and 0.9% by weight of oil in 500mL of used cooking oil at 55 °C. The purpose of this study was to determine the characteristics of biofuels produced from cracking through the analysis of acid numbers, iodine compilation rates and flash points. The best results were obtained at a catalyst concentration of 0.9% with a free fatty acid content of 0.0014 mgKOH / g FFA, a flash point value of 165.5 °C and an iodine number of 2.79 (mass / mass) and a saponification rate of 5.3 mg KOH / g.*

**Keywords:** cracking, methyl ester, Pt / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst, waste cooking oil

## Perengkahan Metil Ester dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Pt/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### PENDAHULUAN

Produksi minyak goreng di Indonesia banyak bersumber dari kelapa sawit maupun kelapa, pada tahun 2005 Indonesia merupakan negara produksi minyak sawit terbesar di dunia dengan jumlah produksi 15,0 juta ton dan meningkat pada tahun 2007 dengan jumlah produksi 17,0 juta ton, mengalahkan Malaysia yang jumlah produksinya hanya 14,8 juta ton pada 2005 dan 15,7 juta ton pada 2007 (Santosa, 2008). Tahun 2050 Indonesia memiliki potensi produksi minyak sawit sekitar 130 juta ton hingga 176 juta ton (Afriyanti *dkk.*, 2016).

Minyak goreng memiliki banyak manfaat, diantaranya sebagai medium penghantar panas, menambah rasa gurih, menambah nilai gizi dan kalori dalam bahan pangan. Penggunaan minyak goreng secara berulang menyebabkan penurunan kualitas mutu. Hal ini disebabkan berbagai reaksi yang terjadi saat proses penggorengan. Kerusakan yang terjadi secara fisik, seperti perubahan warna dan bau menjadi tengik. Kerusakan secara kimia terjadi pada struktur minyak yang awalnya pada minyak banyak terdapat struktur asam tak jenuh menjadi asam lemak jenuh (Ketaren, 1986). Limbah minyak goreng yang dibuang ke perairan dapat menyebabkan rusaknya ekosistem perairan. Minyak yang dibuang diperairan akan menutupi permukaan air sehingga sinar matahari tidak bisa masuk secara maksimal yang menyebabkan meningkatnya nilai *Chemical Oxygen Demind* (COD) serta *Biological Oxygen Demind* (BOD).

Minyak goreng atau minyak nabati memiliki potensi yang besar untuk digunakan sebagai biodiesel (Prasetyo *dkk.*, 2018). Minyak goreng mengandung beberapa asam lemak yaitu asam *miristat*

(0,9%), asam *palmitat* (20,4%), asam *Palmitoleat* (4,6%), asam *stereat* (4,8%), asam *oleat* (52,9%), asam *Linoleat* (13,5%), asam *linolenic* (0,8%), asam *arachidic* (0,12%), asam *eicosenic* (0,84%), asam *behenic* (0,03%), asam *erucic* (0,07%), asam *tetracosanic* (0,04%) (Leung & Guo, 2006). Namun dalam penggunaannya minyak jelantah tidak dapat diterapkan langsung tetapi harus melewati beberapa proses dikarenakan adanya asam lemak bebas, viskositas yang tinggi yaitu 11-17 kali lebih besar dibandingkan *petroleum diesel*, dan *volatility* yang rendah. Hal tersebut menyebabkan pembakaran tidak sempurna, sehingga diperlukannya metode transesterifikasi untuk menurunkan viskositas dan menghilangkan asam lemak bebasnya (Hidayati *dkk.*, 2017).

