

Pemanfaatan Tempurung Kelapa sebagai Katalis pada Proses Konversi Minyak Curah Menjadi Biodiesel

Yustia Wulandari Mirzayanti^{1*}, Erlinda Ningsih¹, Zain Lillahulhaq², Zuhdi Ma'sum³, Chevy Renova¹, dan Yasin Wijaya¹

Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1*}

Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia²

Teknik Kimia, Universitas Tribhuwana Tungga Dewi, Malang, Indonesia³

*yustiawulandari_che@itats.ac.id

OPEN ACCESS

Citation: Yustia Wulandari Mirzayanti, Erlinda Ningsih, Zain Lillahulhaq, Zuhdi Ma'sum, Chevy Renova, and Yasin Wijaya. 2020. Pemanfaatan Tempurung Kelapa sebagai Katalis pada Proses Konversi Minyak Curah Menjadi Biodiesel. Journal of Research and Technology Vol VI (2020): Page 173–183.

Abstract

Vegetable oil is one of the alternative sources of raw material for fuel oil to produce biodiesel. The conversion reaction process requires the help of a catalyst to break down triglycerides into methyl esters. Therefore, this study aims to determine the performance of catalysts made from coconut shells to convert bulk oil into biodiesel. The catalyst performance is focused on biodiesel's yield parameters through the influence factor of catalyst weight, molar ratio, and %FAME. This research was conducted in three stages, namely (1) catalyst preparation, (2) application of catalyst performance through the conversion process of bulk oil into biodiesel, (3) washing of biodiesel. The first stage was catalyst preparation carried out by utilizing a coconut shell, which was first made into charcoal, then activated using H_3PO_4 then sulfonated with H_2SO_4 . The second stage was the conversion process of bulk oil into biodiesel using coconut shell catalysts through a transesterification process using variations in the catalyst's weight to bulk oil (0.5; 1; 1.5; 2; and 2.5% wt/wt) and bulk oil molar:methanol ratio (1: 3; 1: 6; and 1: 9). The third stage was the process of washing biodiesel using HCl. Based on this study's results, the best catalyst weight was 2% wt/wt with a molar ratio of 1: 9 resulting in the highest yield of 89% and the FAME of 80.36%.

Keywords: Biodiesel, Bulk Oil, Coconut Shell, Sulfonated.

Abstrak

Minyak nabati merupakan salah satu sumber bahan baku bahan bakar minyak alternatif untuk menghasilkan biodiesel. Pada proses reaksi konversi tersebut memerlukan bantuan katalis untuk mengurai trigliserida menjadi metil ester. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja katalis berbahan tempurung kelapa untuk mengkonversi minyak curah menjadi biodiesel. Kinerja katalis difokuskan berdasarkan parameter yield biodiesel melalui faktor pengaruh berat katalis, rasio molar, dan %FAME. Penelitian ini dilakukan melalui tiga

tahapan, yaitu (1) preparasi katalis, (2) pengaplikasian kinerja katalis melalui proses konversi minyak curah menjadi biodiesel, dan (3) pencucian biodiesel. Tahap pertama yaitu preparasi katalis dilakukan dengan memanfaatkan tempurung kelapa yang terlebih dahulu dibuat menjadi arang kemudian dilakukan aktivasi menggunakan H_3PO_4 , selanjutnya disulfonasi dengan H_2SO_4 . Tahap kedua yaitu proses konversi minyak curah menjadi biodiesel menggunakan katalis tempurung kelapa melalui proses transesterifikasi menggunakan variasi berat katalis terhadap minyak curah (0,5; 1; 1,5; 2; dan 2,5% wt/wt) dan rasio molar minyak curah:metanol (1:3; 1:6; dan 1:9). Tahap ketiga yaitu proses pencucian biodiesel menggunakan HCl. Berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh berat katalis terbaik adalah 2% wt/wt dengan rasio molar 1:9 menghasilkan yield tertinggi 89% dan FAME sebesar 80,36%.

Kata Kunci: Biodiesel, Minyak Curah, Tempurung Kelapa, Tersulfonasi.

