

SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK BIJI KARET (*Hevea brasiliensis*) PADA VARIASI SUHU TRANSESTERIFIKASI DAN RASIO (METANOL/MINYAK) PADA WAKTU 60 MENIT

SYNTHESIS OF BIODIESEL FROM RUBBER SEED OIL (*Hevea brasiliensis*) IN VARIOUS TEMPERATURE OF TRANSESTERIFICATION AND RATIO OF (METHANOL/OIL) AT 60 MINUTES

Nikma Ulya & Endang Dwi Siswani

Jurusan Pendidikan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta
e-mail : ulyanikma42@gmail.com & endang_ds@uny.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: 1) massa jenis, viskositas dan gugus fungsi IR dari minyak biji karet, 2) massa jenis, viskositas, titik tuang, titik nyala, kalor pembakaran dan gugus fungsi IR dari biodiesel, 3) kesesuaian karakter biodiesel dengan SNI 7182: 2012. Subjek dari penelitian ini adalah biji karet yang berasal dari PTPN IX Semarang. Objek dalam penelitian ini adalah biodiesel dari minyak biji karet yang dihasilkan melalui proses transesterifikasi. Metode yang digunakan untuk pengambilan minyak adalah metode pres hidrolik. Jenis alkohol yang digunakan dalam proses transesterifikasi adalah metanol 99 %. Katalis yang digunakan adalah KOH 1 % dengan lama pengadukan 60 menit. Variasi suhu yang digunakan adalah 45, 65, dan 85°C untuk biodiesel B₁, B₂, dan B₃ dengan rasio mol metanol: minyak adalah 8: 1, dan dengan rasio mol metanol: minyak adalah 6: 1 untuk biodiesel B₄, B₅, dan B₆. Biodiesel yang diperoleh dianalisis dengan FTIR dan diuji parameternya meliputi massa jenis, viskositas, titik nyala, titik tuang, dan kalor pembakaran. Gugus fungsi dari minyak biji karet adalah C=O ester, C-O ester, C-H alkana, C-H alifatik dan -CH₃. Massa jenis dan viskositas minyak biji karet pada suhu 40°C adalah sebesar 907,9 kg/m³ dan 33,5740 cSt. Gugus fungsional dari biodiesel adalah C=O ester, C-O ester, C-H alkana, C-H alifatik dan -CH₃. Karakter biodiesel B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, dan B₆ meliputi: massa jenis berturut-turut sebesar 902,8; 901,7; 887,6; 899,9; 897,1 dan 884,5 kg/m³, viskositas berturut-turut sebesar 21,6032; 22,8623; 18,1665; 22,5723; 20,4164 dan 16,1066 cSt, titik tuang berturut-turut sebesar 0, 3, 6, -3, -3 dan 0°C, titik nyala berturut-turut sebesar 174, 196, 198, 140, 106 dan 104°C, serta kalor pembakaran berturut-turut sebesar 9421,3905; 9724,1315; 9501,3610; 9674,6475; 9369,0820 dan 9575,4920 kal/g. Titik tuang dan titik nyala dari biodiesel B₁, B₂, B₄, dan B₅ sudah sesuai dengan SNI 7182:2012, namun untuk massa jenis, viskositas, dan kalor pembakaran belum memenuhi standar. Massa jenis, titik tuang, dan titik nyala dari biodiesel B₃ dan B₆ telah sesuai dengan SNI 7182:2012, tetapi viskositas dan kalor pembakaran belum memenuhi standar.

Kata Kunci: Minyak Biji Karet, Kondisi Transesterifikasi, Karakter Biodiesel.

