

**PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK JARAK
MENGUNAKAN METODE TRANSESTERIFIKASI
BERKATALIS ABU TERBANG
DENGAN BANTUAN ULTRASONIFIKASI**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata 1
Program Studi Teknik Kimia**

Oleh:

PUJI WISNU UTOMO

D 500 130 030

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
SURAKARTA
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK JARAK MENGGUNAKAN
METODE TRANSESTERIFIKASI BERKATALIS ABU TERBANG (*FLY ASH*)
DENGAN BANTUAN ULTRASONIFIKASI**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh :

PUJI WISNU UTOMO

D 500 130 030

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing



Ir. Nur Hidayati, M.T., Ph.D.
NIDN. 601106801

HALAMAN PENGESAHAN

**PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK JARAK MENGGUNAKAN
METODE TRANSESTERIFIKASI BERKATALIS ABU TERBANG (*FLY ASH*)
DENGAN BANTUAN ULTRASONIFIKASI**

Oleh :

PUJI WISNU UTOMO

D 500 130 030

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji


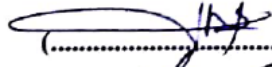

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Pada Hari Jum'at, 2 Maret 2018

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

- | | |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Ir. Nur Hidayati, M.T., Ph.D.
(Ketua Dewan Penguji) | (.....
 |
| 2. Tri Widayatno, S.T., M.Sc., Ph.D.
(Anggota I Dewan Penguji) | (.....
 |
| 3. Kun Harismah, M.Si., Ph.D.
(Anggota II Dewan Penguji) | (.....
 |

Dekan,




Ir. H. Sri Sunaryono, M.T., Ph.D.
NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan.

Surakarta, 10 April 2018


Puji Wisnu Utomo
D 500 130 030

ABSTRAK

Perkembangan kebutuhan manusia membuat pembaharuan terhadap segala hal. Salah satunya dalam hal pemenuhan bahan bakar yang digunakan untuk kehidupan sehari-hari. Seiring berjalannya waktu bahan bakar yang berasal dari minyak bumi akan semakin menipis. Maka dari itu, diperlukan sebuah pembaharuan tentang pembuatan bahan bakar yang berasal dari alam dan ramah terhadap lingkungan. Salah satu tanaman yang telah dikembangkan untuk dijadikan bahan bakar adalah tanaman jarak pagar dengan nama latin *Jatropha curcas* L. Beberapa penelitian dalam kurun waktu tertentu telah banyak dilakukan dengan dengan berbagai metode seperti esterifikasi, transesterifikasi, *thermal cracking*, mikroemulsifikasi, dan alkoholisis. Dengan berbagai metode yang ada, metode transesterifikasi merupakan metode yang cukup sederhana dan memberikan hasil yang cukup baik. Penggunaan katalis dalam sebuah penelitian dapat membantu mempercepat terjadinya sebuah reaksi. Abu Terbang (*Fly Ash*) merupakan hasil dari pembakaran batu bara yang cukup banyak digunakan di industri-industri sebagai sumber energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efek suhu kalsinasi (400, 450, 500, 550, 600, dan 650°C) terhadap kinerja katalis pada pembuatan biodiesel dari minyak jarak. Penerapan metode transesterifikasi dengan variabel kontrol waktu reaksi 90 menit, 6% berat katalis, dan temperatur 60°C. Dihasilkan biodiesel dengan densitas 0,8799 – 0,8803 g/cm³ dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) pada *range* 0,85 – 0,90 g/cm³ dan *yield* 28,684% pada variasi temperatur kalsinasi 400°C. Kemudian dilakukan analisis terhadap katalis *fly ash* menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD).