Katalis merupakan zat yang dapat meningkatkan laju reaksi dan setelah selesai akan terbentuk kembali dalam kondisi tetap. katalis ikut dalam reaksi dan memberikan mekanisme baru dengan energi pengaktifan yang lebih rendah dibanding energi pengaktifan tanpa katalis. Katalis heterogen memiliki kelebihan yaitu lebih mudah dipisahkan dari produk dan dapat digunakan kembali (regenerasi). Salah satu katalis heterogen yang paling umum digunakan adalah katalis logam karena memiliki tingkat sisi aktif yang tinggi. Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Anderson *dkk.* (1961). Selain itu, O'Connell *dkk.* (2009) menunjukkan bahwa katalis yang terdiri dari satu logam saja memiliki sisi aktif yang rendah dibandingkan dengan katalis yang menggunakan dua logam yang sisi aktifnya lebih tinggi. Wako (2018) melakukan penelitian perengkahan minyak jelantah menggunakan katalis ZrO<sub>2</sub>. Hasil penelitian menunjukkan katalis tersebut

**Perengkahan Metil Ester dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Pt/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

mampu menaikkan nilai kalori dari 38,9 MJ/Kg menjadi 40 MJ/Kg. Penelitian ini akan dilakukan perengkahan pada metil ester minyak jelantah menggunakan katalis Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan variasi konsentrasi katalis 0,6%, 0,7%, 0,8% dan 0,9% berat minyak dalam 500 mL minyak jelantah pada suhu 55 °C. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dari biofuel yang dihasilkan dari perengkahan melalui analisa angka asam, angka penyabunan angka iodin dan *flash point*.

**METODE PENELITIAN**

Tahapan pada penelitian ini terdiri atas tahapan transesterifikasi dan tahapan perengkahan. Tahapan transesterifikasi merupakan reaksi konversi minyak jelantah atau asam lemak menjadi alkil ester (Moazeni *dkk.*, 2019). Tahapan awal dimulai dari proses transesterifikasi dengan menuangkan 500 mL minyak jelantah ke dalam gelas kimia berukuran 1000 mL. Selanjutnya, ditambahkan 2,5 gr NaOH dalam metanol 100 mL, dan 5 mL KOH 0,1 N. Hasil dari transesterifikasi berupa metil ester dilanjutkan ke proses perengkahan menggunakan katalis Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan variasi konsentrasi katalis 0,6 %wt, 0,7%wt, 0,8%wt dan 0,9%wt. Kedua tahapan ini dilakukan dalam kondisi operasi pada suhu 55 °C, dan dalam waktu 90 menit, serta pada putaran 500 rpm.

**Penentuan Bilangan Asam (Arshad *dkk.*, 2018)**

Sebanyak 5 gram minyak sampel dituangkan ke dalam labu erlenmeyer, ditambahkan 50 mL metanol 95% dan 3 tetes indikator fenoftalin. Kemudian larutan tersebut dititrasi dengan KOH 0,1 N. Nilai bilangan asam ditentukan menggunakan rumus :

$$\text{FFA (\%)} = \frac{V_{\text{KOH}} \times N_{\text{KOH}} \times 56,1}{\text{massa sampel}}$$

**Bilangan Penyabunan (Sahar *dkk.*, 2018)**

Sebanyak 5 gram minyak sampel dituangkan ke dalam labu alas bulat, ditambahkan 50 mL KOH 0,5 N beralkohol. Kemudian direfluks selama 60 menit dengan suhu 40 °C. Selanjutnya dititrasi dengan larutan HCl 0,5 N. Bilangan penyabunan didapatkan dengan menggunakan rumus:

**Bilangan penyabunan**

$$= \frac{(\text{Blangko} - \text{Sampel}) \times N_{\text{KOH}} \times 56,1}{\text{massa sampel}}$$

**Flash Point**

Minyak sampel dituangkan ke dalam bejana penampung minyak sampai garis batas yang ditentukan, dinyalakan dan diukur 100 voltase. Kemudian diukur suhu sampai sampel minyak menyala atau terbakar.

**Bilangan Iod (Azeem *dkk.*, 2016)**

Minyak sampel dituangkan ke dalam labu erlenmeyer, ditambahkan kloroform dan larutan hanus. Kemudian digoncang sekitar 30 menit, ditambahkan lagi larutan KI 15% sebanyak 25 ml dan aquades. Selanjutnya dititrasi dengan larutan NaS<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,1 N. Ditambahkan lagi 2 ml indikator amilum dan dititrasi sampai terjadi perubahan warna.

