

**SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK BIJI KAPUK (*CEIBAPENTANDRA*)
MELALUI PROSES TRANSESTERIFIKASI KIMIAWI DAN FRAGMENTASI
ION METIL ESTER**

**(*BIODIESEL SYNTHESIS OF COTTON SEEDS OIL (CEIBAPENTANDRA) BY
CHEMICALLY TRANSESTERIFICATION PROCESS AND ION FRAGMENTATION
OF METHYL ESTER*)**

Erin Ryantin Gunawan*, Siska Ayu Wulandari, Emmy Yuanita, Dedy Suhendra

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas
Mataram, Jalan Majapahit No. 62, Mataram

*email: erinryantin@unram.ac.id

Received 05 September 2013, Accepted 06 January 2014, Published 01 September 2014

ABSTRAK

Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang komersial bagi masyarakat yang semakin lama kelimpahannya semakin berkurang dan mengakibatkan pencemaran lingkungan. Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang terbuat dari minyak nabati yang cocok menggantikan fungsi dari bahan bakar fosil serta ramah lingkungan. Telah dilakukan pembuatan biodiesel dari minyak biji kapuk dengan proses transesterifikasi kimiawi. Komposisi metil ester dalam biodiesel dan fragmentasi ionnya dianalisis dengan GC-MS yaitu metil palmitat (16,71 %), metil 8,11- oktadekadienoat (46,45 %), dan metil linoleat (4,21 %). Hasil konversi biodiesel terbesar diperoleh pada rasio minyak : metanol (1:1) dengan katalis 1 % dari berat minyak. Persentase biodiesel yang dihasilkan yaitu sebesar 93,7 %. Sifat kimia biodiesel yang dihasilkan memenuhi standar SNI 04-7182-2006 meliputi bilangan penyabunan sebesar 120,167 mg KOH/g, bilangan asam sebesar 0,28 mg KOH/g dan bilangan iodium sebesar 55,84 g iod/100g sampel.

Kata kunci : biodiesel, kapuk (*Ceibapentandra*), transesterifikasi kimiawi.

ABSTRACT

Fossil fuel is commercial energy sources in many communities where their abundance progressively reduced and the resulting environmental pollution. Biodiesel is one alternative fuel made from vegetable which oils are suitable to replace the function of fossil fuels and environmentally friendly. Synthesis of biodiesel from cotton seeds oil was carried out by chemically transesterification process. Composition of methyl esters in biodiesel that was analyzed by GC-MS are methyl palmitate (16.71%), methyl 8,11-octadecadienoic (46.45 %) and methyl linoleate (4.21 %). The highest amount of biodiesel conversion is at ratio of oil and methanol (1:1) with the catalyst 1% (weight of oil). The produced biodiesel was 93.7 %. Chemical properties of the produced biodiesel meets the standard SNI 04-7182-2006 i.e. saponification value of 120.167 mg KOH / g, acid value of 0.28 mg KOH / g and iod value 55.84g iod/100g of sample.

Keywords: biodiesel, chemically transesterification, cotton (*CeibaPentandra*).

PENDAHULUAN

Bahan bakar fosil (*fossil fuel*) merupakan bahan bakar yang tidak terbaharukan dan dapat memunculkan ancaman serius yaitu ketersediaan bahan bakar fosil untuk beberapa dekade mendatang, masalah suplai, harga, dan fluktuasinya. Saat ini, permintaan bahan bakar mesin diesel di Indonesia setiap tahun jumlahnya terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi sedangkan produksi minyak bumi dalam negeri terus menurun. Indonesia bahkan harus mengimpor bahan bakar minyak (BBM) hingga 385.000 barrel per hari (BPSPertamina, 2013). Oleh karena itu kita memerlukan solusi baru guna mengurangi ketergantungan pada BBM yang bersumber dari bahan baku yang tersedia di alam (Hala *et al.*, 2008).

Jenis bahan bakar alternatif yang telah dikembangkan antara lain bioetanol sebagai pengganti bensin, dan biodiesel sebagai pengganti bahan bakar diesel. Biodiesel merupakan bahan bakar motor diesel yang berupa ester alkil asam lemak yang dibuat dari minyak nabati melalui proses transesterifikasi atau esterifikasi dengan metanol. Biodiesel mempunyai keunggulan dibandingkan dengan minyak diesel yakni dapat diperbaharui (*renewable*), nontoksik dan dapat terurai secara alami (*biodegradable*) (Pratama *et al.*, 2009). Bahan utama yang digunakan sebagai biodiesel adalah trigliserida yang memiliki rantai C₁₄-C₂₂ (Demirbas, 2009). Asam-asam lemak rantai panjang biasanya terdapat dalam trigliserida yang berasal dari sejenis kacang, kelapa sawit, kelapa, dan sebagainya (Korbitz and Rice, 1997). Akhir-akhir ini juga telah dikembangkan bahan bakardiesel dari minyak jarak pagar (*Jatropha curcas* L) (Achten *et al.*, 2008).

