

KATALISIS CPO MENJADI BIODIESEL DENGAN KATALIS ZnO SINTESIS PRESIPITAN NaOH

Mukhlisoh Arifah¹, Sri Helianty²⁾, Yusnimar²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia
Laboratorium Teknologi Produk, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya JL. HR. Subrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293
Email: icohmail@yahoo.com

ABSTRACT

Biodiesel is an alternative renewable and biodegradable fuel with properties similar to petroleum diesel. It result of the conversion of vegetable oils derived from both non-food and food ingredients which have economic value compared to fossil fuels. Heterogeneous catalysts such as ZnO in the manufacture of biodiesel can solve the problems of the use of a homogeneous catalyst that can reduce the burden of separation, cheap, stable, and can be used repeatedly. This research aims to synthesize ZnO catalyst by precipitation method using NaOH. Then, the effect of variations in mole ratio of reactants and variations in the amount of catalyst on the yield of biodiesel produced will be studied. FFA content in the feedstock is 8,36%. Therefore, Biodiesel production process is carried out with a two-stage reaction that is esterification and transesterification. The esterification reaction was held at temperatures 65°C with H₂SO₄ catalyst as much as 1% w/w of oil. The transesterification reaction was held at temperatures 65°C; with H₂SO₄ catalyst as much as 1% w/w of oil. The mole ratio of oil : methanol are 1:6, 1:12, 1:18; ZnO catalyst amount are 0,3%, 0,4% and 0,5%; reaction time is 60 minutes. The highest yield obtained is 93,6% in process with 1:18 in oil : methanol mole ratio and 0,5% catalyst amount. The produced biodiesel has density 888 kg/m³, viscosity 5,63 mm²/s, flash point 175°C, acid value 0,53 mg-KOH/g-biodiesel and alkyl ester content 99,1%.

Keywords : Biodiesel, CPO, esterification, transesterification, ZnO.

1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar yang setara dengan bahan bakar petrodiesel yang merupakan hasil konversi minyak nabati baik berasal dari bahan non pangan dan pangan (Bowman et al. 2006). Dalam pembuatan biodiesel digunakan bahan baku tersebut karena pada minyak nabati, kompresi mesin *ignation engine* dapat menambahkan deposit karbon dalam injeksi pada *partial combustion* (Kiss et al. 2008). Selain itu dalam aspek ekonominya, penggunaan minyak nabati dapat mengurangi biaya produksi dibandingkan dari bahan bakar fosil. Hal itu bisa dilihat dari bahan baku yang awalnya memiliki nilai jual rendah diolah menjadi biodiesel yang memiliki kualitas dan harga jual tinggi

Penggunaan katalis homogen seperti katalis alkali pada reaksi transesterifikasi menyebabkan mudahnya terjadi reaksi saponifikasi sehingga membentuk sabun. katalis yang banyak digunakan dalam industri biodiesel adalah katalis homogen seperti KOH atau NaOH (Istadi dkk., 2014). Katalis basa homogen untuk reaksi transesterifikasi dapat bereaksi dengan ALB membentuk sabun, sehingga akan menyulitkan pemisahan gliserol dan mengurangi *yield* biodiesel. Sementara itu, penggunaan katalis heterogen seperti ZnO dapat digunakan berulang kali dan sangat mudah dilakukan proses pemisahan.

Katalis heterogen seperti ZnO dapat mengurangi beban pemisahan dan pengolahan limbah industri biodiesel. Berdasarkan beberapa hasil penelitian dinyatakan bahwa penggunaan katalis ZnO pada transesterifikasi lebih murah, stabil, dapat digunakan berulang kali dan tersedia

secara komersil serta bersifat ramah lingkungan (Ngamcharussrivichai dkk., 2008) Untuk itu, diperlukan katalis heterogen yang berunjuk kerja layak secara teknik dan layak ekonomis karena katalis heterogen dapat memberikan hasil diatas rata-rata.