ABSTRACT

The aim of this research are to know 1) the density value, viscosity value, and functional group of rubber seed oil, 2) the density, viscosity, pour point, flash point, heat of combustion, and functional group of biodiesel, 3) the suitability of biodiesel characteristic with SNI 7182: 2012. The subject of this research was rubber seed from PTPN IX Semarang. The object of this research was biodiesel from rubber seed oil resulted from transesterification process. The method was used to get the rubber seed oil was hydraulic press method. The alcohol used in the transesterification process was methanol 99 %. The catalys used in the transesterification was KOH 1 % with duration of stirring was 60 minutes. The temperature variation were 45, 65, and 85°C for biodiesel B₁, B₂, and B₃ with mole ratio of methanol: oil was 8: 1. Biodiesel B₄, B₅, and B₆ with mole ratio of methanol: oil was 6: 1. The synthesized biodiesel were analyzed with FTIR and tested the biodiesel parameters include density,

viscosity, pour point, flash point, and heat of combustion. The functional groups of rubber seed oil were C=O

ester, C-O ester, C-H alkane, C-H aliphatic and -CH₃. The density and viscosity value of rubber seed oil at 40°C were 907.9 kg/m³ and 33.5740 cSt. The functional groups of biodiesel were C=O ester, C-O ester, C-H alkane, C-H aliphatic and -CH₃. The character of biodiesel for B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, and B₆ such as specific gravity were 902.8; 901.7; 887.6; 899.9; 897.1 and 884.5 kg/m³ respectively. The viscosity were 21.6032; 22,8623; 18.1665; 22.5723; 20.4164 and 16.1066 cSt respectively. The pour point were 0, 3, 6, -3, -3 and 0°C respectively. The flash point were 174, 196, 198, 140, 106 and 104°C respectively and the heat of combustion were 9421.3905; 9724.1315; 9501.3610; 9674.6475; 9369.0820 and 9575.4920 cal/g, respectively. Pour point and flash point of biodiesel B₁, B₂, B₄, and B₅ were suitable with SNI 7182: 2012 but density, viscosity, and heat of combustion were not suitable. The density, pour point, and flash point of biodiesel B₃ and B₆ were suitable with SNI 7182: 2012 but viscosity and heat of combustion were not suitable.

Keywords: Rubber Seed Oil, Transesterification Condition, Character of Biodiesel.

PENDAHULUAN

Kebutuhan minyak bumi terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan industri di Indonesia. Padahal minyak bumi merupakan hasil dari proses evolusi alam yang berlangsung selama ribuan bahkan jutaan tahun, sehingga tergolong dalam sumber energi yang tidak dapat diperbarui. Apabila minyak bumi dikonsumsi secara terus-menerus dengan jumlah yang banyak, maka cadangan minyak bumi di alam akan habis. Hal tersebut dapat diatasi dengan keberadaan bahan bakar alternatif (BBA). Salah satu BBA yang aman terhadap lingkungan adalah BBA yang berasal dari tumbuhan/hewan, yang biasa disebut dengan istilah biodiesel^[1].

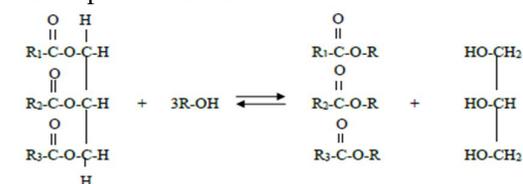
Minyak nabati merupakan bahan yang umum digunakan untuk memproduksi biodiesel. Salah satu sumber minyak nabati yang ada di Indonesia adalah biji karet.

Perkebunan karet terdapat hampir di seluruh wilayah Indonesia. Wilayah Sumatera dan Kalimantan mempunyai luas lahan dan produksi karet tertinggi di Indonesia, termasuk Provinsi Bengkulu. Namun pemanfaatan hasil dari tanaman karet belum dilakukan secara maksimal. Pengolahan hasil tanaman karet hanya dititik beratkan pada lateks dan batangnya. Biji karet hampir tidak mempunyai nilai ekonomis, karena hanya digunakan sebagai benih pohon karet. Biji karet mengandung asam sianida (HCN) yang menjadi salah satu kendala apabila biji karet akan dimanfaatkan menjadi bahan pangan^[2].

Biji karet terdiri dari 40-50 % kulit yang keras berwarna coklat dan 50-60 %

kernel yang berwarna putih kekuningan^[3]. Padahal biji karet memiliki kandungan minyak yang tinggi yaitu 40-50 % dan merupakan jenis minyak non pangan, sehingga sangat sesuai digunakan sebagai bahan baku produksi biodiesel^[4].

