

PENGARUH NANOKATALIS ZnO/CaO TERHADAP BIODIESEL DARI MINYAK BIJI ALPUKAT

Pratiwi Putri Lestari

Institut Teknologi Medan

pratiwiputri@itm.ac.id

Abstrak : Efisiensi produksi biodiesel dari minyak nabati perlu dikembangkan. Proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis heterogen telah banyak dikaji untuk menggantikan peranan katalis homogen. Pendopingan ZnO kedalam oksida logam mampu meningkatkan aktivitas katalis heterogen dalam reaksi transesterifikasi. Penelitian ini dilakukan untuk memberikan informasi mengenai pengaruh konsentrasi ZnO yang didoping kedalam kalsium oksida (CaO) terhadap reaksi transesterifikasi minyak biji alpukat dengan kadar asam lemak bebas (ALB) yang tinggi menjadi metil ester, pada temperatur 65°C , rasio metanol: minyak = 10:1, selama 1,5 jam, menggunakan reaktor. Variabel penelitian adalah konsentrasi ZnO yang didoping kedalam CaO, yaitu : 0%, 1%, 2%, dan 3%. Adapun parameter uji yang dilakukan adalah kandungan metil ester yang diperoleh dari hasil reaksi transesterifikasi dengan analisa gas chromatographi. Dalam penelitian ini, nanokatalis ZnO/CaO disintesis dan didoping dengan metode sol gel dan dikalsinasi pada 450°C di udara selama 60 menit. Nanopartikel ZnO/CaO hasil sintesis dikarakterisasi dengan menggunakan XRD. Dari percobaan yang dilakukan yield metil ester paling tinggi didapat pada katalis ZnO/CaO 1% dengan yield 90,8820%.

Kata Kunci : Biodiesel, Alpukat, Transesterifikasi, Nanokatalis, ZnO, CaO.

Abstract : Efficiency of biodiesel production from vegetable oil needs to be developed. The transesterification process using heterogeneous catalysts has been widely studied to replace the role of homogeneous catalysts. ZnO doping into metal oxides can increase the activity of heterogeneous catalysts in transesterification reactions. This study was conducted to provide information on the effect of ZnO concentration doped into calcium oxide (CaO) to the transesterification reaction of avocado seed oil with high free fatty acid (ALB) to methyl ester, at 65°C , methanol ratio: oil = 10: 1 , for 1.5 hours, using a reactor. Research variable is ZnO concentration doped into CaO, that is: 0%, 1%, 2%, and 3% ., The test parameters are methyl ester content obtained from the results of transesterification reaction with gas chromatographi analysis. In this study, ZnO/CaO nanocatalysts were synthesized and doped with sol gel method and calcined at 450°C in air for 60 min. The synthesized ZnO/CaO nanoparticles were characterized by XRD. From the experiment, the highest yield of methyl ester was obtained on ZnO/CaO 1% catalyst with yield of 90,8820%.

Keywords : Biodiesel, Avocado, Tranesterifikacation, Nano Catalyst, Zno, Cao

1. PENDAHULUAN

Penggunaan BBM yang terus menerus dan cenderung meningkat akibat pertumbuhan penduduk dan industri, sementara cadangan minyak yang

semakin menipis dan tidak dapat diperbarui, sangat potensial menimbulkan krisis energi pada masa yang akan datang. Oleh karena itu, untuk mengatasi persoalan tersebut dan mengurangi ketergantungan pada BBM

perlu diadakan diversifikasi energi dengan cara mencari energi alternatif yang terbarukan (*renewable*). Salah satunya adalah energi alternatif yang berasal dari minyak tanaman/tumbuhan.

Biodiesel merupakan bioenergi yang dibuat dari minyak nabati, baik minyak baru maupun minyak bekas penggorengan melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, atau proses esterifikasi – transesterifikasi sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar (petrodiesel) yang ramah lingkungan. Dilihat dari segi harga, biodiesel memang tidak akan menghasilkan harga jual lebih murah dibandingkan solar minyak bumi, tetapi sebagai bahan alternatif ramah lingkungan serta dapat diperbarui (*renewable*), dapat menjadi solusi dari permasalahan ketahanan cadangan energi nasional yang semakin menipis sehingga upaya membangun ketahanan nasional di bidang energi maka biodiesel layak untuk diimplementasikan.