2. Metode penelitian

Penyusunan prosedur penelitian dilakukan untuk mempermudah pelaksanaan penelitian. Prosedur pada penelitian ini secara keseluruhan dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu tahap persiapan katalis, tahap proses pembuatan biodiesel (esterifikasi dan transesterifikasi), dan tahap pemurnian dan analisa hasil.

Penentuan Kadar Air dan ALB pada CPO

Bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan biodiesel pada penelitian ini adalah CPO. Pada penelitian ini CPO berasal dari PKS PT. Perkebunan Nusantara V Sei Pagar, Kampar, Riau. Penentuan kadar air dan ALB pada CPO dilakukan dengan metoda SNI 01-2901-2006.

Sintesis Katalis ZnO

Katalis yang digunakan dalam tahap transesterifikasi adalah ZnO. Proses sintesis ZnO dilakukan dengan melakukan metode presipitasi larutan ZnSO_4 1 M ditambahkan dengan larutan NaOH 1 M secara perlahan-lahan sambil diaduk pada temperatur 50 °C selama 60 menit. Setelah penambahan NaOH selesai, padatan Zn(OH)_2 yang terbentuk didiamkan hingga mengendap sempurna, kemudian dipisahkan antara padatan dan cairannya. Padatan Zn(OH)_2 yang didapat dipanaskan pada temperatur 200 °C selama 3 jam di dalam *muffle furnace* untuk mendapatkan ZnO (Helianty, 2001). Sebelum digunakan sebagai katalis, ZnO terlebih dahulu diaktifasi. Proses aktivasi dilakukan di dalam *tube furnace* dengan dialirkan gas nitrogen pada temperatur 400 °C selama 5 jam (Mukenga dkk, 2012).

Proses Pembuatan Biodiesel

Sebelum CPO diolah, terlebih dahulu dilakukan penentuan ALB. Pembuatan biodiesel ini dilakukan dengan menggunakan 2 tahap yaitu esterifikasi.

Esterifikasi

Reaksi esterifikasi dilakukan karena CPO mempunyai kadar FFA lebih dari 2 %. CPO dan dimasukkan ke dalam reaktor esterifikasi. Reaksi esterifikasi dilakukan dengan rasio mol minyak : metanol 1:6, 1:12 dan 1: 18, maka pereaksi metanol yang ditambahkan sebanyak 41,12 ml, 82,23 ml dan 123,36 ml. bahan baku yaitu CPO ditimbang sebanyak 150 gram dan proses dilakukan pada reaktor berpengaduk secara *batch* dan ditempatkan di atas pemanas untuk menjaga suhu reaksi. Setelah suhu reaksi tercapai yaitu 65°C, pereaksi metanol dan katalis H_2SO_4 98% sebanyak 1%-b ditambahkan secara terukur. Kondensor dipasang, pengaduk mulai dijalankan dan reaksi berlangsung selama 30 menit. Kemudian hasil dari proses esterifikasi langsung dilanjutkan dengan proses transesterifikasi.

Transesterifikasi

Proses transesterifikasi dilakukan untuk mendapatkan biodiesel dengan menggunakan katalis ZnO sintesis. Pada reaksi transesterifikasi digunakan variabel tetap dan berubah. Variabel tetap adalah waktu reaksi selama 60 menit dan kecepatan pengadukan 350 rpm, temperatur reaksi 65°C. Variabel berubah yang digunakan adalah variasi konsentrasi katalis 0,3%, 0,4% dan 0,5% berat CPO, dan perbandingan rasio mol minyak : metanol sebesar 1:6, 1:12, 1:18.

Pengujian Biodiesel

Karakteristik biodiesel yang diuji meliputi angka asam, angka penyabunan, massa jenis, titik nyala (*flash point*), viskositas kinematik dan kadar alkil ester. Prosedur lengkap analisis biodiesel dapat dilihat pada lampiran B.

