

SINTESIS DAN KARAKTERISASI METIL ESTER MINYAK BIJI CARICA DIENG (*Carica candamarcensis*) SEBAGAI BAHAN BAKAR BIODIESEL

Nugroho Wahyu Sumartono¹, Joko Wahyono¹, Sonia Latifah¹, Anisa Ratih Pratiwi¹,
Endang Dwi Siswani²

¹Mahasiswa Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta

²Dosen Pendidikan Kimia FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta

E-mail: chem.nugrohowahyu@gmail.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah menyintesis metil ester minyak biji carica dieng dan mengetahui karakteristiknya sebagai bahan bakar biodiesel. Proses sintesis metil ester minyak biji carica dieng melalui tahapan ekstraksi dan penjernihan minyak biji carica dieng, penentuan kadar asam lemak bebas, penurunan kadar asam lemak bebas dengan esterifikasi, dan sintesis ester biodiesel dengan transesterifikasi. Rendemen minyak biji carica dieng yang diperoleh dalam penelitian ini sebesar 38,80% dan rendemen metil ester biodiesel sebesar 67,0%. Hasil analisis spektroskopi IR dan kromatogram GC-MS menunjukkan bahwa minyak biji carica dieng berhasil terkonversi menjadi ester biodiesel berdasarkan perubahan gugus fungsi serta adanya senyawa ester biodiesel yang teridentifikasi. Metil ester minyak biji carica dieng memiliki viskositas kinematik sebesar 5,132 mm²/s, titik tuang pada -6 °C dan rerata kalor pembakaran sebesar 10.176,65 kal/g. Berdasarkan hasil karakteristik tersebut, metil ester minyak biji carica dieng telah memenuhi standar dan berpotensi dijadikan bahan bakar biodiesel.

Kata kunci: biodiesel, carica candamarcensis, dieng, energi, metil ester

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi akan meningkat seiring dengan pertumbuhan industri dan jumlah penduduk di dunia. Permintaan energi dunia diprediksi mengalami pertumbuhan sebesar 37 % pada tahun 2040 (International Energy Agency, 2014). Data Kementerian ESDM (2015) (Sugiyono, *et al.*, 2016) menunjukkan bahwa konsumsi energi final per sektor di Indonesia selalu terjadi peningkatan setiap tahun pada periode 2000–2014, kecuali pada tahun 2005 dan 2006. Selain itu, Konsumsi energi menurut jenis selama tahun 2000-2014 masih didominasi oleh BBM (bensin, minyak solar, minyak diesel, minyak tanah, minyak bakar, avtur dan avgas). Konsumsi BBM di sektor transportasi memiliki pangsa yang sangat tinggi yaitu 79,7% dari total konsumsi BBM.

Energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui. menurut Kementerian ESDM (2016), pada tahun 2015 produksi minyak bumi di Indonesia cenderung mengalami penurunan. Hal tersebut disebabkan oleh beberapa faktor yakni usia sumur minyak yang tua, kerusakan peralatan, gangguan alam, perizinan, dan lain-lain. Penurunan produksi tersebut, berdampak pada meningkatnya impor untuk memenuhi permintaan BBM dalam negeri. Penggunaan bahan bakar fosil dalam jumlah besar menimbulkan beberapa permasalahan khususnya pada emisi gas buang yang dihasilkan, yakni gas NO_x, SO_x, CO, partikulat padat dan komponen organik volatil (VOCs) (Marchetti & Errazu, 2008).

Tingginya kebutuhan bahan bakar energi fosil yang tidak diimbangi dengan meningkatnya hasil produksi, memaksa pemerintah Indonesia dan masyarakat untuk

mencari bahan bakar alternatif sebagai sumber energi yang lebih ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Salah satu alternatif yang mungkin memenuhi kriteria tersebut adalah pemanfaatan minyak nabati sebagai bahan bakar biodiesel. Pada umumnya, minyak nabati mampu terurai secara biologis dan lebih sempurna (Handoyo *et al.* 2007).

