



Perbandingan Uji Densitas Menggunakan Metode ASTM D1298 dengan ASTM D4052 pada Biodiesel Berbasis Kelapa Sawit

Nurmajid Abdurrojaq, Rossy D. Devitasari, Lies Aisyah, Nur A., Faturrahman, Saepul Bahtiar, Widi Sujarwati, Cahyo S. Wibowo, Riesta Anggarani, dan Maymuchar

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"
Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230

Artikel Info:

Naskah Diterima:
16 Januari 2021
Diterima setelah
perbaikan:
3 Maret 2021
Disetujui terbit:
30 April 2021

Kata Kunci:

biodiesel
densitas
ASTM D1298
ASTM D4052

ABSTRAK

Parameter densitas merupakan salah satu karakteristik yang penting, baik dari aspek perhitungan kandungan energi maupun faktor konversi satuan dalam jual-beli. Secara eksperimen laboratorium, terdapat dua metode acuan untuk mengukur densitas bahan bakar, yaitu ASTM D1298 dan ASTM D4052. Penelitian ini menyajikan perbandingan hasil pengukuran densitas antara metode manual, ASTM D1298, maupun metode otomatisasi pada ASTM D4052, menggunakan sampel biodiesel berbasis kelapa sawit. Hasil pengukuran densitas biodiesel pada berbagai temperatur, termasuk pengukuran pada temperatur acuan spesifikasi biodiesel di Indonesia, yaitu 40°C, dan temperatur densitas standar internasional, yaitu 15°C. Hasil penelitian menunjukkan, suhu observasi mempengaruhi nilai densitas dari biodiesel. Semakin rendah suhu pengujian maka semakin besar nilai densitas yang dihasilkan, yang teramati pada 2 metode pengujian ini. Pengukuran densitas dengan metode ASTM D1298 memiliki kekurangan untuk suhu observasi yang lebih rendah dari 18°C karena memanfaatkan kondisi visual oleh penglihatan. Dengan metode tersebut pengujian suhu dibawah 18°C untuk mengukur densitas biodiesel berbasis kelapa sawit mengalami bias pembacaan skala hidrometer akibat kondisi pengujian yang mendekati titik kabut biodiesel.

© LPMGB - 2021

PENDAHULUAN

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan mengurangi polusi dan bersifat terbarukan. Biodiesel diproduksi dari minyak nabati atau hewani melalui proses transesterifikasi dengan metanol sehingga menghasilkan metil ester dari asam lemak penyusunnya (*fatty acid methyl esters*, *FAME*). Biodiesel memiliki sifat yang mirip dengan minyak solar, sehingga campurannya dapat digunakan pada mesin diesel tanpa modifikasi utama dari mesin

tersebut (Benjumea, dkk., 2008; Hoekman, dkk., 2021). Potensi pemanfaatan biodiesel sebagai bahan bakar nabati terbarukan telah diimplementasikan di Indonesia. Sejak 2016, Indonesia telah menggunakan biodiesel sebagai campuran minyak solar dengan konsentrasi 20% atau B20 dan meningkat menjadi 30% atau B30 pada Januari 2020.

Penelitian yang berkaitan dengan karakteristik bahan bakar, kinerja mesin, serta pengembangan biodiesel telah banyak dilakukan seiring dengan peningkatan pemanfaatan biodiesel berbasis kelapa sawit di Indonesia. Fathurrahman, dkk. (2020, 2021) melaporkan bahwa penggunaan biodiesel hingga 30% menghasilkan peningkatan kualitas minyak solar seperti angka setana, lubrisitas, dan penurunan

Korespondensi:

E-mail: nurmajid99@gmail.com (Nurmajid Abdurrojaq)

kandungan sulfur. Namun, ada beberapa karakteristik yang perlu diantisipasi seperti kandungan air, angka asam, dan *cold-flow properties*. Paryanto dkk. (Paryanto, dkk., 2019) melaporkan presipitasi pada biodiesel akibat kehadiran monogliserida jenuh, sehingga diperlukan pengembangan spesifikasi batasan mutu monogliserida menjadi 0.55 %-massa untuk implementasi B30. Beberapa penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan biodiesel kelapa sawit terhadap karakteristik minyak solar, sangat penting untuk terus dieksplorasi, khususnya terkait dengan karakteristik dan sifat fisika-kimia bahan bakar.