3. Hasil dan pembahasan

Hasil Analisa Bahan Baku

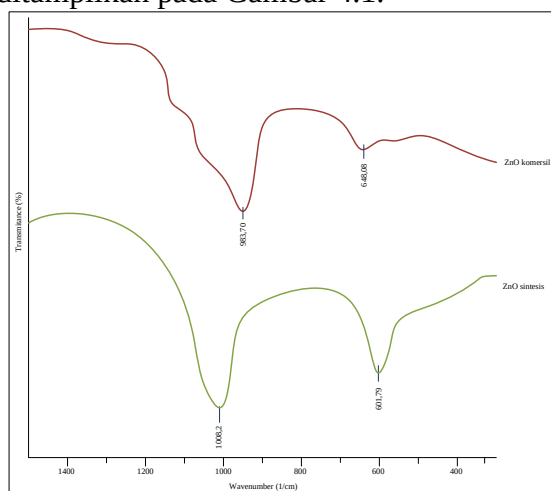
Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan *crude biodiesel* adalah CPO yang diperoleh dari PT. Perkebunan Nusantara V Sei Pagar, Kampar, Riau. CPO yang diperoleh selanjutnya dianalisa untuk mengetahui kadar air dan kadar asam lemak bebasnya (ALB). Analisa tersebut diperlukan untuk mengetahui perlakuan awal yang dibutuhkan pada proses pembuatan *crude biodiesel*. Hasil Karakteristik CPO yang akan digunakan sebagai bahan baku ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Karakteristik Bahan Baku

No	Karakteristik	Satuan	Nilai
1	Kadar air	%	0,40
2	Kadar asam lemak bebas (ALB)	%	8,36

Hasil Karakterisasi Katalis

Katalis ZnO yang telah disintesis dikarakterisasi dengan metode analisa FTIR dan dibandingkan dengan ZnO komersil. Hasil analisa FTIR dari ZnO yang disintesis dan ZnO komersil ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Analisa FTIR dari ZnO yang Disintesis dan ZnO Komersil

Dari gambar tersebut terlihat puncak penyerapan pada bilangan gelombang 1008,2 dan 601,29 cm^{-1} untuk ZnO yang disintesis. Sedangkan puncak penyerapan pada katalis ZnO komersil

berada pada bilangan gelombang 983,70 dan 648,08. Puncak penyerapan pada 1008,2 dan 983,70 cm^{-1} menunjukkan adanya oksida logam (Stuart, 2004). Menurut Stuart (2004), oksida logam memiliki puncak penyerapan pada bilangan gelombang 1010 – 850 cm^{-1} yang disebabkan oleh peregangan (*stretching*) ikatan M=O (M adalah logam). Puncak penyerapan pada 615,29 dan 648,08 cm^{-1} menunjukkan adanya deformasi ikatan Zn=O [Kumar dan Rani, 2013]. Menurut Kumar dan Rani [2013], oksida logam memiliki penyerapan yang khas pada bilangan gelombang dibawah 1010 cm^{-1} dan penyerapan akibat deformasi ikatan Zn=O berada pada 620,93 cm^{-1} . Dari hasil perbandingan FTIR antara katalis komersil (Merck) dan katalis ZnO sintesis presipitan NaOH menunjukkan bahwa pada keduanya memiliki kemiripan puncak yang dibuktikan dari kesesuaian range ikatan ZnO berdasarkan literatur bilangan gelombang puncak penyerapan ZnO (Stuart, 2004). Hal ini membuktikan katalis yang disintesis adalah katalis ZnO.

4.2 Hasil Pembuatan *Crude Biodiesel*

Tabel 4.2 Hasil pembuatan *crude biodiesel*

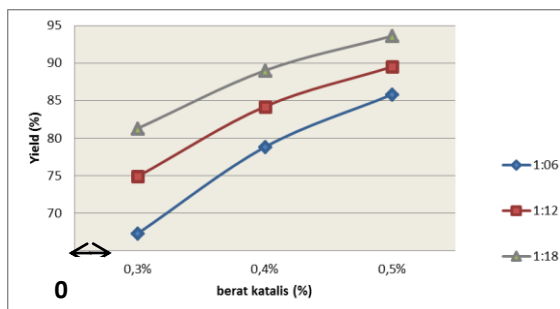
Rasio Mol Minyak : Metanol	Yield Crude Biodiesel (%)		
	Jumlah Katalis 0,3%	Jumlah Katalis 0,4%	Jumlah Katalis 0,5%
1:06	67,3	78,8	85,8
1:12	74,9	84,2	89,5
1:18	81,3	89,0	93,6