Salah satu tanaman yang berpotensi untuk dijadikan sebagai energi alternative adalah biji kapuk (*Ceiba pentandra*). Biji tanaman kapuk ini dapat kita ambil untuk menghasilkan minyak nabati. Kandungan minyak nabati yang tinggi menjadikan tanaman ini dapat diolah menjadi biodiesel. Dari data dinas perkebunan pemprov NTB terdapat 3.314,12 Ha areal pengembangan kapuk sampai saat ini dengan jumlah produksi 752,62 Ton pertahunnya di wilayah NTB (Pemprov NTB, 2008). Biji kapuk merupakan limbah pembuatan kasur, sehingga untuk menambah daya guna biji kapuk maka penelitian ini dilakukan untuk membuat biodiesel dari biji kapuk. Biodiesel dari biji kapuk ini juga dapat menjadi alternatif lain untuk menghasilkan biodiesel.

Pada reaksi konversi minyak biji kapuk menjadi biodiesel dilakukan dengan cara transesterifikasi. Ada dua jenis reaksi transesterifikasi, yaitu transesterifikasi kimiawi yang mempunyai kelebihan dapat memberikan hasil konversi yang tinggi dan waktu reaksi yang

cepat sedangkan reaksi transesterifikasi enzimatis bersifat spesifik, tetapi biaya pengadaan enzim tinggi dan kelarutan alkohol rantai pendek seperti metanol dengan minyak adalah kecil (Shimada *et al.*, 1999). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan melalui proses transesterifikasi kimiawi untuk menghasilkan biodiesel dari biji kapuk.

METODE PENELITIAN

Ekstraksi minyak biji kapuk

Sebanyak 20 gram biji kapuk yang sudah halus dimasukkan ke dalam kertas saring. Kertas saring dilipat sedemikian rupa, sehingga biji kapuk tidak keluar, kemudian diikat dengan tali dan ditimbang. Kertas saring yang berisi biji kapuk dimasukkan ke dalam alat soklet dan ditambahkan *n*-heksan sebagai pelarut, kemudian disokletasi selama 6 jam dengan suhu 40 °C.

Penentuan bilangan penyabunan

Minyak sebanyak 4 gram di refluks selama 60 menit dengan 50 mL KOH dalam etanol 0,5 N dan batu didih. Setelah campuran dingin, ditambahkan lima tetes indikator phenolphthalein. Campuran kemudian dititiasi menggunakan larutan HCl 0,5 N hingga warna jingga dari indikator hilang. Perlakuan dibuat sama untuk larutan blanko.

Penentuan bilangan asam

Ditimbang sebanyak 10 gram minyak, dilarutkan dalam labu yang berisi 50 mL campuran etanol-eter (1:1). Bila contoh tidak larut dalam pelarut dingin, maka dipanaskan secara perlahan-lahan, sambil dikocok sampai larut. Kemudian ditambahkan 1 mL fenolftalein, dan dititiasi dengan KOH 0,1 N sampai larutan tetap berwarna merah muda lemah setelah dikocok selama 30 detik.

Penentuan bilangan iodium

Penentuan bilangan iodium menggunakan metode yang dikembangkan oleh Sudarmadji (2003) yang dimodifikasi. Minyak sebanyak 0,5 gram dimasukkan ke dalam labu alas bulat yang dihubungkan dengan pendingin. Ditambahkan 10 mL kloroform untuk melarutkan minyak dan 30 mL larutan Hanus (10 g iodine monobromide dalam 500 mL asam asetat), aduk hingga bercampur semua. Campuran dibiarkan di tempat gelap selama 30 menit dengan sekali-kali dikocok. Setelah itu ditambahkan 10 mL larutan KI 15 % dan 10 mL aquadest, dan iod yang dibebaskan segera dititiasi dengan larutan Na₂S₂O₃ 0,1 N

dengan indikator amilum. Titrasi dilakukan sampai warna biru tepat hilang setelah diaduk. Larutan blanko dibuat dengan cara yang sama.