Salah satu karakteristik bahan bakar yang penting untuk dianalisis adalah densitas atau massa jenis. Karakteristik tersebut berkaitan erat dengan faktor konversi satuan maupun perhitungan kandungan energi. Densitas atau massa jenis atau rapatan merupakan pengukuran massa setiap satuan volume dengan satuan standar pengukuran tertentu, seperti kg/m^3 atau g/cc . Umumnya, biodiesel memiliki densitas pada 15°C yang berkisar antara $870\text{-}900 \text{ kg/m}^3$, lebih tinggi dibandingkan dengan minyak solar yang berkisar antara $820\text{-}840 \text{ kg/m}^3$. Biodiesel memiliki kandungan oksigen sekitar 11%-massa, sehingga memiliki kandungan karbon dan hidrogen yang lebih rendah dibandingkan minyak solar. Hal tersebut menyebabkan kandungan energi dari biodiesel lebih rendah sekitar 10% dibandingkan dengan minyak solar. Namun, merujuk pada densitas biodiesel yang lebih tinggi, kandungan energi secara volumetrik berkisar antara 5-6% lebih rendah dibandingkan minyak solar (Alptekin & Canakci, 2008; Hoekman, dkk., 2012).

Beberapa hal di atas menunjukkan parameter densitas merupakan salah satu karakteristik yang penting, baik dari aspek perhitungan kandungan energi maupun faktor konversi satuan dalam jual-beli. Densitas biodiesel dipengaruhi oleh kandungan komponen asam lemak tak-jenuh, dengan densitas yang semakin meningkat seiring dengan peningkatan kandungan asam lemak tak-jenuh. Oleh karena itu, perbedaan jenis bahan baku yang digunakan dalam proses produksi biodiesel, menghasilkan perbedaan densitas biodiesel tersebut. Beberapa penelitian melaporkan densitas sebagai *specific gravity* (SG). Gulum dan Bilgin (Gülüm & Bilgin, 2017) juga melaporkan korelasi antara densitas bahan bakar dengan temperatur menggunakan biodiesel berbasis kedelai dan campurannya dengan minyak solar, menggunakan hidrometer. Penelitian lainnya

mengusulkan densitas biodiesel harus memasukkan faktor dari fungsi fraksi massa dari komponen yang terkandung dalam biodiesel (Blends, Extended, & Ranges 2018; NguyenThi, dkk., 2018; Pawar, dkk., 2018).

Secara eksperimen laboratorium, terdapat dua metode acuan untuk mengukur densitas bahan bakar, yaitu metode acuan ASTM D1298 dan ASTM D4052. Metode manual ASTM D1298 merupakan referensi yang digunakan di berbagai negara untuk menentukan densitas dan *specific gravity* dari minyak bumi dan produk olahannya. Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, dikembangkan metode yang mengarah pada otomatisasi berbasis kemometrik yang lebih ekonomis, cepat, dan akurat, diakomodir dalam ASTM D4052. Namun penggunaan kedua metode pengujian tersebut mencakup ruang lingkup bahan bakar berbasis minyak bumi. Walaupun pada beberapa spesifikasi standar biodiesel, kedua metode tersebut diperuntukkan untuk pengujian densitas bahan bakar nabati sehingga peruntukannya untuk aplikasi pengujian terhadap biodiesel perlu dieksplorasi lebih lanjut (Andrade, dkk., 1995; Örs, dkk., 2018; AshrafurRahman, dkk., 2019).