**Bilangan iodin =**

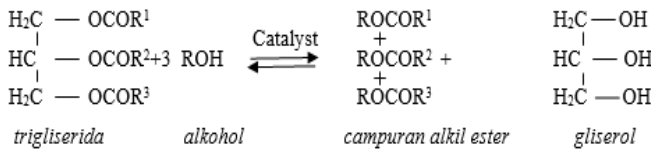
$$\frac{(\text{Blangko} - \text{Sampel}) \times N_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} \times 12,69}{\text{massa sampel}}$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN****Proses Transesterifikasi**

Transesterifikasi adalah suatu reaksi yang menghasilkan ester yang dapat dikategorikan sebagai biodiesel. Proses

**Perengkahan Metil Ester dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Pt/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

transesterifikasi sering direaksikan dengan katalis basa atau asam. fungsi penambahan katalis basa untuk menghilangkan proton dari gugus alkohol yang membuatnya lebih reaktif, sedangkan katalis asam berfungsi sebaliknya yaitu menyumbangkan proton ke gugus karbon yang membuatnya lebih reaktif (Schuchardt *dkk.*, 1998).



**Gambar 1.** Reaksi Transesterifikasi

Pada Gambar 1 menjelaskan reaksi transesterifikasi, dimana minyak jelantah (trigliserida) direaksikan dengan metanol

dengan bantuan katalis KOH dan NaOH untuk menghasilkan alkil ester, dengan produk samping berupa gliserol.

**Proses Catalyst Cracking**

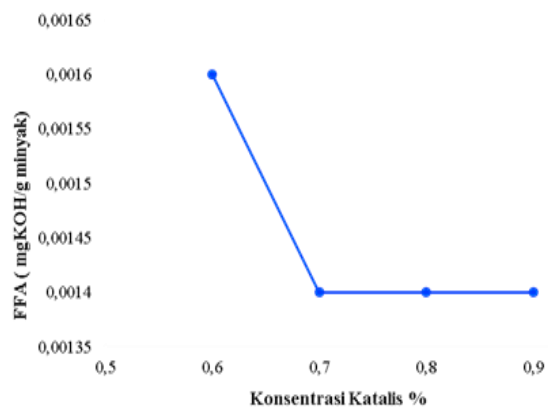
*Catalyst cracking* atau perengkahan katalis adalah cara untuk memecah hidrokarbon atau ikatan rantai C yang panjang menjadi molekul yang lebih sederhana untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas produk serta menurunkan jumlah residu yang dihasilkan (Buchori & Widayat, 2007). Pada proses ini menggunakan katalis Pt/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan variasi konsentrasi 0,6%, 0,7%, 0,8%, dan 0,9%, dalam waktu 90 menit dengan suhu 55 °C dan pada pengadukan 500 rpm. Hasil transesterifikasi dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Analisa Minyak Jelantah dan Hasil Transesterifikasi

Parameter	Satuan	Minyak Jelantah	Hasil Transesterifikasi	Konsentrasi Katalis			
				0,60%	0,70%	0,80%	0,90%
Flash point	°C	315,5	179,4	168,3	165,5	165,5	165,5
Angka asam	MgKOH/g minyak	0,002	0,0014	0,0016	0,0014	0,0014	0,0014
Angka penyabunan	mg KOH/g	5,37	5,1	6,1	6	5,7	5,3
Bilangan iod	g I <sub>2</sub> /g minyak	2,5	2,08	3,68	4	2,79	2,79

**Pengaruh Konsentrasi Katalis terhadap % FFA**

Tingginya kadar asam lemak bebas (FFA) minyak dalam proses pembuatan biodiesel menyebabkan terjadinya reaksi penyabunan. Hal ini mengakibatkan menurunnya nilai dari FAME (*fatty acid methyl ester*) karena sabun yang dihasilkan mengganggu reaksi dari proses pemurnian biodiesel (Aziz, 2007).