Katalis adalah zat yang dapat mempengaruhi kecepatan reaksi transesterifikasi tetapi zat tersebut tidak mengalami perubahan kimia pada akhir reaksi. Katalis bekerja secara spesifik untuk reaksi tertentu dan dapat menurunkan besarnya energi aktivasi suatu reaksi. Penurunan energi aktivasi ini disebabkan oleh aktivitas katalis yang mencari jalur reaksi lain yang memiliki energi aktivasi lebih rendah. Katalis heterogen yang ideal (tidak diaktivasi oleh air, stabil, aktif pada suhu rendah dan memiliki selektifitas tinggi) dapat aktif pada proses transesterifikasi dan esterifikasi asam lemak bebas. Bentuk-bentuk katalis heterogen yang telah digunakan yaitu oksida logam alkali, oksida logam transisi, dan oksida logam campuran.

Dari hasil penelitian Rif'an, (2014), hasil biodiesel dengan menggunakan ukuran katalis CaO/ZnO sekitar 40,58 ~ 46,44 nm sangat efektif pada variasi dari Ca: Zn atom rasio. Penggunaan katalis

nanopartikel ZnO/CaO dapat meningkatkan reaksi pembentukan metil ester dari PFAD (Palm Fatty Acid Distillate) dengan kadar ALB 0,896%. Pembentukan metil ester yang paling tinggi diperoleh pada penggunaan katalis CaO dengan *doping* ZnO sebesar 1% yaitu sebesar 90,882%. Percobaan juga dilakukan dalam reaktor bertekanan, dengan rasio molar metanol dengan PFAD dari 12:1 selama 3,5 jam.

Berdasarkan penelitian terdahulu bahwa penggunaan katalis alkali pada reaksi transesterifikasi menyebabkan mudahnya terjadi reaksi saponifikasi sehingga membentuk sabun. Penggunaan katalis CaO memiliki aktivitas yang tinggi, tahan lama, biaya murah, serta kekuatan basa yang tinggi. Penggunaan katalis ZnO dapat digunakan berulang kali dan sangat mudah dilakukan proses pemisahan. Penggunaan katalis nano partikel ZnO/CaO dapat meningkatkan reaksi pembentukan metil ester dari PFAD (Palm Fatty Acid Distillate). Dari penelitian ini dapat dirumuskan permasalahan, yaitu bagaimana proses transesterifikasi pembuatan biodiesel dari minyak biji alpukat dengan menggunakan nano katalis ZnO/CaO, dan bagaimana pengaruh konsentrasi nano katalis ZnO/CaO pada proses transesterifikasi pembuatan biodiesel dari minyak biji alpukat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses transesterifikasi pembuatan biodiesel dari minyak biji alpukat dengan menggunakan nano katalis ZnO/CaO, Mengetahui pengaruh konsentrasi nano katalis ZnO/CaO pada proses transesterifikasi pembuatan biodiesel dari minyak biji alpukat.

2. METODE PENELITIAN

Variabel dan Kondisi Proses

Variabel tetap proses :

- Volume minyak biji alpukat : 300 ml
- Massa CaO : 10 gr
- Kalsinasi : 450⁰C
- Waktu Reaksi : 1 Jam

- Tekanan : 1 bar
- Waktu Kalsinasi : 1,5 Jam
- Mol minyak biji alpukat/methanol : 1:10
- Temperatur Operasi : 60°C

Variabel berubah proses:

- Komposisi ZnO :0%, 1%, 2%, 3%

Prosedur Penelitian

Prosedur Analisa Bahan Baku Penentuan Densitas (ASTM D-1298)

Piknometer kering dan bersih ditimbang lalu dicatat massanya. Piknometer diisi dengan minyak biji alpukat hingga penuh lalu ditimbang dan dicatat massanya. Massa sampel dalam piknometer merupakan selisih dari massa piknometer berisi sampel dengan piknometer kosong. Densitas produk dihitung dengan membagi massa sampel dengan volume sampel pada temperatur pengukuran.

