

PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK SAWIT OFF GRADE MENGUNAKAN KATALIS $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ PADA TAHAP TRANSESTERIFIKASI

Widya Yoesepha¹, Zuchra Helwani², Edy Saputra²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia S1, ²Dosen Jurusan Teknik Kimia,
Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
widyoesepha@gmail.com / wyoesepa@yahoo.co.id

ABSTRACT

Palm oil off grade is one of feedstock biodiesel from preparation of over done and decomposed palm oil. This palm oil off grade have >5% free fatty acid composition, therefore need two process to produce biodiesel that is esterification dan transesterification. The purpose of this research is to produce heterogen basic catalyst from iron powder impregnation with Na_2O and study the effect of condition process variation. The variation of transesterification process is temperature (50°C, 60°C and 70°C), mole ratio of oil : methanol (1:6, 1:8 and 1:10) and catalyst concentration (1%-wt, 2%-wt and 3%-wt) as long as 3 hours. The result of this research was processed with Response Surface Methodology (RSM) and the number of steps was determined by Central Composite Design (CCD). The highest yield of biodiesel is 79,52% at temperature 60°C, mole ratio oil : methanol 1:8 and catalyst concentration 2%-wt. The result showed that the catalyst concentration influencing the yield of biodiesel.

Keywords: *biodiesel, heterogen catalyst, palm oil off grade, response surface methodology, transesterification*

1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar terbarukan yang diperoleh melalui transesterifikasi minyak nabati, lemak hewan ataupun daur ulang minyak dari industri makanan dengan metanol (Taufiq dkk, 2011). Beberapa tahun terakhir, biodiesel lebih banyak diproduksi dari tanaman pangan seperti biji almond, kedelai dan sawit (Enggawati dan Edianti, 2013). Biodiesel berbahan baku minyak sawit atau CPO lebih berpotensi untuk diproduksi dibandingkan dengan bahan lainnya. Namun, selama ini CPO merupakan bahan baku utama dalam produksi minyak goreng dan margarin (Tety dkk, 2012).

Penggunaan sawit *off grade* pada produksi biodiesel merupakan salah satu

alternatifnya. Sawit *off grade* terbentuk akibat proses panen lambat, panen terlalu dini, buah busuk dan cacat, serta pengangkutan dari lahan ke pabrik yang terlambat. Keuntungan penggunaan sawit *off grade* adalah dapat mengurangi biaya produksi biodiesel karena 60% - 70% biaya produksi biodiesel berasal dari biaya bahan baku walaupun memiliki kadar ALB tinggi (Helwani dkk, 2009). Untuk produksi biodiesel dengan bahan baku yang memiliki kadar ALB tinggi, jenis katalis yang cocok digunakan adalah katalis homogen karena tidak sensitif terhadap ALB. Akan tetapi, katalis ini sulit dipisahkan dari produk dan *direcycle* serta dapat menyebabkan masalah lingkungan dan korosi (Ho dkk, 2012). Menggunakan katalis heterogen dapat

menjadi solusi karena tidak larut dalam metanol dan dapat digunakan kembali (Arzamendi dkk, 2007).

Penggunaan katalis heterogen basa berupa $\text{NaOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$ menghasilkan *yield* biodiesel sebesar 99%. Proses ini dilakukan pada suhu 60 °C selama 3 jam dengan rasio molar metanol:minyak sebesar 15:1 dan katalis sebanyak 3%-b (Taufiq dkk, 2011). Islam dkk (2013) membuat biodiesel dari minyak sawit menggunakan katalis KF dan NaNO_3 yang disupport pada milimetrik $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (*macrosphere*). Hasil optimum diperoleh dengan menggunakan katalis NaNO_3 dengan kondisi proses berupa rasio molar metanol:minyak sebesar 14:1, temperatur reaksi 60 °C, waktu reaksi selama 3 jam dan kadar katalis 4%-b dengan komposisi NaNO_3 0,3 g/g $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan *yield* 87%. Penelitian lain yang dilakukan oleh Martinez dkk (2013) yang menggunakan minyak bunga matahari dengan katalis $\text{Na}_2\text{O}/\text{NaX}$ memperoleh *yield* biodiesel optimum sebesar 99,3%. Kondisi optimumnya adalah katalis sebanyak 10%-berat minyak yang mengandung 10%-Na, temperatur reaksi 60°C dan rasio molar metanol:minyak sebesar 10:1.