Penelitian ini menyajikan perbandingan hasil pengukuran densitas antara metode manual, ASTM D1298, dengan metode ASTM D4052. Sampel yang digunakan adalah biodiesel atau metil ester dari minyak kelapa sawit. Pengukuran densitas dilakukan pada berbagai temperatur termasuk temperatur acuan spesifikasi biodiesel di Indonesia, yaitu 40°C , serta temperatur densitas standar internasional, yaitu 15°C , sehingga diharapkan bisa memberikan solusi untuk mengatasi perbedaan hasil uji yang ada dari perbedaan metode tersebut.

BAHAN DAN METODE

Analisis densitas dilakukan berdasarkan metode standar ASTM D1298 dan ASTM D4052. Untuk metode standar ASTM D1298, sebanyak 1000 mL sampel dimasukkan ke dalam gelas ukur 1000 mL. Kemudian dikondisikan pada temperatur ambien. Lalu dimasukkan hidrometer yang telah dikalibrasi ke dalam gelas ukur tersebut. Setelah kesetimbangan suhu tercapai, dilakukan pembacaan pada skala hidrometer (STANHOPE-SETA). Untuk metode standar ASTM D4052, digunakan peralatan *Density Automatic*. Sampel dimasukkan ke dalam *Density Meter* menggunakan *syringe* tanpa adanya

gelembung udara dan biarkan *syringe* tetap pada posisi mengisi agar sampel dalam sel pengukuran tetap terjaga, *Density Meter* yang digunakan yaitu Anton Paar DMA 4500. Kemudian hasil pengukuran densitas dicatat untuk setiap sampel, masing-masing dilakukan sebanyak tiga kali ulangan. Bahan uji penelitian adalah 6 produk varian biodiesel dari minyak sawit yang dilabeli dengan A, B, C, D, E, dan F.

HASIL DAN DISKUSI

Biodiesel yang digunakan pada penelitian ini merupakan bahan bakar nabati komersial yang beredar di Indonesia sesuai standar dan mutu yang dipersyaratkan. Biodiesel yang digunakan berbasis kelapa sawit yang diolah melalui proses transesterifikasi. Karakteristik biodiesel yang digunakan pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 1.

A. Densitas Biodiesel Menggunakan ASTM D1298

Pengujian tidak dapat dilakukan ketika suhu menyentuh angka 16°C , dikarenakan pengamatan mengalami gangguan dari titik kabut biodiesel sehingga menyulitkan pengamatan skala hidrometer menggunakan mata. Selain itu, kondisi biodiesel juga sudah mengalami perubahan wujud menjadi berkabut hingga pematatan pada suhu dingin.

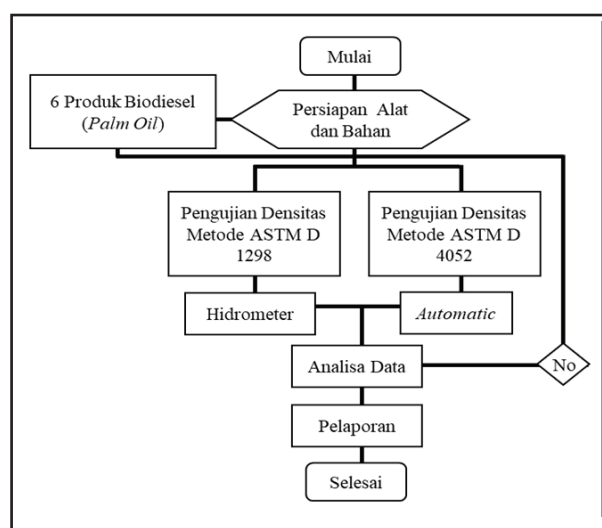
Suhu observasi dapat mempengaruhi nilai densitas dari biodiesel. Semakin rendah suhu pengujian maka semakin besar nilai densitas yang dihasilkan. Pengaruh tersebut berdampak kepada semua varian produk biodiesel. Pada suhu

observasi 40°C nilai densitas berkisar 857 kg/m^3 yang lebih rendah dari suhu observasi 18°C dengan nilai densitas berkisar 877 kg/m^3 . Hasil tersebut memperkuat beberapa jurnal yang mengatakan hal serupa (Dunn, 2011; Hoekman, dkk., 2012).

