

PEMBUATAN BIODIESEL DARI SAWIT *OFF GRADE* DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS ZnO KOMERSIAL PADA PROSES TRANSESTERIFIKASI

Yulva Gemy¹⁾, Sri Helianty²⁾, Yusnimar²⁾

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

ABSTRACT

Vegetable oil with high FFA derived from off grade palm oil can be used as raw material for making biodiesel. ZnO is currently developed as a heterogeneous catalyst in the reaction of biodiesel production. This research aimed to produce biodiesel from low-quality raw materials and determine the effectiveness of the process by looking at the effect of process conditions such as reaction temperature, mole ratio and catalyst concentration on the yield of biodiesel. The process of making biodiesel is done with two stages of the reaction of esterification and transesterification reactions. Esterification reaction carried out at a temperature of 65°C, the mole ratio of oil: methanol 1:12, and 1% catalyst concentration. Variations in operating conditions transesterification reaction include reaction temperature (45°C, 55°C, 65°C), the mole ratio of oil: methanol (1:10, 1:14, and 1:18), and catalyst concentration (0.5%, 1%, and 2% / w). The highest yield of biodiesel obtained as much as 94.26% under the conditions of reaction temperature of 65°C, the mole ratio of oil: methanol 1:18, and 2% of ZnO catalyst concentration. The characteristics of biodiesel produced in the form of density, kinematic viscosity, acid number and flash point are in according to the standards of Indonesian biodiesel.

Keywords: *biodiesel, esterification, off grade palm oil, transesterification, ZnO*

1. Pendahuluan

Minyak nabati dengan kadar asam lemak bebas (ALB) yang tinggi tidak termasuk kedalam jenis minyak untuk konsumsi dan juga tidak bernilai jual. Salah satu jenis minyak nabati dengan kadar asam lemak bebas tinggi adalah minyak sawit *off grade*.

Sawit *off grade* merupakan sawit sisa sortiran TBS (Tandan Buah Segar) yang dilakukan oleh pabrik sawit. Sawit *off grade* terdiri dari buah muda, abnormal, lewat matang, dan busuk. Data lapangan pabrik sawit yang didapat setelah penyortiran TBS diperoleh buah sawit *off grade* lebih kurang 7 – 10% dari kapasitas giling pabrik yang besarnya 30 ton TBS/jam, sehingga sawit *off grade* yang

dihasilkan sebanyak 2-3 ton/jam. Sawit *off grade* menghasilkan *Crude Palm Oil* (CPO) berkualitas rendah sehingga mempengaruhi biaya proses dan harga jual dari CPO di pasaran nasional dan internasional (Arifin, 2009).

Sawit *off grade* dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku alternatif pembuatan biodiesel. Sumber bahan baku pembuatan biodiesel di Indonesia berasal dari CPO yang merupakan bahan baku utama minyak goreng dan produk pangan lainnya. Sementara itu pembuatan biodiesel diharapkan dari bahan baku nonpangan. Penggunaan CPO sebagai bahan baku biodiesel dikhawatirkan akan berdampak pada harga produk pangan dari CPO.

Dengan demikian, dibutuhkan sumber minyak nabati lainnya yang belum banyak dimanfaatkan seperti sawit *off grade*.

Pembuatan biodiesel dari minyak nabati secara umum menggunakan katalis basa homogen. Katalis basa homogen untuk reaksi transesterifikasi dapat bereaksi dengan ALB membentuk sabun, sehingga akan menghambat pembentukan biodiesel (Yan dkk., 2009). Dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh penggunaan katalis homogen adalah menghasilkan limbah beracun dan berbahaya (Kusuma dkk., 2011). Katalis homogen ini dapat digantikan dengan katalis heterogen yang lebih ramah lingkungan. Katalis heterogen yang sedang dikembangkan salah satunya adalah ZnO komersial (Lidia, 2012).