Penentuan Viscositas (ASTM 445)

Aquadest dituang sebanyak 15 ml ke dalam viskosimeter, temperatur dicatat. Kemudian dihisap dengan karet penghisap sampai cairan berada di atas tanda "a" pada bulatan pipa kecil. Cairan dibiarkan turun, waktu selama turun dari tanda "a" ketanda "b" dihitung dengan stopwatch dan dicatat. Langkah b dan c diulangi sampai 3 kali.

Penentuan Kadar Asam Lemak Bebas

Sampel harus dalam keadaan cair sebelum ditimbang, dan pemanasan yang dilakukan tidak boleh melebihi 10°C di atas titik leleh. Sampel ditimbang sebanyak 2,5 g di dalam Erlenmeyer. Sampel dicampurkan dengan alcohol netral sebanyak 50 ml. Kemudian campuran sampel dititrasi dengan larutan KOH 0,1N sampai terbentuk warna merah yang bertahan selama kurang lebih 30 detik.

Preparasi Katalis (ZnO/CaO)

Teknik preparasi katalis ini dilakukan dengan metode *wet impregnation*, yaitu dilakukan preparasi terhadap sampel dan

alat. Dilanjutkan dengan penimbangan CaO sebanyak 10 g dan dipanaskan pada 120°C di dalam oven selama 2 jam. Kemudian 0,1 gr Nanopartikel ZnO dilurutkan dalam aquadest 30 ml. Larutan nanopartikel ZnO diimpregnasi dengan CaO yang telah dipanaskan dalam beaker glass sambil diaduk dengan magnetic stirrer dengan kecepatan 300 rpm selama 2 jam. Larutan disaring dan dikeringkan pada oven 120°C selama 12 jam. Bahan dikalsinasikan pada temperatur 450°C selama 1,5 jam.

Esterifikasi

Tahap Esterifikasi, dilakukan dengan cara mereaksikan 25 ml volume minyak biji alpukat dengan metanol 250 ml pada suhu 35°C dengan katalis asam sulfat pekat 0,75 ml, dan dilanjutkan dengan pengadukan selama 5 menit, dilanjutkan dengan pengadukan tanpa pemanasan selama 1 jam. Kemudian didiamkan 24 jam, hingga terbentuk lapisan trigliserida dan lapisan gliserin.

Transesterifikasi

Produksi metil ester dilakukan dengan metode Transesterifikasi, yaitu dengan mereaksikan minyak biji alpukat dengan methanol untuk menghasilkan biodiesel dan gliserol. Cara kerja Transesterifikasi, yaitu dengan cara menimbang terlebih dahulu trigliserida hasil esterifikasi sebanyak 200 gr, lalu dimasukkan kedalam reaktor bertekanan. Katalis kemudian dimasukkan kedalam reactor (Jumlah katalis disesuaikan dengan variasi yang ditentukan). Metanol ditambahkan sebanyak 170 ml dengan kecepatan pengaduk diatur 300 rpm. Campuran kemudian dipanaskan selama 1 jam pada suhu konstan 70 °C. Lalu Dianalisis jumlah persen metil ester yang dihasilkan

Analisis Hasil Karakterisasi Katalis dan Metil Ester

Katalis ZnO/CaO dikarakterisasi dengan menggunakan XRD. Sedangkan untuk metil ester dianalisis menggunakan kromatografi gas.

