

KATALIS HETEROGEN DARI ABU VULKANIK UNTUK PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK MIKROALGA *CHLORELLA SP*

Catur Rini Widyastuti, Dhoni Hartanto

Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
Email: c.rini.widyastuti@gmail.com

Abstrak. Selama ini, proses produksi biodiesel konvensional banyak menghasilkan air limbah pada tahap pemisahan produk dari katalis yang larut dan produk samping yang dihasilkan. Oleh karena itu, untuk mengurangi limbah yang dihasilkan selama proses pemisahan tersebut, jenis katalis heterogen dapat digunakan untuk menggantikan katalis homogen alkali yang biasa digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji jenis katalis dan aktivitasnya dalam reaksi transesterifikasi minyak mikroalga *Chlorella sp* menjadi biodiesel. Tahap awal penelitian yang dilakukan adalah preparasi minyak mikroalga yang akan digunakan untuk uji aktivitas katalis. Minyak mikroalga diperoleh dengan ekstraksi menggunakan metode maserasi menggunakan pelarut n-heksana. Rendemen minyak yang diperoleh sebesar 12,26%. Dari hasil uji GC-MS diketahui dua kandungan asam lemak terbesar dalam minyak mikroalga, yaitu Dodecanoic acid sebesar 59.52% dan n-Decanoic acid sebesar 12.64%. Selanjutnya minyak mikroalga direaksikan dengan metanol dengan rasio molar 1:6 menggunakan katalis yang disintesis dari abu vulkanik. Preparasi katalis dilakukan dengan dua metode yang berbeda, yaitu refluks dengan larutan H_2SO_4 2 M dan secara alkali hidrotermal menggunakan larutan NaOH 2M. Reaksi transesterifikasi berlangsung pada suhu 60 °C dengan penambahan katalis padat sebanyak 5% selama 60 menit. Yield biodiesel yang diperoleh dari reaksi menggunakan katalis yang dipreparasi dengan larutan H_2SO_4 adalah 28,27% dengan densitas 0,684 g/mL. Sedangkan reaksi dengan katalis yang dipreparasi secara alkali hidrotermal menghasilkan biodiesel sebanyak 23% dengan densitas 0,69 g/mL.

Kata kunci: katalis, abu vulkanik, mikroalga, transesterifikasi, biodiesel, Fatty Acid Methyl Ester (FAME)

PENDAHULUAN

Produksi biodiesel telah menjadi perhatian banyak peneliti karena adanya permintaan yang tinggi akan bahan bakar alternatif. Diantara beberapa energi alternatif yang ada saat ini, biodiesel dapat dengan mudah menggantikan bahan bakar mesin diesel tanpa adanya modifikasi mesin.

Penemu mesin diesel, Rudolf Diesel telah mendesain mesin diesel yang dapat membakar minyak biji-bijian. Berdasarkan laporan USDA, harga biodiesel mendekati 50-70% dari harga bensin. Dengan semakin meningkatnya harga bensin, biodiesel akan menjadi bahan bakar alternatif yang menjanjikan. Selain itu, biodiesel memiliki kelebihan 50% lebih hemat dibandingkan dengan bensin (Kannan, 2009). Dengan mempertimbangkan kelebihannya, pada beberapa tahun yang akan datang biodiesel akan diproduksi dalam skala besar dan akan semakin banyak mobil/kendaraan berbahan bakar biodiesel yang dapat dijumpai.

Biodiesel dapat dibuat dari beberapa jenis bahan baku, antara lain minyak tanaman, limbah minyak goreng, dan lemak hewan. Bahan baku potensial untuk biodiesel yang dapat memenuhi permintaan global akan bahan bakar untuk transportasi adalah mikroalga. Beberapa jenis mikroalga diketahui memproduksi minyak lebih banyak dibandingkan dengan jenis tanaman lain, seperti *Nannochloropsis* sp, *Chlorella* sp, atau *Schiochytrium* (Ondrey, 2008). Kelebihan lain mikroalga dibandingkan dengan tanaman lain yaitu mudah tumbuh, berkembang dengan cepat, dan bukan jenis tanaman pangan. Oleh karena itu, pendekatan untuk membuat biodiesel dari mikroalga yang kompetitif secara ekonomi dengan petrodiesel menjadi menarik untuk dikaji.