1. Pendahuluan

Bahan bakar minyak hingga saat ini masih bergantung pada bahan bakar fosil, dimana ketersediaannya semakin lama akan semakin menipis. Ketergantungan kebutuhan bahan bakar minyak fosil dapat beralih dengan memanfaatkan energi terbarukan, salah satunya adalah biodiesel sebagai perwakilan bahan bakar minyak nabati. Isue energi ini masih menjadi salah satu isue penting hampir di seluruh dunia, salah satunya adalah Indonesia. Hal ini didukung dengan sebuah kebijakan pemerintah yang tertuang dalam Peraturan Presiden No.5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional dengan prinsip verifikasi, konversi energi dan harga. Bidang energi baru dan terbarukan (EBTKE) masih menjadi salah satu topik penting dalam Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) 2017-2045. Selain PP No.5 tahun 2006, pengembangan bahan bakar nabati yang merupakan energi alternatif yang mudah diperoleh di Indonesia diatur dalam Peraturan Presiden No. 1/2006 tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati. Oleh sebab itu, perlu pengembangan bahan bakar minyak yang mudah untuk diperbarui dan *sustainable*. Biodiesel merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak fosil (Mirzayanti dkk, 2017, Mirzayanti dkk, 2018, Mirzayanti dkk, 2019, dan Parahita dkk, 2018). Minyak nabati dapat berasal dari berbagai macam sumber, salah satunya adalah minyak sawit. Kandungan dalam bahan baku minyak yang berupa

asam lemak bebas dan air harus kurang dari 1% merupakan syarat dalam proses transesterifikasi (Kusuma dkk, 2011, dan Christina dkk, 2013). Namun, di Indonesia belum dimanfaatkan secara maksimal sumber energi terbarukan yang ada, salah satunya minyak nabati yang berasal dari kelapa sawit atau *crude palm oil* (CPO). Kelapa sawit merupakan tumbuhan industri penting penghasil minyak industri, minyak masak maupun sebagai bahan bakar. Oleh sebab itu, perlu pengembangan produksi biodiesel dengan bahan baku minyak kelapa sawit sebagai bahan bakar minyak alternatif. Kandungan dalam minyak kelapa sawit akan menghasilkan fraksi *olein*, *stearin*, dan *fatty acid* (Boro dkk, 2010, Fathallah dkk, 2010, dan Nurhayati dkk, 2011).

Pada proses konversi minyak nabati menjadi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi, memerlukan bantuan katalis untuk mempercepat reaksi. Katalis dapat berupa katalis homogen maupun heterogen baik asam atau basa. Namun, penggunaan katalis homogen mempunyai kekurangan yakni sulit untuk dipisahkan sehingga diperlukan proses lanjutan guna mendapatkan biodiesel yang murni. Oleh karena itu proses pembuatan biodiesel lebih sering menggunakan katalis heterogen. Banyak jenis katalis heterogen yang dapat digunakan, salah satunya menggunakan katalis karbon tersulfonasi, dengan penambahan larutan H_3PO_4 dan proses sulfonasi menggunakan larutan H_2SO_4 sebagai aktivasi karbon (batok kelapa), karena tingginya kekuatan aktivitas katalitiknya. Karbon aktif juga memiliki banyak keunggulan dibanding dengan katalis lainnya, yakni harga yang relatif lebih murah dan mudah untuk didapatkan (Hayyan dkk, 2010).

Berdasarkan penelitian sebelumnya Amelia dkk, (2013), menyatakan bahwa arang aktif tersulfonasi dapat memenuhi syarat sebagai katalis reaksi heterogen pada hidrolisis biomassa. Uji karakteristik pada kondisi operasi $40^\circ C$, 10 N, dan 6 jam dengan uji BET memiliki luas permukaan yang paling besar yaitu $2219,484\text{ m}^2/\text{g}$, untuk uji FTIR keberadaan gugus sulfonat terbaca pada vibrasi pada bilangan gelombang 1750 cm dan 1379 cm , pada uji SEM struktur morfologi katalis lebih terbuka pada karbon aktif setelah proses sulfonasi karena pengaruh suhu, waktu pengadukan dan normalitas sulfat. Namun, penelitian tersebut terfokus pada preparasi katalis arang aktif tersulfonasi dengan bahan baku karbon aktif. Oleh sebab itu, penelitian ini terfokus

