

Penggunaan Katalis CaO dari $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ dengan support Serbuk Besi pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sawit Off-Grade

Ahmad Yuhardi¹, Zuchra Helwani², Edy Saputra²

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia S1, ² Dosen Jurusan Teknik Kimia,
Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
ahmad_yuhardi@yahoo.com

ABSTRACT

Biodiesel is one of renewable energy that formed as liquid fuel and has same property with petrodiesel. Biodiesel is able to besynthesized from off-grade palm oil using CaO/Wasted iron as catalyst in transesterification process. Employing Wasted iron as support in CaO has a good impact due to environmentally friendly, good economic potential and magnetic separation of the catalyst. Biodiesel production in this study aims is to see the influence of reaction temperature, molar ratio of methanol and oil and concentration of CaO/Wasted iron towards biodiesel yield. The process was conducted through reaction of esterification and followed by transesterification reaction. Processing of the data in this study was conducted by response surface methodology (RSM) using Design Expert 7.0 program which is experimental design determined by central composite design (CCD) which consists of three variables. The highest result of biodiesel yield was 67,64% at 70°C reaction temperature, molar ratio of methanol : oil 6 : 1 and catalyst concentration of CaO/Wasted iron 3%-w. Biodiesel characteristics like as density, kinematic viscosity, acid value and flash point has been appropriate by Indonesian biodiesel standard. The most significant process condition affecting the yield of biodiesel was catalyst concentration.

Keywords : *biodiesel, catalyst, off-grade palm oil, transesterification, wasted iron.*

1. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara agraris yang kaya akan minyak atau lemak yang dapat dijadikan sebagai bahan baku biodiesel, seperti minyak mentah sawit (*crude palm oil/CPO*). Produksi CPO di Indonesia pada tahun 2013 mencapai 29,5 juta atau 54% dari total produksi CPO di dunia. Oleh karena itu, Indonesia merupakan salah satu negara produsen CPO terbesar didunia. Meskipun demikian, sebagian besar CPO masih diekspor dalam bentuk mentah, sedangkan permintaan dunia terhadap produk turunan minyak sawit semakin besar (Kementrian Perindustrian, 2014).

Produk CPO memiliki standar pengolahan bahan baku sehingga dilakukan penyortiran sawit oleh pabrik CPO, sawit sisa sortiran pabrik CPO yang terdiri dari buah muda, abnormal, lewat matang, dan busuk disebut sawit *off-grade*. Pengolahan sawit *off-grade* yang berupa buah muda dan abnormal menghasilkan CPO yang sedikit, 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 dimanfaatkan

sebagai bahan baku alternatif pembuatan biodiesel.

Penggunaan sawit *off-grade* sebagai alternatif bahan baku pembuatan biodiesel dapat mengurangi biaya produksi karena 60% - 70% biaya produksi biodiesel berasal dari biaya bahan baku [Helwani dkk., 2009] walaupun memiliki kadar ALB tinggi. Secara umum biodiesel diproduksi melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis homogen (seperti NaOH, KOH, dan H_2SO_4). Akan tetapi, penggunaan katalis homogen bersifat basa dapat bereaksi dengan ALB membentuk sabun yang akan menyulitkan pemisahan gliserol dan akan mengurangi *yield* dari biodiesel. Sedangkan katalis asam kuat akan menyebabkan terjadinya hidrolisis dari minyak dengan kadar air yang cukup tinggi (Yan dkk., 2009).

Penggunaan katalis heterogen telah diteliti oleh beberapa peneliti sebelumnya untuk menyelesaikan masalah yang ditimbulkan dari penggunaan katalis homogen pada proses pembuatan biodiesel. Katalis heterogen dengan beberapa kelebihan, diantaranya memiliki proses pemisahan produk biodiesel dengan katalis cukup mudah, katalis dapat diregenerasi dan digunakan kembali, sehingga biaya produksi biodiesel menjadi lebih ekonomis (Julianti dkk., 2014 ; Helwani., dkk 2009). Salah satu katalis yang banyak digunakan adalah CaO. Keuntungan menggunakan CaO antara lain kebasaaan yang tinggi, kelarutan yang rendah, penggunaan yang lebih mudah, serta tidak membutuhkan air pencucian yang berlebihan (Yanti., dkk 2011) . Namun CaO mudah bereaksi dengan CO_2 dan H_2O pada kondisi lingkungan serta laju reaksinya lebih lama dibandingkan dengan katalis homogen. Selain itu jika katalis CaO digunakan pada proses transesterifikasi, ion oksigen pada permukaannya mudah membentuk ikatan hidrogen dengan metanol atau gliserol sehingga akan menyulitkan proses pemisahan. Untuk mengatasi masalah

tersebut, CaO harus diimpregnasi dengan *support* (Liu dkk., 2010).

