

# TRANSESTERIFIKASI MINYAK SAWIT *OFF-GRADE* MENJADI BIODIESEL MENGGUNAKAN KATALIS CaO YANG DIIMPREGNASI DENGAN LIMBAH SERBUK BESI

Muhammad Rahman<sup>1</sup>, Zuchra Helwani<sup>2</sup>, Edy Saputra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia S1, <sup>2</sup> Dosen Jurusan Teknik Kimia,  
Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293  
*Mamanr4hman14@yahoo.com*

## ABSTRACT

*Off-grade oil is a raw material for biodiesel that has ALB levels > 2% so that the production of biodiesel made by two stage reaction, the esterification and transesterification. In general, biodiesel is produced using homogeneous catalysts. Homogeneous catalysts can be replaced by a heterogeneous catalyst. CaO catalyst has a high alkalinity but has shortcomings in the process of separation of the reaction products. Waste iron powder can be used as a support and to provide a catalyst Ca<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>5</sub> metal forming properties. This study aims to create a catalyst that has a high alkalinity and metallic, and study the performance of the catalyst in the transesterification reaction of palm oil off-grade. Esterification process were reacted at 60°C with a mole ratio of oil: methanol of 1:12 and 1% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> catalyst -b. The esterification reaction can reduce levels of ALB from 12.47% to 0.36%. Transesterification is done by varying the mole ratio of oil: methanol in a row is 1: 6, 1: 8 and 1:10, the amount of catalyst modification 1% -b, -b 2%, 3% -b, a reaction temperature of 50°C, 60°C, 70°C, and the reaction time 2 hours. Processing data using Response Surface Area (RSM), the amount of attack using Central Composite Design (CCD). The resulting yield ranging from 23.19% to 52.34%. The highest yield obtained at 70°C with a mole ratio of oil: methanol of 1:10 and the amount of catalyst Ca<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1%-b. Biodiesel characteristics such as density, kinematic viscosity, acid number and flash point are in accordance with the standards of Indonesian biodiesel. The most significant process conditions to yield biodiesel is the ratio of the mole ratio of oil: methanol and the amount of catalyst.*

**Keywords :** *Biodiesel, Catalyst, Off-grade Palm Oi, Transesterification, Wasted Iron*

## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara produsen minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil*) atau CPO terbesar di dunia, dengan produksi pada tahun 2012 mencapai 29,5 juta ton atau 54% dari total produksi CPO di dunia. Oleh karena itu, pemenuhan kebutuhan sawit dunia sangat tergantung pada Indonesia (Kementrian Perindustrian, 2014).

Sawit yang dijadikan produk CPO memiliki standar pengolahan bahan baku

dan dilakukan penyortiran oleh pabrik CPO, sedangkan sawit sisa sortiran pabrik CPO yang terdiri dari buah muda, lewat matang, dan busuk disebut sawit *off-grade* (Arifin, 2009). Pengolahan sawit *off-grade* yang berupa buah muda dan abnormal menghasilkan CPO rendah, sedangkan buah lewat matang dan busuk menghasilkan minyak berkadar asam lemak bebas (ALB) > 5%. Ketersediaan sawit *off-grade* sebagai bahan baku cukup banyak, yaitu sekitar 7-

10% dari sebuah pabrik CPO dengan kapasitas olah 30 ton perjam (Arifin, 2009). Sawit *off-grade* dapat di manfaatkan sebagai bahan baku alternatif pembuatan biodiesel

Dengan menggunakan sawit *off-grade* sebagai alternatif bahan baku pembuatan biodiesel dapat mengurangi biaya produksi karena 60% - 70% biaya produksi biodiesel berasal dari biaya bahan baku walaupun memiliki kadar ALB tinggi (Helwani dkk., 2009a).

Secara umum biodiesel diproduksi melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis homogen (seperti NaOH, KOH, dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Katalis homogen dapat diganti dengan katalis heterogen dengan beberapa kelebihan, diantaranya memiliki stabilitas pada suhu tinggi, permukaan yang hidrofobik dan harganya murah (Loterio dkk., 2005). Selain itu, katalis heterogen mudah diregenerasi, ramah lingkungan, dan tidak bersifat korosif (Guan dkk., 2009). Oleh karena itu, perlu dikembangkan katalis heterogen yang memiliki kinerja yang tinggi dan dapat dipisahkan dengan mudah dalam proses pembuatan biodiesel.