Transesterifikasikimiawi minyak biji kapuk

Reaksi transesterifikasi dengan katalis kimiawi menggunakan metode yang dikembangkan oleh Bhale *et al.* (2009) yang dimodifikasi. Ke dalam labu alas bulat 100 ml yang dihubungkan dengan refluks kondensor dan magnetik stirer dimasukkan minyak kapuk, metanol dengan rasio berat (1:1), (1:2), (1:3), (1:4), (1:6), (2:1), (3:1), (4:1) dan KOH 1% dari berat minyak. Campuran kemudian direfluks selama 1 jam. Campuran dipindahkan ke dalam corong pisah dan dibiarkan semalam sampai terbentuk dua lapisan. Lapisan atas merupakan metil ester (FAME), sedangkan lapisan bawah adalah gliserol. Kedua lapisan dipisahkan kemudian lapisan FAME dianalisis dan diuji sifat kimianya. Pada proses memurnikan FAME digunakan kromatografi kolom dengan eluen heksana dan dietil éter dengan perbandingan 8,5:1,5.

Identifikasi awal biodiesel

Hasil reaksi adalah campuran ester-ester dari asam-asam lemak. Untuk mengidentifikasi awal ester-ester yang terbentuk digunakan kromatografi lapis tipis (TLC) dengan menggunakan metode yang dikembangkan oleh Gunawan *et al.* (2004). Biodiesel yang terbentuk ditotolkan pada lembaran TLC. Lembaran TLC kemudian selanjutnya dikembangkan ke dalam sistem pelarutan-heksan-eter (8,5 : 1,5 v/v). Keberadaan ester dideteksi menggunakan iodium yang akan membentuk spot berwarna coklat.

Analisis GC-MS biodiesel

Hasil reaksi kemudian dianalisis dengan menggunakan metode yang dikembangkan oleh Suhendra dan Gunawan (2008), yaitu dengan menggunakan gas kromatografi spektroskopi massa (GCMS) dengan suhu injektor 290 °C, kolom yang digunakan Rastek RXi-5MS (30 m x 0,25 mm) pada rentang suhu kolom 40- 280 °C dengan kenaikan suhu sebesar 8 °C / menit. Detektor yang digunakan, FID (*Flame Ionization Detector*) dengan suhu detektor 300 °C dan gas pembawa Helium.

Pengujian sifat kimia biodiesel

Prosedur tes untuk sifat kimia biodiesel seperti bilangan penyabunan, bilangan asam, dan bilangan iodin dilakukan dengan menggunakan metode standard pengujian minyak, lemak dan derivatnya.

PEMBAHASAN

Ekstraksi minyak dengan sokletasi

Pengambilan minyak pada proses sokletasi akan lebih optimal karena merupakan ekstraksi berulang (*kontinyu*) serta dipengaruhi oleh panas sehingga tumbukan molekulnya lebih sering terjadi, sehingga ampasnya hanya kurang dari 0,1 % dari berat keringnya (Syah, 2006). Rata-rata kadar minyak yang diperoleh adalah 30,075 %.

Penentuan bilangan penyabunan

Rata-rata bilangan penyabunan minyak kapuk yang diperoleh dari penelitian ini yaitu 193,58 mg KOH/g. Bilangan penyabunan yang didapat ini termasuk dalam rentang besarnya bilangan penyabunan menurut Brien *et al.* (2005) yaitu sebesar 189 – 197 mg KOH/g. Besarnya bilangan penyabunan tergantung dari bobot molekul. Minyak yang mempunyai bobot molekul relatif kecil akan mempunyai bilangan penyabunan yang besar dan sebaliknya minyak yang mempunyai bobot molekul besar akan mempunyai bilangan penyabunan yang kecil.

Penentuan bilangan asam

Rata-rata bilangan asam dari minyak biji kapuk cukup besar yaitu 4,183 mg KOH/g minyak. Nilai yang diperoleh ini belum memenuhi standar untuk biodiesel yaitu maksimum 0,8 mg KOH/g (Kep. Dirjend Migas No. 004/P/DM/1979). Biodiesel dihasilkan dari proses esterifikasi atau dengan transesterifikasi. Esterifikasi biasa dilakukan untuk membuat biodiesel dari minyak yang mempunyai bilangan asam diatas 5 mg KOH/g (Destianna, 2007), sehingga dalam penelitian ini dilakukan proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi dilakukan dengan cara merefluks minyak biji kapuk dengan campuran larutan metoksi untuk menurunkan jumlah asam lemak bebas dalam minyak sehingga bilangan asamnya lebih kecil dan dapat memenuhi standar untuk biodiesel.