Dari hasil semua densitas pada observasi suhu dilanjutkan dengan koreksi nilai densitas pada suhu 15°C . Hasil koreksi tersebut memiliki nilai densitas yang cenderung sama dengan rata-rata 875 kg/m^3 . Perhitungan koreksi pada suhu 15°C merubah semua nilai dari hasil suhu obeservasi menjadi linear dan tidak ada lagi pengaruh suhu yang merubah nilai densitas.

B. Densitas Biodiesel Menggunakan ASTM D4052

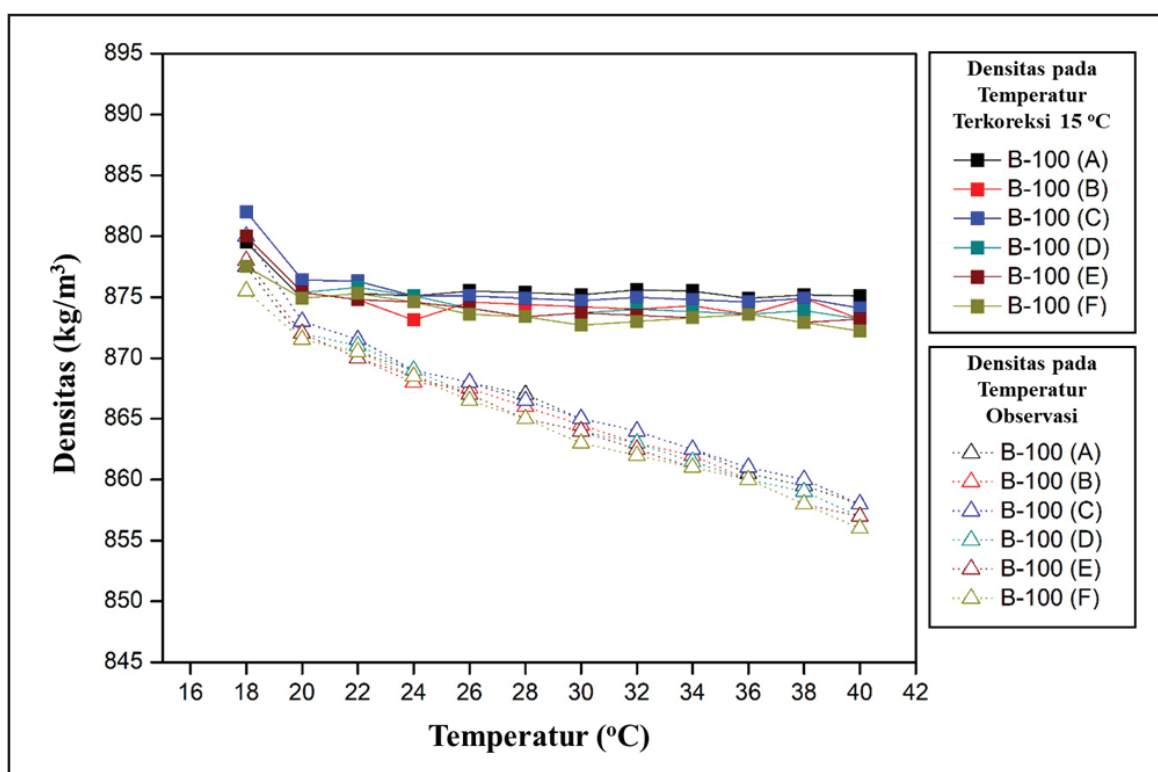
Penggunaan *Density Meter Automatic* sesuai ASTM D4052 pada pengujian densitas membantu



Gambar 1
Metodologi penelitian.