Metode untuk produksi biodiesel konvensional memerlukan pemikiran ulang. Biodiesel saat ini diproduksi menggunakan katalis larutan alkali seperti NaOH dan KOH, yang menyebabkan proses pemisahan yang rumit. Katalis yang terlarut dan sabun yang terbentuk dalam produk memerlukan proses pencucian dengan air secara berulang-ulang, yang menghasilkan sekitar 8 galon air limbah per galon biodiesel yang dihasilkan (Kannan, 2009). Persoalan pemisahan dari proses konvensional dapat menimbulkan masalah untuk produksi biodiesel secara komersial dalam skala besar. Hal ini mendorong untuk memikirkan metode alternatif untuk produksi biodiesel dengan proses yang lebih sederhana dan efisien. Penggunaan katalis padat merupakan rute pilihan untuk sukses memproduksi biodiesel dalam skala besar (Kannan, 2009; Fukuda dkk., 2001; Chisti, 2007).

Selama proses produksi biodiesel, katalis padat tidak dikonsumsi atau larut dalam reaksi, sehingga dapat dengan mudah dipisahkan dari produk reaksi. Sebagai hasilnya adalah produk tidak mengandung impuriti katalis, dan biaya untuk proses pemisahan tahap akhir dapat dikurangi. Selain itu katalis padat dapat diregenerasi dan digunakan kembali serta tidak diperlukan lagi pengolahan asam dan air limbah pada tahap pemisahan. Dengan demikian, penggunaan katalis padat menyebabkan proses produksi biodiesel menjadi lebih sederhana dan efisien (Chisti, 2007). Saat ini masih banyak tantangan untuk membuat katalis padat yang ideal untuk produksi biodiesel. Katalis padat yang ideal untuk produksi biodiesel harus tahan terhadap asam lemak bebas (FFA) dan air tanpa mengalami deaktivasi, tidak mengalami efek leaching, dan dapat mendorong reaksi esterifikasi dan transesterifikasi (Fukuda dkk., 2001; Chisti, 2007; Di Serio dkk., 2010).

Beberapa contoh katalis padat yang digunakan dalam reaksi transesterifikasi/ esterifikasi untuk memproduksi biodiesel antara lain modifikasi kalsilit dan zeolit. Kalsilite memiliki pori-pori

makro dan sisi aktif basa kuat kalium, dimana insolubilitasnya dalam minyak nabati dan methanol membuatnya menjadi material yang potensial untuk reaksi transesterifikasi untuk memproduksi biodiesel (Wen dkk., 2010). Sementara katalis padat asam, seperti zeolit memiliki keuntungan yang unik dalam reaksi esterifikasi dan transesterifikasi yang dapat meningkatkan penggunaan minyak dengan nilai asam tinggi untuk digunakan sebagai bahan baku untuk sintesis biodiesel (Chisti, 2007). Selain kedua jenis katalis tersebut, beberapa katalis padat yang telah digunakan secara komersial antara lain, ZrO_2 , ZnO , SO_4^{2-}/SnO_2 , SO_4^{2-}/ZrO_2 , KNO_3/KL zeolit, dan KNO_3/ZrO_2 . Dari beberapa jenis katalis tersebut, diketahui ZnO dan SO_4^{2-}/ZrO_2 menunjukkan aktivitas yang tinggi dalam reaksi transesterifikasi untuk produksi biodiesel, karena sifat asamnya yang cukup kuat (Chisti, 2007).

Abu vulkanik di Indonesia jumlahnya sangat banyak, namun material tersebut belum dimanfaatkan secara optimal. Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil studi Fiantis et al, diketahui bahwa abu vulkanik merupakan material yang kaya akan senyawa-senyawa seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , MnO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , serta beberapa elemen minor seperti Zr, Sr, dan V (Fiantis dkk., 2010). Beberapa senyawa tersebut merupakan katalis yang dapat dimanfaatkan untuk mengkatalisis berbagai jenis reaksi kimia, termasuk reaksi transesterifikasi untuk produksi biodiesel.

METODE

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah Abu vulkanik (*volcanic ash*) yang diperoleh dari material letusan Gunung Kelud dan Mikroalga *Chlorella sp* yang diperoleh dari Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau Jepara, serta bahan pendukung lain yang meliputi: n-heksana, metanol, larutan H_2SO_4 2M, dan larutan NaOH 2M.