Kata kunci : Biodiesel, Minyak jarak, Transesterifikasi, *Fly ash*, Ultrasonifikasi

ABSTRACT

The development of human needs makes renewal of all things. One of them in terms of fulfilment of fuel used for everyday life. Over time, fuel derived from petroleum will be increasingly thinning. Therefore a renewal is required of the manufacture of fuel derived from nature and eco-friendly. One of the plants that have been developed for fuel is the *Jatropha Curcas* L. Some research in a certain period of time has been done with various method such as esterification, transesterification, thermal cracking, micro-emulsifying, and alkoholisis. With the various existing methods, transesterification method is a fairly simple method and gives a pretty good result. The use of catalysts in a study can help speed up the occurrence of a reaction. Fly ash is the result of the burning of coal that is quite widely used industry as a energy sources. This research aims to examine the effects of the calcination temperature (400, 450, 500, 550, 600, dan 650°C) on the performance of the catalyst on the preparation. Implementation of transesterification method with 60 minute reaction time, 6% weight of the catalyst, and temperature 60 degrees as a control variable. Then produces biodiesel with density 0,8799 – 0,8803 g/cm³ with Standar Nasional Indonesia (SNI) at a density range 0,85 – 0,90 g/cm³ and yielding 28,684% at a temperature variation of 400 degrees calcination. Then analyzed the fly ash catalyst using x-ray diffraction (XRD) method.

Keyword : Biodiesel, Castor oil, Transesterification, Fly ash, Ultasonification

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak bumi adalah salah satu sumber energi utama yang digunakan di banyak negara di dunia saat ini. Kebutuhan akan bahan ini semakin meningkat, seiring dengan penggunaannya di bidang industri dan transportasi, sehingga mendorong diperlukannya sumber energi alternatif baru (Sitorus dkk, 2011). Indonesia juga merupakan negara yang menggunakan bahan bakar minyak bumi sebagai sumber energi utama dalam menjalankan kebutuhan industri dan transportasi. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyatakan bahwa konsumsi atau penjualan bahan bakar minyak bumi di Indonesia hingga tahun 2014 mencapai 70 juta kL. Dan proyeksi kedepannya hingga pada tahun 2023 produksi minyak bumi di Indonesia sebesar 560 ribu barel per harinya. Berdasarkan data tersebut, mulai sekarang kita harus bisa menciptakan sumber energi alternatif baru dari sumber daya alam yang dimiliki Indonesia.

Pengembangan sumber energi alternatif baru telah banyak dilakukan untuk mencari hasil energi alternatif baru dari bahan-bahan yang ada di lingkungan sekitar kita. Salah satunya adalah pembuatan biodiesel sebagai bahan bakar minyak alternatif pengganti bahan bakar minyak bumi. Beberapa penelitian pembuatan biodiesel diantaranya adalah biodiesel dari biji kelor melalui metode esterifikasi dan transesterifikasi dengan hasil 87,23% rendemen, biodiesel dari minyak goreng bekas melalui metode mikroemulsifikasi, biodiesel dari minyak jarak melalui metode transesterifikasi dengan penambahan *cosolvent* dan aplikasi gelombang ultrasonik dengan hasil 96,2% FAME, dan biodiesel dengan *supercritical extraction* dan *fractionation* dengan hasil 95,6% FAME (Handayani & Susilo, 2013; Nurdyaningrum & Nasrudin, 2013; Fernández dkk, 2014; Bora dkk, 2017).

Minyak nabati yang salah satunya adalah tanaman jarak memiliki nilai kalor yang hampir sama dengan bahan bakar konvensional, namun penggunaan secara langsung sebagai bahan bakar menemui kendala. Minyak nabati memiliki viskositas jauh lebih besar dari minyak diesel, hal ini menghambat proses injeksi dan mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna. Penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar juga meninggalkan residu karbon pada injektor. Upaya untuk mengurangi viskositas minyak nabati antara lain dengan pengenceran minyak dengan pelarut, emulsifikasi, pirolisis dan transesterifikasi. Transesterifikasi adalah cara yang paling banyak dilakukan karena tidak membutuhkan energi dan suhu yang tinggi. Reaksi ini akan menghasilkan metil atau etil ester, tergantung dengan jenis alkohol yang direaksikan. Jika direaksikan dengan metanol, akan terbentuk metil ester, sedangkan jika direaksikan dengan etanol akan terbentuk etil ester. Metil atau etil ester ini memiliki viskositas rendah dan nilai kalor yang mendekati bahan bakar

konvensional (Sari, 2007). Beberapa penelitian menyebutkan dalam satu daging biji jarak terkandung sekitar 30% minyak *straight jatropha oil* (SJO) dan 70% sisanya berupa ampas. Kandungan minyak yang tinggi dari biji jarak pagar menyebabkan biji jarak mudah diekstraksi. Kandungan minyak jarak pagar pada buah yang berwarna kuning sebesar 30,32%, buah berwarna hitam sebesar 31,47%, dan tiga tingkat buah tua dengan kulit berwarna hijau tua dan biji berwarna hitam memiliki kandungan minyak sebesar 20,70% (Rahayu, 2005).