Tabel 1
Karakteristik biodiesel

Karakteristik	Kandungan Metil Ester	Kandungan Monogliserida	Kandungan Air	Titik Kabut	Densitas 40°C
Satuan	%-massa	%-massa	ppm	$^{\circ}\text{C}$	kg/m^3
Metode Uji	EN 14103	ASTM D6584	ASTM D6304	ASTM D5773	ASTM D4052
B-100 A	98.71	0.53	333.1	14.8	857.2
B-100 B	98.94	0.51	290.7	14.6	856.8
B-100 C	98.68	0.55	459.5	13.7	857.25
B-100 D	98.99	0.46	300.9	12.5	857.6
B-100 E	99.21	0.35	288.4	11.4	856.4
B-100 F	99.31	0.31	198.1	12.1	856.8



Gambar 2
Grafik densitas observasi dan terkoreksi dari biodiesel menggunakan ASTM D1298.

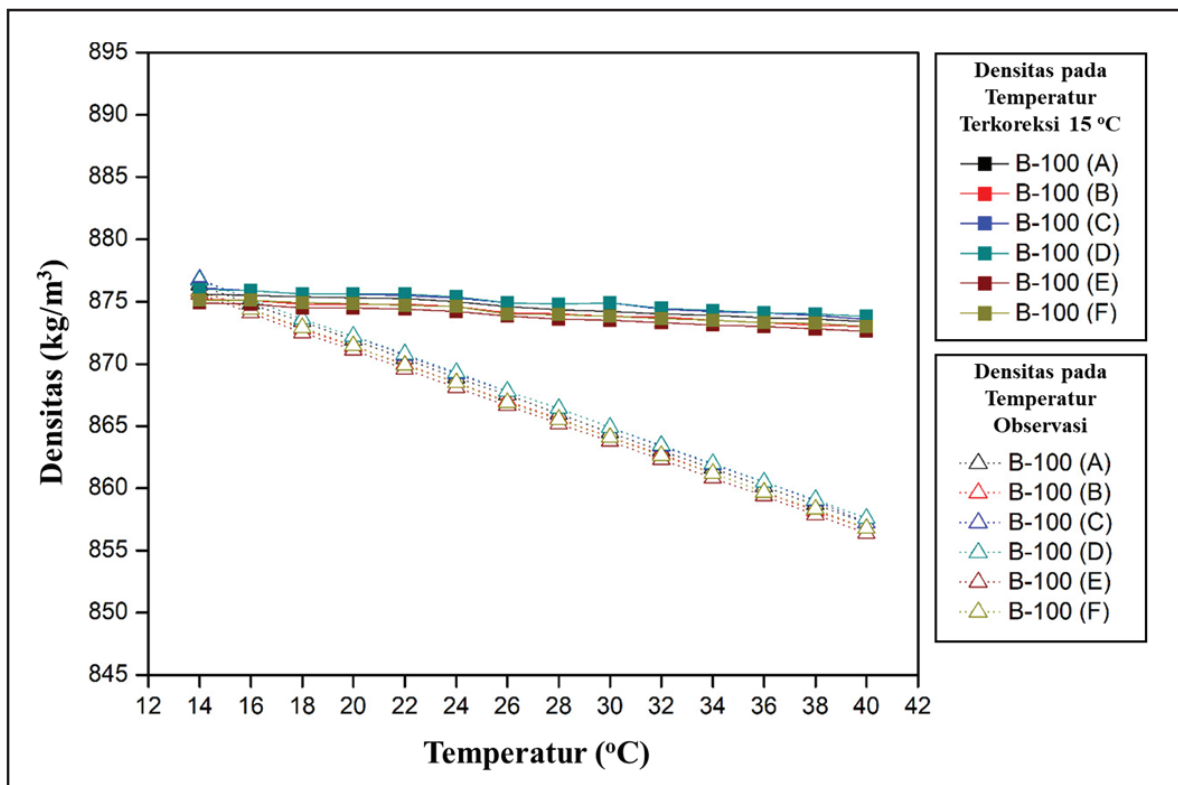
Tabel 2
Hasil pengujian densitas observasi menggunakan ASTM D1298