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian tersebut disimpulkan bahwa penyangga yang umum digunakan untuk katalis Na_2O adalah NaX dan Al_2O_3 yang merupakan katalis sintetis dan Na_2O diperoleh dengan melakukan proses kalsinasi NaNO_3 dengan energi yang tinggi. Selain itu jumlah katalis dan rasio reaktan yang digunakan cukup besar dalam memproduksi biodiesel. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk membuat katalis Na_2O dari NaNO_3 yang diimpregnasi dengan limbah serbuk besi dari pengrajin teralis untuk produksi biodiesel dari sawit *off grade* dengan variasi jumlah katalis yang lebih rendah, rasio reaktan yang lebih kecil serta suhu reaksi.

2. Metodologi

2.1 Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak dari sawit *off grade* yang diperoleh dari hasil ekstraksi, *aquadest*, metanol, serbuk besi, NaNO_3 , H_2SO_4 98%, etanol teknis, KOH, indikator PP, dan asam oksalat.

2.2 Alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah labu leher tiga 500 ml, *magnetic stirrer*, oven, *furnace*, *hot plate*, timbangan analitik, kondensor, *spindle press*, piknometer 10 ml, viskometer *Ostwald*, gelas piala 250 ml, buret, erlenmeyer, pipet tetes, gelas ukur 50 ml dan statif.

2.3 Prosedur Penelitian

1. Persiapan Bahan Baku

Buah sawit *off grade* dicuci dan dikukus selama 120 menit. Setelah proses pengukusan selesai, buah dipres menggunakan *spindle hydraulic press*. Hasil ekstraksi selanjutnya dimasukkan ke dalam corong pisah hingga terbentuk dua lapisan yaitu minyak dan air. Kemudian dianalisa untuk mengetahui kadar ALB dan kadar airnya (Nugroho, 2013).

2. Pembuatan Katalis

Katalis yang digunakan pada pembuatan biodiesel adalah katalis homogen, H_2SO_4 untuk tahap esterifikasi dan katalis heterogen basa berupa NaNO_3 termodifikasi untuk tahap transesterifikasi. Proses modifikasi katalis ini dilakukan dengan metode impregnasi basah menggunakan serbuk besi. Komposisi impregnasi adalah 45%-b NaNO_3 yang dimuat ke serbuk besi. NaNO_3 yang telah dihitung banyaknya dilarutkan kedalam 250 ml akuades dengan suhu 80°C. Serbuk besi ditambahkan lalu diaduk pada suhu 80°C selama 4 jam. Katalis kemudian dioven pada suhu 110 °C selama 24 jam dan di-

furnace selama 4 jam pada suhu 650 °C (Hoddk, 2014).

3. Proses Esterifikasi

Esterifikasi bertujuan untuk menurunkan kadar ALB pada sawit *off grade*. Sebanyak 100 gram minyak sawit *off grade* dimasukkan kedalam reaktor berupa labu leher tiga yang dilengkapi dengan kondensor. Setelah mencapai suhu reaksi 60°C, Metanol ditambahkan dengan perbandingan rasio mol minyak : metanol 1:12 dan katalis H_2SO_4 sebanyak 1%-b kedalam reaktor. Kondensor dipasang, pengaduk mulai dijalankan dan waktu reaksi dimulai pada saat penambahan metanol dan katalis. Setelah 1 jam proses, campuran dipisahkan dalam corong pisah. Lapisan atas berupa katalis H_2SO_4 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).

4. Proses 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, kemudian dipanaskan hingga mencapai suhu reaksi. Setelah suhu reaksi yang telah ditentukan tercapai, tambahkan pereaksi metanol dan katalis $NaNO_3/Fe_3O_4$. Kondensor dipasang dan pengaduk mulai dijalankan. Setelah reaksi berlangsung selama 3 jam. Endapan berupa katalis dipisahkan dari filtratnya menggunakan magnet. Lakukan pengulangan perlakuan untuk variasi molar minyak : metanol ialah 1:6, 1:8, 1:10, konsentrasi katalis 1%-b, 2%-b, 3%-b dan temperatur reaksi 50°C, 60°C, 70°C.