Pembuatan biodiesel dari minyak biji karet dapat dilakukan dengan reaksi transesterifikasi. Reaksi interesterifikasi (penukaran ester atau transesterifikasi) merupakan reaksi pertukaran gugus asil antar trigliserida. Trigliserida mengandung tiga gugus ester, maka peluang untuk terjadi pertukaran tersebut cukup banyak. Gugus asil dapat bertukar posisinya dalam satu molekul trigliserida maupun di antara molekul trigliserida^[5]. Reaksi transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Trigliserida Alkohol Alkil Ester Gliserol
Gambar 1. Reaksi Transesterifikasi (Budiman, *et al.*, 2014: 37)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: 1) massa jenis, viskositas dan gugus fungsi IR dari minyak biji karet, 2) massa jenis, viskositas, titik tuang, titik nyala, kalor pembakaran dan gugus fungsi IR dari biodiesel, 3) kesesuaian karakter biodiesel dengan SNI 7182: 2012.

METODE PENELITIAN

Subjek penelitian ini adalah biji karet (*Hevea brasiliensis*) yang didapatkan dari PTPN IX Semarang dan objeknya adalah biodiesel dari minyak biji karet (*Hevea brasiliensis*) hasil reaksi transesterifikasi. Bahan-bahan yang digunakan adalah biji karet, KOH 1 %, metanol 99 %, akuades, larutan H₂SO₄ 18 M, indikatorpp, arang aktif, H₃PO₄ 20 %, kristal asam oksalat, NaOH 0,1 N, etanol 96 %. Alat yang digunakan antara lain seperangkat alat pengepresan, alat refluks, *bomb calorimeter*, neraca analitik, piknometer, oswald dan alat-alat gelas pendukung.

Biji karet dikeringkan dengan oven untuk mengurangi kadar air yang terdapat di dalamnya. Pengambilan minyak biji karet dilakukan dengan menggunakan metode pres hidrolis. Selanjutnya dilakukan proses penjernihan minyak menggunakan arang aktif dengan perbandingan arang aktif dengan minyak adalah 1: 100. Hal ini dilakukan untuk menghilangkan kotoran yang bercampur dengan minyak. Minyak biji karet yang sudah bersih perlu dilakukan proses *degumming* untuk memisahkan getah dengan minyak biji karet. Proses *degumming* dilakukan dengan menggunakan asam pospat 20% sebanyak 0,3%-berat minyak. Selanjutnya dilakukan penyaringan dan pengujian kadar asam lemak bebas (FFA) serta diuji karakternya meliputi: spektroskopi FTIR, massa jenis dan viskositas.

Pembuatan biodiesel dari minyak biji karet dilakukan dengan cara transesterifikasi pada labu leher tiga dilengkapi kondensor dan pengaduk yang ditempatkan pada *waterbath* dan dilengkapi *magnetic stirrer*. Reaksi transesterifikasi dilakukan selama 60 menit, serta dilakukan dengan menggunakan variasi rasio mol metanol: minyak adalah 8:1 dan 6: 1. Variasi suhu yang digunakan dalam reaksi transesterifikasi adalah 45, 65, dan 85°C.

Untuk membedakan minyak biji karet dengan biodiesel yang dihasilkan, dilakukan analisis spektroskopi FTIR. Biodiesel yang dihasilkan diuji karakternya menggunakan parameter yang berupa: massa jenis, viskositas, titik tuang, titik nyala dan kalor pembakaran. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan standar SNI 7182: 2012.

Tabel 1. Kode Biodiesel Hasil Reaksi Transesterifikasi

Suhu (°C)	Rasio (Metanol/Minyak)	Kode
45	8/1	B ₁
65		B ₂

85	6/1	B ₃
45		B ₄
65		B ₅
85		B ₆

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakter Minyak Biji Karet

Biji karet yang sudah melewati proses *degumming* kemudian ditentukan karakternya, yang meliputi massa jenis, viskositas, kadar FFA, serta gugus fungsi yang terdapat dalam minyak biji karet. Pengujian massa jenis dan viskositas biji karet dilakukan pada suhu 40°C. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa minyak biji karet mempunyai massa jenis dan viskositas secara berturut-turut adalah sebesar 907,9 kg/m³ dan 33,5740 cSt. Gugus fungsi yang terdapat dalam minyak biji karet adalah C=O ester, C-O ester, C-H alkana, C-H alifatik dan -CH₃.