Temperatur Pengujian (°C)	Densitas Observasi (kg/m ³) ASTM D1298					
	B-100 (A)	B-100 (B)	B-100 (C)	B-100 (D)	B-100 (E)	B-100 (F)
10	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-
18	877.5	878	880	878	878	875.5
20	871.5	872	873	872	872	871.5
22	870.5	870	871.5	871	870	870.5
24	869	868	869	869	868.5	868.5
26	868	867.5	868	867	867	866.5
28	867	866	866.5	865	865	865
30	865	864.5	865	864	864	863
32	864	863	864	863	862.5	862
34	862.5	862	862.5	861.5	861	861
36	860.5	860	861	860	860	860
38	859.5	858	860	859	858	858
40	858	857	858	857	857	856

Perbandingan Uji Densitas Menggunakan Metode ASTM D1298 dengan ASTM D4052 pada Biodiesel Berbasis Kelapa Sawit (Abdurrojaq, dkk.)

Tabel 3
Hasil pengujian densitas terkoreksi menggunakan ASTM D1298

Temperatur Pengujian (°C)	Densitas Terkoreksi 15°C (kg/m ³) ASTM D1298					
	B-100 (A)	B-100 (B)	B-100 (C)	B-100 (D)	B-100 (E)	B-100 (F)
10	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-
18	879.5	880	882	880	880	877.5
20	874.9	875.4	876.4	875.4	875.4	874.9
22	875.3	874.8	876.3	875.8	874.8	875.3
24	875.1	873.1	875.1	875.1	874.6	874.6
26	875.5	874.6	875.1	874.1	874.1	873.6
28	875.4	874.4	874.9	873.4	873.4	873.4
30	875.2	874.2	874.7	873.7	873.7	872.7
32	875.6	874	875	874	873.5	873
34	875.5	874.3	874.8	873.8	873.3	873.3
36	874.9	873.6	874.6	873.6	873.6	873.6
38	875.2	874.9	874.9	873.9	872.9	872.9
40	875.1	873.2	874.1	873.2	873.2	872.2



Gambar 3
Grafik densitas observasi dan terkoreksi dari biodiesel menggunakan ASTM D4052.

pengukuran densitas dengan sistem otomatisasi. Hal tersebut meminimalisir kesalahan pembacaan skala hidrometer yang tidak mengandalkan ketelitian mata. Dengan menggunakan peralatan tersebut maka hasil pengukuran menghasilkan kurva hubungan antara temperatur observasi dan densitas dengan tingkat presisi yang baik.

Hasil pengujian menggunakan *Density Meter Automatic* menunjukkan fenomena yang sama berdasarkan terjadinya peningkatan nilai densitas apabila suhu pengujian semakin rendah. Pada suhu observasi 40°C nilai densitas dengan rata-rata sebesar 857 kg/m³ dan meningkat pada suhu observasi 14°C dengan rata-rata sebesar 876 kg/m³. Hal tersebut menunjukkan terjadi peningkatan nilai densitas terhadap suhu pengujian baik dengan metode ASTM D1298 maupun ASTM D4052 (Pratas, dkk., 2011).

Hasil koreksi densitas disuhu 15°C dari 6 variasi produk biodiesel memiliki rata-rata sebesar 874 kg/m³ dan dari data perhitungan yang diperoleh menunjukkan nilai yang cenderung konstan sehingga pada grafik menunjukkan hasil yang cenderung sejajar.

Perbandingan hasil koreksi suhu 15°C antara ASTM D1298 dengan ASTM D4052 memiliki hasil

berdekatan pada nilai 873-877 kg/m³. Konsistensi hasil tersebut teramati pada temperatur observasi 20°C hingga 40°C. Pada suhu lebih rendah dari 20°C terjadi ketidakakuratan pengujian pada ASTM D1298. Dengan metode tersebut pengujian suhu dibawah 18°C untuk mengukur densitas biodiesel berbasis kelapa sawit mengalami bias pembacaan skala hidrometer akibat kondisi pengujian yang mendekati titik kabut biodiesel.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pengukuran densitas dengan metode ASTM D1298 memiliki kekurangan untuk suhu yang lebih rendah dari 18°C. Pengukuran densitas dengan metode ASTM D4052 memiliki presisi yang baik karena sistem pengujian otomatis. Hasil pengujian ASTM D1298 dan ASTM D4952 memiliki kesamaan dengan dapat dilihat pada grafik keduanya yang mengalami kenaikan nilai densitas apabila suhu pengujian semakin rendah, dari keduanya yang membedakan adalah proses akurasi pembacaan nilai.