Pembuatan biodiesel dapat dilakukan dengan menggunakan katalis homogen dan heterogen. Beberapa penelitian menggunakan katalis heterogen seperti La_2O_3 , CaO , Zr/CaO , MgZnAlO , $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$, $\text{Ca}(\text{OCH}_3)_2$, $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{KNO}_3$, TiO_2/SO_4 (Aransiola dkk, 2013; Ho dkk, 2014; Kaur dan Ali, 2014; Olutoye & Hameed, 2015; Zhou dkk, 2015). Beberapa penelitian lainnya menggunakan katalis homogen seperti HCL , H_2SO_4 , NaOH , KOH , CH_3ONa , CH_3OK , NaOCH_3 , $\text{NaOCH}_2\text{CH}_3$ (Centikaya dan Karaosmanoglu, 2004; Silitonga dkk, 2013). Setiap katalis akan memberikan hasil dan treatment yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhannya. Salah satu katalis yang dapat digunakan dalam pembuatan biodiesel adalah dengan menggunakan abu terbang. Abu terbang dapat digunakan karena didalamnya terkandung SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , dan CaO . Beberapa penelitian telah menggunakannya sebagai katalis, diantaranya adalah perengkahan katalitik *palm fatty acid distillate* menjadi biofuel dengan hasil 57,14% yield biofuel, biodiesel dari soybean oil dengan metode transesterifikasi dengan hasil 81,2% yield biodiesel, biodiesel sintesis dari minyak kelapa sawit menggunakan katalis abu terbang dengan hasil 79,76% yield biodiesel dan 97,09% konversi FAME (Ho dkk, 2014; Pangestu dan Zultiniar, 2015; Bhandari dkk, 2015).

Berdasarkan data penelitian yang telah dilakukan, maka dilanjutkan penelitian dengan menggunakan variasi beberapa faktor yang berbeda. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menguji penggunaan katalis *fly ash* dengan preparasi impregnasi larutan KNO_3 dan kalsinasi suhu 400-650°C untuk digunakan dalam pembuatan biodiesel dari minyak jarak. Yang selanjutnya dilakukan analisis dari katalis yang telah digunakan.

2. METODE PENELITIAN

Sebelum menggunakan *fly ash* sebagai katalis, perlu dilakukan preparasi terhadap *fly ash* agar kinerjanya sebagai katalis bisa lebih optimal dalam membantu pembentukan reaksi pembuatan biodiesel. Preparasi yang dilakukan ada 2, yaitu impregnasi dan kalsinasi. Impregnasi yang dilakukan adalah impregnasi basah dengan menambahkan

larutan KNO_3 sebagai larutan prekursor. Dengan dilakukannya impregnasi akan memberikan anion dan kation yang dipertukarkan ke dalam katalis *fly ash* oleh adsorpsi dari larutan KNO_3 . Impregnasi dilakukan selama 24 jam setiap sampelnya. Kemudian hasil dari impregnasi dilakukan penguapan larutan KNO_3 yang berlebih dengan menggunakan *rotary evaporator*. Selanjutnya dilakukan kalsinasi dengan variasi suhu 400 - 650°C dengan penambahan 50°C setiap sampelnya. Kalsinasi dilakukan untuk memperkuat larutan prekursor yang telah teradsorpsi ke dalam katalis.