Penggunaan katalis dalam proses produksi biodiesel memiliki peranan yang sangat penting. Pada pembuatan biodiesel, katalis basa heterogen lebih efektif daripada katalis asam dan enzim (Helwani dkk., 2009b). Menurut Sharma dkk (2008) reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel, laju reaksi dengan menggunakan katalis basa 4000 kali lebih cepat dari pada menggunakan katalis asam. Salah satu faktor yang mempengaruhi adalah kebasaaan katalis (Helwani dkk, 2009a).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kouzu dkk. (2008) menggunakan katalis CaO yang berasal dari CaCO<sub>3</sub> dengan kondisi operasi suhu 70°C, rasio mol minyak metanol 1 : 12, jumlah katalis tidak dilampirkan dan kebasaaan katalis 15 < H<sub>2</sub>O < 18,4 didapatkan *yield* 93%. Liu dkk

(2008) menggunakan katalis CaO sintesis didapatkan *yield* biodiesel sebesar 95% dengan kondisi operasi rasio mol minyak metanol 1 : 12, katalis 8%-b minyak, suhu dan waktu reaksi 65°C serta kebasaaan katalis H<sub>2</sub>O > 26,5.

Penggunaan CaO sebagai katalis memang memberikan *yield* yang besar dalam sintesis biodiesel. Namun, gugus oksigen yang ada pada permukaan CaO akan membentuk ikatan hidrogen dengan gliserin sehingga viskositasnya meningkat dan terbentuk suspensi antara CaO dan gliserin sehingga pemisahan katalis dari produk samping tersebut akan menjadi sulit. Oleh karena itu, pemberian support pada katalis CaO dapat mengatasi masalah tersebut (Liu dkk., 2010).

## 2. Metode Penelitian

### Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan yaitu minyak dari sawit *off-grade*, aquades, serbuk besi, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, metanol p.a, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, etanol teknis, asam oksalat, indikator PP dan KOH.

### Alat yang dipakai

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah labu leher tiga 500 ml, *magnetic stirrer*, oven, furnace, hot plate, timbangan analitik, kondenser, *spindle press*, piknometer 10 ml, viskometer Oswald, gelas piala 250 ml, buret, erlenmeyer, pipet tetes, gelas ukur 50 ml, *Cleveland Flash Point Tester*, statif, GC-MS (Kromatografi Gas-Spektrometer Massa), XRD (*X-Ray Diffraction*).

### Prosedur Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan dalam pengerjaannya, yaitu:

#### 1. Pembuatan Katalis Ca<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Katalis yang digunakan merupakan katalis homogen (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) untuk reaksi esterifikasi, sedangkan untuk reaksi transesterifikasi digunakan katalis heterogen

(Ca<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Ca<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>5</sub> disintesis dengan cara impregnasi CaO dengan serbuk besi. Langkah awalnya, serbuk besi dan Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ditimbang dengan persentase berat 55%-b serbuk besi dan 45%-b Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> yang telah ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan ditambahkan aquades. Kondisi proses dilakukan pada temperatur 70°C selama 4 jam. Kemudian, serbuk besi yang telah ditimbang ditambahkan. Setelah 4 jam, proses dihentikan. Hasil dari pencampuran dikeringkan pada suhu 110°C untuk menghilangkan H<sub>2</sub>O dan HNO<sub>3</sub> yang masih tersisa. Setelah itu (Ca(OH)<sub>2</sub> dan serbuk besi) dikalsinasi selama 2 jam pada suhu 850°C (Ho dkk, 2014 ; Liu dkk, 2010). Katalis yang didapatkan akan diuji kebiasaannya menggunakan indikator *phenolptalein* serta komposisi kimianya menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD).

## 2. Reaksi Esterifikasi

Proses esterifikasi dilakukan karena minyak sawit *off-grade* memiliki kadar ALB lebih dari 2 %. Minyak hasil ekstraksi buah sawit *off-grade* ditimbang sebanyak 100 gram dan dimasukkan ke dalam reaktor esterifikasi. Proses dilakukan pada reaktor berpengaduk secara *batch* dan ditempatkan di atas pemanas untuk menjaga suhu reaksi. Setelah suhu reaksi tercapai (60°C), pereaksi metanol dengan rasio mol metanol : minyak 12:1 dan katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1%-b ditambahkan. Kondensor dipasang, pengaduk dinyalakan dan reaksi berlangsung selama 1 jam. Kemudian campuran dipisahkan dalam corong pisah. Lapisan atas berupa katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, air, dan metanol sisa dipisahkan dari lapisan bawah yang akan dilanjutkan ke tahap reaksi transesterifikasi. Sebelum dilanjutkan ke tahap transesterifikasi lapisan bawah ini diperiksa kadar ALB-nya (Budiawan dkk., 2013).