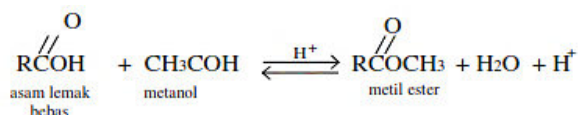
Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan sebagai pengganti bahan bakar diesel yang dibuat dari minyak nabati dan lemak hewan. Bahan bakar biodiesel memiliki keunggulan yakni mudah terurai di alam, relatif tidak beracun, dan tingkat emisi CO₂ dan gas SO_x yang rendah (Marchetti & Errazu, 2008). Bahan baku yang berpotensi sebagai bahan baku pembuatan biodiesel yakni kelapa sawit, jarak pagar, kedelai, alpukat, dan beberapa jenis tumbuhan lain (Risnoyatiningsih, 2010).

Secara kimiawi, biodiesel didefinisikan sebagai ester monoalkil asam lemak rantai panjang. Biodiesel diproduksi melalui reaksi minyak nabati atau lemak hewan dengan metanol atau etanol dengan katalis untuk yang menghasilkan metil atau etil ester dan gliserin (Demirbas, 2008: 114). Biodiesel dapat disintesis melalui transesterifikasi trigliserida dari minyak nabati atau proses esterifikasi asam lemak bebas. Sintesis biodiesel dilakukan melalui proses transesterifikasi dengan katalis basa (NaOH atau KOH) dan melalui proses esterifikasi dengan katalis asam pekat (H₂SO₄ atau H₃PO₄) (Fanny *et al.*, 2012).

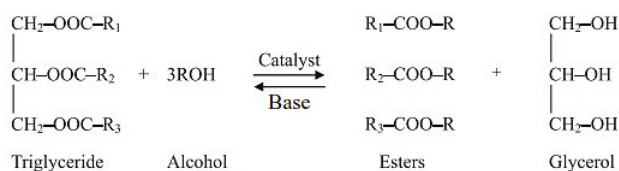
Reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dari minyak nabati ditunjukkan pada gambar 1 dan gambar 2.

Menurut Silaen (2010), berdasarkan kandungan asam lemak bebas (FFA) dalam minyak nabati maka proses sintesis biodiesel dapat dibedakan menjadi dua bagian,

yakni (1) transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa untuk *refined oil* atau minyak nabati dengan kandungan FFA rendah (FFA < 1%) dan (2) esterifikasi dengan katalis asam untuk minyak nabati dengan kandungan FFA yang tinggi, dilanjut dengan transesterifikasi dengan katalis basa.



Gambar 1. Reaksi Esterifikasi Asam Lemak Bebas dengan Katalis Asam (Suirta, 2009)



Gambar 2. Reaksi Transesterifikasi Trigliserida dengan Katalis Basa (Demirbas, 2008:121)

Carica dieng (*Carica candamarcensis*) merupakan salah satu tanaman yang banyak tumbuh di wilayah Wonosobo. Menurut dinas pertanian dan perkebunan Wonosobo, pada tahun 2013 area lahan yang ditanami carica dieng yakni 115,77 hektar dengan menghasilkan 729 kg/pohon/hektar (Pradana *et al.*, 2015). Carica dieng sering dimanfaatkan bagian daging buahnya sebagai produk olahan makanan atau minuman. Akan tetapi, limbah biji hasil pengolahan tersebut terbuang sia-sia dan menjadi limbah produksi.

