

Studi Batas-batas Validitas Uji Halphen untuk Perbaikan SNI Biodiesel

Panji Widya Nugraha¹, Tedi Hudaya¹, dan Tatang Hernas Soerawidjaja^{2,*}

¹ Laboratorium Rekayasa Reaksi Kimia dan Pemisahan, Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan

^{2*} Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung
email : tatanghs@che.itb.ac.id, hstatang@yahoo.com

Abstrak

Salah satu parameter syarat mutu biodiesel di Indonesia adalah bereaksi negatif terhadap uji Halphen, yang bertujuan mencegah minyak nabati atau ester metil asam-asam lemak bergugus siklopropenoid cukup banyak dijadikan biodiesel. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kandungan gugus siklopropenoid dalam beberapa jenis minyak nabati, mengidentifikasi batas-batas kekeruhan warna dari uji Halphen dan uji Besson, serta menetapkan batas pengujian untuk memperbaiki SNI biodiesel, khususnya yang berkaitan dengan kandungan gugus siklopropenoid. Sampel minyak yang diuji yaitu minyak jarak pagar (*Jatropha curcas*), minyak biji kapas (*Gossypium herbaceum*), minyak biji kepok (*Sterculia foetida*), minyak biji kapok (*Ceiba pentandra*), dan minyak biji rosella (*Hibiscus sabdariffa*). Analisis kuantitatif kadar gugus siklopropenoid di dalam kelima jenis minyak dilakukan dengan metode titrasi menggunakan reagen Durbetaki. Hasil penelitian dengan metode titrasi reagen Durbetaki menunjukkan kandungan gugus siklopropenoid minyak biji kepok 55,8 %, minyak biji kapok 9,1 %, minyak biji rosella 3,9 %, minyak biji kapas 1,7%, dan minyak jarak pagar 0%. Hasil Uji Besson hanya menunjukkan hasil positif pada minyak biji kepok dan minyak biji kapok, sedangkan minyak biji rosella dan biji kapas tidak memberikan warna yang dapat dikatakan positif. Bila dibandingkan dengan uji Halphen, uji Besson lebih bermanfaat untuk membedakan tingkat kadar gugus siklopropenoid yang berbahaya atau tidak berbahaya sebagai standar kualitas biodiesel.

Kata Kunci: biodiesel, siklopropenoid, uji Halphen, uji Besson, reagen Durbetaki

Abstract

One of the quality parameter of biodiesel in Indonesia is a negative reaction to Halphen test, the purpose of which is to prevent that biodiesel contain a significant amount of cyclopropenoid groups. This research aims to determine the concentrations of cyclopropenoid groups in several vegetable oils, identifying the boundaries of color turbidity of the Halphen test, investigate the effect of variation of crude vegetable oils to the Halphen and Besson test, and also determining test limits to improve Indonesian Quality Standard (SNI) of biodiesel relating to the content of cyclopropenoid groups. The oils tested were jatropha oil (*Jatropha curcas*), cottonseed oil (*Gossypium herbaceum*), kepok oil (*Sterculia foetida*), kapok oil (*Ceiba pentandra*), and roselle oil (*Hibiscus sabdariffa*). Quantitative analysis of the cyclopropenoid groups in those oils were carried out with titrimetry using Durbetaki reagent. The results showed that cyclopropenoid groups concentrations are 55.8% in kepok oil, 9.1% in kapok oil, 3.9% in roselle oil, 1.7% in cottonseed oil, and 0% in jatropha oil. Positive responses to Besson test were found only on kepok and kapok oils, whereas roselle and cottonseed oils showed responses that could not be claimed as positive. For differentiating the safe and unsafe levels of cyclopropenoid groups concentrations in biodiesel or fatty oils, Besson test is better than Halphen test.