Selanjutnya dilakukan pembentukan biodiesel dari minyak yang disiapkan dengan menggunakan katalis yang telah dipreparasi sebelumnya. Metode yang digunakan adalah transesterifikasi dengan menggunakan metanol sebagai larutan tambahan untuk pembentukan metil ester. Metanol yang digunakan mengikuti perbandingan minyak dan metanol 1 : 6. Kemudian katalis yang digunakan sebanyak 6% dari berat minyak yang digunakan. Metanol dan katalis dicampurkan pada gelas beker dan minyak dimasukkan ke dalam gelas beker yang berbeda. Transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan rangkaian alat labu leher tiga, kondensor dan bantuan ultrasonifikasi sebagai pemanas dan pemberi gelombang pengaduk pembentukan metil ester. Reaksi dilakukan selama 90 menit dengan suhu 60°C. Setelahnya dimasukkan ke dalam corong pemisah dan didiamkan hingga larutan membentuk 2 lapisan. Lapisan atas yang bening merupakan metil ester yang terbentuk, sedangkan lapisan bawah merupakan gliserol.

Setelah didapatkan biodiesel, kemudian dilakukan analisis densitasnya dengan menggunakan piknometer. Perhitungan densitas dilakukan dengan pembandingan dari aquadest. Untuk katalis *fly ash*-nya dianalisis dengan menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD) di Badan Tenaga Nuklir Indonesia (BATAN), Yogyakarta. Hasil XRD kemudian dianalisis kembali dengan menggunakan aplikasi Match 3.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bahan baku minyak jarak yang digunakan pada awalnya dilakukan uji kandungan dengan menggunakan metode *Gas Chromatography* (GC) di Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Hasil yang didapatkan menunjukkan minyak jarak yang digunakan mengandung 12,76% metil ester dan 87,24% *Octadecadienoyl Chloride*. Dengan uji kandungan tersebut minyak jarak dapat diproses untuk dijadikan biodiesel.

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan metil ester yang terbentuk dalam beberapa variasi suhu kalsinasi yang digunakan. Berikut hasil metil ester yang ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Berat minyak, volume biodiesel, dan yield biodiesel

Suhu Kalsinasi (°C)	Berat Minyak (gram)	Berat Biodiesel (gram)	Volume Biodiesel (mL)	Yield (%)
400	100	28,684	30,8	28,684
450	100	23,474	28,0	23,474
650	100	10,284	12,4	10,284

Hasil yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan memberikan hasil *yield* biodiesel yang tidak begitu besar. Beberapa penelitian yang telah dilakukan di antaranya *soybean oil* dengan metode transesterifikasi dengan bantuan katalis *fly ash* menghasilkan 81,2% *yield* pada suhu reaksi 65°C dan waktu reaksi 12 jam, biodiesel dari minyak kelapa sawit menggunakan metode perengkahan dengan bantuan katalis *fly ash* menghasilkan 79,76% *yield* pada suhu reaksi 410°C dan waktu reaksi 2 jam (Bhandari dkk, 2015; Pangestu dan Zultiniar, 2015). Hasil pembuatan biodiesel yang dilakukan tersebut dipengaruhi oleh banyak faktor, dari beberapa penelitian yang telah dilakukan memberikan hasil yang berbeda karena adanya perbedaan dari suhu yang lebih tinggi dan waktu reaksi yang lebih lama, sehingga dapat dilihat semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu reaksi memberikan hasil *yield* yang cenderung lebih besar.