Apabila ditinjau dari segi ekonomi, biji carica yang hampir sama dengan biji pepaya mempunyai potensi yang cukup tinggi. Penelitian Chan dan Tang (1973) dalam (Larasati, 2011), menunjukkan bahwa biji pepaya mengandung minyak sebesar 32,97 %. Kandungan minyak ini relatif lebih besar jika dibandingkan dengan biji-bijian yang lain seperti biji kurma (23,5%), biji pear (14,1%), biji anggur (12-22 %),

biji apel (19,23 %) dan biji teh (20-45%) (Ketaren, 2008). Besarnya rendemen minyak yang dihasilkan, menjadikan biji carica dieng berpotensi sebagai bahan baku pembuatan biodiesel yang ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Penelitian Kimia FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta, Laboratorium MBGBB Teknik Kimia UGM, Laboratorium Kimia Instrumen FMIPA UGM, Laboratorium Biokimia PAU UGM dan Laboratorium Instrumen Akademi Teknologi Kulit Yogyakarta. Waktu yang diperlukan dalam penelitian ini yakni selama lima bulan.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas laboratorium, ekstraktor *soxhlet*, peralatan reflux, evaporator, alat penggiling, FT-IR ATR *Pekin-Elmer*, GC-MS QP2010S *Shimadzu*, instrumen *pour point*, instrumen viskositas kinematik, dan kalorimeter bom.

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji carica dieng yang merupakan limbah hasil produksi, aquades, kalium hidroksida p.a., metanol p.a., n-heksana teknis, asam sulfat p.a., karbon aktif, kertas saring dan indikator PP.

Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan meliputi beberapa tahapan. Tahap pertama yang dilakukan adalah ekstraksi minyak biji carica dieng. Ekstraksi dilakukan dengan metode *soxhlet* dan pelarut yang digunakan yakni n-heksana. Sebelum dilakukan ekstraksi, biji terlebih dahulu dibersihkan dari getah, dikeringkan dan dihaluskan. Setelah dilakukan ekstraksi *soxhlet*,

minyak biji carica dieng yang diperoleh selanjutnya dipisahkan dari pelarut dengan evaporator vakum.

Tahap kedua yakni penjernihan minyak biji carica dieng. Minyak biji carica dieng yang diperoleh selanjutnya ditambahkan arang aktif dengan perbandingan 1:100. Selanjutnya, campuran tersebut dikocok beberapa saat dan didiamkan selama 24 jam. Setelah didiamkan, minyak disaring dengan kertas saring hingga jernih.

Tahap ketiga yakni penentuan asam lemak bebas (FFA). Tahap ini bertujuan untuk mengetahui kadar asam lemak bebas yang terdapat pada minyak hasil isolasi. Metode yang digunakan yakni titrasi dengan menggunakan larutan standar kalium hidroksida 0,1 N dan indikator *phenolphthalein* (PP). Massa minyak yang digunakan yakni 3 gram, volume alkohol 50 ml, dan 2 tetes indikator.

Tahap keempat yakni penurunan kadar asam lemak bebas dengan esterifikasi. Esterifikasi dilakukan dengan menggunakan *refluks*. Perbandingan minyak, alkohol, dan asam sulfat yang digunakan yakni 50:7,5:1. Kondisi operasional dalam tahap ini yakni pada temperatur 60 °C selama 60 menit.

Tahap terakhir adalah trans-esterifikasi untuk membuat biodiesel. Minyak biji carica dieng hasil esterifikasi selanjutnya dilakukan transesterifikasi untuk mengonversi minyak biji carica dieng menjadi ester biodiesel. Perbandingan minyak dan alkohol yang digunakan yakni 6:1 dan katalis kalium hidroksida 1 % dari massa minyak. Kondisi operasional dalam tahap ini yakni dengan temperatur 60 °C selama 120 menit. Metil ester yang dihasilkan selanjutnya dianalisis untuk menentukan konversinya. Selain itu, metil ester yang diperoleh juga dianalisis dengan metode ASTM untuk

menentukan karakteristik sebagai bahan bakar diesel.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sintesis Metil Ester Biodiesel