Yield crude biodiesel terendah adalah 67,3% pada proses dengan rasio mol minyak : metanol 1:6 dan jumlah katalis 0,3%, sedangkan *yield crude biodiesel* tertinggi diperoleh sebanyak 93,6% pada proses dengan rasio mol minyak : metanol 1 : 18 dan jumlah katalis 0,5%. Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil penelitian terjadi kenaikan peningkatan yield terhadap penambahan

katalis dan penambahan rasio mol minyak : metanol.

Pengaruh Jumlah Katalis Terhadap Yield Crude Biodiesel

Pada penelitian ini dilakukan variasi jumlah katalis ZnO sebanyak 0,3%, 0,4%, dan 0,5% b/b minyak pada reaksi transesterifikasi untuk menentukan pengaruh jumlah katalis yang digunakan terhadap *yield crude biodiesel* yang dihasilkan. Temperatur reaksi adalah 65 °C. Pengaruh jumlah katalis terhadap *yield crude biodiesel* ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.2 Pengaruh Variasi Jumlah Katalis terhadap *Yield Crude Biodiesel*

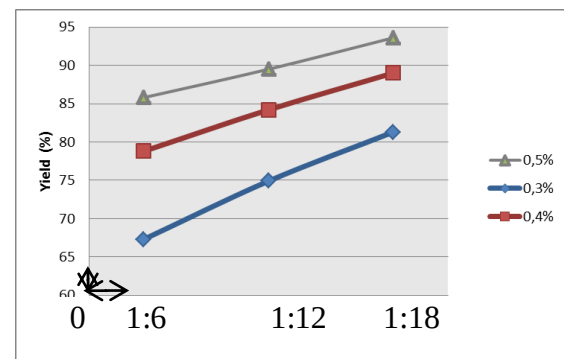
Pada Gambar 4.2 dapat dilihat variasi jumlah katalis berpengaruh terhadap *yield crude biodiesel*. Meningkatnya jumlah katalis yang digunakan maka *yield* yang dihasilkan juga semakin meningkat. Dapat dilihat dari Gambar 4.1, pada penggunaan katalis sebanyak 0,3% b/b minyak dan rasio mol minyak : metanol 1:18, *yield* yang dihasilkan adalah 81,3%. Kemudian pada penggunaan katalis sebanyak 0,4% b/b minyak dengan kondisi operasi yang sama, *yield* yang dihasilkan meningkat menjadi 89,0%. Pada penggunaan katalis sebanyak 0,5% b/b minyak juga pada kondisi operasi yang sama *yield* yang diperoleh adalah 93,6%.

Berdasarkan hasil tersebut diatas, dapat disimpulkan bahwa katalis ZnO sangat berperan dalam proses transesterifikasi. Semakin besar jumlah katalis yang digunakan maka energi aktivasi semakin menurun sehingga reaksi akan berjalan

semakin cepat hingga tercapai *yield* yang maksimum. Hal tersebut terjadi karena jumlah sisi aktif katalis sesuai dengan jumlah minyak dan metanol yang direaksikan. Tetapi, jika jumlah katalis terlalu besar tidak akan meningkatkan *yield* produk karena akan membuat viskositas campuran dalam reaktor menjadi tinggi. Hal tersebut menyebabkan proses pengadukan menjadi tidak sempurna dan akan meningkatkan biaya produksi [Lee dkk., 2009].