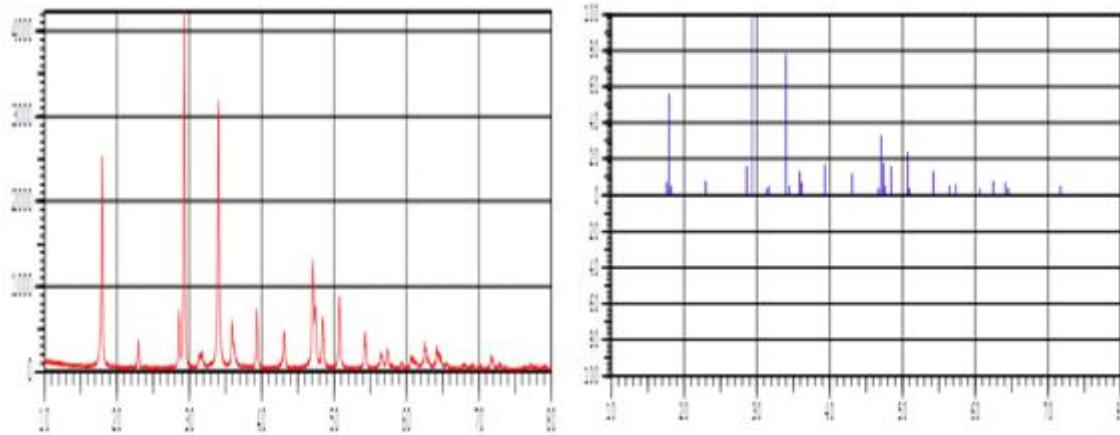
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Bahan Baku

Tabel.1 Hasil Analisis Bahan Baku

| Bahan Baku | Hasil |
|------------------|-------------|
| Densitas | 0,781 gr/ml |
| Viskositas | 0,068 poise |
| Asam Lemak Bebas | 0,73 % |

Hasil Analisis Karakteristik ZnO/CaO



Gambar 1. Identifikasi Pola Difraksi Sinar-X Sampel ZnO/CaO

Tabel 2. Identifikasi Puncak – Puncak Sampel Nanopartikel

| No. | 2Theta | d | I11 | FWHM | Intensity | Integrated |
|-----|---------|---------|-----|---------|-----------|------------|
| 1 | 17,6200 | 5,02944 | 6 | 0,18000 | 100 | 1895 |
| 2 | 17,9621 | 4,93441 | 55 | 0,19760 | 967 | 10026 |
| 3 | 18,2400 | 4,85985 | 4 | 0,15120 | 67 | 982 |
| 4 | 22,9765 | 3,86761 | 7 | 0,19300 | 128 | 1497 |
| 5 | 28,5977 | 3,11888 | 15 | 0,19410 | 267 | 3310 |
| 6 | 29,3225 | 3,04342 | 100 | 0,17630 | 1753 | 18620 |
| 7 | 31,4000 | 2,84663 | 3 | 0,24000 | 56 | 682 |
| 8 | 31,6793 | 2,82217 | 4 | 0,37860 | 64 | 1115 |
| 9 | 34,0205 | 2,63312 | 77 | 0,20020 | 1347 | 16310 |
| 10 | 34,4600 | 2,60054 | 4 | 0,21340 | 65 | 1893 |
| 11 | 35,9185 | 2,49821 | 12 | 0,22900 | 213 | 2369 |
| 12 | 36,1800 | 2,48075 | 6 | 0,25600 | 100 | 1561 |
| 13 | 39,3458 | 2,28813 | 16 | 0,17530 | 289 | 3273 |
| 14 | 43,1006 | 2,09709 | 11 | 0,22120 | 197 | 2926 |

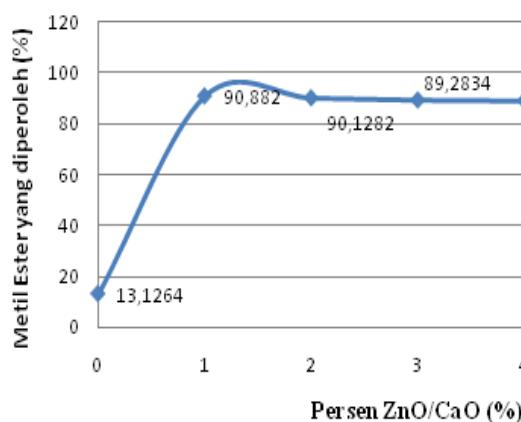
Tabel 3. Hasil Pembentukan Metil Ester dan Analisanya

| Katalis yang didoping | % ZnO | Komposisi | | | | |
|-----------------------------|-------|-----------|---------|--------|---------|--------|
| | | TG | DG | MG | ME | G |
| CaO | 0 | 67,5008 | 12,4552 | 1,1946 | 13,1264 | 0,5471 |
| ZnO/CaO | 1 | 0 | 0 | 0,2394 | 90,8820 | 0,8853 |
| ZnO/CaO | 2 | 0,056 | 0,0098 | 0,5849 | 90,1282 | 0,8972 |
| ZnO/CaO | 3 | 0,123 | 0,7628 | 0,8832 | 89,2834 | 0,9284 |