Keywords: biodiesel, cyclopropenoid, Halphen test, Besson test, Durbetaki reagent

Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bakar substitusi solar. Keuntungan dari biodiesel antara lain adalah berasal/dibuat dari sumber terbarukan, tidak menghasilkan emisi SO₂ seperti solar, dan emisi hidrokarbon sisa yang rendah. Akan tetapi, biodiesel dari minyak tertentu memiliki beberapa kekurangan, salah satunya kestabilan oksidatif dan termal yang rendah. Dalam rangka menjamin kualitas biodiesel yang diproduksi, maka perlu ada standar mutu produk untuk biodiesel. Badan Standardisasi Nasional (BSN) Indonesia, telah memiliki standar mutu untuk biodiesel dengan kode SNI-04-7182-2006.

Salah satu parameter kualitas biodiesel adalah uji Halphen (AOCS Cb 1-25) yang ditetapkan negatif (-). Uji Halphen adalah sebuah uji kualitatif (ditandai dengan perubahan warna) untuk mendeteksi keberadaan gugus siklopropenoid, yang jika terdapat dalam jumlah cukup banyak, dapat menyebabkan polimerisasi biodiesel sehingga lama kelamaan membentuk endapan yang berpotensi menyumbat injektor bahan bakar pada mesin.

Sebuah laporan dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) menyatakan bahwa biodiesel yang terbuat dari minyak jarak pagar (*Jatropha curcas*) menimbulkan sedikit warna pada uji Halphen, padahal biodiesel dari minyak tersebut sama sekali tidak menimbulkan permasalahan pada kinerja mesin. Hal ini memunculkan suatu pertanyaan mengenai keakuratan uji Halphen dalam penentuan suatu minyak layak dijadikan bahan baku pembuatan biodiesel atau tidak. Sebuah uji warna lain yaitu uji Besson dapat dijadikan sebagai alternatif/pembanding dari uji Halphen yang selama ini dipakai.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kandungan gugus siklopropenoid dalam beberapa jenis minyak nabati, mengidentifikasi batas-batas perubahan warna dari uji Halphen dan uji Besson, serta menetapkan batas pengujian untuk memperbaiki SNI biodiesel, khususnya yang berkaitan dengan kandungan gugus siklopropenoid.

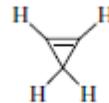
Pada penelitian ini digunakan beberapa minyak nabati yaitu minyak biji jarak pagar (*Jatropha curcas*), minyak biji kapas (*Gossypium herbaceum*), minyak biji kapok (*Ceiba pentandra*), minyak biji keboh (*Sterculia foetida*), dan minyak biji rosella (*Hibiscus sabdariffa*). Selain dilakukan kedua pengujian kualitatif tersebut, kadar gugus siklopropenoid juga ditentukan dengan uji Halphen kuantitatif untuk memperoleh kurva standar gugus siklopropenoid dan titrasi reagen Durbetaki untuk memperoleh kandungan gugus siklopropenoid.

Landasan Teori

Minyak-lemak adalah bahan yang berkomponen utama trigliserida-trigliserida dan berwujud cair pada temperatur kamar (Soerawidjaja, 2005). Minyak-

lemak tergolong dalam tiga jenis yaitu minyak-lemak mentah, minyak-lemak non-pangan (*non-edible oil*), dan minyak-lemak pangan (*edible oil*). Minyak-lemak mentah didapat dari biji yang memiliki kandungan minyak, dengan cara pengepresan dan/ atau ekstraksi. Minyak-lemak non pangan mengandung racun yang tidak baik bagi kesehatan. Sementara minyak-lemak pangan tidak mengandung zat berbahaya apapun.