Alat-alat yang digunakan meliputi : Screen 200 mesh, Pengaduk magnetic, Pendingin balik, Pipet ukur, Pipet tetes, Pipet plastic, Erlenmeyer, labu alas bulat, Labu ukur, Laboratory botol, Corong pisah, Corong biasa, Krus porselen, Buret, Termometer, Kertas saring biasa, Kertas saring whatman 42, Kertas pH, Oven, Furnace, instrument GC-MS.

Ekstraksi Minyak Mikroalga *Chlorella sp*.

Sebanyak 40 gram serbuk mikroalga yang diperoleh dari Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau (BBPBAP) Jepara diekstrak secara batch menggunakan solven n-Heksana sebanyak 150 mL. Proses ekstraksi dilakukan dalam gelas erlenmeyer dengan pengadukan menggunakan orbital shaker selama 7 jam pada suhu ruang. Kemudian solven dipisahkan dari minyak hasil ekstraksi dengan distilasi pada suhu 65-70 °C. Minyak hasil ekstraksi dianalisa menggunakan GC-MS, serta dilakukan uji bilangan asamnya. Viskositas dan densitas minyak yang diperoleh diukur masing-masing dengan viskometer dan piknometer.

Preparasi Kalsilite Like Material dari Abu Vulkanik dengan H_2SO_4

Abu vulkanik yang diperoleh dari G. Kelud mula-mula diayak dengan screen 200 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam, kemudian dioven pada suhu 120 °C selama 24 jam. Selanjutnya dilakukan proses dekomposisi dengan cara direflux menggunakan larutan Asam Sulfat 2 M selama 4 jam pada suhu 90 °C. Kemudian abu vulkanik dinetralisasi dengan menambahkan aquadest sampai pH netral dan kadar SO₄ hilang. Setelah pH netral, Abu vulkanik dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama kurang lebih 24 jam. Selanjutnya katalis dikarakterisasi dengan XRD.

Preparasi *Kalsilite Like Material* dari Abu Vulkanik secara Alkali Hidrotermal

Sebanyak 20 gram sampel abu vulkanik dicampur dengan larutan NaOH 2M selama 1 jam. Campuran tersebut di-*ageing* dalam oven pada suhu 105°C selama 72 jam. Selanjutnya abu vulkanik dipisahkan dari larutan dan dinetralisasi. Abu vulkanik dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama kurang lebih 24 jam. Selanjutnya katalis dikarakterisasi dengan XRD.

Uji Aktifitas Katalis dalam Reaksi Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi minyak mikroalga *Chlorella sp* dengan metanol dilakukan dalam labu alas bulat yang dilengkapi dengan pengaduk dan termometer (pendekatan reaktor berpengaduk). Sebanyak 5% serbuk katalis dicampur dengan metanol di dalam reaktor dan diaduk menggunakan *stirrer*. Minyak mikroalga yang diperoleh dari hasil ekstraksi dipanaskan di dalam gelas beaker sampai suhu 60°C. Kemudian minyak tersebut ditambahkan ke dalam reaktor. Rasio molar minyak dengan metanol adalah 1:6. Campuran diaduk menggunakan *stirrer* selama 60 menit pada suhu 60°C dengan kecepatan skala 7. Campuran dipisahkan dari katalis dengan filtrasi. Selanjutnya biodiesel dan gliserol yang terbentuk dipisahkan dengan metode dekantasi (biodiesel berada di lapisan atas, sedangkan gliserol di bagian bawah). Untuk memisahkan metanol yang masih tersisa dari reaksi, biodiesel yang sudah dipisahkan dievaporasi pada suhu 70 °C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi Minyak Mikroalga *Chlorella sp*.

Ekstraksi mikroalga merupakan tahapan proses awal untuk memperoleh minyak dengan rendemen yang tinggi. Berdasarkan kajian penelitian pendahuluan oleh Widyastuti (2014) yang telah dilakukan dengan membandingkan dua metode ekstraksi yang berbeda, yaitu dengan menggunakan pelarut n-heksana secara maserasi dan sokhletasi, diketahui bahwa metode maserasi menghasilkan rendemen minyak yang lebih banyak sebesar 15,775%. Namun, metode maserasi tersebut belum dapat mengekstrak semua kandungan minyak dalam mikroalga *Chlorella sp*, yang diketahui sebesar 28-32% berat kering (Chisti, 2007). Pada penelitian ini dilakukan proses ekstraksi minyak mikroalga dengan menggunakan metode maserasi menggunakan pelarut n-heksana selama 10 jam pada suhu ruang (30 °C) dengan kecepatan pengadukan 222 rpm. Kecepatan pengadukan ini memungkinkan terjadinya kontak yang lebih besar antara pelarut

dengan minyak yang terkandung dalam mikroalga. Rendemen yang diperoleh adalah 12,26%.