Pengaruh Rasio Mol Minyak : Metanol Terhadap Yield Crude Biodiesel

Rasio mol minyak : metanol merupakan salah satu variabel yang mempengaruhi konversi minyak nabati menjadi *crude 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. Karena reaksi transesterifikasi adalah reaksi kesetimbangan, maka digunakan metanol dengan jumlah mol berlebih untuk menggeser kesetimbangan reaksi kearah produk. Pada penelitian ini variasi rasio mol minyak : metanol yang digunakan adalah 1:6, 1:12, dan 1:18. Pengaruh rasio mol minyak : metanol terhadap *yield* ditampilkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pengaruh Rasio Mol Minyak : Metanol terhadap *Yield Crude Biodiesel*
Pada Gambar 4.3 terlihat bahwa variasi rasio mol minyak : metanol berpengaruh terhadap *yield* dengan rasio mol minyak : metanol 1:6,

temperatur 65 °C dan jumlah katalis 0,5% *yield* yang dihasilkan sebanyak 85,8%. Pada rasio mol minyak : metanol 1:12 dan kondisi operasi yang sama *yield* yang dihasilkan meningkat menjadi 89,5%. Kemudian pada rasio mol minyak : metanol 1:18 *yield* yang diperoleh adalah sebesar 93,6%. Dari keseluruhan hasil percobaan tersebut dapat dilihat bahwa dengan meningkatnya rasio mol metanol terhadap minyak, maka *yield crude biodiesel* yang dihasilkan juga meningkat. Pemakaian alkohol berlebih akan mendorong reaksi ke arah pembentukan metil ester dan semakin besar kemungkinan terjadinya tumbukan antara molekul-molekul metanol dan minyak yang bereaksi. Hal ini sesuai dengan asas Le Chateliers yang menyatakan bahwa pada reaksi kesetimbangan, apabila jumlah reaktan ditambah maka reaksi akan bergeser ke arah kanan atau produk (Highina dkk., 2011).

4.5 Hasil Karakterisasi *Crude Biodiesel*

Karakterisasi *crude biodiesel* dibutuhkan untuk mengetahui apakah *crude biodiesel* yang dihasilkan sudah sesuai dengan spesifikasi (standar mutu) biodiesel Indonesia sehingga dapat digunakan sesuai kebutuhannya. Standar mutu yang digunakan adalah SNI 04-7182-2006. Parameter yang dianalisa diantaranya adalah densitas, viskositas kinematik, titik nyala, angka asam, angka penyabunan dan kadar alkil ester yang kemudian dibandingkan dengan karakteristik biodiesel berdasarkan SNI 04-7182-2006. Hasil analisa karakteristik *crude biodiesel* ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Karakterisasi *Crude Biodiesel*

No	Karakteristik	Satuan	<i>Crude Biodiesel</i> Hasil Penelitian	Standar SNI 04-7182-2006
1	Densitas (40°C)	kg/m ³	888	850 – 890
2	Viskositas Kinematik	mm ² /s	5,63	2,3 – 6,0

3	Titik nyala	(40°C) °C	175	Min. 100
4	Angka asam	mg-KOH/g-biodiesel	0,53	Maks. 0,8
5	Angka Penyabunan	mg-KOH/g-biodiesel	645,15	
6	Kadar alkil ester	%-massa	99,91	Min. 96,5

Densitas *crude biodiesel* yang dihasilkan yaitu 886,22 kg/m³ sudah sesuai dengan standar SNI yaitu 850 – 890 kg/m³. Viskositas *crude biodiesel* yang didapat adalah 5,63 mm²/s. Viskositas yang tinggi dapat meningkatkan beban kerja pompa injeksi, menaikkan tekanan dan volume injeksi [Romero dkk., 2011].

Titik nyala biodiesel merupakan temperatur terendah dimana biodiesel menghasilkan uap yang dapat terbakar di udara. Titik nyala biodiesel diharapkan tinggi agar lebih aman saat proses transportasi dan penyimpanan (Karunia, 2012). Titik nyala *crude biodiesel* pada penelitian ini adalah 175°C. Nilai tersebut telah sesuai dengan standar yaitu lebih besar dari 100°C.