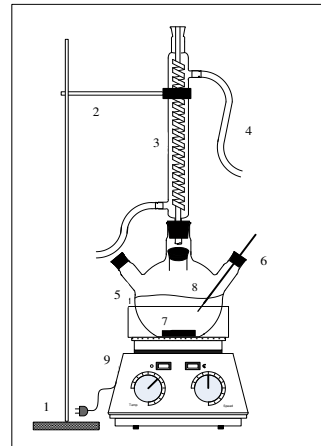
Dengan menggunakan sawit *off grade* sebagai bahan baku pembuatan biodiesel, secara tidak langsung akan membantu petani disamping itu juga dapat mengurangi biaya pembuatan biodiesel. Namun tidak mudah untuk mengolah sawit *off grade* karena kadar ALB-nya yang tinggi. Dengan demikian, diperlukan teknologi yang lebih efektif dan efisien untuk mengolah sawit *off grade* menjadi biodiesel.

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah sawit *off-grade* yaitu sawit lewat matang dan busuk. Proses ekstraksi minyak sawit *off grade* dilakukan dengan menggunakan alat *spindle hydraulic press*.

Minyak sawit *off-grade* dan metanol direaksikan dengan bantuan katalis asam sulfat (H_2SO_4) sebagai katalis asam pada reaksi esterifikasi dan zinc oksida (ZnO) sebagai katalis basa pada reaksi transesterifikasi. Rangkaian alat reaktor ditampilkan pada Gambar 1.



Keterangan :

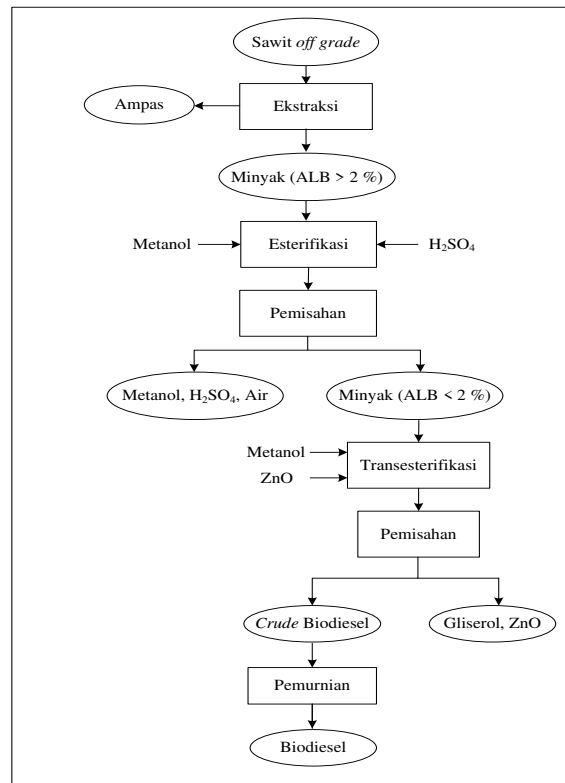
1. Standar
2. Klem
3. Kondensor
4. Slang air pendingin
5. Labu leher 4
6. Termometer
7. *Magnetic stirrer*

Gambar 1. Rangkaian Alat Penelitian

Proses pemisahan dan pencucian biodiesel dilakukan dengan menggunakan corong pisah.

2.2 Prosedur Penelitian

Prosedur pembuatan biodiesel dari sawit *off-grade* ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Prosedur Pembuatan Biodiesel dari Sawit *Off-grade*

2.2.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan biodiesel pada penelitian ini adalah sawit *off grade* yaitu sawit lewat matang dan sawit busuk. Untuk mendapatkan minyak dari sawit yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel, sawit perlu diekstrak terlebih dahulu. Metode yang digunakan adalah metode artisanal.

2.2.2 Katalis

Katalis yang digunakan adalah ZnO komersial. ZnO yang dalam bentuk pelet digerus hingga halus. ZnO yang sudah halus kemudian diayak menggunakan ayakan dengan ukuran -100 mesh +200 mesh. Katalis kemudian dikalsinasi dengan suhu 500°C selama 5 jam (Mukenga dkk, 2012).