Serbuk besi merupakan logam transisi bersifat *feromagnetik* yang merupakan bahan yang dapat ditarik magnet dengan kuat dan bersifat inert sehingga dapat digunakan sebagai *support* pada katalis dan pemisahan katalis dapat dilakukan dengan menggunakan magnet (Anwar, 2011 ; Liu dkk., 2010).

2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan yaitu minyak dari sawit *off-grade*, aquades, serbuk besi, $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, metanol p.a, H_2SO_4 pekat, etanol teknis, asam oksalat, kertas saring, indikator PP dan KOH.

Alat yang dipakai

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ayakan 100 dan 200 mesh, labu leher tiga 500 ml, *magnetic stirrer*, oven, furnace, heating mantel, hot plate, timbangan analitik, reaktor biodiesel, kondenser, spindle press, piknometer 10 ml, viskometer Oswald, gelas piala 250 ml, buret, erlenmeyer, pipet tetes, gelas ukur 50 ml, hot plate, 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 CaO/Serbuk besi

Katalis yang digunakan merupakan katalis homogen (H_2SO_4) untuk reaksi esterifikasi, sedangkan untuk reaksi transesterifikasi digunakan katalis heterogen (CaO/serbuk besi). CaO/serbuk besi disintesis dengan cara impregnasi CaO dengan serbuk besi. Langkah awalnya, serbuk besi dan $Ca(NO_3)_2$ ditimbang dengan persentase berat 55%-b serbuk besi dan 45%-b $Ca(NO_3)_2$. $Ca(NO_3)_2$ yang telah

ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan ditambahkan aquades. Kondisi proses dilakukan pada temperatur 80°C selama 1 jam dengan kecepatan pengadukan 400 rpm. Kemudian, serbuk besi yang telah ditimbang ditambahkan. Setelah 4 jam, proses dihentikan. Hasil dari pencampuran dikeringkan pada suhu 105°C untuk menghilangkan H₂O dan HNO₃ yang masih bersisa. Setelah itu (Ca(OH)₂ dan serbuk besi) di-*furnace* selama 2 jam pada suhu 900°C (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 H₂SO₄ 1%-b ditambahkan. Kondensor dipasang, pengaduk mulai dijalankan dengan kecepatan 400 rpm dan reaksi berlangsung selama 1 jam. Kemudian campuran dipisahkan dalam corong pisah. Lapisan atas berupa katalis H₂SO₄ dan metanol sisa dipisahkan dari lapisan bawah yang akan dilanjutkan ke tahap reaksi transesterifikasi. Sebelum dilanjutkan ketahap 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 (50 °C, 60 °C, dan 70°C). Setelah suhu reaksi yang telah ditentukan tercapai, tambahkan pereaksi metanol dengan perbandingan rasio mol metanol : minyak (6 : 1, 8 : 1, dan 10 :1) dan konsentrasi katalis CaO/serbuk besi (1%-b, 2%-b, dan 3%-b). Kondensor dipasang dan pengaduk mulai dijalankan pada kecepatan pengadukan 400 rpm. 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 (Kusuma dkk., 2011).

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 densitas, viskositas, 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	Standar CPO SNI 01-2901-2006
1	Warna	-	Jingga kemerahan	
2	Densitas (40°C)	kg/m ³	892,11	-
3	Viskositas (40°C)	mm ² /s	29,47	-
4	Kadar air	%	3,5	Maks 0,5
5	Kadar asam lemak bebas	%	6,19	Maks 5

3.2 Katalis CaO/Serbuk besi

Penggunaan katalis CaO/Serbuk besi pada proses transesterifikasi minyak menjadi biodiesel akan mempengaruhi kualitas, jumlah produk dan kondisi proses. Sifat dari CaO yang mudah bereaksi dengan CO₂ dan H₂O akan mengakibatkan terjadinya penurunan selektivitas katalis yang juga berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan. Gliserol dan metanol akan membentuk emulsi dengan CaO sehingga akan menyulitkan proses pemisahan (Liu dkk., 2010).