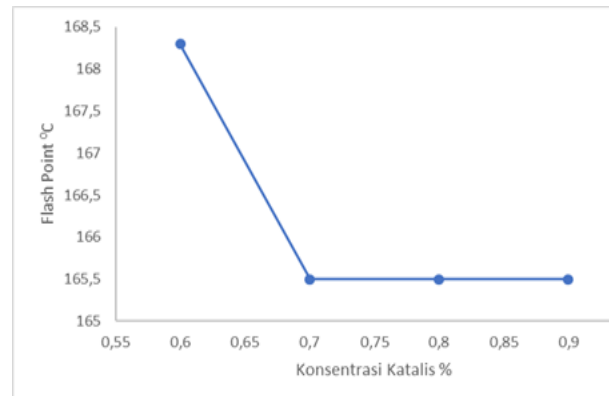
**Gambar 2.** Hubungan Konsentrasi Katalis Terhadap % FFA

## Perengkahan Metil Ester dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Pt/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Konsentrasi katalis dalam perengkahan metil ester minyak jelantah memberikan pengaruh yang sangat penting seperti terlihat pada Gambar 2. Nilai persen FFA turun dengan bertambahnya konsentrasi katalis Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Hal ini dikarenakan semakin tinggi konsentrasi katalis akan mempengaruhi panjang rantai metil ester, semakin pendek panjang rantai dari metil ester akan menyebabkan asam lemak bebas semakin kecil. Pada konsentrasi katalis 0,6%, 0,7%, 0,8%, dan 0,9% diperoleh nilai persen FFA 0,0016 mg/g, 0,0014 mg/g, 0,0014 mg/g dan 0,0014 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi katalis maka nilai persen FFA mengalami penurunan. Nilai FFA yang dihasilkan sudah memenuhi spesifikasi SNI 7182:2015 yaitu maksimal 0,5 mgKOH/g (Standar Nasional Indonesia, 2015).

**Pengaruh Konsentrasi Katalis terhadap Nilai *Flash Point*** Titik nyala atau *flash point* merupakan nilai yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak untuk terbakar saat permukaan minyak tersebut didekatkan pada sumber api (Risnoyatiningsih, 2010). Gambar 3 menunjukkan bagaimana hubungan konsentrasi katalis terhadap nilai *flash point*, ketika konsentrasi katalis bertambah maka nilai *flash point* semakin turun. Hal ini dikarenakan konsentrasi katalis mempengaruhi panjang rantai dari metil ester minyak jelantah yang dihasilkan, semakin panjang rantai karbon maka titik nyala akan semakin besar. Pada konsentrasi katalis 0,6%, 0,7%, 0,8%, dan 0,9% diperoleh nilai *flash point* 168,3 °C, 165,5 °C, 165,5 °C dan 165,5 °C. Nilai *flash point* yang dihasilkan sudah memenuhi spesifikasi SNI SNI 7182:2015

yaitu minimal 100 °C (Standar Nasional Indonesia, 2015).



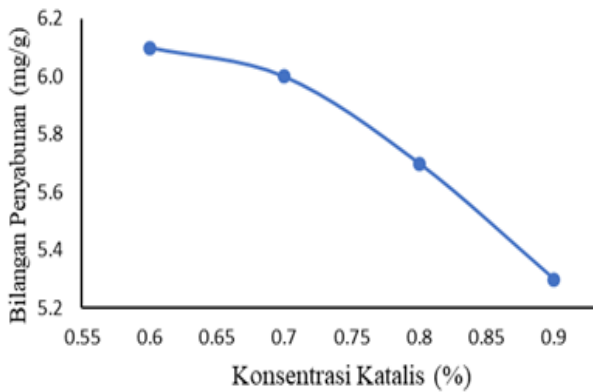
**Gambar 3.** Hubungan Konsentrasi Katalis Terhadap Nilai *Flash Point*