Angka asam menyatakan jumlah asam mineral dan asam lemak bebas yang terkandung dalam sampel biodiesel. Satuan angka asam dinyatakan dengan miligram KOH yang dibutuhkan untuk menetralkan 1 gram sampel biodiesel. *Crude biodiesel* dalam penelitian ini memiliki angka asam sebesar 0,53 mg-KOH/g-biodiesel dan telah memenuhi standar yang ditetapkan yaitu lebih kecil dari 0,8 mg-KOH/g-biodiesel. Angka penyabunan diperlukan untuk mengetahui kadar alkil ester dalam sampel biodiesel. *Crude biodiesel* dari penelitian ini memiliki angka penyabunan sebesar 645,15 mg-KOH/g-biodiesel. Berdasarkan angka asam dan angka penyabunan dapat ditentukan kadar alkil ester yang terkandung dalam biodiesel yaitu sebesar 99,91 dan telah memenuhi standar kadar alkil ester minimal yaitu 96,5%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa *Crude Biodiesel* dapat dihasilkan dari CPO melalui reaksi dua tahap dengan menggunakan katalis ZnO yang disintesis dari presipitat NaOH pada tahap transesterifikasi. Semakin meningkat jumlah katalis dan jumlah rasio mol minyak : metanol yang digunakan maka semakin besar *yield crude biodiesel* yang dihasilkan. *Yield crude biodiesel* tertinggi didapat sebanyak 93,56% pada kondisi proses temperatur reaksi 65°C, rasio mol minyak : metanol 1:18 dan jumlah katalis ZnO sebanyak 0,5% b/b minyak.

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. Dara, M. B. Irawan, J. 2008. Pembuatan Metal Ester Asam Lemak dari CPO Off Grade dengan Metode Esterifikasi-Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*, No. 2, Vol. 15, april 2008.
- Atadashi. I.M. Aroua. M.K. Abdul Aziz. A. R. Sulaiman. N. M. N. 2012. Production Of Biodiesel Using High Free Fatty Acid Feedstocks. *Renewable and sustainable energy reviews* 16 (2012) 3275–3285
- Bowman et al. 2006 *a renewable and biodegradable fuel. Hydrocarbon process* 85: 103-106
- (BSN) Badan Standarisasi Nasional. 2006. Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 04-7182:2006 tentang Biodiesel. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- 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.
- Dyah P, Shintawati. 2011. *Produksi Biodiesel Dari Mikroalga Chlorella Sp Dengan Metode Esterifikasi In-Situ*. Masters Thesis, Universitas Diponegoro.
- ESDM. 2012. Kajian Supply Demand Energy. Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Freedman, B., Pryde, E. H., dan Mowth, T. L. 1984. Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. *Journal of American Oil and Chemistry Society*, 61:1638-1643.
- Fessenden. R. J and Fessenden. J.S. 1997. *Kimia Organik*. Edisi Ketiga Jilid 1. University of Montana.
- Fricke. T. B. 2009. Buku Panduan Pabrik Kelapa Sawit Skala Kecil untuk Produksi Bahan Baku Bahan Bakar Nabati (BBN). *Environmental Service Program, DAI Project* Number: 5300201.