Proses kalsinasi CaO/Serbuk besi dilakukan pada temperatur 900°C selama 2 jam. Katalis CaO/Serbuk besi kemudian diuji kebiasaannya. Berdasarkan indikator Hammet (fenoltalein), terjadi perubahan warna dari tidak berwarna menjadi ungu. Hal ini menandakan bahwa katalis memiliki kebiasaan $H_- > 9,3$ (Helwani dkk., 2013).

3.3 Yield dan Karakteristik Biodiesel

3.3.1 Yield Biodiesel

Yield biodiesel yang diperoleh dari hasil penelitian yaitu sekitar 5,35% sampai 67,64%. *Yield* biodiesel terendah sebesar 5,35% diperoleh pada mol metanol : minyak 8 : 1, suhu reaksi 60°C, dan konsentrasi katalis 0%. Sedangkan *yield* tertinggi sebesar 67,64% diperoleh pada rasio mol metanol : minyak 6 : 1, suhu reaksi 70°C, dan konsentrasi katalis 3%. Hasil yang diperoleh lebih rendah dibandingkan Liu dkk., (2010). Hal ini disebabkan terbentuknya Ca(OH)₂ pada katalis yang

mengakibatkan reaksi pembuatan biodiesel lebih lama karena permukaan katalis terhidrasi (Kouzu dkk., 2008).

Jumlah Ca⁺² yang diimpregnasikan pada penelitian ini sebesar 3 gr, sehingga perbandingan Fe dengan Ca⁺² hanya 1:0,4. Sedangkan Liu dkk., (2010) menggunakan perbandingan Fe dengan Ca⁺² sebesar 1:7. Hal ini menunjukkan bahwa yang berperan besar sebagai sisi aktif katalis adalah CaO. Sedangkan serbuk besi pada katalis berperan sebagai sifat logam yang dimiliki katalis. Sehingga pada proses pemisahan katalis dapat menggunakan magnet.

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).

Tabel 3.2 Karakteristik Biodiesel Hasil Penelitian

No	Karakteristik	Satuan	Biodiesel Hasil Penelitian	Standar SNI 04-7182-2006
1	Densitas	kg/m ³	879,33	850 – 890
2	Viskositas Kinematik	mm ² /s	4,71	2,3 – 6,0
3	Titik nyala	°C	135	Min. 100
4	Angka asam	mg-KOH/g-biodiesel	0,396	Maks. 0,8

3.3.3 Desain dan Analisis Model *Yield* Biodiesel

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh variasi kondisi proses terhadap *yield* biodiesel. Data hasil percobaan dianalisis dengan rancangan percobaan (*design experiment*) metode statistik *Central Composite Design* (CCD) dan diolah menggunakan program *Design Expert 7.0*. Program akan mengeluarkan model dan grafik yang menunjukkan pengaruh variasi kondisi proses terhadap *yield* biodiesel. Pengujian model dilakukan dengan *coded variable* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh koefisien – koefisien model yaitu temperatur reaksi, rasio mol dan konsentrasi katalis terhadap respon berupa *yield* biodiesel.

Metode *Response Surface Methodology* (RSM) merupakan metode yang digunakan untuk melakukan proses optimasi. Model yang sering digunakan untuk RSM adalah model polynomial orde 1 dan orde 2. Pada model orde I, perlu dilakukan uji kecocokan model untuk melihat tepat atau tidaknya dugaan model yang dilakukan. Apabila model tidak linier atau terdapat pola lengkung (*curvature*), maka model orde 1 tidak cocok digunakan dan digunakan model orde 2 (Montgomery, 1991).

Data *yield* biodiesel selanjutnya diolah dengan menggunakan program *Design Expert 7.0* sehingga diperoleh persamaan orde dua seperti ditampilkan persamaan 3.1.

$$Y = 23,01 + 6,79 X_1 - 4,46 X_2 + 12,96 X_3 - 3,20 X_1X_2 + 0,31 X_1X_3 - 4,32 X_2X_3 + 6,61 X_1^2 + 10,82 X_2^2 + 3,06 X_3^2 \dots(3.1)$$

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

X₁ = Temperatur reaksi (°C)

X₂ = Rasio mol (mol)

X₃ = Konsentrasi katalis (%-b)