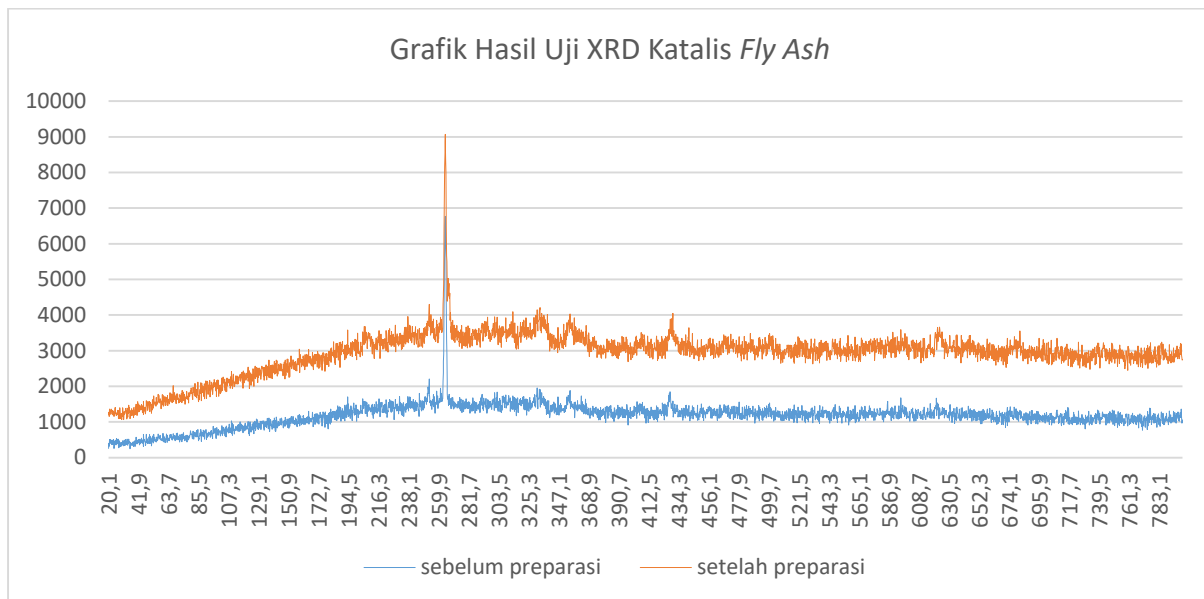
Faktor lainnya yang dapat digunakan sebagai indikator keberhasilan terbentuknya biodiesel adalah dengan menggunakan uji densitas biodiesel dan uji XRD terhadap katalis yang digunakan. Hasil uji densitas dan viskositas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Densitas biodiesel

Suhu Kalsinasi (°C)	Densitas Biodiesel (g/cm ³)
400	0,8799
450	0,8803
650	0,8802

Dari hasil uji densitas yang dilakukan, densitas dari biodiesel yang dihasilkan masih masuk dalam Standar Nasional Indonesia (SNI). SNI densitas biodiesel berkisar pada 0,85-0,90 g/cm³. Biodiesel yang dihasilkan dapat digunakan karena telah memenuhi standar SNI.

Untuk mengidentifikasi bahwa katalis yang digunakan telah berhasil diaktivasi selama preparasi dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) yang ditampilkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Hasil uji XRD katalis *fly ash*

Dari uji XRD terhadap katalis *fly ash* didapatkan hasil yang menyatakan bahwa terdeteksi kristal yang terbentuk di dalam katalis. Hal ini dapat dilihat dari terbentuknya puncak (*peak*) baru pada hasil uji *fly ash* setelah preparasi dibandingkan tanpa preparasi. *Peak* yang dihasilkan setelah preparasi menampakkan hasil yang lebih reaktif dan cenderung bertambah tinggi dibandingkan tanpa preparasi, hal ini menunjukkan peningkatan intensitas dari komponen yang terdapat pada *fly ash* setelah preparasi. Kemudian hasil uji XRD dari laboratorium dianalisis menggunakan aplikasi Match 3. Preparasi dengan metode impregnasi larutan KNO_3 selama 24 jam dan kalsinasi pada suhu 400, 450 dan 650°C memberikan efek terbentuknya kristal *Potassium Aluminium Catena-Silicate* (AlKO_6Si_2) pada *peak* 2-theta 266,7. Komponen AlKO_6Si_2 terbentuk karena adanya efek impregnasi dari larutan KNO_3 selama 24 jam. Fase kristal AlKO_6Si_2 yang dihasilkan berbentuk *cubic*. Komponen terbesar adalah Silica (SiO_2) terdapat pada tiga *peak* tertinggi yaitu 2-theta 254,7; 264,5 dan 330,5.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa katalis *fly ash* setelah preparasi dengan impregnasi larutan KNO_3 selama 24 jam dan kalsinasi suhu 400, 450, dan 650°C dapat digunakan untuk memperoleh biodiesel dari proses

transesterifikasi minyak jarak dengan bantuan ultrasonifikasi. Biodiesel yang dihasilkan berdasarkan variasi suhu kalsinasi 400, 450 dan 650°C berturut-turut sebesar 28,684% ; 23,474%, dan 10,284%.