Keterangan : TG = Trigliserida, DG = Digliserida, MG = Monogliserida, ME =Metil Ester, G =Gliserol

Pengaruh Konsentrasi ZnO Yang Didoping Kedalam CaO Terhadap Kandungan Metil Ester

Penggandengan ZnO kedalam katalis CaO bertujuan untuk meningkatkan reaksi pembentukan metil ester dari minyak biji alpukat dengan kadar ALB 0,73 %. Dalam penelitian ini juga telah dilakukan reaksi transesterifikasi dengan menggunakan katalis CaO yang dikalsinasi pada suhu 450°C.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Persentase Loading ZnO Terhadap Pembentukan Metil Ester

Peningkatan pembentukan ester naik drastis dari loading 0 % sampai pada penggunaan katalis CaO dengan *doping* ZnO sebesar 1%, yaitu 13,624 % sampai 90,882 %. Hal ini disebabkan adanya reaksi antara CaO dengan asam lemak bebas yang tinggi pada minyak biji alpukat (Liu, 2008). Kadar asam lemak bebas dapat menganggu reaksi transesterifikasi (Gerpen, 2005).

Besarnya kandungan FFA dalam minyak biji alpukat sangat berpengaruh besar pada laju reaksi dan pada konsentrasi

akhir metil ester. Adanya air di dalam metil ester akan membuat konsentrasi turun pada saat awal-awal reaksi yang semestinya laju reaksinya cepat, akibat terjadinya reaksi hidrolisis ester yang membentuk asam lemaknya kembali (Tania, 2007).

Adanya peningkatan jumlah metil ester saat penggunaan ZnO/CaO 1% diakibatkan tersedianya luas permukaan katalis yang cukup besar untuk mereaksikan methanol dan minyak biji alpukat. Katalis dapat menyediakan jalan reaksi alternatif dengan energi aktivasi (energi minimum yang dibutuhkan campuran untuk menghasilkan produk) yang lebih kecil melalui pembentukan intermediet reaktif di permukaan katalis, di mana banyak terjadi reaksi atomik atau molekuler, kemudian intermediet aktif ini akan saling berinteraksi membentuk produk. Sehingga katalis mampu memperbesar kemungkinan terjadinya tumbuhan efektif antara molekul reaktan (Nurofik, 2008). Sejalan dengan Watkins (2004), yang mampu menghasilkan metil ester dengan reaksi transesterifikasi menggunakan katalis ZnO/CaO 1%.

Pada saat penggunaan katalis dengan *doping* ZnO sebesar 2% hingga 3% hasil metil ester yang diperoleh adalah menurun dari 90,1282% hingga 89,2834%, namun sedikit berada di bawah katalis dengan *doping* ZnO sebesar 1%. Namun adanya penurunan pembentukan metil ester pada penggunaan katalis CaO *doping* ZnO sebesar 2 sampai 3% dibanding dengan yang 1%

didekati dengan pengukuran terhadap reaksi-reaksi bersaing lain (Sharma dan Singh, 2009). Apabila dibandingkan dengan Siricha (2012), hasil transesterifikasi dengan katalis ZnO/CaO 1% hingga 3% ini lebih tinggi sekitar >10%. Secara umum, seharusnya kandungan metil ester yang dihasilkan meningkat seiring bertambahnya ZnO yang di doping. Ini diakibatkan karena besarnya kandungan asam lemak bebas yang terkandung pada minyak biji alpukat. Menurut teori, aktifitas katalisis dalam transesterifikasi sebanding dengan kekuatan basa katalis. Semakin tinggi tingkat kebasaan katalis, maka semakin tinggi konversi reaksi transesterifikasi (Lee, dkk., 2009).