5. Pemisahan dan Pemurnian

Filtrat dari proses transesterifikasi dimasukkan kedalam corong pisah dan didiamkan sampai terbentuk dua lapisan. Lapisan atas merupakan *crude* biodiesel yang kemudian dimurnikan dengan cara dicuci dengan aquades dan dipanaskan pada suhu 105°C selama 1 jam.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Ekstraksi Minyak Sawit *Off Grade*

Bahan baku yang digunakan berupa minyak sawit *off grade* dari buah sawit lewat matang dan busuk yang diekstraksi menggunakan *spindle hydraulic press*. Sebelum digunakan, minyak terlebih dahulu dianalisa kadar asam lemak bebas (ALB) dan kadar airnya. Data analisa karakteristik minyak sawit *off grade* sebagai bahan baku yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 3.1 Karakteristik Bahan Baku

No.	Karakteristik	Satuan	Nilai
1	Kadar air	%	1,58
2	Kadar asam lemak bebas	%	11,94

Kadar air dan kadar ALB minyak sawit *off grade* cukup tinggi. Kandungan air dalam minyak dapat mengakibatkan terjadinya hidrolisis terhadap minyak menjadi ALB. Jika kandungan ALB terlalu tinggi dalam minyak pada proses transesterifikasi, maka akan terjadi reaksi antara katalis basa dengan ALB membentuk sabun. Hal ini menyebabkan kinerja katalis menjadi tidak efektif dan menyulitkan proses pemisahan biodiesel dengan gliserol (Awaludin dkk, 2009).

3.2 Karakteristik Katalis

Katalis dianalisa tingkat kebiasaannya menggunakan indikator Hammet. Indikator Hammet yang digunakan adalah indikator *phenolphthalein* ($H_- = 9,3$). Pengujian ini ditunjukkan dengan perubahan warna dari

bening menjadi ungu saat ditambahkan indikator *phenolphthalein* pada larutan katalis. Hal ini menunjukkan katalis memiliki kebasaaan > 9,3. Kebasaan katalis dapat meningkatkan aktifitas katalis sehingga *yield* biodiesel menjadi tinggi. Selain itu kekuatan basa katalis memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap *yield* dibandingkan dengan pengaruh luas permukaan katalis (Helwani dkk, 2013; 2016). Pada katalis yang telah dikalsinasi terbentuk FeNaO_2 dan Na_2O yang menandakan NaNO_3 pada permukaan dan matriks Fe_3O_4 berubah menjadi FeNaO_2 selama proses kalsinasi dan terikat kuat.

3.3 *Yield* dan Karakteristik Biodiesel

1. Konversi Asam Lemak Bebas pada Reaksi Esterifikasi

Minyak hasil ekstraksi sawit *off grade* memiliki kadar ALB yang tinggi yaitu 11,94% sehingga perlu dilakukan proses esterifikasi. Tujuan dari proses ini adalah menurunkan kadar ALB pada minyak sawit *off grade*. Kadar ALB minyak sawit *off grade* setelah esterifikasi turun menjadi 1,44%.

2. *Yield* Biodiesel

Yield biodiesel yang dihasilkan berkisar antara 25,18% sampai 79,58%. *Yield* biodiesel terbesar diperoleh pada kondisi proses suhu reaksi 60°C dengan perbandingan mol minyak dan metanol 1:8 dan berat katalis 2%-b. Sedangkan *yield* terendah diperoleh pada suhu reaksi 60°C dengan perbandingan mol minyak dan metanol 1:8 dan berat katalis 0%-b.