pada pengembangan konversi minyak curah menjadi biodiesel melalui proses transesterifikasi menggunakan katalis arang tempurung kelapa tersulfonasi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui 3 (tiga) tahapan. Tahap pertama penelitian ini adalah preparasi katalis dengan mengubah tempurung kelapa menjadi arang. Tahap kedua adalah proses pengujian katalis melalui proses konversi minyak curah menjadi biodiesel dengan proses transesterifikasi. Tahap ketiga adalah pencucian produk.

2.1 Identifikasi Bahan Baku

Bahan baku berupa minyak curah terlebih dahulu dilakukan identifikasi melalui parameter kadar *Free Fatty Acid* (FFA). Pengujian kadar FFA dilakukan melalui perhitungan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\%FFA = \frac{V_{KOH} \times N_{KOH} \times 27,5}{m_{minyak}} \quad (1)$$

Pengujian FFA berfungsi untuk mengetahui kandungan asam lemak bebas yang terkandung di dalam minyak curah. Kadar FFA dalam minyak menunjukkan tingkat kerusakan pada minyak nabati yang diakibatkan adanya pemecahan triasilgliserol dan oksidasi asam lemak.

2.2 Preparasi Katalis Arang Tempurung Kelapa

Katalis yang digunakan dalam penelitian ini dengan memanfaatkan tempurung kelapa. Tempurung kelapa terlebih dahulu dibentuk menjadi arang. Selanjutnya serbuk arang tempurung kelapa diseragamkan ukurannya menjadi 30 *mesh*. Kemudian dilanjutkan proses aktivasi arang tempurung kelapa melalui proses perendaman menggunakan H_3PO_4 30% dengan konsentrasi 44,4 N selama 2 jam dan dikeringkan pada temperatur $200^\circ C$ selama 2 jam. Selanjutnya proses sulfonasi yaitu arang tempurung kelapa yang sudah diaktivasi kemudian direndam dalam H_2SO_4 selama 2 jam dan dikeringkan kembali pada suhu $200^\circ C$ selama 2 jam.

2.3 Pengujian Katalis melalui Proses Konversi Minyak Curah menjadi Biodiesel

Pengujian katalis arang tempurung kelapa melalui proses konversi minyak curah menjadi biodiesel menggunakan reaksi

transesterifikasi. Proses reaksi transesterifikasi merupakan reaksi yang mengubah trigliserida yang terkandung dalam minyak curah menjadi metil ester. Pada proses ini menggunakan parameter *yield* biodiesel berdasarkan pengaruh berat katalis terhadap minyak curah dan rasio molar minyak curah:metanol. Variasi berat katalis yang digunakan adalah 0,5; 1; 1,5; 2; dan 2,5% wt/wt, sedangkan variasi rasio molar minyak curah:metanol adalah 1:3; 1:6; dan 1:9. Temperatur operasi yang digunakan adalah 70°C, kemudian dilakukan pengadukan menggunakan magnetik *stirer* selama 90 menit dengan kecepatan 600 rpm. Kemudian memisahkan produk dengan katalis dan selanjutnya dilakukan pencucian. Produk pemisahan terbentuk menjadi dua lapisan yaitu metil ester (lapisan atas) dan gliserol (lapisan bawah)