Sintesis biodiesel dari minyak biji carica dieng diawali dengan ekstraksi minyak. Sebelum dilakukan ekstraksi, limbah biji carica dieng dibersihkan dari getah dan pengotor. Biji yang telah bersih, selanjutnya dikeringkan untuk mengurangi kadar air dan dihancurkan untuk mempermudah proses ekstraksi. Ekstraksi yang dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi sokhlet. Adapun pelarut yang digunakan adalah n-heksana. Minyak biji carica dieng yang diperoleh berwarna coklat kekuningan, transparan, dan berbau sedikit tengik. Dari 555,0 gram biji carica dieng kering diperoleh minyak sebanyak 215,38 gram, sehingga rendemen minyak biji carica dieng yang dihasilkan sebesar 38,80%. Rendemen minyak yang diperoleh hampir mendekati rendemen minyak biji carica dieng pada penelitian Larasati (2010) yakni berkisar 33,33 % - 35,33 %.

Minyak biji carica dieng yang diperoleh ditentukan kadar asam lemak bebasnya dengan titrasi alkalimetri. Larutan standar yang digunakan adalah KOH 0,1 M. Hasil analisis kandungan asam lemak bebas minyak biji carica dieng yakni sebesar 11 %. Dengan demikian, kadar asam lemak bebas pada minyak biji carica dieng diturunkan dengan proses esterifikasi.

Proses esterifikasi minyak biji carica dieng dilakukan untuk mereaksikan asam lemak bebas dengan metanol. Proses ini dipercepat dengan katalis asam sulfat (H_2SO_4) pekat. Hasil dari proses esterifikasi diperoleh suatu campuran yang keruh dan berwarna kuning.

Setelah dilakukan esterifikasi, tahapan selanjutnya adalah proses transesterifikasi. Pada proses ini, trigliserida pada minyak biji carica dieng bereaksi dengan metanol membentuk metil ester biodiesel. Proses ini dipercepat dengan katalis kalium hidroksida (KOH). Pada proses ini dihasilkan dua fasa zat. Fasa bawah berwarna coklat yang merupakan campuran gliserol dan produk samping lain. Sedangkan fasa atas berwarna kuning keruh yang merupakan metil ester biodiesel. Kedua lapisan tersebut selanjutnya dipisahkan.

Setelah dilakukan pemisahan dan pencucian dengan menggunakan aquades hangat, diperoleh metil ester biodiesel yang berwarna kuning transparan. Berdasarkan penelitian ini, dari 95,0 gram minyak biji carica dieng yang diolah, diperoleh metil ester biodiesel sebesar 64,0 gram, sehingga rendemen hasil sintesis yang diperoleh sebesar 67,3 %.

Analisis Spektroskopi FT-IR

Analisis FT-IR dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan antara spektrum yang dihasilkan dari minyak biji carica dieng dan biodiesel. Hasil analisis FT-IR yang diperoleh terlihat beberapa perubahan spektrum antara minyak biji carica dieng dan biodiesel. Perubahan tersebut berupa penghilangan ataupun penambahan beberapa puncak spektrum pada gugus fungsi tertentu. Adapun perubahan-perubahan puncak spektrum antara minyak biji carica dieng dan biodiesel ditunjukkan pada tabel 1.

Berdasarkan tabel tersebut, terdapat hilangnya puncak $1712,43\text{ cm}^{-1}$ pada minyak biji carica dieng dan munculnya puncak $1436,07\text{ cm}^{-1}$, $1244,15\text{ cm}^{-1}$, $1016,95\text{ cm}^{-1}$, $852,64\text{ cm}^{-1}$ pada spektrum IR metil ester biodiesel. Puncak-puncak spektrum yang hilang maupun yang muncul tersebut menunjukkan bahwa reaksi

transesterifikasi yang dilakukan berhasil mengonversi minyak biji carica dieng menjadi biodiesel.