Biodiesel yang diperoleh pada penelitian ini jauh lebih kecil dari penelitian sebelumnya. Islam dkk (2013) menggunakan katalis Na_2O dari NaNO_3 yang diimpregnasi dengan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ untuk mengkonversi minyak sawit menjadi biodiesel dengan *yield* tertinggi sebesar 87%. Hal ini disebabkan jumlah katalis NaNO_3 yang diimpregnasikan dengan limbah serbuk besi pada penelitian ini hanya 45%-b dari total akhir katalis, dimana penelitian Taufiq dkk (2011) menggunakan NaNO_3 sebanyak 50%-b (dari total akhir katalis) pada proses impregnasi ke *support* alumina sehingga memiliki sisi aktif katalis yang lebih.

3. Karakteristik Biodiesel

Karakteristik biodiesel yang diuji pada penelitian ini adalah densitas, viskositas kinematik, angka asam dan titik nyala. Hasil pengujian karakteristik biodiesel dengan karakteristik biodiesel berdasarkan SNI 04-7182-2012 ditampilkan pada Tabel 3.2.

Densitas merupakan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan volume bahan bakar. Biodiesel yang memiliki densitas melebihi ketentuan akan menghasilkan reaksi pembakaran tidak sempurna. Sehingga akan meningkatkan emisi dan keausan mesin (Prihandana dkk., 2006). Viskositas kinematik didefinisikan sebagai daya tahan atau resistansi suatu fluida untuk mengalir di bawah gravitasi. Viskositas bahan bakar yang tinggi dapat menyebabkan sistem injeksi dan pembakaran tidak berjalan sempurna serta dapat membentuk deposit dalam mesin.

Tabel 3.2 Perbandingan Karakteristik Biodiesel Hasil Penelitian dengan Biodiesel Standar Nasional Indonesia (SNI) 04-7182-2012

Karakteristik	Satuan	Biodiesel Hasil Penelitian	SNI 04-7182-2012
Densitas	kg/m^3	861,66	850 – 890
Viskositas Kinematik	mm^2/s	5,38	2,3 – 6,0
Angka Asam	mg-KOH/g	0,43	Maks. 0,8
Titik Nyala	$^{\circ}\text{C}$	173	Min. 100

Faktor yang mempengaruhi terbentuknya asam dalam biodiesel adalah jenis dan tingkat kemurnian bahan baku, proses pembuatan biodiesel seperti katalis asam yang digunakan pada tahap transesterifikasi serta proses penyimpanan. Angka asam yang tinggi pada biodiesel dapat menyebabkan korosif pada mesin (Kasim, 2010). Titik nyala yaitu parameter yang bertujuan untuk pencegahan insiden ketika proses penyimpanan dan transportasi dari minyak biodiesel. Titik nyala yang tinggi dari SNI membuat biodiesel aman dalam penyimpanan dan penanganan bahan bakar.

3.4 Desain dan Analisis Model Yield

Desain yang digunakan pada penelitian ini berupa metode *Response Surface Methodology* (RSM) yang memiliki tujuan untuk mempelajari pengaruh kondisi proses terhadap *yield* biodiesel. Pengaruhnya berupa suhu reaksi (ξ_1), rasio mol minyak : metanol (ξ_2) dan jumlah katalis (ξ_3) terhadap *yield* biodiesel (y) dimana y merupakan respon. Rancangan percobaan dan *yield* yang diperoleh ditampilkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Rancangan Percobaan dengan Menggunakan Kode Variabel

Standar	Run	Natural Variable			Coded Variable			Yield	
		X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	Experimental	Predicted
1	9	50	6	1	-1	-1	-1	33,32	34,84
2	17	70	6	1	1	-1	-1	53,90	48,94
3	2	50	10	1	-1	1	-1	41,54	40,06
4	14	70	10	1	1	1	-1	44,60	48,37
5	18	50	6	3	-1	-1	1	71,24	72,88
6	1	70	6	3	1	-1	1	43,46	50,35
7	20	50	10	3	-1	1	1	74,34	84,71
8	4	70	10	3	1	1	1	52,52	56,41
9	19	44	8	2	-1,68	0	0	64,56	60,01
10	6	77	8	2	1,68	0	0	51,16	48,06
11	13	60	5	2	0	-1,68	0	60,14	59,72
12	12	60	12	2	0	1,68	0	76,44	69,20
13	7	60	8	0	0	0	-1,68	25,18	28,47
14	5	60	8	4	0	0	1,68	78,16	67,22
15	11	60	8	2	0	0	0	61,04	69,92
16	16	60	8	2	0	0	0	62,74	69,92
17	10	60	8	2	0	0	0	79,52	69,92
18	3	60	8	2	0	0	0	75,62	69,92
19	15	60	8	2	0	0	0	72,14	69,92
20	8	60	8	2	0	0	0	67,14	69,92