2.4 Pencucian Produk Biodiesel

Pencucian dilakukan untuk menghilangkan zat pengotor yang terkandung dalam biodiesel yang dihasilkan. Proses pencucian dilakukan menggunakan tiga tahapan, yaitu (1) HCl 1%, (2) air panas, dan (3) air dingin. Tahap pertama adalah mencampurkan HCl 1% sebanyak 10% ke dalam biodiesel yang dihasilkan pada proses transesterifikasi. Kemudian dilakukan pengadukan selama 15 menit dan didiamkan selama 24 jam hingga terbentuk dua lapisan. Selanjutnya dilakukan pemisahan pada dua lapisan tersebut, lapisan bawah adalah HCl 1% dan menampung lapisan atas yang berupa biodiesel (metil ester). Biodiesel (metil ester) dicuci menggunakan larutan HCl 1% kemudian ditambah dengan air panas sebanyak 10% terhadap volume biodiesel. Kemudian dilakukan pengadukan selama 15 menit dan didiamkan selama 24 jam. Setelah terbentuk dua lapisan, selanjutnya memisahkan dua lapisan tersebut dengan menampung lapisan atas. Kemudian pencucian tahap akhir dilakukan dengan menambahkan air dingin sebanyak 10% volume biodiesel yang telah dicuci dengan air panas. Kemudian dilakukan pengadukan selama 15 menit dan didiamkan selama 24 jam. Selanjutnya adalah dilakukan proses pemisahan dengan memisahkan lapisan bawah (air) dan lapisan atas (biodiesel). Setelah tiga tahap proses pencucian selesai, kemudian memanaskan biodiesel dalam oven dengan temperatur 100 °C selama 60 menit. Proses pemanasan tersebut bertujuan untuk menguapkan air yang mungkin terkandung dalam biodiesel yang dihasilkan.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan tempurung kelapa sebagai katalis yang diaplikasikan untuk mengkonversi minyak curah menjadi biodiesel. Proses konversi tersebut melalui reaksi transesterifikasi. Reaksi transesterifikasi adalah reaksi antara ester dengan yang menghasilkan ester dan alkohol baru (Mahreni dan Sulistyawati, 2011 dan Setiawati dan Fatmir, 2013). Pada kasus ini adalah mereaksikan trigliserida dengan katalis asam atau basa menghasilkan metil ester dengan gliserol sebagai produk samping. Reaksi transesterifikasi ini disebut juga dengan reaksi alkoholis dari ester, karena reaksi tersebut disertai dengan pertukaran bagian alkohol dari suatu ester.

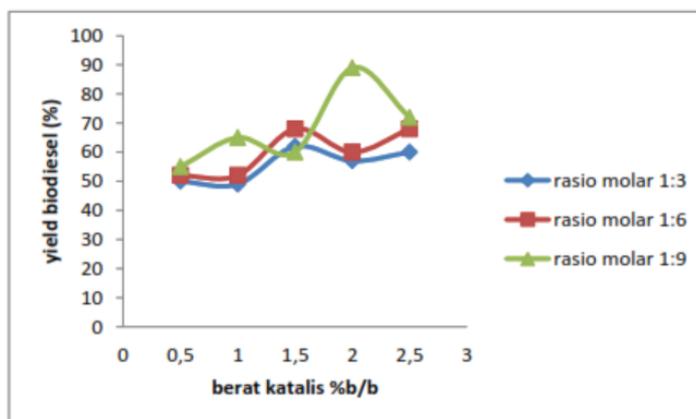
3.1 Pengujian *Free Fatty Acids (FFA)* Minyak Curah

Pengujian FFA minyak curah dilakukan pada saat sebelum dan sesudah proses transesterifikasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kadar FFA minyak curah sebelum proses transesterifikasi untuk membentuk biodiesel adalah kurang dari 2,5% (Supardan dkk, 2012). Hasil pengujian kadar FFA awal yang telah dilakukan pada minyak curah diperoleh hasil 0,157%. Hal ini menunjukkan bahwa minyak curah memenuhi syarat sebagai bahan baku biodiesel. Kadar FFA menunjukkan tingkat kerusakan minyak. Kerusakan minyak seringkali disebabkan oleh proses oksidasi dan hidrolisis (secara enzimatik maupun non enzimatik).