2.2.3 Proses Pembuatan Biodiesel dengan Reaksi Dua Tahap

a. Esterifikasi

Minyak hasil ekstraksi buah sawit *off-grade* ditimbang sebanyak 50 gram dan dimasukkan ke dalam reaktor esterifikasi. Proses dilakukan pada reaktor berpengaduk secara *batch* dan ditempatkan di atas pemanas untuk menjaga temperatur reaksi. Setelah temperatur reaksi 60°C, tambahkan pereaksi metanol dengan perbandingan mol minyak:metanol ialah 1:12 dan katalis H₂SO₄ dengan konsentrasi 1%-b. Kondensor dipasang, pengaduk mulai dijalankan dan di reaksikan hingga kadar ALB <2% (Ulfayana dkk, 2014).

b. Transesterifikasi

Lapisan bawah hasil esterifikasi dengan kadar ALB < 2% dimasukkan ke dalam reaktor transesterifikasi dan dipanaskan sampai suhu reaksi. Setelah suhu reaksi tercapai, tambahkan campuran metanol dan katalis ZnO sesuai dengan variabel penelitian. Endapan berupa katalis dipisahkan dari filtratnya. Filtrat yang didapat dilanjutkan ke proses pemisahan

dan pemurnian biodiesel (Highina dkk., 2011).

c. Pemisahan dan Pemurnian Biodiesel

Filtrat dipisahkan dengan corong pisah hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan atas yang terdiri dari *crude* biodiesel dan metanol sisa reaksi dipisahkan dari lapisan bawah berupa gliserol. *Crude* biodiesel kemudian dimurnikan dengan cara dicuci dengan aquades hingga air pencuci jernih. Biodiesel dikeringkan di dalam oven bertemperatur 105°C selama 60 menit, kemudian dianalisis untuk mengetahui karakteristiknya (Budiawan dkk, 2013). Selanjutnya biodiesel ditimbang untuk menentukan *yield* biodiesel dan dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Yield} = \frac{\text{Berat biodiesel}}{\text{Berat bahan baku (minyak)}} \times 100\%$$

d. Pengujian Biodiesel

Karakteristik biodiesel yang diuji meliputi angka asam, berat jenis pada 40°C, titik nyala (*flash point*) dan kekentalan (viskositas kinematik) pada 40°C.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Ekstraksi Sawit Off – Grade

Sawit *off-grade* diekstrak menggunakan *spindle hydraulic press* dan diperoleh karakteristik minyak. Hasil penentuan kadar ALB dan kadar air pada minyak sawit *off-grade* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Minyak Sawit *Off-grade*

Karakteristik	Satuan	Nilai
Warna	-	Jingga
Densitas (40°C)	kg/m ³	923,45
Viskositas (40°C)	mm ² /s	6,9
Kadar air	%	2,79
Kadar ALB	%	17,03

Pada tabel dapat dilihat karakteristik minyak sawit *off grade* memiliki kadar air dan kadar ALB yang tinggi. Kadar air yang

tinggi dalam minyak menyebabkan terjadinya hidrolisis yang merupakan salah satu penyebab terbentuknya ALB dan air juga dapat bereaksi dengan katalis sehingga akan menyebabkan jumlah katalis untuk reaksi berkurang. Kadar air dalam bahan baku minyak dapat dikurangi dengan cara pemanasan minyak sebelum dilakukan reaksi. Kadar ALB yang tinggi membutuhkan perlakuan pendahuluan sebelum dilakukan reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel, salah satunya adalah dengan reaksi esterifikasi. Kadar ALB untuk reaksi transesterifikasi yang diperbolehkan adalah < 2% (Frag dkk., 2013).

3.2 Karakteristik Biodiesel

Analisis karakteristik biodiesel dibutuhkan untuk mengetahui apakah biodiesel yang dihasilkan sudah sesuai dengan spesifikasi (standar mutu) biodiesel Indonesia sehingga dapat digunakan sesuai kebutuhannya. Karakteristik biodiesel yang didapatkan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik Biodiesel

Karakteristik	Satuan	Biodiesel	SNI
Densitas	kg/m ³	878,64	850 – 890
Viskositas Kinematik	mm ² /s	4,43	2,3 – 6,0
Titik nyala	°C	136	Min. 100
Angka asam	mg-KOH/g-biodiesel	0,315	Maks. 0,8