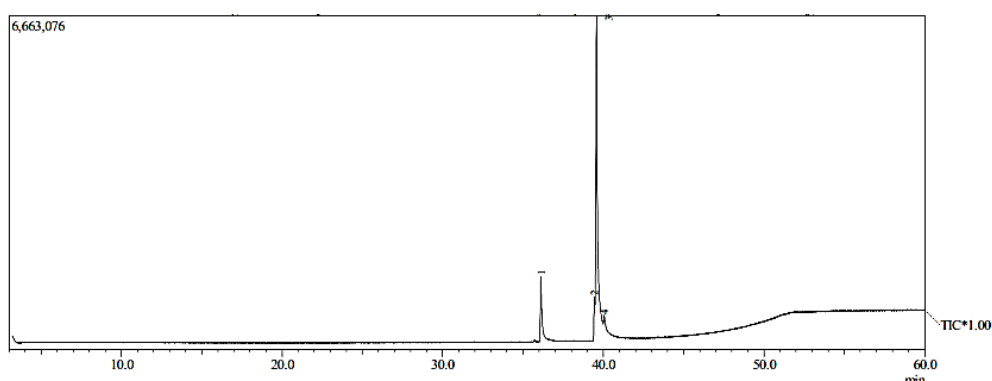
Analisis Kromatogram GC-MS

Analisis kromatografi gas-spektroskopi massa (GC-MS) merupakan kombinasi dua teknik analisis berbeda yang digunakan untuk menganalisis atau mengidentifikasi campuran senyawa organik dan biokimia kompleks (Husain & Maqbool, 2014). Analisis GC-MS bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa ester biodiesel yang terbentuk setelah proses transesterifikasi. Hasil analisis sampel metil ester minyak

biji carica dieng dengan kromatografi gas ditunjukkan pada gambar 3. Berdasarkan kromatogram tersebut, diduga terdapat empat senyawa yang berbeda. Kelimpahan senyawa yang paling tinggi dimiliki oleh puncak 3 dan kelimpahan senyawa yang paling rendah dimiliki oleh puncak 4. Puncak-puncak pada kromatogram selanjutnya diidentifikasi senyawanya dengan spektroskopi massa dan dibandingkan dengan pustaka instrumen yang ada. Adapun empat senyawa tersebut ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 1. Hasil Analisis Spektrum FT-IR Minyak Biji Carica Dieng dan Biodiesel

Puncak Spektrum (cm ⁻¹)		Penjelasan
Minyak Carica Dieng	Metil Ester Biodiesel	
2923,14	2923,47	Vibrasi -CH ₂ - asimetris, -CH ₃ simetris dan renggangan -CH ₂ -
2854,20	2854,09	
1745,21	1742,34	Vibrasi renggangan -C=O pada gugus karbonil
1712,43	-	
1464,72	1463,76	Vibrasi renggangan ikatan C-H
-	1436,07	
1377,95	1361,83	Serapan lemah C-O ester
-	1244,15	
1162,14	1169,28	Serapan lemah ester asam lemak
1118,77	1119,71	
-	1016,95	Vibrasi renggangan C-O
-	852,64	
722,69	722,72	Ikatan <i>out of plane</i> C-H



Gambar 3. Kromatogram GC-MS Sampel Metil Ester Minyak Biji Carica Dieng

Tabel 2. Data Waktu Retensi dan Luas Puncak Kromatogram GC Serta Senyawa yang Diduga Dari Sampel Metil Ester

Puncak	Waktu Retensi, tR (menit)	Luas Puncak (%)	Senyawa yang diduga
1	36,111	12,29	Asam heksadekanoat, metil ester
2	39,449	5,71	Asam linoleat, metil ester
3	39,483	77,30	Asam 11-oktadekenoat, metil ester
4	39,925	4,69	Asam oktadekenoat, metil ester

Berdasarkan hasil analisis tersebut, senyawa yang terbentuk merupakan senyawa metil ester asam lemak yang terdapat pada minyak biji carica dieng.