3.2 Pengaruh Berat Katalis dan Rasio Molar Minyak:Methanol terhadap *Yield* Biodiesel yang Dihasilkan

Gambar 1 merupakan Grafik hubungan antara massa katalis terhadap *yield* biodiesel berdasarkan rasio molar minyak curah:metanol. Grafik tersebut menunjukkan bahwa *yield* tertinggi diperoleh pada penggunaan berat katalis 2% dengan rasio molar minyak curah:metanol 1:9 sebesar 89%. Perolehan *yield* tertinggi pada berat katalis 2% wt/wt disebabkan terbentuknya emulsi akibat reaksi penyabunan pada penambahan katalis berlebih, sehingga mengakibatkan campuran reaktan menjadi lebih viskos serta meningkatkan konsumsi energi. Promotor katalis merupakan salah satu faktor untuk meningkatkan aktivitas katalis heterogen padat (Anshary dkk, 2012). Kereaktifan katalis

telah diuji pada proses pembuatan biodiesel dengan menggunakan katalis $\text{SO}_4^{2-}/\text{ZnO}$ menghasilkan *yield* sebesar 80,19%.



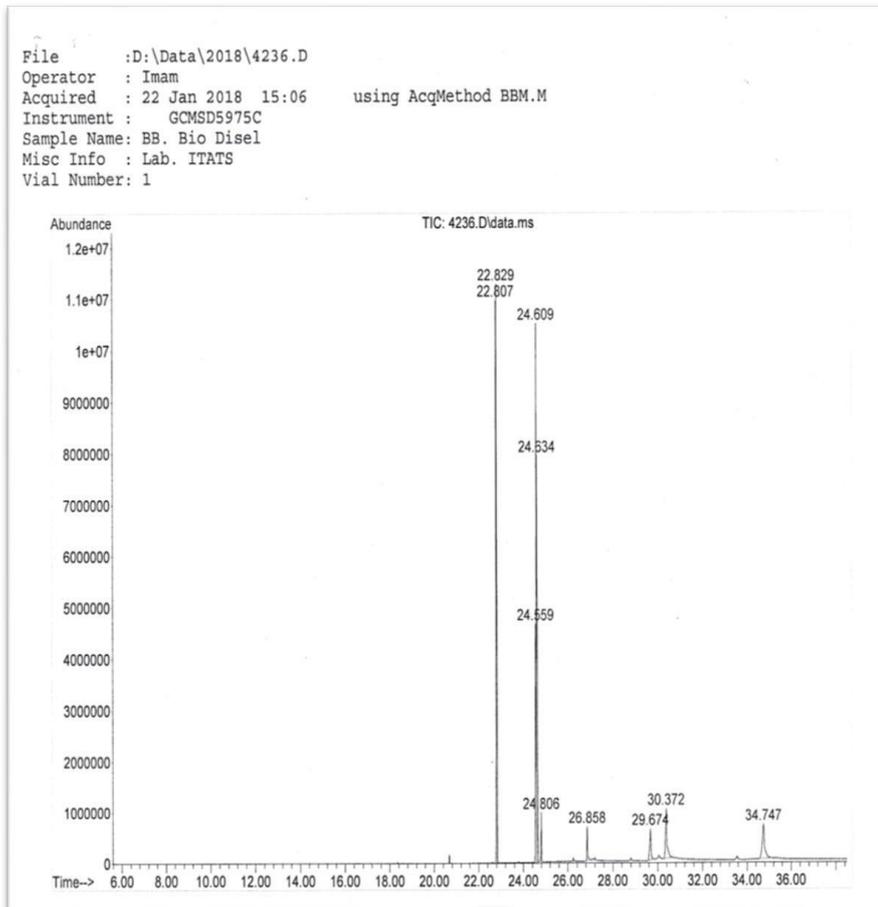
Gambar 1. Grafik Hubungan antara Massa Katalis Arang Tempurung Kelapa terhadap *Yield* Biodiesel Berdasarkan Rasio Molar Minyak Curah dan Metanol

Berdasarkan Gambar 1, reaksi yang terjadi dalam proses transesterifikasi merupakan reaksi *reversible*. Oleh sebab itu dibutuhkan penggunaan alkohol berlebih, dalam penelitian ini adalah metanol. Hal tersebut diperlukan untuk menggeser kesetimbangan reaksi bergeser ke arah produk sehingga *yield* yang diperoleh akan meningkat (Setiowati dkk, 2014). Namun, pemakaian metanol yang terlalu besar menyebabkan peningkatan kelarutan gliserol di dalam metanol yang digunakan. Hal itu menyebabkan pemisahan gliserol menjadi sulit sehingga *yield* biodiesel mengalami penurunan (Putri dkk, 2012).