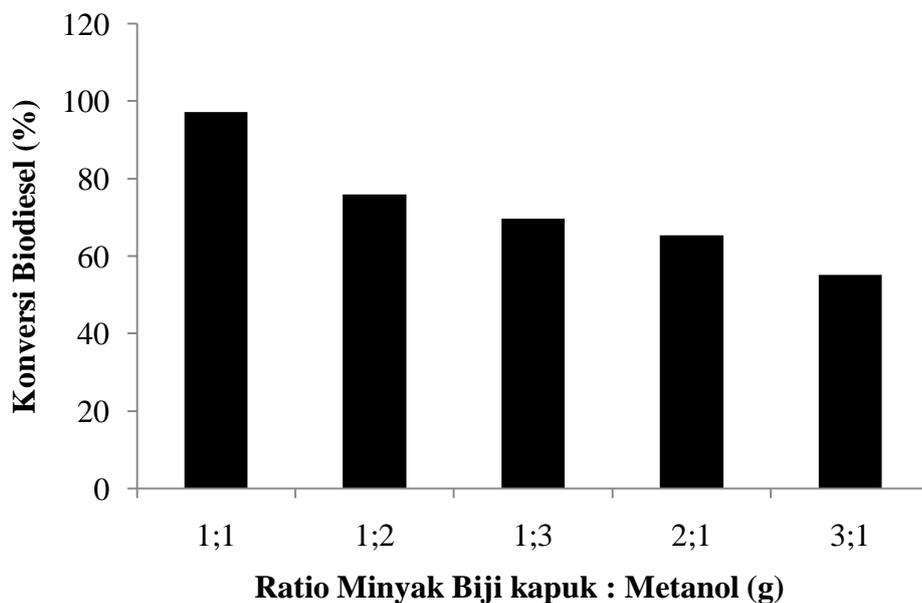
Penentuan bilangan iodium

Berdasarkan data hasil penelitian, rata-rata bilangan iod yang diperoleh adalah 91,4 g iod/ 100 g minyak. Bilangan ini masih di bawah standar bilangan iod biodiesel yaitu 115 g iod/100 g minyak (Kep. Dirjend Migas No. 004/P/DM/1979) artinya minyak biji kapuk mengandung asam lemak tak jenuh dengan jumlah yang aman untuk dijadikan biodiesel.

Sintesis biodiesel melalui transesterifikasi kimiawi

Berdasarkan data yang diperoleh dari perhitungan nilai R_f pada hasil KLT, diketahui bahwa biodiesel dapat disintesis dari minyak biji kapuk dan metanol dengan KOH sebagai katalis. Hal ini ditandai dengan adanya nilai R_f yang sama antara biodiesel hasil sintesis secara kimiawi dengan metil ester standar yaitu sebesar 0,750 pada rasio 1:1, 1:2, 1:3 dan 1:6.

Gambar 1 memperlihatkan persen konversi biodiesel dari hasil transesterifikasi minyak biji kapuk dalam rasio minyak dan metanol yang berbeda dengan katalis KOH 1 % (w/w minyak). Konversi biodiesel yang paling banyak dihasilkan adalah dengan rasio berat minyak biji kapuk dengan metanol sebesar 1:1, rasio ini menghasilkan 93,7 % biodiesel. Pada perbandingan jumlah metanol yang lebih banyak daripada minyak biji kapuk (ratio 1:2 dan 1:3) terjadi penurunan persen konversi. Hal ini dapat terjadi karena penggunaan alkohol yang berlebihan memungkinkan bergabungnya kembali ester dan gliserol untuk membentuk monogliserida. Keberadaan gliserol dalam larutan alkil ester akan mendorong reaksi balik ke kiri, sehingga konversi alkil ester menjadi berkurang (Encinar *et al.*, 2002).



Gambar 1. Grafik biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji kapuk dalam rasio minyak dan metanol yang berbeda dengan katalis KOH 1 % (w/w minyak).

