

PEMANFAATAN $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ SEBAGAI KATALIS PADA TAHAP TRANSESTERIFIKASI SAWIT OFF GRADE MENJADI BIODIESEL

Trisuciati Syahwardini¹, 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
Trisuciati.syahwardini@yahoo.com

ABSTRACT

Off-grade palm oil is a source of vegetable oils that utilization is not maximized yet. It has ALB > 2% so must be process with esterification and transesterification. In general, biodiesel is produced through transesterification reactions using homogeneous catalysts. Homogeneous catalysts can be replaced with heterogeneous catalysts with easily separated and environmentally friendly. Waste iron powder can be used as catalyst support and provide metallic properties for separate product easily. This study aims to create a catalyst that has metallic properties and to study the transesterification reaction process conditions at transesterification process. Esterification process were reacted at 60 °C with time reaction 1 hour, molar ratio of methanol : oil of 12:1 and 1% H_2SO_4 -w catalyst. The esterification reaction can reduce levels of ALB from 11.95% to 1.44%. Transesterification conducted with the molar ratio of methanol : oil in a row are 6:1, 8:1, and 10:1, the amount of catalyst modification 1% -w, 2%-w, 3% -w, a reaction temperature of 50 °C, 60 °C, 70 °C, and the reaction time 3 hours. Processing data using Response Surface Methodology (RSM), while the number of experiment are determined by Central Composite Design (CCD). Yield was resulted in ranging from 22.34% to 59.92%. The highest yield obtained at 60 °C with molar ratio of methanol : oil is 8:1 and the amount of catalyst $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ 2%-w.

Keywords : *biodiesel, heterogeneous catalyst, off-grade palm, rsm, transesterification.*

1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang diproduksi dengan mereaksikan minyak yang berasal dari tanaman atau lemak hewan dengan alkohol seperti metanol melalui reaksi transesterifikasi.

Keunggulan biodiesel jika dibandingkan dengan bahan bakar diesel/solar adalah lebih ramah lingkungan, dapat terdegradasi, kontinuitas ketersediaan bahan baku terjamin, tidak beracun,

menghasilkan gas buang berbahaya yang lebih sedikit dibandingkan, serta memiliki *flash point* yang lebih tinggi sehingga lebih aman dalam penanganan dan penyimpanan [Taufiq dkk., 2011 ; Knothe dkk., 2005].

Katalis yang umum digunakan pada proses transesterifikasi pembuatan biodiesel adalah larutan basa atau asam dan dapat berupa katalis homogen ataupun heterogen. Penggunaan katalis homogen memiliki beberapa kelemahan seperti sulitnya proses pemisahan katalis dengan produk, serta

katalis homogen tidak bisa digunakan kembali setelah reaksi [Helwani dkk., 2009]. Katalis homogen yang bersifat basa dapat bereaksi dengan asam lemak bebas membentuk sabun dan akan menyulitkan pemisahan sehingga mengurangi *yield* dari biodiesel. Katalis asam dapat menyebabkan korosi pada alat-alat proses, beracun, memerlukan waktu reaksi yang lama, serta memerlukan rasio molar metanol dan minyak yang lebih tinggi [Taufiq dkk., 2011].

Katalis homogen tersebut dapat digantikan dengan katalis heterogen yang lebih ramah lingkungan, lebih mudah dipisahkan, dan dapat digunakan kembali. Namun, terdapat keterbatasan penggunaan katalis heterogen, yaitu permukaan sisi aktif katalis cepat teracuni jika terpapar dengan lingkungan karena terjadi reaksi dari CO_2 dan H_2O di permukaan situs [Taufiq dkk., 2011]. Pada penelitian ini digunakan katalis heterogen berupa $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_3\text{O}_4$.

Pembuatan biodiesel dengan katalis heterogen dilakukan oleh Kumar dkk., [2010] menggunakan katalis padat yaitu Na/SiO_2 pada transesterifikasi minyak jarak dengan bantuan radiasi ultrasonik. *Yield* biodiesel diperoleh sebesar 98,53% pada kondisi rasio molar metanol: minyak 9:1; konsentrasi katalis 3%-b; dan waktu reaksi 15 menit. Taufiq dkk., [2011] melakukan penelitian dengan bahan baku berupa CPO dengan katalis $\text{NaOH}/\text{Al}_2\text{O}_3$. *Yield* biodiesel yang didapat mencapai 99% pada suhu reaksi 60°C , rasio molar metanol: minyak 15:1, waktu reaksi 3 jam, dan jumlah katalis 3%-b.