Asam lemak adalah asam karboksilat berantai karbon panjang, biasanya memiliki 6 sampai 30 atom karbon, terdapat di alam, umumnya memiliki jumlah atom genap dan tidak bercabang. Struktur umum dari asam lemak adalah R-COOH, dengan -COOH merupakan gugus asam karboksilat dan gugus R menentukan jumlah rantai karbon. Berdasarkan strukturnya, asam lemak dibedakan menjadi asam lemak jenuh (*saturated fatty acid*) dan asam lemak tak jenuh (*unsaturated fatty acid*). Asam lemak jenuh tidak memiliki ikatan rangkap sedangkan asam lemak tak jenuh memiliki ikatan rangkap. Suatu asam lemak yang memiliki lebih dari satu ikatan rangkap dinamakan asam lemak tak jenuh ganda (*polyunsaturated fatty acid*). Terdapat pula asam-asam lemak unik di beberapa jenis tumbuhan, seperti asam risinoleat (pada minyak jarak kastrol), asam malvalat, dan asam sterkulat (pada minyak biji keboh, *Sterculia foetida*). Asam-asam lemak tersebut dikatakan unik dikarenakan memiliki gugus yang sangat berbeda dengan asam-asam lemak pada umumnya, seperti pada asam sterkulat (2-oktil-1-siklopropena-1-oktanoat) dan asam malvalat (2-oktil-1-siklopropena-1-heptanoat) terdapat gugus siklopropenoid (Greenberg, 1982).



Gambar 1. Gugus siklopropenoid.

Gugus siklopropenoid adalah suatu gugus sikloalkena paling sederhana yang membentuk cincin dengan sudut 60°. Karakteristik lain yang dimiliki oleh gugus siklopropenoid adalah memiliki momen dua kutub sebesar 0,455 D, dan reaktif terhadap reaksi adisi, yaitu reaksi pengubahan senyawa hidrokarbon yang berikatan rangkap menjadi senyawa hidrokarbon berikatan tunggal. Metode titrasi menggunakan asam bromida (HBr) merupakan salah satu metode analisis untuk menentukan kandungan gugus siklopropenoid dalam minyak. Penelitian yang dilakukan oleh Harris (1963) adalah titrasi HBr dalam asam asetat glasial (reagen Durbetaki) pada minyak biji kapas (*Gossypium herbaceum*). Sebelum dilakukan titrasi, minyak yang akan diujikan direaksikan dengan alumina aktif. Tujuannya adalah untuk menyerap senyawa epoksi yang juga bereaksi dengan HBr saat titrasi dilakukan. Proses titrasi kemudian dilakukan pada temperatur 3°C dan 55°C. Titrasi sampel pada temperatur 3°C dilakukan untuk mengetahui jumlah

senyawa pengotor. Sementara itu, konsentrasi gugus siklopropenoid dalam asam sterkulat dan asam malvalat dapat ditentukan dari banyaknya volume titrasi HBr pada temperatur 55°C (Brown, 1969).

Uji Halphen merupakan salah satu uji reaksi warna untuk mengidentifikasi keberadaan gugus siklopropenoid. Analisis uji Halphen dapat dilakukan secara kualitatif (diadopsi dalam SNI Biodiesel) maupun kuantitatif. Sejauh ini, penelitian yang telah dilakukan untuk uji Halphen secara kualitatif adalah mengidentifikasi gugus siklopropenoid dalam minyak biji kapas (*Gossypium herbaceum*) dan minyak biji kapok (*Ceiba pentandra*) (Mehlenbacher, 1936). Reagen yang digunakan untuk uji Halphen adalah 5 ml pelarut karbon disulfida (CS₂) dengan kandungan 1% sulfur terlarut yang telah dicampur dengan 20 ml amil alkohol (C₄H₉CH₂OH). Kemunculan warna merah/merah jingga pada akhir tahap uji ini menunjukkan hasil positif (+) akan keberadaan gugus siklopropenoid dalam minyak yang diuji.

Analisis uji Halphen secara kuantitatif dapat dilakukan dengan menggunakan alat spektrofotometer. Perlakuan yang diberikan terhadap minyak yang diuji berbeda dengan uji Halphen secara kualitatif. Dalam uji Halphen secara kuantitatif, minyak yang diujikan direaksikan dengan n-butanol (BuOH) dan reagen pelarut karbon disulfida (CS₂) dengan kandungan 1% sulfur terlarut. Selanjutnya, campuran ini dilarutkan dalam gelas kimia berisi propilen glikol dan dipanaskan dalam bak penampung berisi minyak pada temperatur 110°C. Kemudian, sampel didinginkan, lalu dilakukan analisis menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 547 nm dengan blanko standar minyak biji jagung atau minyak lain yang tidak memiliki kandungan gugus siklopropenoid (Helrich, 1972).