## 3. Reaksi Transesterifikasi

Proses transesterifikasi dilakukan untuk mendapatkan biodiesel dengan mengkonversi trigliserida yang terdapat di dalam minyak sawit *off-grade*. Lapisan bawah pada pemisahan produk hasil reaksi esterifikasi dimasukkan ke dalam reaktor transesterifikasi sebanyak 100 ml, kemudian dipanaskan hingga mencapai suhu reaksi yaitu 50 °C, 60 °C, dan 70°C. Setelah suhu reaksi yang telah ditentukan tercapai, tambahkan pereaksi metanol dengan perbandingan rasio mol metanol : minyak yaitu 6 : 1, 8 : 1, dan 10 :1 dan konsentrasi katalis Ca<sub>2</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>5</sub> yaitu 1%-b, 2%-b, dan 3%-b. Kondensor dipasang dan pengaduk mulai dijalankan. Setelah reaksi berlangsung selama 2 jam, kemudian campuran didinginkan dan katalis dipisahkan dengan menggunakan magnet (Liu dkk., 2010). Filtrat dilanjutkan ke proses pemisahan dan pemurnian biodiesel.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Ekstraksi Sawit *Off-grade*

Biodiesel disintesis menggunakan bahan baku sawit *off-grade* yang telah diekstraksi. Berondolan sawit *off-grade* dikukus terlebih dahulu dengan tujuan untuk melunakkan *mesocarp* buah dan deaktivasi enzim *lipase* sehingga dapat mencegah peningkatan kadar ALB pada minyak yang dihasilkan (Budiawan dkk., 2013).

Minyak sawit *off-grade* dianalisis untuk mengetahui karakteristiknya seperti kadar air dan kadar asam lemak bebas. Analisis karakteristik diperlukan untuk mengetahui perlakuan awal yang dibutuhkan pada proses pembuatan biodiesel. Karakteristik minyak sawit *off-grade* ditampilkan pada Tabel 3.1.

Sawit *off-grade* yang digunakan pada proses pembuatan biodiesel memiliki kadar air dan kadar asam lemak bebas (ALB) yang tinggi. Kadar air yang tinggi dalam minyak menyebabkan terjadinya hidrolisis yang

merupakan salah satu penyebab terbentuknya ALB. Selain itu, air juga dapat bereaksi dengan katalis sehingga akan

menyebabkan jumlah katalis pada reaksi berkurang (Ulfayana dan Helwani, 2014).

**Tabel 3.1.** Karakteristik Minyak Sawit *Off-grade*

No	Karakteristik	Satuan	Nilai
1	Kadar air	%	2,32
2	Kadar asam lemak bebas	%	12,47

### 3.2 Pembuatan dan Uji Karakteristik Katalis

Katalis yang didapatkan dianalisa tingkat kebiasaannya menggunakan indikator Hammet, kemudian uji kristanilitas dengan menggunakan alat X-ray Diffraction (XRD). Analisa kebasaaan dilakukan menggunakan indikator Phenolptalein dengan nilai  $H_+ = 9,3$ . Hasil yang didapatkan terbentuk warna ungu yang sangat pekat. Hal ini menandakan bahwa kebasaaan dari katalis ini  $H_+ > 9,3$  dan membuktikan bahwa katalis yang didapatkan bersifat basa sehingga dapat digunakan pada reaksi transesterifikasi minyak sawit off-grade (Helwani dkk, 2016).

### 3.3 Yield dan Karakteristik Biodiesel

#### 3.3.1 Yield Biodiesel

*Yield* yang dihasilkan berkisar antara 23,19% sampai 52,34%. *Yield* terbesar dihasilkan pada kondisi proses temperatur 70°C dengan perbandingan mol minyak dan metanol 1:10 dan berat katalis 1%-b. Hasil ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan *yield* biodiesel dari katalis  $Ca_2Fe_2O_5$  yang dibuat menggunakan  $CaCl_2$  sebagai prekursor CaO dengan bahan baku minyak kedelai yaitu sebesar 95% (Liu dkk, 2010). Hal ini disebabkan jumlah katalis CaO yang diimpregnasikan dengan limbah serbuk besi kecil. Menurut Liu dkk (2010) jumlah CaO yang diembankan memiliki pengaruh terhadap *yield* yang dihasilkan, jika terlalu sedikit maka sisi aktif dari katalis semakin sedikit sehingga *yield* yang dihasilkan kecil. Prekursor yang digunakan sebesar 45% dari