3.3 Analisa Komposisi Biodiesel yang Dihasilkan

Gambar 2 merupakan hasil uji *Gas Chromatography- Gas chromatography-mass spectrometry* (GC-MS) biodiesel dari minyak curah dengan katalis arang tempurung kelapa tersulfonasi. Berdasarkan grafik kromatografi biodiesel tersebut menunjukkan bahwa *peak* tertinggi adalah senyawa metil ester. Berdasarkan *spectrum* hasil GC-MS pada puncak pertama dengan area *peak* dengan resistensi waktu 22,809 menit adalah *Hexadecanoic Acid, Methyl Ester, Palmitic Acid, dan Methyl Ester*. Puncak kedua dengan area *peak* 11,66% resistensi waktu 24,556 menit adalah 9,12 – *Octadecanoic Acid, Methyl Ester, 9,12 – Octadecanoic Acid (Z,Z) – Methyl Ester Linoleic Acid, Methyl Ester*. Berdasarkan penelitian ini diketahui bahwa *methyl ester* berhasil terbentuk pada proses reaksi transesterifikasi dengan *minimum*

quality 90 didapat %FAME (*fatty acid methyl ester*) sebesar 89,36 %. Katalis arang tempurung kelapa telah digunakan oleh peneliti sebelumnya untuk mensintesis n-butyl ester. Berdasarkan reaksi tersebut telah menghasilkan rendemen minyak sebesar 79,48% (Riyanto dkk, 2017).



Gambar 2. Hasil Uji GCMS Biodiesel dari Minyak Curah dengan Katalis Arang Tempurung Kelapa Tersulfonasi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan massa katalis terhadap *yield* biodiesel berdasarkan rasio molar minyak curah dan metanol diketahui bahwa berat katalis yang terbaik untuk digunakan dalam konversi biodiesel dari minyak curah dengan katalis arang tempurung kelapa tersulfonasi adalah 2% b/b dengan kadar FAME sebesar 80,36% dan *yield* biodiesel tertinggi 89%. Rasio molar minyak curah dengan metanol yang terbaik dalam pembuatan biodiesel dari minyak curah dengan katalis arang tempurung kelapa tersulfonasi adalah 1:9.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, R., Pandapotan, H., dan Purwanto., 2013. Pembuatan dan Karakterisasi Katalis Karbon Aktif Tersulfonasi sebagai Katalis Ramah Lingkungan pada Proses Hidrolisis Biomassa. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. Vol. 2 No. 4. Hal. 146-156.
- Anshary, M.I., Damayanti, O., dan Roesyadi, A. 2012. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis Padat Berpromotor Ganda dalam Reaktor *Fixed Bed*. *Jurnal Teknik POMITS*. Vol. 1. No. 1.
- Badan Standarisasi Nasional. 2006. SNI 04-7182-2006 Biodiesel. Jakarta.
- Boro, J., Thakur, A.J., dan Deka, D. 2010. Solid oxide derived from Waste Shells of *Turbonilla striatula* as a Renewable Catalyst for Biodiesel Production. Department of Energy, Tezpur University, Napaam, Tezpur-784028, India.
- Christina, N., Sungadi, E., Hindarso, H., dan Kurniawan, Y. 2013. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung dengan Menggunakan Katalis Berbasis Kalsium. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala, Surabaya.
- Fathallah, M.A.Z., dan Ariana, I.M. 2010. Karakteristik Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Menggunakan Metil Asetat sebagai Pensuplai Gugus Metil. Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Hayyan, A., Alam, M.Z., Mirghani, M.E.S., Kabbashi, N.A., Hakimi, N.I.N.M., Siran, Y.M., dan Tahiruddin, S. 2010. Sludge Palm Oil as a Renewable Raw Material for Biodiesel Production by Two-step Process. *Bioresource Technology*. 101: 78047811.
- Kusuma, R.I., Hadinoto, J.P., Ayucitra, A., dan Ismaji, S. 2011. Pemanfaatan Zeolit Alam Sebagai Katalis Murah dalam Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit. Jurusan Teknik Kimia, Universitas Katolik Widya Mandala, Surabaya.
- Mahreni., dan Sulistyawati, E. 2011. Pemanfaatan Kulit Telur sebagai Katalis Biodiesel dari Minyak Sawit dan Metanol. Prodi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Yogyakarta.