Uji Besson merupakan salah satu uji reaksi warna lain untuk mengidentifikasi gugus siklopropenoid dalam minyak biji kapok (*Ceiba pentandra*) (Mehlenbacher, 1936). Reagen yang digunakan dalam uji Besson adalah kloroform dan alkohol absolut dengan kandungan 2% AgNO₃. Alkohol absolut yang digunakan berupa etanol (C₂H₅OH) anhidrat murni. Uji Besson dikatakan positif (+) apabila minyak memberikan warna keruh coklat kehitaman.

Metodologi

Sampel bahan baku yang dianalisis adalah minyak biji jarak pagar (*Jatropha curcas*), minyak biji kapas (*Gossypium herbaceum*), minyak biji kepong (*Sterculia foetida*), minyak biji kapok (*Ceiba pentandra*), dan minyak biji rosella (*Hibiscus sabdariffa*).

Pada uji Halphen, alat yang digunakan adalah *screw cap tube* sebagai tempat campuran sampel minyak dengan reagen Halphen. *Screw cap tube* berisi 0,2 g sampel, 5 ml reagen Halphen, dan 20 ml n-butanol direndam dalam gelas kimia berisi propilen glikol hingga tabung terendam penuh. Kedua alat gelas, baik gelas kimia maupun *screw cap tube*

direndam dalam bak pemanas (*oil bath*) berisi minyak silikon dan dipanaskan perlahan hingga 110°C selama 2,5 jam. Sampel minyak yang telah mendapatkan perlakuan perendaman dan pendinginan, dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Perubahan warna yang terjadi diamati secara kualitatif. Sementara itu, nilai absorbansi, secara kuantitatif diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 547 nm. Jenis spektrofotometer yang digunakan adalah tipe *Spectrophotometer UV 2000* dengan merk *LW Scientific*.

Pada uji Besson, 2 gram padatan AgNO₃ dilarutkan ke dalam 100 ml etanol absolut digunakan sebagai reagen. 5-10 ml sampel minyak dilarutkan sambil diaduk dalam kloroform. Reagen alkohol-AgNO₃ dengan jumlah volume sama dengan volume minyak sampel diaduk selama 30 detik, dan selanjutnya didiamkan selama 30 menit. Perebakan warna hitam-kecoklatan pada akhir pengujian menunjukkan keberadaan gugus siklopropenoid pada minyak sampel.

Pada titrasi reagen Durbetaki, sampel minyak 0,5-2 g dicampurkan dengan 0,7 ml toluena, 1,5 ml asam asetat glasial, dan 4 tetes indikator kristal ungu (*crystal violet*) ke dalam labu Erlenmeyer 10 ml. Sementara itu, larutan 33% HBr dalam asam asetat glasial (reagen Durbetaki) diencerkan menjadi 0,02 N. Labu Erlenmeyer dimasukkan ke dalam gelas kimia 100 ml berisi air dan dipanaskan sampai temperatur 55°C. Proses titrasi dilakukan hingga sampel berwarna biru kehijauan dan perebakan warna bertahan minimal 30 detik. Volume reagen Durbetaki yang digunakan kemudian dicatat. Kandungan gugus siklopropenoid dalam sampel dapat dihitung berdasarkan kandungan asam lemak yang paling dominan. Kandungan gugus siklopropenoid dalam sampel dapat dihitung sebagai berikut:

$$\% \text{ asam malvalat} = 1,175 * 28,04 * (Nv/w) \quad (1)$$

$$\% \text{ asam sterkulat} = 1,175 * 29,45 * (Nv/w) \quad (2)$$

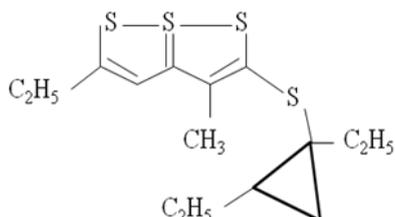
Untuk sampel minyak kepong (*Sterculia foetida*), dengan kandungan gugus siklopropenoid antara 46-70% (Harris, 1963), naikan variasi sampel minyak sebesar 0,5-7 g, komposisi toluena sebesar 5 ml, asam asetat glasial sebanyak 15 ml, dan normalitas HBr dalam asetat glasial (reagen Durbetaki) menjadi 0,1 N.