Analisis Komponen Minyak Mikroalga *Chlorella sp.*

Uji GC-MS digunakan untuk mengetahui kandungan senyawa kimia dalam minyak mikroalga *Chlorella sp.* Berdasarkan penelitian pendahuluan yang dilakukan Widyastuti (2014), hasil analisa kromatogram minyak mikroalga *Chlorella sp.* menggunakan GC-MS menunjukkan kandungan asam lemak yang paling besar adalah *Dodecanoic acid* (Asam laurat) dan *n-Decanoic acid* (Asam kaprat).

Sifat Fisis Minyak Mikroalga *Chlorella sp.*

Dari uji yang dilakukan pada minyak mikroalga hasil ekstraksi, diketahui densitas minyak adalah 0,674 g/mL. Sementara nilai angka asamnya adalah 2,424 mg KOH/g minyak. Dengan nilai angka asam lebih dari 1 mg KOH/g minyak (>1%), maka perlu dilakukan praesterifikasi untuk mengkonversi asam lemak bebas menjadi alkil ester dengan katalis asam, yang dilanjutkan dengan reaksi transesterifikasi dengan katalis basa (Yusuf dkk., 2012).

Preparasi Katalis dari Abu Vulkanik dengan H_2SO_4

Preparasi katalis dilakukan dengan merefluks abu vulkanik dengan larutan H_2SO_4 . Perlakuan ini bertujuan untuk mendekomposisi impuritis dalam abu vulkanik sehingga dapat memperbesar ukuran pori-pori katalis, serta meningkatkan rasio Si/Al yang diiringi dengan kenaikan keasamannya sehingga katalis bersifat asam (Kartika dkk., 2012). Jenis katalis asam digunakan untuk reaksi esterifikasi dalam pembuatan biodiesel dari minyak nabati dengan kandungan asam lemak bebas yang cukup tinggi.

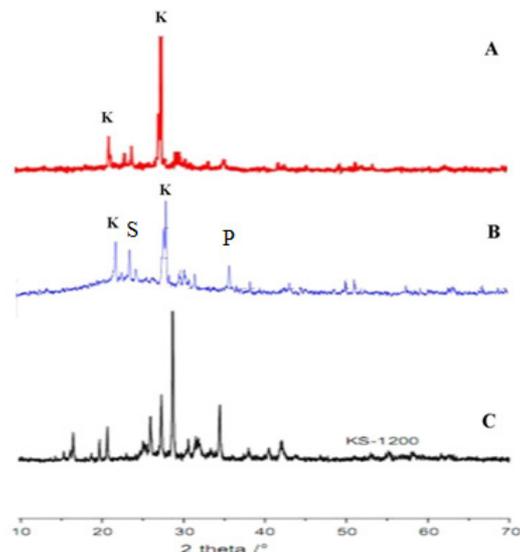
Preparasi Katalis dari Abu Vulkanik secara Alkali Hidrotermal

Pada proses preparasi dengan metode ini, Abu Vulkanik dicampur dengan larutan NaOH, kemudian di-ageing pada suhu 105 °C. Selama proses hidrotermal, mekanisme yang terjadi diantaranya adalah terlarutnya sedikit padatan dalam air, difusi zat terlarut dan timbulnya senyawa yang berbeda dari padatan terlarut yang terjadi pada suhu cukup rendah (100-300 °C). Proses ini meliputi perubahan tekstur atau struktur padatan murni yang menyebabkan reduksi pada luas permukaan, serta meningkatkan ukuran partikel dan pori (Jumaeri dkk., 2007).

Uji Kualitatif Difraksi Sinar-X (XRD) pada Katalis

Uji kualitatif bertujuan untuk memperoleh informasi perubahan struktur mikro dan kristalin yang terjadi selama proses sintesis. Pola difraksi sinar X dari sampel katalis sintetis diperoleh dengan menggunakan Difraktometer XRD dengan kondisi operasi yang melibatkan radiasi Cu pada 30.0 kV 30 mA. Sampel discan dari 2θ 10°-70°. Data yang diperoleh berupa jarak antar bidang, intensitas dan sudut (2θ) yang kemudian dicocokkan dengan pola difraksi sinar-X data standar JCPDS dan pola difraksi sinar-X untuk material Kalsilite dari penelitian Wen dkk (2010), sehingga senyawa yang terdapat dalam sampel dapat diidentifikasi.