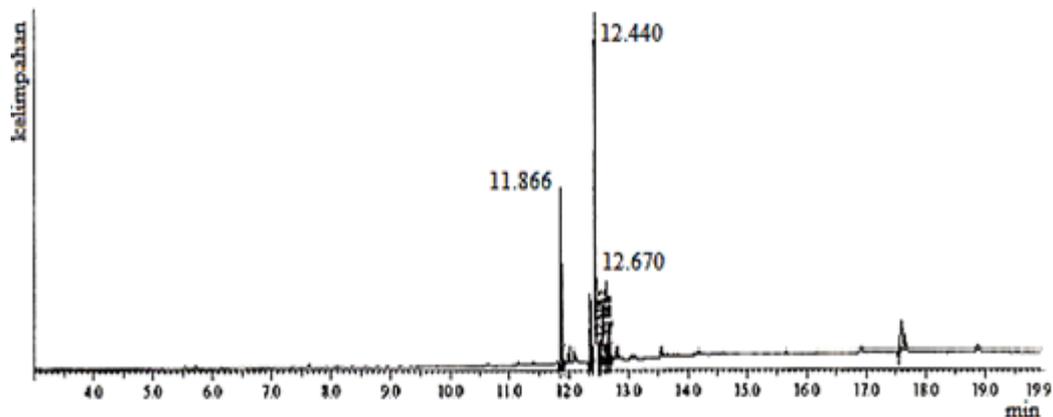
Pada perbandingan jumlah minyak biji kapuk yang lebih banyak dibandingkan jumlah metanol (rasio 2:1 dan 3:1), hasil konversi biodiesel yang diperoleh lebih rendah dari perbandingan lainnya. Hal ini dikarenakan secara stoikiometri, reaksi antara

trigliserida dan metanol mempunyai perbandingan koefisien 1:3, sehingga reaksi ini akan berjalan sempurna jika jumlah metanol lebih banyak daripada trigliserida.

Analisis biodiesel dengan kromatografi gas dan spektroskopi massa

Biodiesel merupakan suatu campuran ester-ester asam lemak rantai panjang dimana jumlah karbon yang terdapat pada rantai panjang ini mulai dari 14 hingga 22 karbon (Demirbas, 2009). Untuk mengidentifikasi metil ester asam lemak yang terbentuk digunakan kromatografi gas spektroskopi massa (GCMS).

Kandungan metil ester dalam biodiesel pada penelitian ini dianalisis dengan gas kromatografi spektroskopi massa (GC-MS) merek Shimadzu, kolom yang digunakan adalah Rastek RXi-5MS (30 m x 0,25 mm), jenis kolom adalah nonpolar HP-5, helium sebagai gas pembawa. Suhu kolom 40 °C, suhu injektor 290 °C dan suhu detektor 300 °C. Gambar 2 menunjukkan kromatogram sampel biodiesel dan tabel data waktu retensi serta luas puncak berdasarkan hasil GC-MS. Sedangkan data waktu retensi dan luas puncak hasil dari analisis GC-MS dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Kromatogram metil ester hasil transesterifikasi minyak biji kapuk dan methanol.

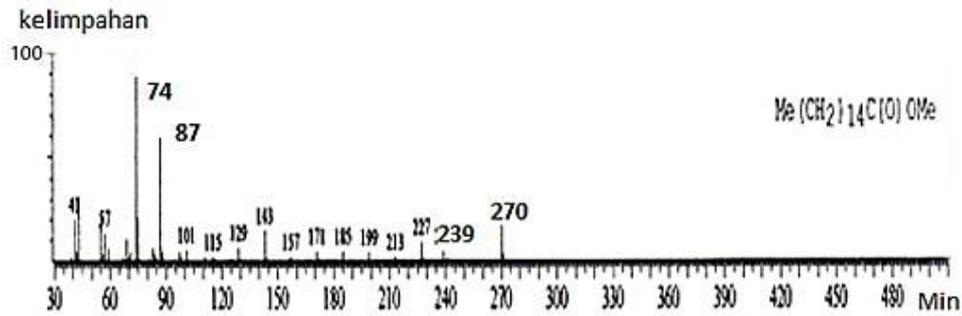
Dari data GCMS diketahui bahwa kandungan metil ester dalam biodiesel dari minyak biji kapuk adalah metil palmitat, metil 8,11-Oktadekadienoat dan metil linoleat dengan persentase komposisi masing-masing 4,21; 16,71 dan 46,45 %. Metil palmitat memiliki rantai karbon yang lebih pendek sehingga puncaknya muncul lebih awal, sedangkan puncak metil linoleat muncul paling terakhir dengan waktu retensi yang paling lama karena memiliki rantai karbon yang lebih panjang dan memiliki dua ikatan rangkap tak jenuh yang mengakibatkan metil linoleat semakin bersifat nonpolar sehingga metil linoleat tertahan dalam kolom paling lama (Padmaningsih *et al.*, 2006).