3.3.4 Pengaruh Kondisi Proses dan Interaksinya terhadap *Yield* Biodiesel

a. Pengaruh Kondisi Proses

Berdasarkan hasil pengujian P-value, semua kondisi proses memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield* biodiesel. Pengaruh temperatur reaksi (X₁), rasio mol metanol : minyak (X₂), dan konsentrasi katalis CaO/Serbuk besi (X₃). Reaksi transesterifikasi dapat berlangsung pada rentang suhu kamar hingga mendekati titik didih metanol. Semakin tinggi suhu reaksi maka *yield* biodiesel yang dihasilkan akan semakin tinggi, hal ini dapat disebabkan karena suhu yang tinggi mempengaruhi tumbukan antar partikel reaktan menjadi

besar sehingga kecepatan reaksi akan naik seiring dengan kenaikan suhu reaksi. Selain itu penggunaan sistem refluks akan membuat produksi biodiesel lebih efisien dari segi ekonomi dan lingkungan (Dhar dan Kirtania, 2009).

Rasio mol metanol : minyak berpengaruh terhadap *yield* biodiesel. Pada stoikiometri reaksi transesterifikasi, satu mol minyak membutuhkan tiga mol alkohol untuk memproduksi tiga mol metil ester dan satu mol gliserol (Budiawan dkk., 2013). Penambahan jumlah mol metanol bertujuan agar reaksi bergerak ke arah produk karena reaksi yang terjadi merupakan reaksi kesetimbangan. *Yield* terhadap rasio mol metanol : minyak menurun setelah rasio 6 : 1. Hal ini disebabkan karena metanol dapat bertindak sebagai emulsifier dalam campuran reaksi dan metanol yang terlalu berlebihan akan menyebabkan gliserol terlarut dalam metanol sehingga terbentuk emulsi antara katalis dengan metanol dan gliserol yang akan menghambat reaksi transesterifikasi (Yanti dkk., 2011 ; Santoso dkk., 2013).

Konsentrasi katalis CaO/Serbuk besi dipengaruhi oleh komposisi kimianya. Komposisi CaO berperan penting sebagai katalis pada proses transesterifikasi. Semakin tinggi konsentrasi katalis CaO/Serbuk besi akan meningkatkan konsentrasi CaO dan meningkatkan pengaruh perpindahan massa sehingga *yield* biodiesel juga akan semakin meningkat (Liu dkk., 2008 ; Kotwal dkk., 2009). Dari ketiga pengaruh kondisi proses, proses yang berpengaruh paling signifikan terhadap *yield* adalah pengaruh kondisi proses konsentrasi katalis.

b. Pengaruh Interaksi Kondisi Proses terhadap *Yield* Biodiesel

Berdasarkan pengujian *P-value* interaksi kondisi proses memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield*

biodiesel adalah Interaksi antara suhu dan rasio mol metanol : minyak. *Yield* biodiesel tertinggi didapatkan pada kondisi rasio mol metanol : minyak 6 : 1 dan suhu 70°C. Semakin besar suhu reaksi pada rasio mol metanol : minyak 6 : 1 maka *yield* biodiesel akan meningkat. Peningkatan suhu reaksi akan meningkatkan *yield* biodiesel dikarenakan secara kinetika, pada suhu yang tinggi tumbukan antar partikel reaktan menjadi besar sehingga kecepatan reaksi akan naik seiring dengan kenaikan suhu reaksi (Julianti dkk., 2014).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan yaitu biodiesel dapat dihasilkan dari minyak sawit *off-grade* yang berkualitas rendah melalui reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dengan menggunakan katalis CaO/Serbuk besi pada tahap transesterifikasi. *Yield* biodiesel tertinggi didapat sebanyak 67,64% pada kondisi proses suhu reaksi 70°C, rasio mol metanol : minyak 6:1 dan konsentrasi katalis CaO/Serbuk besi 3%. Model persamaan orde dua penelitian ini adalah $Y = 23,01 + 6,79 X_1 - 4,46 X_2 + 12,96 X_3 - 3,20 X_1X_2 + 0,31 X_1X_3 - 4,32 X_2X_3 + 6,61 X_1^2 + 10,82 X_2^2 + 3,06 X_3^2$. Kondisi operasi yang paling memberikan pengaruh signifikan terhadap *yield* biodiesel adalah konsentrasi katalis. Peningkatan konsentrasi katalis akan meningkatkan *yield* biodiesel. Selain itu, katalis CaO/Serbuk besi memiliki kebiasaan $\geq 9,3$.