### Pengaruh Konsentrasi Katalis Terhadap Bilangan Penyabunan

Nilai dari bilangan penyabunan bergantung pada panjang atau pendeknya rantai karbon suatu minyak atau asam lemak, dan dapat dikatakan nilai dari bilangan penyabunan bergantung pada berat molekul suatu sampel dan nilainya berbanding terbalik. Semakin besar bilangan penyabunan menunjukkan semakin kecil berat molekul suatu minyak (Ketaren, 1986). Pada Gambar 4 dapat dilihat semakin bertambah konsentrasi katalis maka nilai angka penyabunan semakin kecil yaitu pada konsentrasi katalis 0,6%, 0,7%, 0,8%, dan 0,9% diperoleh nilai angka penyabunan 6,1 mg KOH/g, 6 mg KOH/g, 5,7 mg KOH/g dan 5,3 mg KOH/g. Nilai angka penyabunan yang dihasilkan sudah memenuhi spesifikasi standar ASTM D6751-02,2002 yaitu minimal 312 mg KOH/g.



**Perengkahan Metil Ester dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Pt/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**



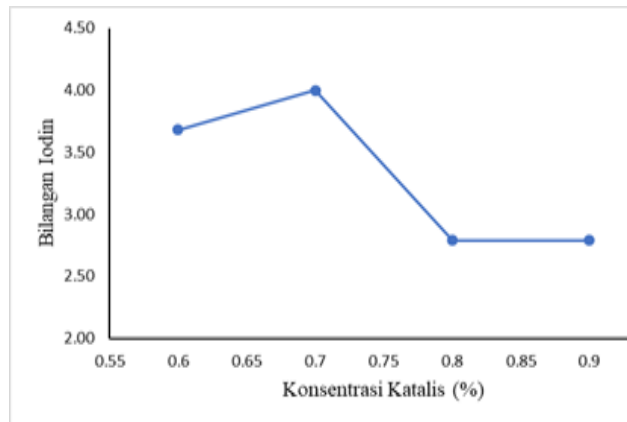
**Gambar 4.** Hubungan Konsentrasi Katalis Terhadap Bilangan Penyabunan

**Pengaruh Konsentrasi Katalis Terhadap Bilangan Iod**

Angka iodin pada biodiesel menunjukkan tingkat ketidakjenuhan senyawa penyusun biodiesel. Keberadaan senyawa tak jenuh meningkatkan performansi biodiesel pada temperatur rendah karena senyawa ini memiliki titik leleh (*melting point*) yang lebih rendah sehingga berkorelasi pada *cloud* dan *pour point* yang juga rendah (Knothe, 2005). Namun di sisi lain banyak senyawa lemak tak jenuh di dalam biodiesel memudahkan senyawa itu bereaksi dengan oksigen di atmosfer (Azam dkk., 2005). Naiknya angka derajat iodin menunjukkan ketidakjenuhan minyak atau asam lemak, yang berarti jika angka derajat iodin turun menunjukkan bahwa minyak atau asam lemak bersifat jenuh.

Pada Gambar 5 menunjukkan semakin bertambah konsentrasi katalis maka nilai angka iodin semakin kecil yaitu Pada konsentrasi katalis 0,6%, 0,7%, 0,8%, dan 0,9% diperoleh nilai angka iodin 3,68 (massa/massa), 4 (massa/massa), 2,79 (massa/massa), dan 2,79 (massa/massa). Batasan maksimal harga iodin yang diperbolehkan untuk biodiesel yaitu lebih rendah dari 115 massa/massa minyak

berdasarkan standard SNI Biodiesel 7182:2015 (Standar Nasional Indonesia, 2015).



**Gambar 5.** Hubungan Konsentrasi Katalis Terhadap Bilangan Iodin

**KESIMPULAN**

Semakin tinggi konsentrasi katalis dalam perengkahan metil ester minyak jelantah memberi pengaruh pada % FFA, nilai *flash point*, penyabunan dan angka iodin. Nilai terbaik diperoleh pada konsentrasi katalis 0,9% dengan kandungan asam lemak bebas 0,0014% FFA, nilai *flash point* 165,5 °C dan Angka iodin 2,79 (massa/massa) dan angka penyabunan 5,3 mg KOH/g

**DAFTAR RUJUKAN**

Afriyanti, D., Kroeze, C. & Saad, A. (2016). Indonesia palm oil production without deforestation and peat conversion by 2050, *Science of the Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.032.