Hasil dan Pembahasan

Analisis Uji Kualitatif. Uji Halphen merupakan uji warna kualitatif untuk mengetahui keberadaan gugus siklopropenoid dalam suatu sampel minyak. Reagen Halphen bereaksi dengan gugus siklopropenoid dan membentuk senyawa tritriapentalena atau tiotiofena (Greenberg, 1982). Keberadaan senyawa tersebut ditandai dengan perebakan warna merah pada sampel minyak.

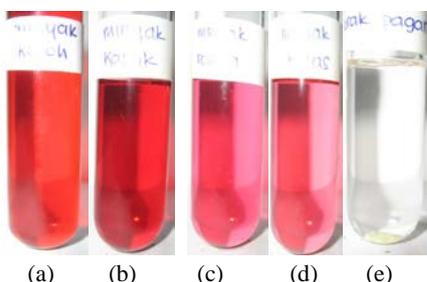
Pada minyak biji kepong (*Sterculia foetida*), minyak biji kapok (*Ceiba pentandra*), minyak biji rosella (*Hibiscus sabdariffa*), dan minyak biji kapas (*Gossypium herbaceum*) terdapat perebakan warna

merah yang menandakan keberadaan gugus siklopropenoid dalam minyak (bersifat positif terhadap uji Halphen). Intensitas warna yang timbul sebanding dengan kandungan gugus siklopropenoid di masing-masing minyak yang kadarnya berbeda-beda.



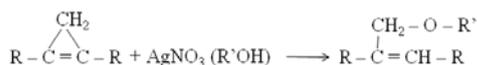
Gambar 2. Senyawa tiotiofena.

Pada minyak jarak pagar (*Jatropha curcas*) perebakan warna merah sangat samar dan hanya terlihat jika di belakang tabung uji diletakkan kertas putih dan disinari dengan cahaya yang kuat. Hal ini tetap mengindikasikan bahwa minyak ini bersifat positif terhadap uji Halphen. Di samping itu, pada uji Halphen minyak jarak pagar, terdapat endapan hijau berupa kristal sulfur. Kristal ini terbentuk akibat kelarutan sulfur dalam campuran minyak dengan karbon disulfida (CS_2) berkurang sehingga ada endapan yang terbentuk. Pada uji Halphen dengan minyak lain, endapan sulfur tidak terbentuk sebab telah bereaksi dengan gugus siklopropenoid membentuk senyawa tiotiofena.



Gambar 3. Uji Halphen (AOCS Cb 1-25). (a) minyak biji keboh, (b) minyak biji kapuk, (c) minyak biji rosella, (d) minyak biji kapas, (e) minyak jarak pagar.

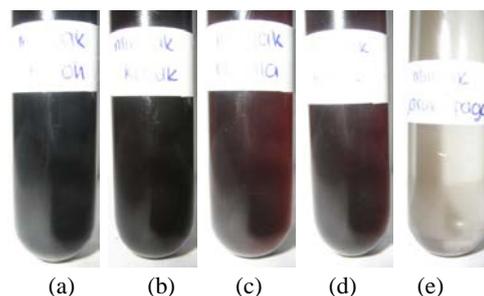
Uji Besson merupakan uji warna lain yang juga dapat menentukan keberadaan gugus siklopropenoid dalam suatu minyak secara kasat mata (visual). Reagen ini bereaksi dengan gugus siklopropenoid dan menimbulkan perebakan warna coklat kehitaman (*brownish black*).



Gambar 4. Reaksi uji Besson.