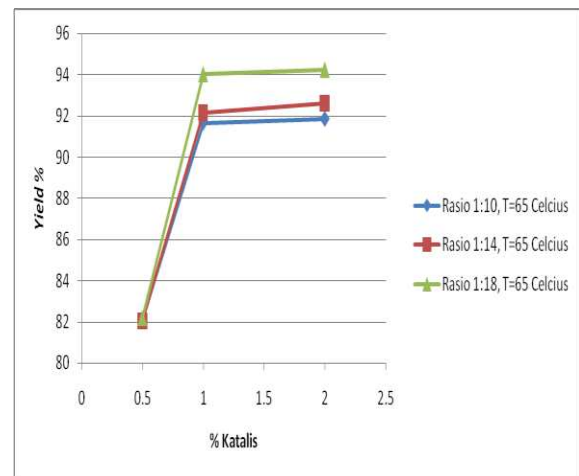
3.3 Yield Biodiesel

Yield biodiesel ditentukan dengan membagi berat biodiesel yang didapat dengan berat bahan baku kemudian dikalikan 100%. *Yield* biodiesel yang didapatkan dari penelitian ini adalah berkisar antara 75.36% hingga 94.26%. *Yield* biodiesel terendah diperoleh sebanyak 75.36% pada kondisi proses temperatur reaksi 45°C, rasio mol 10 : 1, konsentrasi

katalis 0.5%, dan waktu reaksi 100 menit. Sedangkan *yield* biodiesel tertinggi diperoleh sebanyak 94.26% pada kondisi proses temperatur reaksi 65°C, rasio mol 18 : 1, konsentrasi katalis 2%, dan waktu reaksi 100 menit.

3.4 Pengaruh Konsentrasi Katalis Terhadap Yield Biodiesel

Tujuan utama penggunaan katalis dalam suatu reaksi adalah untuk menurunkan energi aktivasi sehingga mempercepat terjadinya reaksi (Kumar dkk., 2014). Pada penelitian ini dilakukan variasi jumlah katalis ZnO komersial sebanyak (0.5%, 1%, dan 2% b/b minyak) pada reaksi transesterifikasi dalam rentang temperatur 45-65°C untuk melihat pengaruh dari banyaknya jumlah katalis terhadap *yield* biodiesel yang dihasilkan. Pengaruh konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel ditampilkan dalam grafik pada Gambar 3 berikut :



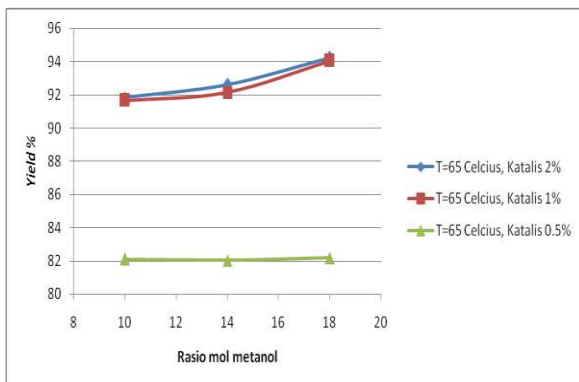
Gambar 3 Grafik pengaruh jumlah konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel pada temperatur 65°C

Pada Gambar 3 dapat dilihat pengaruh konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel adalah dengan bertambahnya jumlah katalis maka *yield* biodiesel yang dihasilkan juga bertambah besar. Dapat dilihat dari grafik pada penambahan katalis sebanyak 0.5% b/b minyak dengan kondisi operasi temperatur 65°C, rasio mol minyak:metanol 1:10, dan waktu reaksi 100

menit, *yield* biodiesel yang dihasilkan sebesar 82.12%. Kemudian pada penambahan jumlah katalis sebesar 1% b/b minyak dengan kondisi operasi yang sama, *yield* biodiesel yang dihasilkan meningkat menjadi sebesar 91.66%. Namun pada penambahan jumlah katalis sebesar 2% b/b minyak dan kondisi operasi yang sama, penambahan *yield* biodiesel tidak signifikan. Semakin banyak katalis yang digunakan maka reaksi akan berjalan lebih cepat hingga tercapai jumlah yang optimum (jumlah sisi aktif katalis sesuai dengan jumlah minyak dan metanol yang direaksikan), sehingga dengan penggunaan katalis berlebih hanya akan meningkatkan biaya produksi biodiesel itu sendiri (Indah dkk., 2011).