Anderson, R. B., Stein, K. C., Feenan, J. J., Hofer, L. J. (1961). Catalytic Oxidation of Methane, U. S.

Arshad, M., Bano, I., Khan, N., Shahzad, M. I., Younus, M., Abbas, M., Iqbal, M. (2018). Electricity generation from biogas of poultry waste: An assessment of potential and feasibility in Pakistan, *Renewable*

**Perengkahan Metil Ester dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Pt/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

- and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 81(September), pp. 1241–1246. doi: 10.1016/j.rser.2017.09.007.
- Azam, M. M., Waris, A. & Nahar, N. M. (2005). Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India, *Biomass and Bioenergy*, 29(4), 293–302. doi: 10.1016/j.biombioe.2005.05.001.
- Azeem, M. W., Hanif, M. A., Al-Sabahi, J. N., Khan, A. A., Naz, S., Ijaz, A. (2016). Production of biodiesel from low priced, renewable and abundant date seed oil, *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 86, 124–132. doi: 10.1016/j.renene.2015.08.006.
- Aziz, I. (2007). Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas, *Jurnal Kimia VALENSI*. doi: 10.15408/jkv.v1i1.209.
- Buchori, L. & Widayat. (2007). Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas Dengan Proses Catalytic Cracking, *Teknik*, 28(2), 83–93.
- Hidayati, N., Ariyanto, T. S., & Septiawan, H. (2017). Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas menjadi Biodiesel dengan Katalis Kalsium Oksida, *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1), 1–5.
- Ketaren, S. (1986). Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan, *Universitas Indonesia Press*, (2), pp. 30–36.
- Knothe, G. (2005). Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters, *Fuel Processing Technology*, 86(10), 1059–1070. doi: 10.1016/j.fuproc.2004.11.002.
- Leung, D. Y. C. & Guo, Y. (2006). Transesterification of neat and used frying oil: Optimization for biodiesel production, *Fuel Processing Technology*. doi: 10.1016/j.fuproc.2006.06.003.
- Moazeni, F., Chen, Y. C. & Zhang, G. (2019). Enzymatic transesterification for biodiesel production from used cooking oil, a review, *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 216, pp. 117–128. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.181.
- O’Connell, M., Kolb, G., Zapf, R., Men, Y., & Hessel, V. (2009). Bimetallic catalysts for the catalytic combustion of methane using microreactor technology, *Catalysis Today*, 14(3-4), 306-311. doi: 10.1016/j.cattod.2008.10.053.
- Prasetyo, J. (2018). Studi Pemanfaatan Minyak Jelantah Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel, *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*, 2(2), 1–10.
- Risnoyatingsih, S. (2010). Biodiesel From Avocado Seeds By Transesterification Process, *Jurnal Teknik Kimia*, 5(1), 345–351.
- Sahar, Sadaf, S., Iqbal, J., Ullah, I., Bhatti, H. N., Nouren, S., Habib-ur-Rehman, Nisar, J., Iqbal, M. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel, *Sustainable Cities and Society*. Elsevier, 41(May), 41, pp. 220–226. doi: 10.1016/j.scs.2018.05.037.
- Santosa, S. J. (2008). Palm oil boom in Indonesia: From plantation to downstream products and biodiesel, *Clean - Soil, Air, Water*. doi: 10.1002/clen.200800039.
- Schuchardt, U., Sercheli, R., & Matheus, R. (1998). Transesterification of vegetable oils: a review general aspects of transesterification, *J. Braz.*

*Chem. Soc.*, 9(1), 199–210. doi:  
10.1590/S0103-  
50531998000300002.

Standar Nasional Indonesia. (2015). SNI  
7182:2015.

Wako, F. M., Reshad, A. S., Bhalerao, M.  
S., & Goud, V. V. (2018). Catalytic  
cracking of waste cooking oil for  
biofuel production using zirconium  
oxide catalyst, *Industrial Crops and  
Products*, 118, 282-289. doi:  
10.1016/j.indcrop.2018.03.057.