Tabel 1. Data waktu retensi dan luas puncak berdasarkan hasil GC-MS

Waktu retensi, tR (menit)	Luas puncak (%)	Hasil kelimpahan dari spektroskopi massa (m/z)	Senyawa yang diduga
11, 866	16,71	270; 239; 227; 213; 199; 185; 171; 157; 143; 129; 115; 101; 87; 74; 57; 41	Metil palmitat
12, 440	46,45	294; 263; 164; 150; 135; 124; 109; 95; 81; 67; 55; 41; 27	Metil 8,11-Oktadekadienoat
12, 670	4,21	294; 178; 164; 150; 136; 123; 109; 95; 81; 67; 55; 41	Metil linoleat

Metil palmitat adalah metil ester dengan ikatan karbon tunggal (metil ester jenuh) dengan asam lemaknya mengandung 16 atom karbon. Metil 8,11-oktadekanoat adalah metil ester tak jenuh dengan 18 atom karbon pada asam lemaknya dan dua ikatan rangkap pada atom karbon nomer delapan dan sebelas. Metil linoleat adalah metil ester tak jenuh dengan 18 atom karbon pada asam lemaknya dan dua ikatan rangkap yaitu pada atom karbon nomer sembilan dan dua belas. Dilihat dari persentasenya, biodiesel dari minyak biji kapuk lebih banyak mengandung asam lemak tak jenuh (50,66 %) daripada asam lemak jenuh (16,71 %).

Biodiesel hasil transesterifikasi tidak mengandung metil oleat karena kemungkinan asam oleat dalam minyak mengalami reaksi eliminasi yaitu terbentuknya ikatan rangkap pada atom karbon nomor 12 sehingga mempunyai dua ikatan rangkap pada rantai panjangnya membentuk asam linoleat. Metil 8,11-oktadekanoat merupakan senyawa isomer dari metil linoleat yang mempunyai rumus molekul yang sama yaitu $C_{19}H_{34}O_2$. Isomerisasi terhadap ikatan rangkap umumnya dikatalis oleh basa kuat seperti KOH dalam metanol (Sitorus *et al.*, 2011). Reaksi isomerisasi ini disebut isomer posisi dimana posisi ikatan rangkap pada atom karbon nomor 9 dari metil linoleat berubah posisi dalam molekul yaitu pada posisi atom karbon nomor 8, demikian pula pada atom nomor 12 pada linoleat berubah posisi dalam molekul yaitu pada posisi atom karbon nomor 11 (Puspitasari *and* Nienaber, 1996).

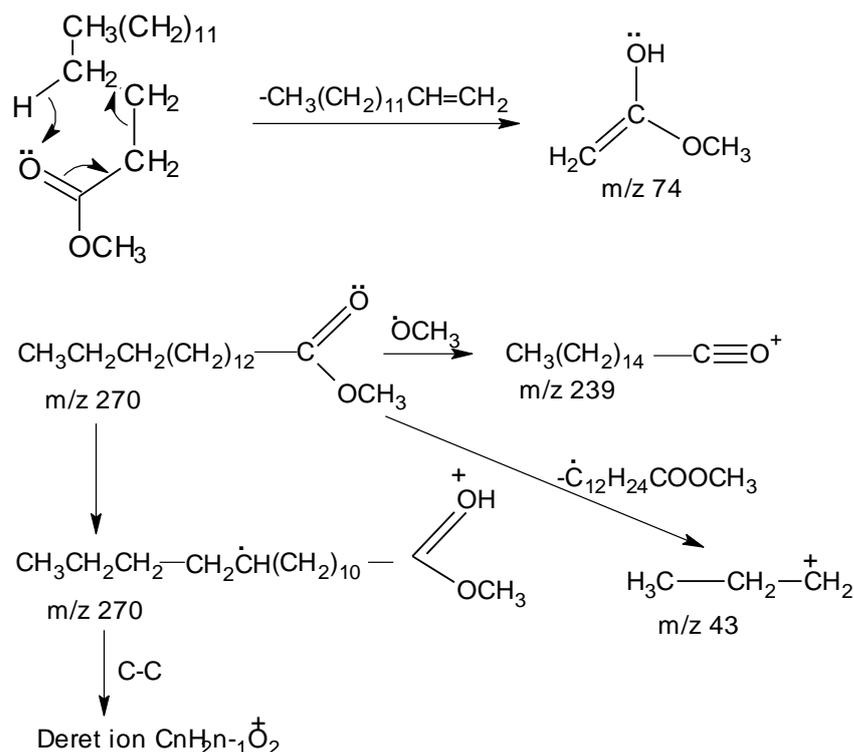


Gambar 3. Spektra massa untuk metil palmitat hasil transesterifikasi kimiawi minyak biji kapuk.