- Mirzayanti, Y.W., Prajitno, D.H., and Roesyadi, A., 2017, “Catalytic Hydrocracking of Kapuk Seed Oil (Ceiba pentandra) to Produce Biofuel using Zn-Mo Supported HZSM-5 Catalyst”, 7th International Conference on Environment and Industrial Innovation, IOP Conf. Series: Earth and Environment Science 67 (2017) 012023, doi:10.1088/1755-1315/67/1/012023
- Mirzayanti, Y.W., Kurniawansyah, F., Prajitno, D.H., and Roesyadi, A., 2018, “Zn-Mo/HZSM5 Catalyst for Gasoil Range Hydrocarbon Production by Catalytic Hydrocracking of Ceiba pentandra oil”, Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 13 (1): 136-143. (doi:10.9767/bcrec.13.1.1354.136-143)
- Mirzayanti, Y.W., Roesyadi, A., dan Prajitno, D.H., 2019, Triglyceride of Kapok seed Oil to biofuel over a synthesised Cu-Mo supported HZSM-5 catalyst. The 1st International Conference on Advanced Engineering and Technology. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 462 (2019) 012023. IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/462/1/012023
- Nurhayati., Akbar, E., dan Yakoob, Z. 2011. The Effect of Reaction Temperature and Reaction Time on the Transesterification of Palm Olein using NaOH/ZnO Heterogeneous Catalyst. Prosiding Seminar HKI. 425-429.
- Parahita, I.G.A.A., Mirzayanti, Y.W., Gunardi, I., Roesyadi, A., and Prajitno, D.H., 2018, Production of Biofuel via catalytic Hydrocracking of Kapuk (Ceiba pentandra) seed oil with NiMo/HZSM-5 Catalyst”, Matecweb of Conferences, 156, 06001 (2018), doi:10.1051/mateconf/201815606001.
- Putri, E.M.M., Rachimoallah, M, Santoso, N., dan Pradana, F., 2012. Biodiesel Production from Kapok Seed Oil (Ceiba pentandra) Through the Transesterification Process by using CaO as Catalyst. Global Journal of Researches in Engineering Chemical Engineering. Global Journals Inc. (USA). Vol. 12. issue 2.
- Riyanto, R.F., Daniel, dan Sitorus, S., 2017. Pemanfaatan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa sebagai Katalis pada Sintesis N-Butil Ester dari Minyak Jelantah. Prosiding

- Seminar Nasional Kimia 2017. Kimia FMIPA UNMUL. ISBN 978-602-50942-0-0.
- Setiawati, E., dan Fatmir, E. 2013. Teknologi Pengolahan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Teknik Mikrofiltrasi dan Transesterifikasi sebagai Bahan Bakar Mesil Diesel. Balai Riset dan Standardisasi Industri Banjarbaru.
- Setiowati, R., Nurhayati., dan Linggawati, A. 2014. Produksi Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas Menggunakan Katalis CaO Cangkang Kerang Darah Kalsinasi 900°C. Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Bina Widya Pekanbaru, Pekanbaru.
- Supardan, M.D., Satriana, Nida, E.H., dan Desrina. 2012. Karakteristik Biodiesel Hasil Transesterifikasi Minyak Jelantah Menggunakan Teknik Kavitas Hidrodinamik. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Darussalam, Banda Aceh.