Analisis Viskositas Kinematik

Viskositas adalah suatu angka yang menyatakan besarnya hambatan dari suatu bahan cair untuk mengalir atau ukuran dari besarnya tahanan geser dari cairan. Makin tinggi viskositasnya, makin kental dan semakin sukar mengalir (Suyanto & Zaenal, 2003). Nilai viskositas kinematik pada 40 °C diperoleh melalui metode ASTM D-445. Dalam penelitian ini, metil ester biodiesel minyak biji carica dieng memiliki nilai viskositas kinematik sebesar 5,132 mm²/s. Berdasarkan SNI, viskositas kinematik biodiesel pada suhu 40 °C berkisar pada 2,3 – 6,0 mm²/s. Dengan demikian, viskositas kinematik metil ester minyak biji carica dieng memenuhi standar biodiesel.

Analisis Titik Tuang

Titik tuang (*pour point*) merupakan suatu angka yang menyatakan temperatur terendah dari bahan bakar minyak untuk dapat mengalir karena gravitasi (Risnoyatiningsih, 2010). Nilai titik tuang metil ester biodiesel diperoleh dengan menggunakan metode ASTM D-97. Dalam penelitian ini, metil ester biodiesel minyak biji carica dieng memiliki nilai titik tuang pada -6 °C. Berdasarkan SNI, titik tuang biodiesel berkisar antara -15 – 10 °C (Majid *et al.*, 2012). Dengan demikian, metil ester minyak biji carica dieng telah memenuhi sebagai biodiesel. Menurut Risnoyatiningsih (2010), semakin rendah nilai titik tuang biodiesel, maka akan semakin baik karena mengurangi kecenderungan biodiesel untuk membeku pada temperatur rendah.

Analisis Kalor Pembakaran

Nilai kalor merupakan ukuran panas atau energi yang dihasilkan, dan diukur

sebagai nilai kalor kotor/*gross calorific value* atau nilai kalor netto/*nett calorific value* (Mahmud, 2010). Kalor pembakaran suatu bahan bakar dapat diukur dengan menggunakan kalorimeter bom dengan metode standar ASTM D2015 (Dermirbas, 2008:102). Pada penelitian ini, metil ester biodiesel minyak biji carica dieng memiliki nilai kalor pembakaran rata-rata sebesar 10.176,65 kal/g atau 42.607,6 Joule/g. Menurut Mahmud (2010), nilai kalor kotor untuk beberapa jenis bahan bakar cair dapat ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai Kalor Kotor Beberapa Bahan Bakar Minyak

Bahan Bakar Minyak	Nilai Kalor Kotor (kkal/kg)
Minyak Tanah	-11.100
Minyak Diesel	-10.800
L.D.O	-10.700
Minyak Tungku	-10.500
L.S.H.S	-10.600

Menurut Demirbas (2008:145), nilai kalor biodiesel berkisar 39 – 41 MJ/kg lebih rendah dari bahan bakar minyak (46 MJ/kg), *petrodiesel* (43 MJ/kg) atau petroleum (42 MJ/kg) tetapi lebih tinggi dari batu bara yang berkisar 32 – 37 MJ/kg).

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metil ester biodiesel minyak biji carica dieng (*Carica candamarcensis*) dapat disintesis melalui tiga tahapan yakni ekstraksi minyak, reaksi esterifikasi dan transesterifikasi. Dari proses ekstraksi diperoleh rendemen minyak biji carica dieng sebesar 38,80 %. Dari 95 gram minyak biji carica dieng diperoleh biodiesel sebanyak 64,0 gram atau 67,3 %.

Hasil analisis spektroskopi FT-IR dan analisis kromatogram GC-MS

menunjukkan bahwa minyak biji carica dieng sudah berhasil terkonversi menjadi ester biodiesel berdasarkan perubahan gugus fungsi serta adanya senyawa ester biodiesel yang berhasil teridentifikasi. Metil ester biodiesel minyak biji carica dieng memiliki viskositas kinematik sebesar 5,132 mm²/s, titik tuang pada -6 °C dan rata-rata nilai kalor pembakaran sebesar 10.176,65 kal/g.