3.5 Pengaruh Nilai Nisbah Metanol : Minyak Terhadap Yield Bioediesel

Nilai nisbah metanol:minyak merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi konversi minyak nabati menjadi biodiesel. Berdasarkan stoikiometri reaksi transesterifikasi, satu mol trigliserida bereaksi dengan tiga mol alkohol (metanol) untuk menghasilkan tiga mol alkil ester (metil ester) dan satu mol gliserol (Kumar dkk., 2014). Pada penelitian ini dilakukan variasi nilai nisbah mol minyak:metanol sebesar (1:10, 1:14, dan 1:18). Pengaruh nilai nisbah mol metanol:minyak dapat dilihat dari grafik yang ditampilkan pada Gambar 4 berikut :

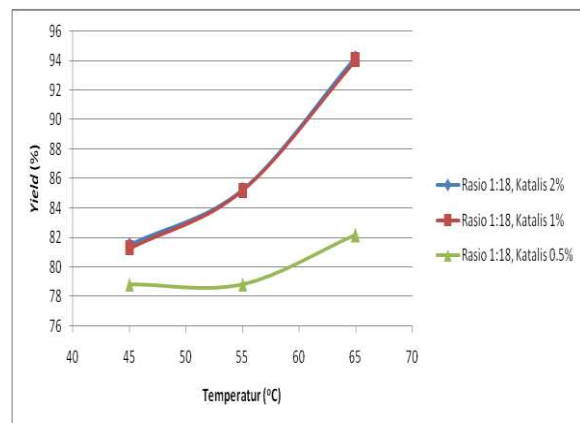


Gambar 4 Pengaruh nilai nisbah mol metanol:minyak terhadap *yield* biodiesel pada temperatur 65°C

Pada Gambar 4 dapat dilihat pengaruh nilai nisbah mol metanol:minyak terhadap *yield* biodiesel pada temperatur berbeda. Pada grafik dapat dilihat pengaruh nilai nisbah mol metanol:minyak terhadap *yield* biodiesel pada temperatur 65°C. Dari grafik dapat dilihat pada nilai nisbah 1:10 dan kondisi operasi temperatur 65°C, konsentrasi katalis 2%, dan waktu reaksi 100 menit, *yield* biodiesel yang dihasilkan sebesar 91.84%. Pada nilai nisbah 1:18 dan kondisi operasi yang sama *yield* biodiesel yang dihasilkan meningkat menjadi sebesar 94.26%. Dari keseluruhan percobaan dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya jumlah nilai nisbah metanol:minyak yang ditambahkan pada reaksi maka jumlah produk biodiesel yang dihasilkan juga bertambah (Kumar dkk., 2014). Hal ini sesuai dengan asas *Le Chateliers*, apabila dalam suatu reaksi kesetimbangan jumlah reaktan ditambah maka reaksi akan bergeser kearah kanan atau produk (Highina dkk., 2011).

3.6 Pengaruh Temperatur Terhadap Yield Biodiesel

Temperatur pada penelitian ini divariasikan sebesar (45, 55, dan 65°C). Dari hasil penelitian, *yield* biodiesel yang dihasilkan pada temperature 45-65°C dengan kondisi operasi nilai nisbah minyak:metanol 1:18 konsentrasi katalis (0.5, 1, dan 2 % b/b minyak), dan waktu reaksi 100 menit sebesar 78.82% hingga 94.26%. Pengaruh temperatur terhadap *yield* biodiesel yang dihasilkan dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 5 berikut :



Gambar 5 Pengaruh temperatur terhadap *yield* biodiesel

Pada Gambar 5 dapat dilihat dari hasil penelitian keseluruhan *yield* biodiesel yang dihasilkan semakin bertambah dengan semakin naiknya temperatur reaksi. Reaksi transesterifikasi adalah reaksi kesetimbangan. Secara termodinamika, kenaikan temperatur akan menggeser kesetimbangan atau memperbesar kesetimbangan sehingga reaktan yang terkonversi akan lebih banyak. Reaksi transesterifikasi pada penelitian ini merupakan reaksi endotermis, sehingga jika temperatur reaksi dinaikkan maka reaksi akan bergeser ke arah kanan atau produk (asas *Le Chatelier*) jadi dengan meningkatnya temperatur reaksi maka biodiesel yang dihasilkan juga meningkat (Kumar dkk., 2014).