Daftar Pustaka

- Anwar, N. 2011. Pembuatan Magnet Permanen Nd₂Fe₁₄B Melalui Metode Mechanical Alloying. *Skripsi*. Program Studi Fisika. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- Arifin, J.K. 2009. Pemanfaatan Buah Sawit Sisa Sortiran sebagai Sumber Bahan

- Baku Asam Lemak. *Tesis*. Program S2 Teknik Kimia Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Badan Standardisasi Nasional. 2006. Standar Nasional Indonesia : Biodiesel. SNI 04-7182-2006.
- Badan Standardisasi Nasional. 2006. Standar Nasional Indonesia : Minyak Kelapa Sawit Mentah. SNI 01-2901-2006.
- 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*. Januari. Banda Aceh.7: 40 – 50.
- Dhar, B.P dan K. Kirtania. Excess Methanol Recovery in Biodiesel Production Process Using a Distillation Column : A Simulation Study. *Chemical Engineering Research Bulletin*. 13 : 55- 60.
- Helwani, Z., M. R. Othman, N. Aziz, J. Kim dan W. J. N. Fernando. 2009. Solid Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Triglycerides with Methanol : A Review. *Applied Catalysis A : General*. 369: 1 -10.
- Helwani, Z., N. Aziz, M.Z.A. Bakar, H. Mukhtar, J. Kim dan M.R. Othman. 2013. Conversion of Jatropha Curcas Oil into Biodiesel Using Re-Crystallized Hydrotalcite. *Energy Conversion and Management*. 73 : 128 – 134.
- Julianti, N, K., T.K. Wardani, I. Gunardi dan A. Roesyadi. 2014. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit RBD dengan Menggunakan Katalis Berpromotor Ganda Berpenyangga γ -Alumina (CaO/MgO/ γ -Al₂O₃) dalam Reaktor Fluidized Bed. *Jurnal Teknik POMITS* Vol. 3, No.2 ISSN: 2337-3539
- Kementerian Perindustrian. 2014. Strategi Peran Strategis ISPO Dalam Bisnis Produk Kelapa Sawit. *Institute for Development of Economics and Finance*. Jakarta.
- Kotwal, M.S., P.S. Niphadkar, S.S. Deshpande, V.V. Bokade dan P.N. Joshi. 2009. Transesterification of Sunflower Oil Catalysed by Fly Ash-Based Solid Catalysts. *Fuel*. 88 : 8-1773.
- Kouzu, M., T. Kasuno, M. Tajika, Y. Sugimoto, S. Yamanaka dan J. Hidaka. 2008. Calcium Oxide as Solid Base Catalyst for Transesterification of Soybean Oil and its Application to Biodiesel Production. *Fuel*. 87:2798 - 2806.
- Kusuma, R.I., J.P. Hadinoto, A. Ayucitra dan S. Ismadji. 2011. Pemanfaatan Zeolit Alam sebagai Katalis Murah dalam Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit. *Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia*. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Liu, C., L.V., Pengmei. Yuan, Z., F. Yan dan W. Luo. 2010. The Nanometer Magnetic Solid Base Catalyst for Production of Biodiesel. *Renewable Energy*.15 : 1531-1536.
- Liu, X., Piao, X., Y. Wang dan S. Zhu. 2008. Calcium Ethoxide as A Solid Catalyst for The Transesterification of Soybean Oil to Biodiesel. *Energy & Fuels*. 22 : 1313-1317.
- Montgomery, D.C. 1991. Design and Analysis of Experiments 3rd edition. *John Wiley and Sons Inc*. Singapore.
- Santoso, H., I. Kristiaonto dan A. Setyadi. 2013. Pembuatan Biodiesel Menggunakan Katalis Basa Heterogen Dasar Kulit Telur. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Katolik Prahayangan. III/LPPM/2013-09/84-P.
- Ulfayana, S. dan Z. Helwani. 2014. Natural Zeolite for Transesterification Step

Catalysts in Biodiesel Production from Palm Off Grade. *Abstract Book : Regional Conference on Chemical Engineering*. Desember. Yogyakarta. 7 : 22.

Yan, S., O. Steven, Salley dan K.Y. Simon. 2009. Simultaneous Transesterification and Esterification of Unrefined or Waste Oils Over ZnO-La₂O₃ Catalysts. *Applied Catalysis A : General*. 353:203 – 212.

Yanti, P, H., A. Awaluddin dan P. Sartika. 2011. Pembuatan Katalis Menggunakan Katalis Kalsium Asetat yang Dikalsinasi. *Jurnal Teknobiologi*. ISSN : 2087 – 5428.