Data hasil penelitian yang diperoleh diolah menggunakan program *Design Expert* 7.0 sehingga diperoleh persamaan polinomial orde dua yang ditampilkan pada Persamaan 1 berikut.

$$Y = 69,92 - 3,55 X_1 + 2,82 X_2 + 11,52 X_3 - 5,62 X_1^2 - 1,93 X_2^2 - 7,8 X_3^2 + 1,44 X_1X_2 - 9,15 X_1X_3 + 1,66 X_2X_3 \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan : Y = *Yield* biodiesel (%)
 X_1 = Suhu reaksi (°C)
 X_2 = Rasio Mol (mol)
 X_3 = Konsentrasi Katalis (%)

3.5 Pengaruh Kondisi Proses terhadap *Yield* Biodiesel

Kondisi proses yang digunakan dalam penelitian ini khususnya pada proses transesterifikasi adalah suhu reaksi, rasio mol minyak : metanol dan jumlah katalis. Hasil *P-value* diperoleh bahwa kondisi proses yang memberikan pengaruh signifikan terhadap *yield* biodiesel adalah jumlah katalis sedangkan suhu reaksi dan rasio mol minyak : metanol tidak memberikan pengaruh yang signifikan.

Suhu reaksi transesterifikasi yang divariasikan adalah 50 -70 °C. Peningkatan suhu reaksi menyebabkan jumlah biodiesel yang diperoleh meningkat. Suhu reaksi esterifikasi maupun transesterifikasi harus dijaga dibawah titik didih metanol. Ketika suhu telah mencapai titik didih metanol, maka akan terbentuk gelembung metanol yang dapat menghalangi transfer massa dan mengurangi jumlah metanol yang bereaksi dengan minyak biodiesel (Taufiq dkk, 2011). Hal inilah yang penurunan *yield* biodiesel ketika suhu reaksi semakin mendekati suhu 70 °C. Menurut Awaludin dkk (2009), jika suhu reaksi ditingkatkan setelah mencapai kondisi optimum maka kenaikan suhu tidak akan menambah perolehan biodiesel.

Rasio mol minyak : metanol pada penelitian ini tidak memberikan pengaruh

yang signifikan terhadap *yield* biodiesel. Awaluddin dkk (2009) menyatakan apabila konsentrasi metanol ditingkatkan diatas atau dikurangi dibawah konsentrasi optimalnya, maka pada produksi biodiesel tidak terjadi peningkatan yang berarti namun akan mengakibatkan peningkatan gliserol dan emulsi yang terbentuk. Penggunaan metanol yang melebihi rasio optimal dalam suatu reaksi tidak akan meningkatkan *yield* biodiesel, tetapi hanya akan meningkatkan biaya produksi (Budiawan dkk, 2013).

Semakin banyak katalis yang digunakan maka *yield* biodiesel yang dihasilkan semakin tinggi. Namun, pada penggunaan kadar katalis yang lebih besar menyebabkan sedikit *yield* biodiesel menurun. Menurut Ulfayana dan Helwani (2014) semakin besar konsentrasi yang diberikan maka semakin banyak sabun yang terbentuk sehingga perolehan biodiesel yang dihasilkan berkurang. Penyabunan akan mempersulit pemisahan biodiesel dengan gliserol sehingga menyebabkan terbentuknya emulsi. Sebagian biodiesel terjebak dalam emulsi sehingga saat dilakukan pemurnian, biodiesel tersebut ikut terbuang bersama air cucian. Selain itu, penggunaan katalis yang terlalu banyak menyebabkan campuran antara katalis dan reaktan yang semakin mengental, sehingga pengadukan yang diperlukan lebih besar (Taufiq dkk, 2011).