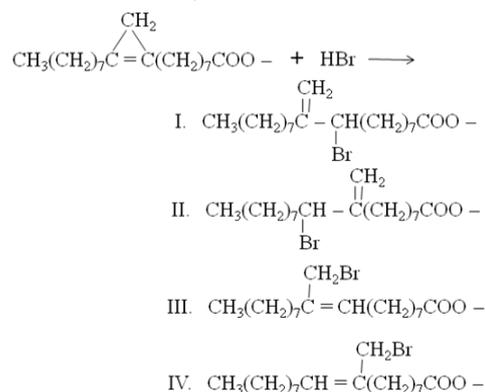
Pada minyak biji keboh (*Sterculia foetida*) dan minyak biji kapuk (*Ceiba pentandra*) terjadi perebakan warna coklat kehitaman (*brownish black*) yang sangat jelas menandakan keberadaan gugus siklopropenoid dalam minyak. Pada minyak biji

rosella (*Hibiscus sabdariffa*) diperoleh perebakan warna coklat tua. Hal ini menandakan uji Besson juga bereaksi positif dengan minyak tersebut, tetapi tidak sampai berwarna coklat kehitaman (*brownish black*). Pada minyak biji kapas (*Gossypium herbaceum*) diperoleh warna yang hampir sama dengan warna awal minyak, karena minyak biji kapas hanya memiliki kandungan gugus siklopropenoid berkisar antara 0,5-2% (Shenstone & Vickery, 1961) sehingga perubahan warna kapas pada uji Besson sulit dideteksi. Pada minyak jarak pagar (*Jatropha curcas*) tidak timbul perebakan warna coklat kehitaman, menandakan minyak jarak pagar bereaksi negatif terhadap uji Besson.



Gambar 5. Uji Besson. (a) minyak biji keboh, (b) minyak biji kapuk, (c) minyak biji rosella, (d) minyak biji kapas, (e) minyak jarak pagar.

Analisis Uji Kuantitatif. Dalam titrasi dengan reagen Durbetaki asam bromida akan berikatan dengan gugus siklopropenoid sehingga cincin gugus akan terbuka. Perhitungan kandungan siklopropenoid dilakukan dengan pendekatan asam lemak bergugus siklopropenoid yang lebih dominan (asam sterkulat atau asam malvalat).



Gambar 6. Reaksi HBr dengan gugus siklopropenoid.

Menurut penelitian yang dilakukan Brown (1969), dikatakan bahwa metode titrasi menggunakan asam bromida (HBr) dalam asetat glasial (HOAc) atau dikenal sebagai reagen Durbetaki, memiliki koreksi perhitungan titrasi. Koreksi tersebut diakibatkan gugus siklopropenoid yang dapat terdeteksi adalah sebesar 85% dari keseluruhan gugus siklopropenoid yang terkandung dalam minyak.

Sampel	% siklopropenoid	Data literatur
Minyak kepok	55,8	46-70 ^(a)
Minyak kapuk	9,1	10,1 ^(b)
Minyak rosella	3,9	4,2 ^(c)
Minyak kapas	1,7	0,5-2 ^(d)
Minyak jarak pagar	0	-

Tabel 1. Titrasi Minyak dengan Reagen Durbetaki. (a) Harris, 1963. (b) Berry, 1979. (c) Ahmed, 1979. (d) Shenstone & Vickery, 1961.

Uji Halphen dalam perkembangannya dapat dimodifikasi menjadi uji yang lebih bersifat kuantitatif. Caranya adalah dengan memanfaatkan data-data jumlah gugus siklopropenoid hasil titrasi HBr-HOAc, lalu mengalurkannya terhadap absorban warna hasil pembacaan spektrofotometer pada panjang gelombang 547 nm sehingga diperoleh grafik kurva standar gugus siklopropenoid (Helrich, 1972). Kurva standar gugus siklopropenoid dapat digunakan untuk menetapkan batasan-batasan warna pada uji Halphen kualitatif dalam kaitannya dengan standar biodiesel.

Sampel yang dijadikan sebagai standar dalam kurva adalah minyak dengan kandungan gugus siklopropenoid yang paling besar, yaitu minyak biji kepok (*Sterculia foetida*). Sementara itu, blanko yang digunakan adalah minyak goreng sawit yang tidak mengandung gugus siklopropenoid. Selain sebagai blanko, minyak goreng sawit juga digunakan untuk mengencerkan minyak biji kepok untuk mendapatkan campuran dengan kandungan gugus siklopropenoid yang berbeda – beda.