Difraktogram yang diperoleh dari sampel katalis abu vulkanik yang dipreparasi dengan H_2SO_4 dan secara alkali hidrotermal disajikan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Difraktogram serbuk Katalis A (preparasi secara alkali hidrotermal), Katalis B (preparasi dengan H_2SO_4), dan C: material Kalsilite (Wen dkk., 2010)

Interpretasi difraktogram untuk katalis A dan B disajikan dalam Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Difraktogram serbuk Katalis A (preparasi secara alkali hidrotermal) untuk tiga puncak (peak) tertinggi

No	2θ (°)	d (Å)	Intensitas
1	28.3939	3.14080	1057
2	28.1393	3.16864	416
3	22.0683	4.02468	215

Tabel 2. Difraktogram serbuk Katalis B (preparasi dengan H_2SO_4) untuk tiga puncak (peak) tertinggi

No	2θ (°)	d (Å)	Intensitas
1	28.2387	3.15771	443
2	27.9661	3.18787	255
3	22.1743	4.00568	185

Pola difraksi sinar X yang disajikan pada Gambar dan Tabel menunjukkan bahwa sintesis yang dilakukan menghasilkan material Kalsilite. Dari hasil yang disajikan tersebut, difraktogram katalis B juga memperlihatkan adanya puncak-puncak fase kristalin zeolit P dan Sodalit (Jumaeri dkk., 2007).

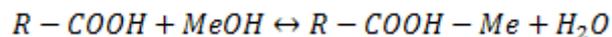
Pengaruh Jenis Katalis dalam Reaksi Transesterifikasi

Katalis yang dapat digunakan untuk mempercepat reaksi transesterifikasi dapat berupa katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen yang umum digunakan antara lain KOH dan

NaOH. Namun, beberapa kelemahan dari jenis katalis homogen ini terkait dengan sulitnya proses pemisahan dari produk yang terbentuk, serta terjadinya reaksi saponifikasi sebagai reaksi samping yang tidak diinginkan. Untuk mengatasi masalah terkait sulitnya proses pemisahan biodiesel yang dihasilkan dengan produk sampingnya, gliserol dan sabun, pada penelitian ini digunakan katalis *Kalsilite Like Material*. Kalsilite (KAlSiO₄) merupakan mineral silikat yang bersifat basa, sehingga dapat digunakan untuk reaksi transesterifikasi. Adapun perbedaan aktivitas kedua jenis katalis, homogen dan heterogen, akan dibahas lebih lanjut sebagai berikut. Aktivitas katalis dipengaruhi oleh suhu dan waktu reaksi, semakin tinggi suhu dan waktu reaksi, yield biodiesel semakin tinggi.

Esterifikasi Minyak Mikroalga *Chlorella sp.* dengan Katalis yang Dipreparasi dengan H₂SO₄

Dengan tingginya kadar asam lemak bebas dalam minyak hasil ekstraksi mikroalga, reaksi esterifikasi dengan katalis asam dipilih untuk menghasilkan metil ester. Esterifikasi mengikuti persamaan reaksi berikut:



Asam lemak bebas (R-COOH) bereaksi dengan metanol (MeOH) membentuk *fatty acid methyl ester* (FAME) (R-COO-Me) dan air (H₂O) sebagai produk samping (Yusuf dkk., 2012).

Penambahan katalis pada reaksi esterifikasi tidak menyebabkan pergeseran kesetimbangan ke arah pembentukan metil ester, tetapi menyebabkan penurunan energi aktivasi (Kartika dkk., 2012). Pada penelitian ini, yield biodiesel hasil reaksi esterifikasi minyak mikroalga dengan katalis sintesis dari abu vulkanik yang telah diaktivasi dengan H₂SO₄ 2M adalah 28,27%. Yield yang diperoleh relatif rendah karena reaksi esterifikasi hanya mengkonversi asam lemak bebas yang terdapat dalam minyak mikroalga menjadi metil ester. Sementara trigliserida yang merupakan komponen terbesar dalam minyak mikroalga tidak terkonversi. Untuk meningkatkan yield biodiesel yang diperoleh, setelah tahap esterifikasi perlu dilakukan reaksi transesterifikasi untuk mengkonversi trigliserida menjadi metil ester dengan menggunakan katalis basa.