Hasil dari pengujian kadar FFA menunjukkan bahwa kandungan FFA di dalam minyak biji karet adalah sebesar 7,8474 %. Hal ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan proses esterifikasi terlebih dahulu sebelum dilakukan proses transesterifikasi terhadap minyak biji karet. Kadar FFA yang tinggi (>5%) di dalam minyak akan menyebabkan penggunaan katalis dan bahan kimia lainnya menjadi lebih banyak. Sebab FFA akan bereaksi dengan katalis basa yang digunakan dalam proses transesterifikasi membentuk sabun^[6]. Apabila sabun yang dihasilkan cukup banyak dapat menghambat pemisahan gliserol dari metil ester dan berakibat terbentuknya emulsi selama proses pencucian^[7]. Setelah reaksi esterifikasi, kadar FFA yang terdapat dalam minyak biji karet adalah 1,8279 %.

2. Karakter Biodiesel

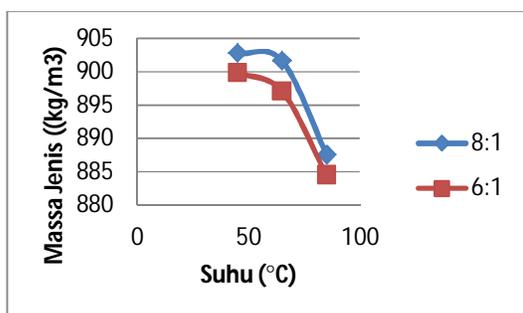
Penentuan kualitas dari biodiesel yang dihasilkan dilakukan dengan cara melakukan pengujian berbagai parameter yang sesuai dengan SNI 7182: 2012. Hasil yang diperoleh dari pengujian tersebut dibandingkan dengan data parameter biodiesel yang terdapat dalam SNI 7182: 2012. Uji parameter biodiesel yang dilakukan pada penelitian ini antara lain: massa jenis, viskositas, titik tuang (*pour point*), titik nyala (*flash point*), kalor pembakaran, gugus fungsi yang terdapat dalam biodiesel hasil reaksi transesterifikasi.

a. Massa Jenis

Massa jenis berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar pada setiap satuan volume. Pengujian

massa jenis biodiesel menggunakan piknometer. Perhitungan massa jenis dilakukan dengan membandingkan massa zat dengan volume zat tersebut pada suhu tertentu^[8].

Hasil pengujian massa jenis biodiesel B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, dan B₆ secara berturut-turut adalah 902,8; 901,7; 887,6; 899,9; 897,1 dan 884,5 kg/m³ yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Massa Jenis dengan Suhu dan Rasio (Metanol: Minyak)

Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu transesterifikasi akan menghasilkan massa jenis biodiesel yang semakin kecil dan semakin besar rasio (metanol: minyak) akan menghasilkan biodiesel dengan massa jenis yang semakin besar.

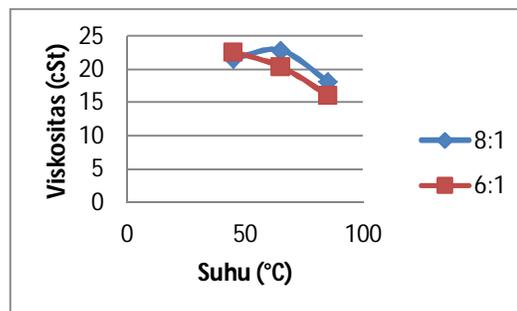
Massa jenis biodiesel pada suhu 40°C menurut SNI 7182: 2012 adalah 850-890 kg/m³. Hasil pengujian biodiesel B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, dan B₆ menunjukkan bahwa biodiesel B₃ dan B₆ sudah memenuhi spesifikasi SNI 7182: 2012, sedangkan biodiesel B₁, B₂, B₄, dan B₅ belum memenuhi spesifikasi SNI 7182: 2012. Hal ini dapat diatasi dengan pencampuran biodiesel dengan solar untuk memperoleh massa jenis yang sesuai dengan SNI 7182: 2012. Campuran biodiesel dengan solar dilakukan pada tingkat konsentrasi tertentu (BXX), seperti 10% biodiesel dicampur dengan 90% solar yang disebut dengan nama B10^[9].

b. Viskositas

Viskositas merupakan ukuran hambatan cairan untuk mengalir yang disebabkan oleh adanya gaya gesek internal antar partikel. Viskositas berpengaruh pada injeksi bahan bakar^[10]. Pengujian viskositas dalam penelitian ini menggunakan alat *Ostwald*.