Pembuatan biodiesel di Amerika Serikat dari minyak biji kapas dengan kandungan gugus siklopropenoid sebesar 0,5-2% (Shenstone & Vickery, 1961) telah banyak diterapkan dalam pengembangan bahan bakar alternatif dan sampai saat ini belum ditemukan permasalahan yang timbul akibat polimerisasi dari gugus siklopropenoid yang terkandung dalam minyak tersebut. Dengan demikian, minyak yang mengandung gugus siklopropenoid di bawah 0,5% dapat dipastikan aman digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel.

Sementara itu, walaupun minyak jarak pagar (*Jatropha curcas*) bereaksi positif terhadap uji Halphen dengan memberikan warna merah samar, akan tetapi pada uji Besson tidak dihasilkan perubahan warna. Sebagai pendukung analisis, dari hasil titrasi menggunakan reagen Durbetaki pula tidak terdeteksi kandungan gugus siklopropenoid.

Kesimpulan

Titrasi menggunakan HBr-HOAc (reagen Durbetaki) dapat dilakukan untuk menganalisis kandungan gugus siklopropenoid dalam minyak biji kepok (*Sterculia foetida*), minyak biji kapuk (*Ceiba pentandra*), minyak biji kapas (*Gossypium herbaceum*), minyak biji rosella (*Hibiscus sabdariffa*), dan minyak jarak pagar (*Jatropha curcas*).

Uji Besson bersifat positif pada minyak biji kepok (*Sterculia foetida*) dan minyak biji kapuk (*Ceiba pentandra*) karena dapat menghasilkan warna coklat kehitaman (*brownish black*).

Bila dibandingkan dengan uji Halphen, uji Besson lebih bermanfaat untuk membedakan kadar gugus siklopropenoid yang berbahaya atau tidak berbahaya sebagai standar pembuatan biodiesel.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada LPPM UNPAR yang telah mendanai penelitian dalam hal penyediaan reagen dan pembuatan alat uji.

Daftar Simbol

v = volum titrasi reagen Durbetaki, ml
N = normalitas reagen Durbetaki, N
w = massa sampel, g

Daftar Pustaka

- Ahmed, A. W. K., dan Hudson, B.J.F. 1979. The fatty acid composition of Hibiscus sabdariffa seed oil. *Journal of Science of Food and Agriculture* 33 : 1305-1309.
- Berry, S. K. 1979. *The Characteristic of the Kapok (Ceiba pentandra, Gaertn.) Seed Oil*. Pertanian Malaysia, 2 : 1-4.
- Brown, L. E. 1969. Methods for the Determination of Cyclopropenoid Fatty Acid VIII : The HBr Titration Methods Applied to Small Samples. *Journal of the American Oil Society*, 46 : 654-656.
- Greenberg, A., J. Harris. 1982. Cyclopropenoid Fatty Acid. *Journal of Chemical Education*, 59 : 539-543.
- Harris, J. A., F. C. Magne, dan E. L. Skau. 1963. Methods for the Determination of Cyclopropenoid Fatty Acid II : A Stepwise Hydrogen Bromide Titration Method for Cyclopropenoid and Epoxy Derivatives. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 40 : 718-720.
- Helrich, K. 1972. Fatty Acids (Cyclopropene) in Oils : Halphen Test. *Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, 1990 : 978.
- Mehlenbacher, V. C. 1936. Color Tests for Kapok Oil. Los Angeles, California : Laboratories of Swift and Company.
- Shone, Shenstone & Vickery. 1961. Adverse effects of cyclopropenoid fatty acids. *Journal of Nutritional and toxicity problems associated with fats*, 25 : 37-43.

Soerawidjaja, T. H. 2005. *Membangun Industri Biodiesel di Indonesia: Beberapa Skenario dan Persoalan Pengembangan yang Perlu Dicermati*. Bandung.