4. Kesimpulan

Biodiesel dapat dihasilkan dari minyak nabati berALB tinggi seperti minyak sawit *off grade* melalui reaksi dua tahap dengan menggunakan katalis ZnO komersial pada tahap transesterifikasi. Semakin tinggi temperatur reaksi, rasio mol minyak : metanol dan konsentrasi katalis maka semakin besar *yield* biodiesel yang dihasilkan hingga mencapai kesetimbangan. *Yield* biodiesel tertinggi didapat sebanyak 94,26% pada kondisi proses temperatur reaksi 65°C, rasio mol minyak : metanol 1:18 dan konsentrasi katalis ZnO komersial sebanyak 2%-b.

5. Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan variabel temperatur yang lebih variatif karena hasil penelitian pada variasi temperatur masih menunjukkan perubahan yang signifikan. Memvariasikan waktu reaksi bisa menjadi alternatif variabel pada penelitian selanjutnya.

Daftar Pustaka

- Arifin, J.K. 2009. Pemanfaatan Buah Sawit Sisa Sortiran sebagai Sumber Bahan Baku Asam Lemak. *Tesis*. Program S2 Teknik Kimia Universitas Sumatra Utara. Medan.
- Arita, S., M. B. Dara, J. Irawan. 2008. Pembuatan Metil Ester Asam Lemak Dari CPO *Off Grade* Dengan Metode Esterifikasi-Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- (BSN) Badan Standarisasi Nasional. 2006. Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 04-7182:2006 tentang Biodiesel. Badan Standarisasi Nasional. 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*. Januari. Banda Aceh. *Chemical Engineering on Science and Application*. 7 : 40 – 50.
- Chopade, S.G., K.S. Kulkarni, A.D. Kulkarni dan N.S. Topare. 2012. Solid Heterogeneous Catalysts Production of Biodiesel from Transesterifications of Triglycerides with Methanol : A Review. *Acta Chimica and Pharmaceutica Indica (ISSN 2277-2288X)*. 2(1) : 8 – 14.
- Demirbas, A. 2005. Biodiesel Production from Vegetable Oils via Catalytic and Non-Catalytic Supercritical Methanol Transesterification Methods. *Progress in Energy and Combustion Science*. Vol. 31, No. 5-6, p.p. 466-487, ISSN 0360-1285.
- ESDM SDE. 2012. <http://www.esdm.go.id>. 15 November 2014 (13:00).
- Farag, H.A., El Maghraby, A. dan Taha, N.A. 2013. Kinetic Study of Used Vegetable Oil for Esterification and Transesterification Process of Biodiesel Production. *International Journal of Chemical and*