Hasil spektra massa untuk metil palmitat hasil transesterifikasi kimiawi minyak biji kapuk dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa terdapat puncak dari ion molekul pada m/z 270 yang berasal dari $C_{17}H_{34}O_2^+$, sedangkan puncak dasar pada m/z 74 berasal dari $C_3H_6O_2^+$ yang terbentuk karena $-\beta$ melalui penataan ulang McLafferty. Pecahan m/z 239 berasal dari $C_{16}H_{31}O^+$ yang dihasilkan oleh lepasnya gugus metoksi dari puncak ion molekul. Sedangkan pecahan dengan m/z 43 diperoleh dari lepasnya radikal $C_{12}H_{24}COOCH_3$. Puncak-puncak pada m/z 87, 101, 115, 129, 143, 171, 185, 199, 227, dan 239 merupakan pola fragmentasi karena adanya pemecahan pada tiap ikatan C-C dan dikenal sebagai pola fragmentasi deret ion $C_nH_{2n-1}O_2^+$. Pola fragmentasi ini merupakan pola fragmentasi karakteristik untuk senyawa-senyawa golongan ester rantai panjang (Silverstein *et al.*, 2005) Adapun pola fragmentasi yang diusulkan dari senyawa metil palmitat adalah seperti tercantum dalam Gambar 4.

Pengujian sifat kimia biodiesel

Pengujian sifat kimia biodiesel dari minyak biji kapuk meliputi bilangan penyabunan, bilangan asam dan bilangan iodium. Sifat kimia biodiesel dari hasil penelitian disajikan dalam Tabel 2. Hasil dari pengujian sifat kimia biodiesel menunjukkan bahwa biodiesel dari minyak biji kapuk memiliki bilangan penyabunan 120,167 mg KOH/g. Di dalam Standar National Biodiesel Indonesia terdapat batas minimal bilangan penyabunan yaitu 96,5 mg KOH/g. Berarti bilangan penyabunan dari biodiesel yang disintesis dari minyak biji kapuk memenuhi persyaratan SNI.



Gambar 4. Mekanisme reaksi fragmentasi metil palmitat yang diusulkan.

Tabel 2. Data sifat kimia biodiesel dibandingkan dengan standar ASTM D6751 dan SNI 04-7182-2006

Parameter	Satuan	Nilai metil ester biji kapuk	Standar	
			ASTM	SNI
Bilangan penyabunan	mg KOH/ g	120,167	-	Min 96,5
Bilangan asam	mg KOH/g	0,28	0,8 max	Maks. 0,8
Bilangan iod	g iod/100 g minyak	55,84	120 max	Maks. 115

Bilangan asam biodiesel dari minyak biji kapuk dari hasil pengujian yaitu 0,28 mg KOH/g, bilangan asam ini telah memenuhi standar tentatif biodiesel di Indonesia yaitu maksimal 0,8 mg KOH/g (SNI, 2006). Bilangan asam yang tinggi ($> 0,8$ mg KOH/g) menunjukkan banyaknya asam lemak bebas yang terkandung dalam biodiesel. Hal ini menyebabkan rendahnya kualitas biodiesel karena kandungan asam lemak bebas dapat menyumbat filter atau saringan dengan endapan dan menjadi korosif pada logam. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan pemurnian dengan kromatografi kolom.

Bilangan iodium biodiesel dari minyak biji kapuk sebesar 55,84 g iod/100g minyak, bilangan iodium ini juga memenuhi standar biodiesel Indonesia yaitu maksimal 115 g iod/100g minyak. Bilangan iodium menunjukkan banyaknya ikatan rangkap dalam biodiesel, semakin banyak ikatan rangkap maka viskositasnya semakin menurun.

Perbedaan viskositas antara minyak mentah dengan biodiesel juga bisa digunakan sebagai salah satu indikator dalam proses produksi biodiesel (Knothe, 2005).

KESIMPULAN

Minyak biji kapuk (*Ceiba pentandra*) dapat dijadikan biodiesel dengan proses transesterifikasi kimiawi. Sifat kimia dari biodiesel yang dihasilkan dari minyak biji kapuk telah memenuhi standar ASTM D6751 dan SNI 04-7182-2006.