berat total penggunaan katalis. Jumlah  $Ca^{+2}$  yang diimpregnasikan hanya sebesar 3 gr sehingga perbandingan  $Ca^{+2}$  dengan Fe hanya 1:0,56. Sedangkan Liu dkk (2010) menggunakan perbandingan  $Ca^{+2}$  dengan Fe sebesar 1:7. Selain itu, Liu dkk (2010) menggunakan perbandingan mol minyak dan metanol yang lebih besar yaitu 1:15 sedangkan penelitian ini menggunakan perbandingan mol minyak dan metanol 1:10.

#### 3.3.2 Karakteristik Biodiesel

Karakterisasi biodiesel dibutuhkan untuk membandingkan karakteristik biodiesel yang dihasilkan dengan standar mutu biodiesel Indonesia sehingga dapat digunakan sesuai kebutuhannya. Karakteristik yang dianalisis diantaranya adalah densitas, viskositas kinematik, titik nyala dan angka asam yang ditampilkan pada Tabel 3.2.

Pada Tabel 3.2 dapat dilihat bahwa semua karakteristik biodiesel telah sesuai dengan standar SNI 04-7182-2006. Densitas yang tidak memenuhi standar akan menyebabkan reaksi pembakaran tidak sempurna sehingga dapat meningkatkan emisi dan keausan pada mesin, dan viskositas biodiesel akan mempengaruhi sistem injeksi pada mesin. Titik nyala yang sesuai standar menandakan biodiesel aman dalam proses transportasi dan penyimpanannya. Angka asam yang sesuai standar menandakan biodiesel tidak bersifat korosif (Budiawan dkk.,2013).

### 3.3.3 Desain dan Analisis Model *Yield* Biodiesel

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM). Metode *Response Surface Methodology* (RSM) merupakan

metode yang digunakan untuk melakukan proses optimasi.

Data *yield* biodiesel selanjutnya diolah dengan menggunakan program *Design*

**Tabel 3.2** Karakteristik Biodiesel Hasil Penelitian

No	Karakteristik	Satuan	Biodiesel Hasil Penelitian	Standar SNI 04-7182-2006
1	Densitas	kg/m <sup>3</sup>	857,62	850 – 890
2	Viskositas Kinematik	mm <sup>2</sup> /s	2,31	2,3 – 6,0
3	Titik nyala	°C	135	Min. 100
4	Angka asam	mg-KOH/g-biodiesel	0,215	Maks. 0,8

*Expert 7.0* sehingga diperoleh persamaan orde dua seperti ditampilkan persamaan 3.1.

$$Y = 40,95 + 0,58 X_1 + 2,66 X_2 - 2,55 X_3 + 3,78 X_1^2 + 3,31 X_2^2 - 4,77 X_3^2 - 0,14 X_1X_2 - 2,06 X_1X_3 - 0,31 X_2X_3 \dots(3.1)$$

Yang mana, Y = *Yield* biodiesel (%)

X<sub>1</sub> = Temperatur reaksi (°C)

X<sub>2</sub> = Rasio mol (mol)

X<sub>3</sub> = Konsentrasi katalis (%-b)

### 3.3.4 Pengaruh Kondisi Proses dan Interaksinya terhadap *Yield* Biodiesel

#### a. Pengaruh Kondisi Proses

Berdasarkan hasil pengujian *P-value*, kondisi proses yang memiliki pengaruh signifikan terhadap *yield* biodiesel adalah perbandingan mol minyak:metanol dan jumlah katalis, sedangkan temperatur reaksi tidak memberikan pengaruh yang signifikan. *Yield* terkecil pada perbandingan minyak:metanol sebesar 1:8 temperatur reaksi 60°C dan jumlah katalis 4%-b, sedangkan *yield* terbesar diperoleh pada

perbandingan minyak:metanol sebesar 1:10 temperatur reaksi 70°C dan jumlah katalis 1%-b. Transesterifikasi merupakan reaksi kesetimbangan dibutuhkan tiga mol metanol untuk bereaksi dengan satu mol trigliserida sehingga untuk menghasilkan metil ester berlebih diperlukan alkohol dalam jumlah berlebih yang mendorong reaksi ke arah kanan sehingga konversi yang diperoleh juga akan semakin bertambah (Hambali dkk., 2007).