Pembuatan biodiesel menggunakan katalis heterogen juga dilakukan oleh Martinez dkk., [2013] dengan bahan baku minyak bunga matahari. Katalis heterogen berupa zeolit NaX yang dimodifikasi dengan Na_2O melalui proses impregnasi dan kalsinasi. Biodiesel dengan *yield* maksimum sebesar 99,3% diperoleh pada kadar Na di

dalam katalis sebesar 10%, suhu reaksi 60°C , rasio molar metanol : minyak 6:1, waktu reaksi 6 jam, dan konsentrasi katalis 10%-b.

Permasalahan-permasalahan dari peneliti sebelumnya dapat diatasi dengan menggunakan bahan baku berupa sawit *off grade* dengan katalis heterogen Na_2O dari NaNO_3 dengan *support* berupa Fe_3O_4 dari limbah serbuk besi untuk reaksi transesterifikasi. Penggunaan serbuk besi sebagai *support* adalah untuk mempermudah pemisahan katalis karena besi bersifat feromagnetik serta serbuk besi dapat mencegah pembentukan ikatan hidrogen yang dapat menurunkan kemurnian gliserol dan menyulitkan proses pemisahan.

2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak dari sawit *off grade* yang diperoleh dari hasil ekstraksi, metanol pa (MERCK EMSURE CAS 67-56-1), limbah serbuk besi dari pengrajin las, NaNO_3 (MERCK EMPLURA 7631-99-4), H_2SO_4 98% (MERCK EMSURE CAS 7664-93-9), aquades, etanol teknis (BRATACO), KOH (MERCK EMSURE CAS 1310-58-3), indikator PP, dan asam oksalat (MERCK EMSURE CAS 6153-55-6)

Alat yang dipakai

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ayakan ± 100 mesh, labu leher tiga 500 ml, *magnetic stirrer*, oven, furnace, hot plate, timbangan analitik, kondenser, spindle press, piknometer 10 ml, viskometer Oswald, gelas piala 250 ml, buret, erlenmeyer, pipet tetes, gelas ukur 50 ml, statif.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan dalam pengerjaannya, yaitu:

1. Pembuatan Katalis $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_3\text{O}_4$

Katalis untuk reaksi esterifikasi digunakan katalis homogen yaitu H_2SO_4 , sedangkan untuk reaksi transesterifikasi digunakan katalis heterogen berupa serbuk besi yang telah dimodifikasi. Limbah serbuk besi dikumpulkan dari pengrajin las dan dicuci dengan aquades untuk menghilangkan pasir dan pengotornya. Serbuk besi kemudian diayak dengan ayakan ± 100 mesh sehingga ukurannya seragam.

Proses modifikasi katalis ini menggunakan metode impregnasi 45%b dari berat total katalis yang akan dibuat (50 gr). Sebanyak 22,5 gr NaNO_3 dilarutkan dengan 250 ml aquades dan diaduk hingga homogen. Serbuk besi sebanyak 27,5 gr ditambahkan lalu diaduk di atas pemanas dan dipanaskan pada suhu 80°C selama 4 jam dengan kecepatan pengadukan 400 rpm. Setelah itu, larutan dioven selama 24 jam pada suhu 110°C . Kemudian padatan dikalsinasi selama 4 jam pada suhu 550°C [Ho dkk., 2014 ; Liu dkk., 2010].

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 H_2SO_4 1%-b ditambahkan. Kondensor dipasang, pengaduk dinyalakan dan reaksi berlangsung selama 1 jam. Kemudian campuran dipisahkan dalam corong pisah. Lapisan atas berupa katalis H_2SO_4 , air, 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].