Hasil dari pengujian viskositas biodiesel B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, dan B₆ secara berturut-turut adalah sebesar 21,6032; 22,8623;

18,1665; 22,5723; 20,4164 dan 16,1066 cSt, yang dapat dilihat pada Gambar 3.



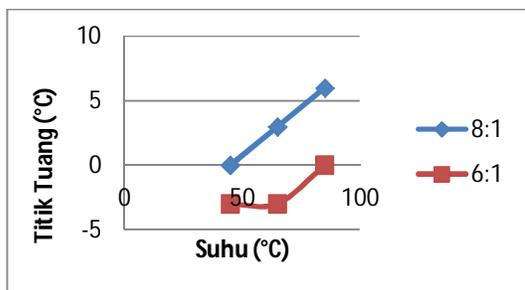
Gambar 3. Hubungan Viskositas dengan Suhu dan Rasio (Metanol: Minyak)

Menurut standar SNI 7182: 2012 tentang biodiesel, menyebutkan bahwa viskositas untuk biodiesel pada 40°C antara 2,3-6 cSt. Hasil pengujian yang dilakukan pada biodiesel B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, dan B₆ menunjukkan bahwa keenam biodiesel tersebut mempunyai nilai viskositas yang melebihi nilai viskositas dalam SNI 7182: 2012. Hal ini dapat disebabkan oleh waktu reaksi esterifikasi yang kurang lama, karena waktu reaksi esterifikasi berpengaruh terhadap viskositas biodiesel yang dihasilkan. Semakin lama waktu reaksi esterifikasi akan menghasilkan viskositas yang semakin kecil^[11]. Viskositas biodiesel yang tinggi juga dapat disebabkan oleh masih panjangnya rantai karbon metil ester di dalam biodiesel^[12]. Viskositas yang tinggi dapat mempengaruhi kerja alat injeksi bahan bakar dan mempersulit pengabutan bahan bakar^[13].

c. Titik Tuang (*Pour Point*)

Titik tuang merupakan suhu terendah yang menyatakan bahan bakar masih dapat dituang. Hal ini diperlukan terutama di daerah yang beriklim dingin, karena berkaitan dengan kemampuan mengalir BBM atau minyak pelumas^[14].

Hasil pengujian titik tuang dari biodiesel B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, dan B₆ secara berturut-turut adalah 0, 3, 6, -3, -3 dan 0°C yang dapat dilihat pada Gambar 4.



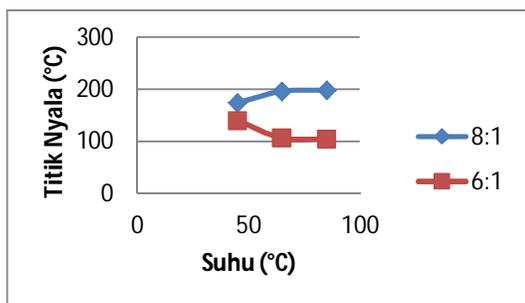
Gambar 4. Hubungan Titik Tuang dengan Suhu dan Rasio (Metanol: Minyak)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar rasio antara metanol dengan minyak menghasilkan biodiesel dengan titik tuang yang lebih tinggi. Nilai titik tuang biodiesel B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, dan B₆ sudah memenuhi standar biodiesel yaitu pada kisaran -15-13°C (Crimson Renewable Energy).

d. Titik Nyala (Flash Point)

Titik nyala merupakan suhu terendah ketika uap suatu zat bercampur dengan udara dan mengakibatkan nyala sebentar kemudian mati. Titik nyala digunakan sebagai mekanisme untuk membatasi jumlah alkohol sisa dalam bahan bakar^[15].