Penentuan Penggunaan Doping Katalis yang Paling Baik

Pada penelitian ini juga diperoleh data komposisi gliserida hasil proses transesterifikasi. Kondisi operasi yang digunakan adalah Minyak Biji Alpukat : Metanol = 1:10, suhu reaksi 65°C, waktu reaksi selama 1 jam, dan jumlah katalis ZnO/CaO yang digunakan bervariasi. Penentuan penggunaan katalis yang paling baik didekati dari hasil analisa komponen gliserida produk metil ester.

Umumnya, reaksi transesterifikasi minyak biji alpukat dengan metanol menghasilkan ester asam lemak, yaitu metil ester dan gliserol dengan monoglycerida dan diglycerida sebagai produk antara. Reaksi transesterifikasi secara ideal berjalan secara konsekutif yaitu triglycerida menjadi diglycerida, selanjutnya diglycerida menjadi monoglycerida dan akhirnya mono gliserida menjadi ester (Freedman dkk, 1986). Hasil jumlah gliserida yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.3. Tabel diatas dapat diperoleh bahwa penggunaan katalis CaO yang di-doping ZnO 0% menunjukkan komposisi gliserida yang jauh lebih tinggi dibanding dengan penggunaan konsentrasi *doping* ZnO yang lain. Konsentrasi akhir komponen gliserida pada penggunaan *doping* ZnO 0% adalah triglycerida (67,5008%), diglycerida (12,4452%) dan

monoglycerida (1,1946%). Tingginya kandungan gliserida pada transesterifikasi dengan menggunakan ZnO/CaO 0% diduga diakibatkan karena tingginya asam lemak bebas yang dapat menyebabkan timbulnya reaksi penyabunan. Sehingga katalis tidak mampu mengarahkan reaksi ke arah produk metil ester.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Darnoko dan Cheryan (2000) dinyatakan bahwa penggunaan bahan baku dengan kadar asam lemak bebas di atas 1% menyebabkan meningkatnya hasil reaksi samping, yaitu reaksi penyabunan pada reaksi transesterifikasi oleh karena reaksi katalis basa yang lebih reaktif dengan asam lemak bebas dibandingkan gliserida.

Noureddini dan Zhu (1997) melakukan studi kinetika transesterifikasi minyak kedelai pada reaktorbatch. Hasil studi tersebut menunjukkan tahap pembentukan konversi triglycerida menjadi diglycerida merupakan tahap yang paling lambat dan penentu laju reaksi sedangkan tahap konversi monoglycerida menjadi metil ester dari merupakan tahap yang paling cepat.