5. SARAN

Dalam penelitian ini tentunya masih terdapat kekurangan baik itu peneliti maupun hasil yang dicapai. Sehingga berikut saran yang dapat diberikan :

- a. Melakukan transesterifikasi pada suhu yang lebih tinggi dan waktu yang lebih lama.
- b. Melakukan uji tambahan dengan metode yang berbeda terhadap katalis yang dihasilkan
- c. Menggunakan bahan baku minyak yang berbeda

DAFTAR PUSTAKA

- Aransiola, E.F., Ojumu, T.V., Oyekola, O.O. dan Madzimbamuto, T.F. 2013. A review of current technology for biodiesel production : State of the art. *Biomass and Bioenergy*. 30. 1-22.
- Bhandari, R., Volli, V. dan Purkait, M.K. 2015. Preparation and characterization of fly ash based mesoporous catalyst for transesterification of soybean oil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 3(2). 906–914.
- Bora, P., Boro, J., Konwar, L.J. dan Deka, D. 2017. Formulation of microemulsion based hybrid biofuel from waste cooking oil – A comparative study with biodiesel. *Journal of the Energy Institute*. 1–9.
- Cetinkaya, M. dan Karaosmanoglu, F. 2004. Optimization of Base-Catalyzed Transesterification Reaction of Used Cooking Oil. *Energy & Fuels*. 18 (6). 1888–1895.
- Fernandez, C.M., Fiori, L., Ramos, M.J., Perez, A. dan Rodriguez, J.F. 2014. Supercritical extraction and fractionation of *Jatropha curcas* L. oil for biodiesel production. *The Journal of Supercritical Fluids*. 97. 100–106.
- Handayani, T. dan Susilo, B. 2013. Efek Penambahan Cosolvent Dan Aplikasi Gelombang Ultrasonik Pada Transesterifikasi Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas* L.) Untuk Produksi Biodiesel. *Indonesian Green Technology Journal*. 1-7.
- Ho, W.W.S., Ng, H.K., Gan, S. dan Tan, H. 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*. 1-12.
- Kaur, N. dan Ali, A. 2014. Kinetics and reusability of Zr/CaO as heterogeneous catalyst for the ethanolysis and methanolysis of *Jatropha curcas* oil. *Fuel Processing Technology*. 119. 173–184.
- Nurdyaningrum, F.D. dan Nasrudin, H. 2013. Pemurnian dan Karakterisasi Biodiesel dari Minyak Biji Kelor (*Moringa Oleifera*) dengan Menggunakan Adsorben Bentonit. *UNESA Journal of Chemistry*. 2 (1).47–53.
- Olutoye, M.A. dan Hameed, B.H. 2015. Kinetics And Deactivation of A Dual Sites Heterogeneous Oxide Catalyst During Transesterification of Crude *Jatropha* Oil With Methanol. *Journal of Taibah University for Science*. 1-41.
- Pangestu, W., Yelmida dan Zultiniar. 2015. Perengkahan Katalitik Palm Fatty Acid Distillate Menjadi Biofuel Menggunakan Fly Ash Sawit. *Jom F.Teknik*. 2 (1). 1-5.
- Rahayu, M. 2005. Teknologi Proses Produksi Biodiesel. *Prospek Pengembangan Bio-fuel Sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak*. 17–28.
- Sari, A.B.T., 2007. Proses Pembuatan Biodiesel Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) dengan Transesterifikasi Satu dan Dua Tahap. *Skripsi*. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Silitonga, A.S., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.J., Ong, H.C., Atabani, A.E. dan Chong, W.T. 2013. A global comparative review of biodiesel production from *Jatropha curcas* using different homogeneous acid and alkaline catalysts: Study of physical and chemical properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 24. 514–533.
- Sitorus, B., Suendo, V. dan Hidayat, F. 2011. Sintesis Polimer Konduktif sebagai Bahan Baku untuk Perangkat Penyimpan Energi Listrik. *Jurnal Elkha*. 3 (1). 43–47.
- Zhou, Q., Zhang, H., Chang, F., Li, H., Pan, H., Xue, W., Hu, D.Y. dan Yang, S. 2015. Nano La_2O_3 as a heterogeneous catalyst for biodiesel synthesis by transesterification of *Jatropha curcas* L. oil. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 1–8.