Hasil uji yang dilakukan menunjukkan biodiesel yang dihasilkan mempunyai densitas 0,684 g/mL. Nilai densitas ini belum sesuai dengan standar biodiesel yang dipersyaratkan SNI.

Transesterifikasi Minyak Mikroalga *Chlorella sp.* dengan Katalis yang Dipreparasi secara Alkali Hidrotermal

Reaksi transesterifikasi yang dilakukan dengan menggunakan katalis dari abu vulkanik yang dipreparasi secara alkali hidrotermal menghasilkan biodiesel sebanyak 23%. Sementara nilai densitas dari hasil uji biodiesel yang diperoleh adalah 0,69 g/mL.

Ditinjau dari proses pembuatan biodiesel, pada proses reaksi dengan menggunakan katalis heterogen, katalis dan produk yang dihasilkan lebih mudah dipisahkan. Selain itu penggunaan air pada tahap pemurnian produk juga lebih sedikit dibandingkan dengan tahap pemurnian produk dari hasil reaksi dengan katalis homogen.

SIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut: Ekstraksi Sintesis material Kalsilit dengan metode alkalihidrotermal menghasilkan material kalsilit yang kristalin, sedangkan sintesis dengan larutan H_2SO_4 menghasilkan beberapa material dengan struktur kalsilit, zeolit P, dan sodalit. Reaksi transesterifikasi dengan katalis yang dipreparasi dengan H_2SO_4 menghasilkan yield sebesar 28,27%, sedangkan reaksi dengan katalis yang dipreparasi secara alkali hidrotermal menghasilkan yield sebesar 23%. Densitas biodiesel hasil reaksi transesterifikasi dengan katalis yang dipreparasi secara alkali hidrotermal adalah 0,69 g/mL, sedangkan biodiesel hasil reaksi esterifikasi dengan katalis yang dipreparasi dengan H_2SO_4 adalah 0,684 g/mL.

DAFTAR PUSTAKA

- Chisti, Y., "Biodiesel from Microalgae", *Biotechnology Advances*, 2007, 25, pp. 294-306.
- Di Serio, M., et al., "Heterogeneous Catalysis in Biodiesel Production: The Influence of Leaching", *Topics in Catalysis*, 2010. 53(11-12), pp. 811-819.
- Fiantis, D., et al., "Determination of the geochemical weathering indices and trace elements content of new volcanic ash deposits from Mt. Talang (West Sumatra) Indonesia", *Eurasian Soil Science*, 2010. 43(13), pp. 1477-1485.
- Fukuda H, K.A., Noda A, "Biodiesel fuel production by transesterification of oil", *J Biosci Bioeng*, 2001, pp. 16-405.
- Jumaeri, W.A. and W.T.P. Lestari, "Preparasi dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Layang Batubara secara Alkali Hidrotermal", *Reaktor*, 2007. 11: p. 38-44.
- Kannan, D.C., *A solid catalyst method for biodiesel production*, 2009, The Pennsylvania State University, Ann Arbor. p. 231.
- Kartika, D. and S. Widyaningsih, "Konsentrasi Katalis dan Suhu Optimum pada Reaksi Esterifikasi menggunakan Katalis Zeolit Alam Aktif (ZAH) dalam Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah", *Jurnal Natur Indonesia*, 2012, p. 219-226.
- Ondrey, G., "Commercial production and debut of a new solid-acid catalyst for making biodiesel", *Chemical Engineering*, 2008. 115(2): p. 12.
- Wen, G., et al., "Kalsilit based heterogeneous catalyst for biodiesel production", *Fuel*, 2010, 89(8): p. 2163-2165.
- Widyastuti, C.R. and A.C. Dewi, "Sintesis Biodiesel dari Minyak Mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis KOH", *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 2014. 3: p. 35-41.
- Yusuf, N.N.A.N., S.K. Kamarudin, and Z.Yaskob, "Overview on The Production of Biodiesel from *Jatropha curcas* L. by using Heterogeneous Catalysts", *Biofuels, Bioproducts, and Biorefining*, 2012. 6: p. 319-334.