Monoglycerida merupakan senyawa yang paling tidak stabil diantaranya senyawa intermediet lainnya dan akan segera terkonversi menjadi gliserol dan metil ester karena konstanta laju reaksinya paling cepat. Hasil studi yang sama juga diperoleh oleh Darnoko dan Cheryan (2000) yang melakukan studi kinetika transesterifikasi minyak kelapa sawit dan Vicente dkk (2005,2006) yang melakukan studi kinetika transesterifikasi minyak bunga matahari dan minyak Brassica carinata. Kedua hasil studi tersebut menunjukkan tahap konversi triglycerida menjadi diglycerida merupakan tahap penentu laju reaksi karena merupakan tahap paling lambat. Data jumlah gliserida yang diperoleh dapat dibuat perbandingan antara triglycerida, diglycerida, dan monoglycerida.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, diketahui bahwa penggunaan katalis nanopartikel ZnO/CaO dapat meningkatkan reaksi pembentukan metil ester dari minyak biji alpukat dengan kadar ALB 0,73%. Pembentukan metil ester yang paling tinggi diperoleh pada penggunaan katalis CaO dengan *doping* ZnO sebesar 1% yaitu sebesar 90,882%. Reaksi katalis dengan ALB yang tinggi dapat mempengaruhi reaksi transesterifikasi sehingga kandungan metil ester yang diperoleh tidak maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Alba-Rubio, et.al. 2010. *Heterogeneous Transesterification Procces by Using CaO Supported On Zinc Oxide as Basic Catalysts*. Catalysis Today.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. 15 th edition. Washington D.C. USA.
- Darnoko, D., Cheryan, M. 2000. *Kinetics of Palm Oil Transesterifications*. JAOCS. Vol. 77, no.12. pp 1263-1267. Illinois.
- Freedman,et.al. 1986. *Transesterification Kinetics of Soybean Oil*. JAOCS. Volume 63. pp 1375-1380.
- Knothe, G., Van Gerpen, J., Krahl, J., 2005. *The Biodiesel Handbook*. AOCS Press, Champaign, IL, USA.
- Hagen, Jens. 2006. *Industrial Catalyst*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.: Jerman.
- Hambali, dkk. 2007. *Pengembangan Bioenergi di Indonesia*. Cetakan Ketiga. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- Hendar. 2008. *Optimasi Transesterifikasi Refinery Bleached Deodorized Palm Oil menjadi Metil Ester menggunakan Katalis Lithium Hidroksida*. usu-library.ac.id.
- Istadi, I., Anggoro, D. D., Buchori, L., Rahmawati, DA. Intaningrum, D. 2014. *Active Acid Catalyst of Sulphated Zinc Oxide for Transesterification of Soybean Oil with Methanol to Biodiesel*. Journal Environmental Science. Vol. 23. pp. 385-393.
- Kanade, K.G., Kale, B.B., Aiyer R.C., Das B.K. 2006. *Effect Of Solvents On The Synthesis Of Nano-Size Zinc Oxide And Its Properties*. Materials Research Bulletin. Vol. 41. pp. 590-600.
- Kawashima, et al. 2008. *Acceleration of catalytic activity of calcium oxide for biodiesel production*. <http://www.springer.com>.
- Kouzu, M., Kasuno, T., Tajika, M., Sugimoto, Y., Yamanaka, S., Hidaka, J. 2008. *Calcium Oxide As A Solid Base Catalyst For Transesterification Of Soybean Oil And Its Application To Biodiesel Production*. Fuel. Vo. 87 No. 12. pp. 2798-2806.
- Lee, Dae Won, et.al. 2009. *Heterogeneous Base Catalysts for Transesterification in Biodiesel Synthesis*. CatalSurv Asia. Vol. 13. pp. 63-77.
- Liu, 2008. *Transesterifikasi of Soybean Oil to Biodiesel using CaO as a Solid Base Catalyst*. Elsevier Fuel. Vol. 87. pp. 216-221.
- 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. Vol. 341. pp 77 – 85.
- Nurofik. 2008. *Reaksi Oksidasi Katalitik*. Digital Library. FMIPA. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Rif'an. 2014. *Pengaruh Nanokatalis ZnO/CaO Terhadap Proses Transesterifikasi Biodiesel Dari*

- PFAD (*Palm Fatty Acid Distillat*). ITM. Medan.
- Refaat, A.A. 2010. *Biodiesel Production Using Solid Metal Oxide Catalysts*. Departement of Chemical Engineering. Cairo University. Egypt.
- Sharma, Y.C., Singh, B. 2008. *Development of Biodiesel: Current Scenario. Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol.582. pp. 1-6.
- Stark, J., Wendelin. 2005. *How to make Catalyst*. ETH Hönggerberg, HCI E 107. Institute Chemical and Bioengineering. Zurich.
- Prasetyowati, Pratiwi R., Fera T.O. 2010. *Pengambilan Minyak Biji Alpukat (Persea Americana Mill) dengan Metode Ekstraksi*. Jurnal Teknik Kimia. Vol. 17, No. 02.
- Watkins, Roberts S., et.al. 2004. *Li-CaO Catalyst Triglyceride Transesterification for Biodiesel Application*. Department of Chemistry. University of York.
- Yan S., Mohan S., DiMaggio C., Kim M., Simon Ng K.Y., Salley S.O. *Long Term Activity of Modified ZnO Nanoparticles for Transesterification*, Fuel, Vol. 89 pp. 2844–2852.
- Yulianti C.H., dkk. 2011. *Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO Sebagai Support Katalis*. Universitas Islam Lamongan. Jurnal Teknika. Vol. 03, No.2. Hal. 2085-0859.
- Zong M.H, Duan Z.Q, Lou W.Y, Smith, T. J., Wu, H. 2007. *Preparation of a Sugar Catalyst And Its Use For Highly Efficient Production of Biodiesel*. Green Chem. Vol. 9. pp. 434-437.