Hasil pengujian titik nyala untuk biodiesel B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, dan B₆ berturut-turut adalah 174, 196, 198, 140, 106 dan 104°C yang dapat dilihat pada Gambar 5.



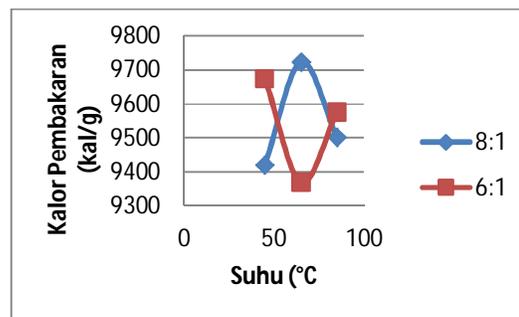
Gambar 5. Hubungan Titik Nyala dengan Suhu dan Rasio (Metanol : Minyak)

Hasil pengujian titik nyala menunjukkan bahwa titik nyala dari biodiesel B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, dan B₆ sudah sesuai dengan SNI 7182: 2012 yaitu minimal 100°C. Hal ini menunjukkan bahwa biodiesel tersebut tidak mudah terbakar pada suhu yang rendah.

e. Kalor Pembakaran

Pengukuran kalor pembakaran bertujuan untuk mengetahui energi kalor yang dapat dibebaskan oleh suatu bahan bakar dengan terjadinya proses pembakaran^[16]. Hasil pengujian kalor pembakaran menggunakan alat

bom kalorimeter dari biodiesel B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, dan B₆ secara berturut-turut adalah 9421,3905; 9724,1315; 9501,3610; 9674,6475; 9369,0820 dan 9575,4920 kal/g yang dapat dilihat pada Gambar 6.

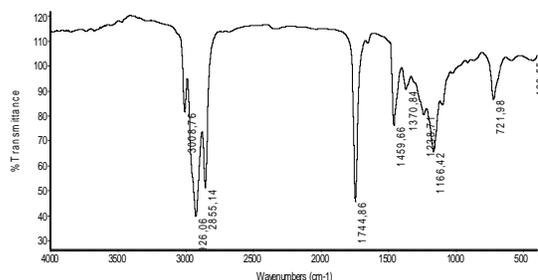


Gambar 6. Hubungan Kalor Pembakaran dengan Suhu dan Rasio (Metanol: Minyak)

Nilai kalori bahan bakar minyak berkisar antara 10.160-11.000 Kkal/kg, sehingga dari keenam biodiesel tersebut masih belum memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai bahan bakar. Nilai kalor yang rendah dapat disebabkan oleh adanya air dalam bahan bakar cair, yang merupakan air eksternal dan berperan sebagai pengganggu^[17].

f. Analisis Spektroskopi FTIR Biodiesel

Analisis spektroskopi FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi suatu molekul senyawa organik tertentu. Dari hasil pengujian, diperoleh bahwa spektrum antara minyak biji karet dengan biodiesel tidak jauh berbeda. Hanya pada beberapa titik spektrum yang menunjukkan perbedaan mencolok. Perbedaan ini membuktikan bahwa reaksi transesterifikasi telah berlangsung, ditunjukkan dengan adanya senyawa metil ester yang merupakan senyawa dari biodiesel hasil produk transesterifikasi dari trigliserida dan metanol. Gugus fungsi yang terdapat pada biodiesel yaitu C=O ester, C-O ester, C-H alkana, C-H alifatik dan -CH₃. Spektrum IR biodiesel B₃ dengan rasio metanol: minyak = 8: 1 dan suhu transesterifikasi 85°C dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7. Spektrum IR Biodiesel B₃