DAFTAR PUSTAKA

- Brien, R., D., Jones, L., A., King, C., C., Wakelyn, P., J., and Wan, P., J., 2005, *Edible Oil and Fat Products*, AOCS Press, Champaign, Illinois, pp. 173-279.
- Demirbas, A., 2009, Progress and recent trends in biodiesel fuels, *Energy Conversion and Management*, vol. 50, pp. 14-34.
- Destianna, M., Agustinus Z., Nazef, and Soraya, P., 2007, Intensifikasi Proses Produksi Biodiesel, *Laporan karya ilmiah mahasiswa ITB bidang energi penghargaan PT. Rekayasa Industri*, Institut Teknologi Bandung
- Encinar, J. M., Gonzalez J. F., Rodriguez, J.J., and Tejedor A., 2002, Biodiesel Fuels from Vegetable Oils: Transesterification of *Cynara Cardunculus* L. Oils with Ethanol, *Energy Fuels*, vol. 16, pp. 443-450.
- Gunawan, E. R., Basri, M., Rahman, M. B., Salleh, A. B., Rahman, and Raja N. Z., 2004, Lipase Catalyzed Synthesis of Palm-Based Wax Ester, *Journal of Oleo Science*, vol. 53, pp. 471-477.
- Gunawan, E.R., and Basri, M., 2005, Study on Response Surface Methodology (RSM) of Lipase-Catalyzed synthesis of palm-based wax ester, *Enzyme and Microbial Technology Journal*, vol. 37, pp. 739-744.
- Hala, Y., Astri, Zulkifli, M. J., and Astina, T., 2009, Proses Transesterifikasi Biji Minyak Jarak dengan Bantuan Enzim Lipase sebagai Penghasil Biodiesel, *Jurnal Akta Kimia Indonesia*, Universitas Hassanudin, Makassar.
- Kep. Dirjend Migas No. 004/P/DM Spesifikasi Bahan Bakar Minyak*, 1979, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta.
- Korbitz and Rice, W. B., 1997, Biodiesel Production Based on Waste Cooking Oil: *Promotion of the Establishment of an Industry in Ireland*, Oak Park Research Center.
- Knothe, G., 2005, Dependence of Biodiesel Fuel Properties on The Structure Of Fatty Acid Alkyl Esters, *Fuel Processing Technology*, vol. 86, pp. 1059 – 1070.
- Padmaningsih, A.T., Trisunaryanti, W., and Tahir, I., 2006, Study on the Concentration Effect Of Nb₂O₅-ZAA Catalyst Toward Total Conversion Of Biodiesel In Transesterification Of Wasted Cooking Oil, *Indonesian Journal of Chemistry*, vol. 6, no. 3, pp. 268-274.

- Puspitasari, Ni Luh and Nienaber, 1996, Asam Lemak Trans Dalam Makanan; Mekanisme Pembentukan dan Metabolisme dalam Tubuh, *Buletin Teknologidan Industri Pangan*, vol. VII, no. 2.
- Shimada, Y., Watanabe, Y., and Samukawa, T., 1999, Conversion of Vegetable Oil to Biodiesel Using Immobilized *Candida Antarctica* Lipase, *Journal of the American Oil Chemist's Society*, vol. 76, pp. 789-793.
- Silverstein, R.M, Francis, X. W., and David, K., 2005, Spectrometric Identification of Organic Compounds, 7th Edition, John Willey.
- Sitorus, M., Ibrahim, S., Nurdin, H. and Darwis, D., 2011, Isomerisasi Linoleat dalam Minyak Jarak Hasil Dehidrasi Menjadi Linoleat Terkonjugasi dan pemisahannya dengan Kromatografi Kolom Fasa Diam Silika Gel yang Diimpregnasi Perak Nitrat, *Jurnal Matematika dan Sains*, vol. 16, no. 1.
- Sudarmadji, S., Haryono, B and Suhardi, 2003, Analisa Bahan Makanan dan Pertanian, Edisi Kedua, Cetakan Kedua, Liberty, Yogyakarta, pp. 93-104.
- Suhendra, D., and Gunawan, E.R., 2008, Synthesis of wax esters from Palm kernel oil catalyzed by Lipase, *Jurnal Matematika dan Sains*, vol.13, no. 3.
- Syah, A.N.A., 2006, Biodiesel Jarak Pagar: Bahan Bakar Alternatif yang Ramah Lingkungan, *Agromedia Pustaka*, Jakarta.