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 yaitu 50°C , 60°C , dan 70°C . Setelah suhu reaksi yang telah ditentukan tercapai, tambahkan pereaksi metanol dengan perbandingan rasio molar metanol : minyak yaitu 6 : 1, 8 : 1, dan 10 : 1 dan konsentrasi katalis $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ yaitu 1%-b, 2%-b, dan 3%-b. Kondensor dipasang dan pengaduk mulai dijalankan. Setelah reaksi berlangsung selama 3 jam, kemudian campuran didinginkan dan katalis dipisahkan dengan menggunakan magnet [Liu dkk., 2010]. Filtrat dilanjutkan ke proses pemisahan dan pemurnian biodiesel.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Ekstraksi Sawit *Off-grade*

Sawit *off grade* yang digunakan adalah jenis buah sawit lewat matang dan busuk. 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 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
1	Kadar air	%	1,58
2	Kadar asam lemak bebas	%	11,95

3.2 Pembuatan dan Uji Karakteristik Katalis

Katalis yang didapatkan dianalisa tingkat kebasaannya menggunakan indikator Hammet. Analisa kebasaaan dilakukan menggunakan indikator *Phenolptalein* dengan nilai $H_9 = 9,3$. Hasil yang didapatkan terbentuk warna ungu. Hal ini menandakan bahwa kebasaaan dari katalis ini $H_9 > 9,3$ dan membuktikan bahwa katalis yang didapatkan bersifat basa sehingga dapat digunakan pada reaksi transesterifikasi minyak sawit *off grade* [Helwani dkk., 2013, 2016].

3.3 Yield dan Karakteristik Biodiesel

3.3.1 Yield Biodiesel

Data *yield* biodiesel ditampilkan pada Tabel 3.2 *Yield* yang dihasilkan berkisar antara 22,34% sampai 59,92%. *Yield* terbesar dihasilkan pada kondisi proses temperatur 60°C, rasio molar metanol dan minyak 8:1 dan berat katalis 2%b. Hasil ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan *yield* biodiesel dari katalis NaOH/ Al_2O_3 dengan bahan baku minyak sawit yaitu sebesar 99% [Taufiq dkk, 2011]. Hal ini disebabkan

jumlah katalis $NaNO_3$ yang diimpregnasikan dengan Fe_3O_4 kecil. Menurut Liu dkk. [2010] jumlah katalis yang diimbakan memiliki pengaruh terhadap *yield* yang dihasilkan, jika terlalu sedikit maka sisi aktif dari katalis semakin sedikit sehingga *yield* yang dihasilkan kecil.

3.3.2 Karakteristik Biodiesel

Biodiesel yang diperoleh diuji untuk mengetahui karakteristiknya untuk dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan agar dapat dipasarkan secara komersial. Karakteristik yang diuji adalah densitas, viskositas kinematik, angka asam dan titik nyala. Hasil pengujian karakteristik biodiesel dengan karakteristik berdasarkan SNI 04-7182-2006. Karakteristik yang ditampilkan pada Tabel 3.3 menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi syarat mutu yang telah ditetapkan oleh Badan Standar Nasional (BSN).

Densitas berkaitan dengan jumlah minyak yang terukur pada sistem mesin. Densitas yang tidak memenuhi standar akan menyebabkan reaksi pembakaran tidak sempurna sehingga dapat meningkatkan emisi dan keausan pada mesin. Viskositas yang melebihi standar akan menyebabkan susahnya bahan bakar tersebut mengalir pada injeksi sehingga terjadi pemadaman nyala saat pembakaran 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 [Knothe dkk., 2005].

3.3.3 Desain dan Analisis Model *Yield* Biodiesel

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM). Metode RSM merupakan metode yang digunakan untuk melakukan proses optimasi.

Data perolehan *yield* biodiesel pada Tabel 3.2 selanjutnya diolah dengan menggunakan program *Design Expert 7.0* sehingga diperoleh persamaan polynomial orde dua seperti ditampilkan persamaan 3.1.

$$Y = 56,04 + 2,31 X_1 + 6,5 X_2 - 1,22 X_3 - 4,44 X_1^2 - 5,83 X_2^2 - 10,81 X_3^2 - 0,69 X_1 X_2 - 4,82 X_1 X_3 + 1,67 X_2 X_3 \dots\dots\dots (3.1)$$

Yang mana

Y = *Yield* biodiesel (%)

X₁ = Temperatur reaksi (°C)

X₂ = Rasio molar metanol : minyak (mol/mol)

X₃ = Konsentrasi katalis (%-b)