Ulfayana dan Helwani (2014) menggunakan rasio mol minyak:metanol sebesar 1:8 didapatkan *yield* biodiesel sebesar 87,79%, Sundari (2015) menggunakan rasio minyak : metanol sebesar 1:9 dengan *yield* 88,6% dan Budiawan dkk. (2013) menggunakan rasio mol minyak : metanol 1 : 10 dengan *yield* 83,45%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *yield* biodiesel meningkat dengan bertambahnya perbandingan mol minyak:metanol dan peningkatan maksimum terjadi ketika perbandingan mol sebesar 1:10.

Penambahan jumlah katalis meningkatkan *yield* hingga jumlah katalis

1,5%-b setelah melewati batas tersebut *yield* menurun seiring meningkatnya jumlah katalis yang digunakan. Hal ini disebabkan karena batas optimum dari jumlah katalis telah tercapai sehingga kelebihan katalis hanya akan menurunkan *yield*. Kelebihan katalis menyebabkan terbentuknya sabun dari reaksi antara minyak dengan jumlah katalis yang berlebih sehingga terbentuknya emulsi yang akan mengganggu kontak antar reaktan (Yanti dkk, 2011). Pada proses pemisahan produk reaksi terdapat endapan berwarna putih yang mengindikasikan terbentuknya emulsi pada saat reaksi berlangsung.

Berdasarkan pengujian *P-value*, temperatur reaksi merupakan kondisi proses yang tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap *yield* biodiesel. *Yield* biodiesel tertinggi pada temperatur 70°C sebesar 52,34%.

Huaping dkk (2006) telah mempelajari pengaruh temperatur reaksi menggunakan katalis CaO super basa terhadap *yield* biodiesel dari *Jatropha Curcas Oil* (JCO) dan temperatur 70°C merupakan temperatur reaksi yang tepat karena metanol dalam keadaan mendidih.

#### b. Pengaruh Interaksi Kondisi Proses terhadap *Yield* Biodiesel

Hasil pengujian *P-value* menunjukkan bahwa interaksi antara temperatur dengan jumlah katalis ( $X_1X_3$ ) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield* biodiesel.

### 3.4 Pemisahan Katalis

Katalis  $Ca_2Fe_2O_5$  memiliki sifat dapat ditarik oleh magnet karena adanya kandungan besi. Pada proses pemisahan produk hasil reaksi transesterifikasi, katalis ini dapat dipisahkan dengan magnet sehingga katalis ini tidak membutuhkan proses filtrasi untuk memisahkan katalis dari produk. Berikut ditampilkan pada Gambar 1 proses pemisahan katalis  $Ca_2Fe_2O_5$



**Gambar 1** Pemisahan Katalis  $Ca_2Fe_2O_5$  Menggunakan Magnet

## 4. Kesimpulan

Reaksi esterifikasi pada kondisi operasi suhu 60°C dengan perbandingan mol minyak: metanol 1:12 dan 1%-b katalis  $H_2SO_4$  dapat menurunkan kadar ALB pada minyak sawit *off-grade* dari 12,47 menjadi 0,36%. Hasil XRD menunjukkan bahwa katalis  $Ca_2Fe_2O_5$  dapat dibuat dengan menggunakan limbah serbuk besi dan  $Ca(NO_3)_2$  sebagai prekursor CaO. Reaksi transesterifikasi menghasilkan *yield* biodiesel berkisar 23,19% sampai 52,34%. *Yield* tertinggi didapatkan pada suhu 70°C dengan perbandingan rasio mol minyak:metanol sebesar 1:10 dan jumlah katalis  $Ca_2Fe_2O_5$  1%-b. Hasil pengujian *P-value* menunjukkan bahwa kondisi operasi yang memberikan pengaruh signifikan adalah perbandingan rasio mol minyak : metanol yaitu 1:6, 1:8 dan 1:10 dan jumlah katalis yaitu 1%, 2%, dan 3%. Sedangkan suhu reaksi tidak memberikan pengaruh yang signifikan yaitu 50°C, 60°C, dan 70°C.