- Hambali, E. 2007. Jarak Pagar Tanaman Penghasil Biodiesel. Penerbit Swadaya. Jakarta.
- Hart, H. 1983. Kimia Organik Suatu Kuliah Singkat Edisi Keenam. Penerbit Erlangga Jakarta.
- Helianty, S. 2001. Penyiapan dan Pengujian Absorben Berbasis ZnO. Tesis. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Highina, B. K. Bugaje. I.M. Umar. B. 2011. Biodiesel Production From Jatropha Caucus Oil In A Batch Reactor Using Zinc Oxide As Catalyst. *Journal Of Petroleum Technology And Alternative Fuels* Vol. 2(9), pp. 146-149, September 2011.
- 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.
- Hikmah., M. N. Zuliyana. 2010. Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Dedak dan Metanol dengan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi. Skripsi. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Hui, Y. H. 1996. Bailey's Industrial Oil and Fat Product, Oilseed Product, 5th ed, 2. New York. John Wiley and Son Company Pub.
- Istadi, I., Anggoro, D. D., Buchori, L., Rahmawati, D. A. dan Intaningrum, D. 2014. *Active Acid Catalyst of Sulphated Zinc Oxide for Transesterification of Soybean Oil with Methanol to Biodiesel*. *Journal Environmental Science*. 23 : 385 – 393.
- Karunia A.F. 2012. Esterifikasi PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) Menjadi Biodiesel Menggunakan Katalis H-Zeolit Dengan Variable Suhu Reaksi dan Kecepatan Pengadukan. Program Studi Teknik Kimia S1 Fakultas Teknik Kimia. Universitas Riau. Pekanbaru.
- 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.
- Keenan, C W., Donald C. Kleinfelter, dan Jesse H W., 1984. *Kimia Untuk Universitas*, terj, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Khamish, D. Pandiangan dan Simanjuntak, W. 2013. Sintesis Katalis Heterogen MgO-SiO₂ Sekam Padi dengan Metode Sol Gel dan Aplikasinya pada Reaksi Transesterifikasi. Seminar Nasional Sains & Teknologi V. Lembaga Penelitian Universitas Lampung 19-20 November 2013.
- Kirk, R. E., dan D. F Othmer. 1964. Encyclopedia of Chemical Technology Vol. 3. The Interscience Encyclopedia Inc. New York.
- Kumar, V., dan P. Kant. 2014. Biodiesel Production From Sorghum Oil By Transesterification Using Zinc Oxide As Catalyst. *Journal*. University of Lucknow. India.
- Kurnasih, E. 2012. Produksi Biodiesel dari Crude Palm Oil Melalui Reaksi Dua Tahap. Seminar Nasional Yusuf Benseh. Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe.

- Laksono, T. 2013. Pengaruh Jenis Katalis NaOH dan KOH Serta Rasio Lemak dengan Metanol Terhadap Kualitas Biodiesel Berbahan Baku Lemak Sapi. *Skripsi*. Program Studi Teknologi Hasil Ternak Jurusan Produksi Ternak Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin Makassar.
- Ngamcharussrivichai, C., Totarat, P. dan Bunyakiat, K. 2008. *Ca and Zn Mixed Oxide as a Heterogeneous Base Catalyst for Transesterification of Palm Kernel Oil. Applied Catalysis A: General*. 341 : 77 – 85
- Panwar, R. 2009. Preparation Of Modified ZnO Nanoparticles by Sol-Gel Process and Their Characterization. *Thesis*. Thapar University.
- Raj, C. Justin., Joshih, R. K., Varma, K. B. R. 2011. Synthesis Zinc Oxide, growth Mechanism and Optical Properties of ZnO nano/micro structure.
- Regalbuto, J. 2007. Catalyst Preparation : Science And Engineering CNR Press, Taylor & Francis Group. London. Cryst. Res. Technol. 46, No. 1181-(2011)
- Renaldi, A. A. 2009. Kajian Stabilitas Oksidasi Campuran Biodiesel Minyak Jelantah Solar dan Kinerja Mesin Diesel. Program Studi Konversi Energi Fakultas Teknik Universitas Indonesia Depok. p
- Richardson J.T. 1989. *Principles of Catalyst Development*. Plenum Press. New York.
- Riswiyanto, S. 2002. Kimia Organik. Departemen Kimia Fakultas MIPA Universitas Indonesia. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Syah, A.N.A. 2006. Biodiesel Jarak Pagar Bahan Alternatif yang Ramah Lingkungan. PT Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Silaen. S. 2010. Pengaruh Tipe Katalis KOH dan CaO pada Pembuatan Biodiesel Turunan Minyak Kacang Tanah Melalui Transesterifikasi dengan Lama Reaksi 3 Jam Pada Suhu 65°C Menggunakan Eter Sebagai Cosolvent. *Tesis*. Program Pascasarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara Medan.
- Witjaksono, A. 2011. Karakterisasi Nanokristalin ZnO Presipitasi dengan Perlakuan Pengeringan, Anil dan Pasca-Hidrotermal. *Tesis*. Departemen Metalurgi dan Material. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Depok.