Tabel 3.2 Hasil Percobaan pada Variasi Kondisi Proses

Standar	Run	Natural Variable			Yield (%)
		ξ ₁	ξ ₂	ξ ₃	
1	1	50,00	6,00	1,00	27,08
2	13	70,00	6,00	1,00	39,2
3	16	50,00	10,00	1,00	43,5
4	11	70,00	10,00	1,00	46,52
5	6	50,00	6,00	3,00	27,84
6	15	70,00	6,00	3,00	22,34
7	5	50,00	10,00	3,00	44,6
8	2	70,00	10,00	3,00	34,68
9	14	44,00	8,00	2,00	43,86
10	19	77,00	8,00	2,00	51,04
11	3	60,00	5,00	2,00	26,84
12	17	60,00	12,00	2,00	52,98
13	10	60,00	8,00	0	25,18

14	4	60,00	8,00	4,00	26,46
15	20	60,00	8,00	2,00	59,92
16	12	60,00	8,00	2,00	56,24
17	9	60,00	8,00	2,00	54,62
18	8	60,00	8,00	2,00	50,94
19	7	60,00	8,00	2,00	53,64
20	18	60,00	8,00	2,00	55,65

Yang mana,

ξ₁ = Temperatur reaksi (°C)

ξ₂ = Rasio molar (mol/mol)

ξ₃ = Konsentrasi katalis (%-b)

3.3.4 Pengaruh Kondisi Proses dan

Interaksinya terhadap *Yield* Biodiesel

Berdasarkan hasil pengujian *P-value*, koefisien model yang memberikan pengaruh signifikan terhadap respon (*yield* biodiesel) diantaranya X₁ yang mewakili temperatur reaksi, X₂ yang mewakili rasio molar metanol dan minyak, X₁X₃ yang mewakili interaksi antara temperatur reaksi dan jumlah katalis, X₁² yang mewakili temperatur kuadrat, X₂² yang mewakili rasio molar metanol dan minyak kuadrat, dan X₃² yang mewakili jumlah katalis kuadrat.

a. Pengaruh Kondisi Proses

Berdasarkan hasil pengujian *P-value*, variabel yang memberikan pengaruh signifikan terhadap *yield* biodiesel adalah temperatur reaksi dan rasio molar metanol : minyak. Peningkatan suhu dari 50 – 60 °C dapat menyebabkan jumlah tumbukkan antar partikel semakin besar sehingga reaksi semakin cepat dan menghasilkan *yield* biodiesel yang tinggi [Hikmah dan Zuliana. 2010]. Namun, peningkatan suhu reaksi menjadi 70°C akan menurunkan *yield* biodiesel karena telah melewati titik didih methanol, sehingga sebagian jumlah metanol dalam fasa cair berkurang sehingga jumlah tumbukan efektif untuk

menghasilkan biodiesel semakin berkurang [Taufiq dkk., 2011].

Perbandingan molar metanol : minyak berbanding lurus terhadap *yield* biodiesel. Peningkatan *yield* pada penambahan rasio molar metanol : minyak dari 6:1 menjadi 8:1 meningkatkan *yield* biodiesel secara drastis. Namun penambahan rasio molar metanol : minyak mencapai 10:1 tidak terlalu berpengaruh terhadap *yield* biodiesel. Menurut Taufiq dkk., [2011] penambahan metanol berlebih bertujuan agar reaksi bergerak ke arah produk karena reaksi transesterifikasi merupakan reaksi kesetimbangan. Naluri dkk., [2015] menggunakan rasio molar metanol : minyak sebesar 8:1 didapatkan *yield* biodiesel sebesar 96,99%. Taufiq dkk., [2011] menggunakan rasio molar metanol : minyak sebesar 15:1 didapatkan *yield* biodiesel sebesar 99%.

Pada penelitian ini didapat *yield* maksimum pada penambahan katalis 2%b. Penambahan jumlah katalis hingga 3%b menyebabkan *yield* turun. Hal ini disebabkan semakin besar konsentrasi yang diberikan maka semakin banyak sabun yang terbentuk yang menyebabkan *yield* biodiesel berkurang.