4. Kesimpulan

Katalis yang terbentuk dari impregnasi serbuk besi dengan NaNO₃ sebagai prekursor Na₂O adalah FeNaO₂. *Yield* biodiesel hasil reaksi transesterifikasi berkisar dari 25,18% sampai 79,52%. Kondisi operasi dengan perolehan *yield* tertinggi adalah pada suhu 60°C, katalis sebanyak 2%-b dan rasio mol minyak:metanol sebesar 1:8. Kondisi operasi yang memberikan pengaruh signifikan terhadap *yield* biodiesel adalah konsentrasi katalis.

Daftar Pustaka

- Arzamendi G., I. Campo, M. Sanchez, M. Montes dan L.M. Gandia. 2007. Synthesis of Biodiesel with Heterogeneous NaOH/Alumina Catalysts: Comparison with Homogeneous NaOH. *Chemical Engineering Journal* 134, 123-130
- Awaluddin, A., Saryono, S. Nelvia, dan Wahyuni. 2009. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biodiesel dari Minyak Sawit Mentah Menggunakan Katalis Padat Kalsium Karbonat yang Dipijarkan. *Jurnal Natur Indonesia* 11(2): 129-134 (ISSN : 1410-9379). Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Riau. Pekanbaru.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. Standar Nasional Indonesia (SNI) Nomor 04-7182:2012 tentang Biodiesel. Badan Standarisasi Nasional (BSN). 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.
- Enggawati E.R. dan R. Edianti. 2013. Pemanfaatan Kulit Telur Ayam dan Abu Layang Batu Bara sebagai Katalis Heterogen untuk Reaksi Transesterifikasi Minyak Nyamplung. *Jurnal Sains dan Seni Pomits* Vol 2. No.1: 2337-3520
- Helwani Z., M.R. Othman, N. Aziz, J. Kim dan W.J.N. Fernando. 2009. Solid Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Triglycerides with Methanol. *Applied Catalysis A:General* 363, 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
- Helwani Z., N. Aziz, J. Kim, M.R. Othman. 2016. Improving the Yield of Jatropha Curcas's FAME Through Sol-Gel Derived Meso-Porous Hydrotalcite. *Renewable Energy* 86, 68-74
- Ho W.W.S., H.K. Ng dan S. Gan. 2012. Development and Characterisation of Novel Heterogeneous Palm Oil Mill Boiler Ash-Based Catalyst for Biodiesel Production. *Bioresource Technology* 125, 158-164
- 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 *Management*. 88 : 1167-1178
- Islam, A., Y.H. Taufiq, C.M. Chu, P. Ravindra dan E.S. Chan. 2013. Transesterification of Palm Oil using KF and NaNO₃ Catalyst Supported on Spherical Milimetric γ -Al₂O₃. *Renewable Energy*, 59, 23 - 29
- 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
- Martinez, S.L., R. Romero, R. Matividad dan J. Gonzalez. 2013. Optimization of Biodiesel Production from Sunflower Oil by Transesterification using Na₂O/NaX and Methanol. *Catalyst Today*, 220-222, 12-20
- Nugroho, D.A. 2013. Ekstraksi Sawit Off-grade Menggunakan Metode Artisanal. *Skripsi Sarjana*. Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau. Pekanbaru

- Prihandana, R., R. Henndroko dan M. Nuramin. 2006. *Menghasilkan Biodiesel Murah Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM*. Jakarta : PT. Agromedia Pusaka.
- Taufiq Y.H., N.F. Abdullah dan M. Basri. 2011. Biodiesel Production via Transesterification of Palm Oil Using NaOH/Al₂O₃ Catalyst. *Sains Malaysiana* 40, 6, 587-594
- Tety E., S. Hutabarat, F.M. Putra. 2012. Prospek Komoditas Minyak Kelapa Sawit (CPO) dalam Pengembangan Biodiesel Sebagai Alternatif Bahan Bakar di Indonesia. *Pekbis Jurnal*, 4, 3, 152-162
- Ulfayana, S., dan Z. Helwani. 2014. Natural Zeolite for Transesterification Step Catalyst Biodiesel Production from Palm Off Grade. *Regional Conference on Chemical Engineering*. Yogyakarta