## Daftar Pustaka

- Anwar, N. 2011. Pembuatan Magnet Permanen  $Nd_2Fe_{14}B$  Melalui Metode Mechanical Alloying. Skripsi. Program Studi Fisika. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta
- Budiawan, R. Zulfansyah, W. Fatra dan Z. Helwani. 2013. *Off-grade Palm Oil as*

- A Renewable Raw Material for Biodiesel Production By Two-Step Processes. *ChESA Conference*, Banda Aceh, 7, 40 – 50.
- Guan, G., K. Kusakabae, dan S. Yamasaki. 2009. Tri-Potassium Phosphate as A Solid Catalyst for Biodiesel Production from Waste Cooking Oil. *Fuel Processing Technology*, 90, 520-524.
- Hambali, E., S. Mujdalifah, A. Halomoan, Tambunan, A.W. Pattiwiri, dan R. Hendroko. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta. Agromedia.
- Helwani, Z., M. R. Othman, N. Aziz, J Kim dan W. J. N. Fernando. 2009a. Solid Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Triglycerides with Methanol: a Review. *Applied Catalysis A : General*, 369, 1-10.
- Helwani, Z., M. R. Othman, N. Aziz, J Kim, dan W. J. N. Fernando. 2009b. Technologies for Production of Biodiesel Focusing on Green Catalytic Techniques : A Review. *Fuel Processing Technology*, 1-13.
- Ho, W. W. S., Ng, H. K., S. Gan, dan S. H. Tan. 2014. Evaluation of Palm Oil Mill Fly Ash Supported Calcium Oxide as A Heterogeneous Base Catalyst in Biodiesel Synthesis from Crude Palm Oil. *Energy Conversion and Management*, 88, 1167-1178.
- Helwani, Z., N. Aziz, J. Kim, dan M. R. Othman. 2016. Improving The Yield of *Jatropha Curcas*'s FAME Through Sol-Gel Derived Meso-Porous Hydrotalcites. *Renewable Energy*, 86, 68 – 74.
- Huaping, Z., W. Zongbin, C. Yuanxiong, Z. Ping, D. Shijie, L. Xiaohua, dan M. Zongqiang. 2006. Preparation of Biodiesel Catalyzed by Solid Super Base of Calcium Oxide and Its Refining Process. *Chinese Journal of Catalysis*, 27 : 391-396.
- Kementrian Perindustrian. 2014. *Strategi Peran Strategis ISPO Dalam Bisnis Produk Kelapa Sawit*. Jakarta. Institute for Development of Economics and Finance.
- Kouzu, M., T. Kasumo, M. Tajika, Y. Sugimoto, S. Yamanaka dan J. Hidaka . 2008. Calcium Oxide as A Solid Base Catalyst for Transesterification of Soybean Oil and Its Application to Biodiesel Production. *Fuel*, 87, 2798 - 2906.
- Lotero, E., Y. Liu, D. E. Lopez, K. Suwannakarn, D. A. Bruce dan J. G. Goodwin, Jr.. 2005. Synthesis of Biodiesel Via Acid Catalysis. *Ind. Eng. Chem .Res.*, 44, 5353-5363.
- Liu, X., H. He, Y. Wang, S. Zhu dan X. Piao. 2008. Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel Using CaO as A Solid Base Catalyst. *Fuel*, 87, 216 – 221.
- Liu, C., P. Lv, Z. Yuan, F. Yan dan W. Luo. 2010. The Nanometer Magnetic Solid Base Catalyst for Production of Biodiesel. *Renewable Energy*, 357, 1531-1536
- Ulfayana, S dan Z. Helwani. 2014. Natural Zeolite for Transesterification Step Catalyst in Biodiesel Production from Palm Oil Offgrade. *Regional Conference on Chemical Engineering*. Desember. Yogyakarta. 7 : 22.
- Sharma, Y.C., B. Singh, dan S.N. Upadhyay. 2008. Advancements in Development and Characterization of Biodiesel: Review. *Fuel*, 87, 2355-2373.
- Sundari, D., Z. Helwani, dan Drastinawati. 2015. Pemanfaatan Kulit Telur Sebagai Sumber CaO untuk Katalis pada Transesterifikasi Sawit *Off Grade* Menjadi Biodiesel. *Jurnal Online Mahasiswa Universitas Riau*, Vol 2, No. 2. ( ISSN: 2355-6970).

Yanti, P. H., A. Awaluddin, P. Sartika.  
2011. Pembuatan Biodiesel  
Menggunakan Katalis Kalsium Asetat  
yang Dikalsinasi. *Jurnal  
Teknobiologi*, II(2) 20 2011: 113  
(ISSN : 2087 – 5428).