Tabel 3.3 Karakteristik Biodiesel Hasil Penelitian

Karakteristik	Satuan	Biodiesel Hasil Penelitian	SNI 04-7182-2006
Densitas	Kg/m ²	887,59	850 – 890
Viskositas Kinematik	mm ² /s	5,11	2,3 – 6,0
Angka Asam	mg-KOH/g-biodiesel	0,42	Maks. 0,8
Titik Nyala	°C	173	Min. 100

b. Pengaruh Interaksi Kondisi Proses terhadap *Yield* Biodiesel

Hasil pengujian *P-value* menunjukkan bahwa interaksi antara temperatur dengan jumlah katalis (X_1X_3) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *yield* biodiesel.

4. Kesimpulan

Katalis FeNaO_2 dapat dibuat dengan menggunakan limbah serbuk besi sebagai sumber Fe_3O_4 dan NaNO_3 sebagai prekursor Na_2O . Reaksi esterifikasi pada kondisi operasi suhu 60°C dengan rasio molar metanol : minyak 12:1 dan 1%b katalis H_2SO_4 dapat menurunkan kadar ALB pada

minyak sawit off-grade dari 11,95% menjadi 1,44%. Reaksi transesterifikasi menghasilkan *yield* biodiesel berkisar 22,34% sampai 59,92%. *Yield* tertinggi didapatkan pada suhu 60°C dengan rasio molar metanol : minyak sebesar 8 :1, serta jumlah katalis $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ sebanyak 2%b. Hasil pengujian *P-value* menunjukkan bahwa kondisi operasi yang memberikan pengaruh signifikan adalah suhu reaksi (50°C, 60 °C, dan 70 °C) serta rasio molar metanol : minyak (6:1, 8:1 dan 10:1). Sedangkan jumlah katalis (1%, 2%, dan 3%) tidak memberikan pengaruh yang signifikan.

Daftar Pustaka

- 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.
- 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*, 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.
- Helwani, Z., N. Aziz, J. Kim, dan M. R. Othman. 2016. Improving The Yield of Jatropha Curcas's FAME Through Sol-Gel Derived Meso-Porous Hydrotalcites. *Renewable Energy*, 86, 68 – 74.
- Hikmah, M.N., dan Zuliyana, 2010, Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Dedak dan Metanol dengan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi, *Skripsi*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- 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 Biodiesel Synthesis from Crude Palm Oil, *Energy Conversion and Management*, 88, 1167-1178.
- Knothe, G., J.V. Gerpen, dan J. Krahl, 2005, The Biodiesel Handbook, AOCS Press, United States of America.
- Kumar, D., G. Kumar, Poonam, dan C.P. Singh, 2010, Ultrasonic-assisted Transesterification of Jatropha Curcas Oil using Solid Catalyst, Na/SiO₂, *Ultrasonic Sonochemistry*, 17, 839-844.
- Liu, C., P. Lv, Z. Yuan, F. Yan dan W. Luo, 2010, The Nanometer Magnetic Solid Base Catalyst for Production of Biodiesel, *Renewable Energy*, 357, 1531-1536.
- Martinez, S.L., R. Romero, R. Natividad, dan J. Gonzales, 2013, Optimation of Biodiesel Production from Sunflower Oil by Transesterification using Na₂O/NaX and Methanol, *Catalyst Today*, 220-222, 12-20.
- Naluri, A., H. Rionaldo, dan Z. Helwani, 2015 Sawit Off Grade sebagai Bahan Baku Alternatif Pembuatan Biodiesel melalui Proses Dua Tahap menggunakan Katalis Zeolit Alam yang Dimodifikasi, *JOM FTEknik*, 2, 2.
- Tang, S., L. Wang, Y. Zhang, S. Li, S. Tian, dan B. Wang. 2012. Study on Preparation of Ca/Al/Fe₃O₄ Magnetic Composite Solid Catalyst and Its Application in Biodiesel Transesterification. *Fuel Processing Technology*, 96, 84 – 89.
- Taufiq, Y.H, N.F. Abdullah, dan M. Basri, 2011, Biodiesel Production via Transesterification of Palm Oil using NaOH/Al₂O₃ Catalysts, *Sains Malaysiana* 40, 587-594.
- Ulfayana, S dan Z. Helwani. 2014. Natural Zeolite for Transesterification Step Catalyst in Biodiesel Production from Palm Oil Off Grade. *Regional Conference on Chemical Engineering*. Yogyakarta