SIMPULAN

1. Massa jenis dan viskositas minyak biji karet pada suhu 40°C adalah sebesar 907,9 kg/m³ dan 33,5740 cSt. Gugus fungsi yang terdapat dalam minyak biji karet yaitu merupakan C=O ester, C-O ester, C-H alkana, C-H alifatik dan -CH₃.
2. Karakter biodiesel B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, dan B₆ yang meliputi: massa jenis berturut-turut sebesar 902,8; 901,7; 887,6; 899,9; 897,1 dan 884,5 kg/m³, viskositas berturut-turut sebesar 21,6032; 22,8623; 18,1665; 22,5723; 20,4164 dan 16,1066 cSt, titik tuang berturut-turut sebesar 0, 3, 6, -3, -3 dan 0°C, titik nyala berturut-turut sebesar 174, 196, 198, 140, 106 dan 104°C, serta kalor pembakaran berturut-turut sebesar 9421,3905; 9724,1315; 9501,361; 9674,6475; 9369,082 dan 9575,492 kal/g. Gugus fungsi yang terdapat pada biodiesel yaitu C=O ester, C-O ester, C-H alkana, C-H alifatik dan -CH₃.
3. Biodiesel B₁, B₂, B₄, dan B₅ memiliki nilai titik tuang dan titik nyala yang sudah sesuai dengan SNI 7182: 2012, namun nilai massa jenis, viskositas, dan kalor pembakarannya belum memenuhi standar SNI 7182: 2012. Biodiesel B₃ dan B₆ memiliki nilai massa jenis, titik tuang, dan titik nyala yang sesuai dengan SNI 7182: 2012, tetapi nilai viskositas dan kalor pembakarannya belum memenuhi standar SNI 7182: 2012.

DAFTAR PUSTAKA

- [1], [11]. Arita, S., Ariani, R. D., & Fatimah, S. (2009). Pengaruh Waktu Esterifikasi terhadap

Proses Pembentukan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Biji Karet (*Rubber Seed Oil*). *Jurnal Teknik Kimia*, Vol. 16, No. 1.

- [2]. Rivai, R. R., Damayanti, F., & Handayani, M. (2015). Pengembangan potensi biji karet (*Hevea brasiliensis*) sebagai bahan pangan alternatif di Bengkulu Utara. *Prosiding Seminar Nasional*. Bengkulu: Universitas Bengkulu.
- [3]. Ikwagwu, O.E., Ononogobu, I.C., & Njoku, O.U. (2000). Production of Biodiesel Using Rubber [*Hevea brasiliensis* (Kunth. Muell.) Seed Oil]. *Industrial Crops and Products* 12 : 57-62.
- [4]. Yusuf, M. (2010). Sintesis dan Karakterisasi Biodiesel dari Minyak Biji Karet (*Hevea brasiliensis*) melalui Proses Estrans (Esterifikasi- Transesterifikasi). *Skripsi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [5]. Ketaren, S. (2008). *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Jakarta: UI Press.
- [6]. Tim Penulis BRDST. (2008). *Membangun Pabrik Biodiesel Skala Kecil*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- [7]. Hikmah, M. N. dan Zuliyana. (2010). Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Dedak dan Metanol dengan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi. *Skripsi*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [8]. Tohari. (2015). Sintesis Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk Randu (*Ceiba pentandra l.*) dengan Variasi Waktu Lama Pengadukan pada Reaksi Transesterifikasi. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

- [9]. Hambali, E., Mujdalipah, S., Halomoan, A., *et al.* (2007). *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: AgroMedia Pustaka.
- [10], [15]. Budiman, A., Kusumaningtyas, R. D., Pradana, Y. S., *et al.* (2014). *Biodiesel Bahan Baku, Proses, dan Teknologi*. Yogyakarta: UGM Press.
- [12]. Kusumaningtyas, R. D. dan Bachtiar, A. (2012). Sintesis Biodiesel dari Minyak Biji Karet dengan Variasi Suhu dan Konsentrasi KOH untuk Tahapan Transesterifikasi. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan, Vol. 1, No. 2*, 9 – 18.
- [13]. Hardjono, A. (2001). *Teknologi Minyak Bumi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [14]. Marsudi, D. (2005). *Pembangkit Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [16]. Sinarep dan Mirmanto. (2011). Karakteristik Biodiesel Minyak Kelapa yang Dihasilkan dengan Cara Proses Pirolisis Kondensasi. *Jurnal Teknik Rekayasa* 12. (1), 8-18.
- [17]. Komariah, L. N., Juliani, W. D., & Dimiyati, M. F. (2013). Efek Pemanasan Campuran Biodiesel dan Minyak Solar Terhadap Konsumsi Bahan Bakar pada Boiler. *Jurnal Teknik Kimia*. No. 4, Vol. 19.