Saran

Perlu penelitian dan pengembangan lebih lanjut mengenai biodiesel berbahan baku biji carica dieng, yang meliputi analisis karakteristik lain seperti angka setana, titik nyala dan sebagainya. Selain itu, diperlukan suatu metode yang dapat meningkatkan rendemen biodiesel serta meningkatkan kualitas karakteristik biodiesel agar dapat dimanfaatkan oleh masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Dermirbas, A. (2008). *Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines*. London: Springer.
- Fanny, W. A., Subagjo, Tirto P. (2012). Pengembangan Katalis Kalium Oksida Untuk Sintesis Biodiesel. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*. Vol 11 (2) pp. 66-73.
- Handoyo, R., Ananta A. A., dan Saiful A. (2007). Biodiesel dari Minyak Biji Kapok. *Jurnal Enjiniring Pertanian*. Vol. V, No. 1, pp. 57-64
- Hussain, S. Z. dan Khushnuma M. (2014). GC-MS: Principle, Technique, and its application in Food Science. *International Journal Current Science*. Vol. 13 pp. 116-126.
- International Energy Agency. (2014). *World Energy Outlook 2014*. Paris: Internasional Energy Agency.
- Kementerian ESDM. (2016). *Statistik Minyak dan Gas Bumi 2015*. Jakarta: Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
- Ketaren, S., (2008). *Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- Larasati, D., (2011). *Ekstraksi Limbah Biji Carica Dieng (Carica candamarcensis) sebagai Alternatif Minyak Makan: Prosiding Seminar Nasional Membangun Daya Saing Produk Pangan Berbasis Bahan Baku Lokal, 8 Juni 2011*. (pp 70-78) Surakarta: Universitas Selamat Riyadi.
- Mahmud, N. R. A., (2010). *Penentuan Nilai Kalor Berbagai Komposisi Campuran Bahan Bakar Minyak Nabati*, Malang: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Majid, A. A., Dhani P., YC Danarto. (2012). *Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Menggunakan Iradiasi Gelombang Mikro: Prosiding Simposium Nasional RAPI, 18 Desember 2012*. Surakarta: UMS
- Marchetti, J.M., Errazu, A.F. (2008). Comparison of Different Heterogeneous Catalysts and Different Alcohols for The Etherification Reaction of Oleic Acid. *Fuel*. Vol 87 pp. 3477-3480.
- Pradana, A., Futuha H. S., Windarti W. (2015). The Analysis of Environmental Degradation and Carica Agroforestry System as an Attempt of Environmental Restoration in Dieng Plateau. *International Journal of Environmental Science and Development*. Vol. 6, No. 11
- Risnoyatningsih, S. (2010). Biodiesel from Avocado Seeds by

- Transesterification Process. *Jurnal Teknik Kimia*, 5 (1), pp. 345-351.
- Silaen, Sabar. 2010. Pengaruh Tipe Katalis KOH Dan CaO Pada Pembuatan Biodiesel Turunan Minyak Kacang Tanah Melalui Transesterifikasi dengan Lama Reaksi 3 Jam Pada Suhu 65 oC Menggunakan Eter sebagai Cosolvent. [Thesis]. Medan: Program Pascasarjana FMIPA USU
- Sugiyono, A., Anindhita, Laode M. A. W., Adiarso (2016). *Outlook Energi Indonesia 2016: Pengembangan energi untuk mendukung industri hijau*. Jakarta: Pusat Teknologi Sumber daya Energi dan Industri Kimia BPPT
- Suirta, I W. (2009). Preparasi Biodiesel dari Minyak Jelantah Kelapa Sawit. *Jurnal Kimia*. Vol 3 (1), Pp. 1-6.
- Suyanto, W., Zaenal A. (2003). *Bahan Bakar dan Pelumas*. Yogyakarta: Fakultas Teknik UNY.