- Biochemicals Sciences (ISSN 2226-9614)* 3 : 1 – 8.
- Guo, F. dan Z. Fang. 2011. Biodiesel Production with Solid Catalyst, Biodiesel – Feed Stocks and Processing Technologies, Margareta Stoytcheva (Ed.), ISBN : 978-953-307-713-0, InTech. [http : //www.intechopen.com/ books](http://www.intechopen.com/books). 14 November 2014 (14:15).
- Hambali, E. 2007. *Jarak Pagar Tanaman Penghasil Biodiesel*. Penerbit Swadaya. Jakarta.
- Hayyan, A., Md. Z. Alam, M.E.S. Mirghani, N.A. Kabbashi, N.I.N.M. Hakimi, Y.M. Siran dan S. Tahiruddin. 2010. Sludge palm oil as a renewable raw material for biodiesel production by two step processes. *Journal of Elsevier, Bio resource Technology*. 101 : 7804 – 7811.
- Hidayat, W. 2009. Pra Rancangan Pabrik Unit Pemurnian Metil Ester Hasil Transesterifikasi menjadi Biodiesel Sawit dengan Kapasitas 50 Ton/hari. *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Highina, B.K., I.M. Bugaje, dan B. Umar. 2011. Biodiesel production from Jatropha caucous oil in a batch reactor using zinc oxide as catalyst. *Journal*. University of Maiduguri. Nigeria.
- Indah, S.T., M. Said, A. Summa W. dan A.K. Sari. 2011. Katalis Basa Heterogen Campuran CaO dan SrO pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit. *Prosiding Seminar Nasional AVoER (ISBN: 979-587-395-4)*. 3 : 482 – 493.
- Jitputti, J., B. Kitiyanan, K. Bunyakiat, P. Rangsunvigit, dan P. Jenvanitpanjakul. 2004. Transesterification of Palm Kernel Oil and Coconut Oil by Difference Solid Catalysts. The joint international conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE)”.
- Kapilakarn, K. dan Peugtong A. 2007. A comparison of cost of biodiesel production from transesterification. *International Energy Journal*. 8 : 1 - 6.
- Kasim, R. 2010. Desain Esterifikasi Menggunakan Katalis Zeolit pada Proses Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil (CPO) Melalui Metode Dua Tahap Esterifikasi – Transesterifikasi. *Tesis*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Knothe, G., J.V. Gerpen, dan J. Krahl. 2004. *The Biodiesel Handbook*. AOCS Press.
- Kumar, V., dan P. Kant. 2014. Biodiesel Production From Sorghum Oil By Transesterification Using Zinc Oxide As Catalyst. *Journal*. University of Lucknow. India.
- 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.
- Li, B., dan Z. Zongba. 2007. Biodiesel Production by Direct Methanolysis of Oleaginous Microbial Biomass. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 82:775–780.
- Lidia. 2012. Konversi Minyak Biji Bintaro Menjadi Biodiesel Dengan Katalis ZnO. *Skripsi*. Universitas Riau. Pekanbaru.
- Mittelbach, M. dan C. Remschmidt. 2004. *Biodiesel: The Comprehensive Handbook*. Boersedruck Ges.m.b.H, ISBN 3-200-00249-2. Vienna. Austria.
- Mukenga, M., E. Muzenda, K. Jalama, dan R. Meijboom. 2012. Biodiesel Production from Soybean Oil over TiO₂ Supported nano-ZnO. *International Journal of Chemical*,

- Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering*, 6 : 4.
- Mulyono, HAM. 2009. *Kamus Kimia*. Penerbit Bumi Aksara. Jakarta.
- Panwar, R. 2009. Preparation Of Modified ZnO Nanoparticles by Sol-Gel Process and Their Characterization. *Thesis*. Thapar university.
- Shah, S., dan M.N. Gupta. 2007. Lipase Catalyzed Preparation of Biodiesel from Jatropha Oil in a Solvent Free System. *Proc Biochem* 2007. 42:409–414.
- Sonntag, N. 1981. *Fat splitting, esterification and interesterification*. Dalam Bailey's Industrial Oil and Fat Products. John Wiley and Sons. New York.
- Syah, A.N.A. 2006. *Biodiesel Jarak Pagar Bahan Alternatif yang Ramah Lingkungan*. PT Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Ulfayana, S., S. Bahri, dan Z. Helwani. 2014. Pemanfaatan Zeolit Alam Sebagai Katalis Pada Tahap Transesterifikasi Pembuatan Biodiesel Dari Sawit *Off Grade*. *Jurnal*. Program Sarjana Teknik Kimia. Universitas Riau. Pekanbaru.
- Vasudevan, PT., dan M. Briggs. 2008. Biodiesel Production—Current State of The Art and Challenges. *J Ind Microbiol Biotechnol*. 35:421–430. PMID: 18205018.
- Yan, S., Steven O., Salley dan K.Y. Simon. 2009. Simultaneous Transesterification and Esterification of Unrefined or Waste Oils Over ZnO-La₂O₃ Catalysts. *Journal of Elsevier, Applied Catalysis A:General*. 353:203 – 212.
- Yuniarto, W., Hoerudin, A. H. dan Hanny. 2008. Penggunaan Katalis Heterogen Berbasis Zinc Oxide (Zno) Untuk Produksi Biodiesel. *PKMP*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.