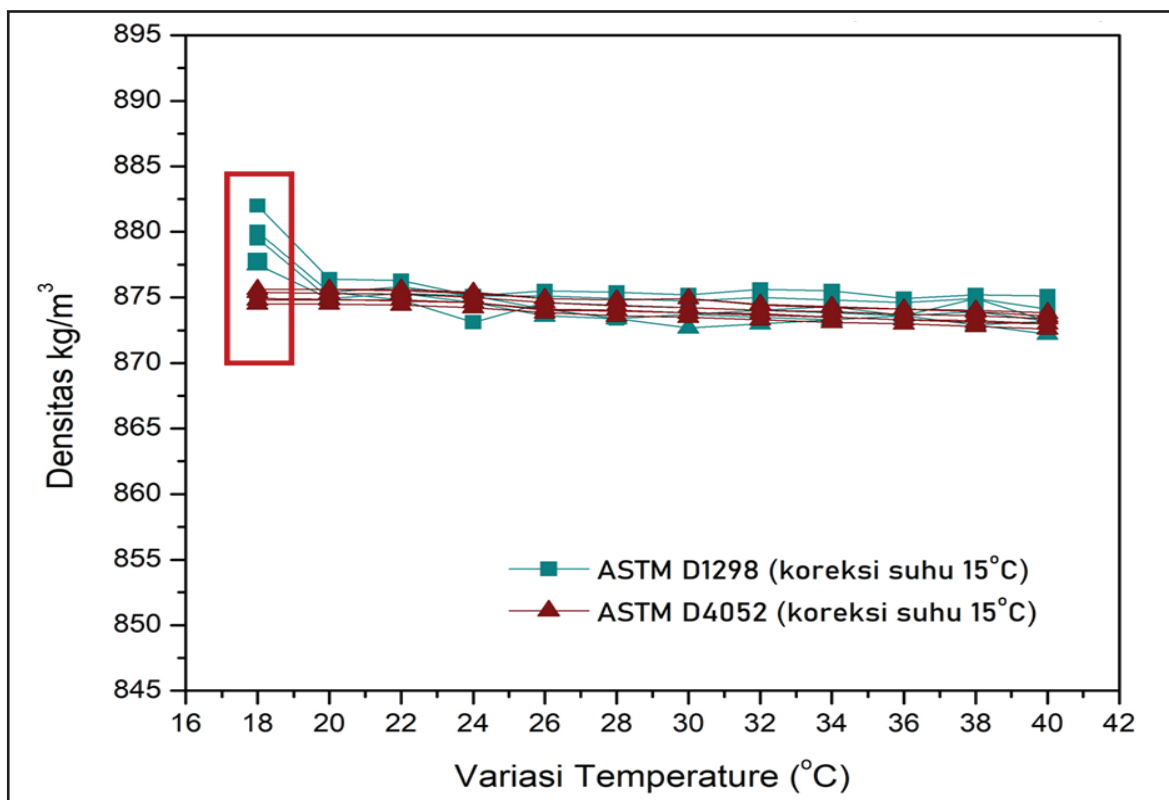
Tabel 4
Hasil pengujian densitas observasi menggunakan ASTM D4052

Temperatur Pengujian (°C)	Densitas Observasi (kg/m ³) ASTM D4052					
	B-100 (A)	B-100 (B)	B-100 (C)	B-100 (D)	B-100 (E)	B-100 (F)
10	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-
14	876.35	875.9	876.8	876.7	875.6	875.85
16	874.8	874.4	875.2	875.2	874.1	874.4
18	873.4	872.8	873.6	873.6	872.5	872.9
20	871.9	871.4	872.2	872.2	871.1	871.45
22	870.45	870	870.7	870.8	869.6	869.9
24	868.9	868.5	869.2	869.3	868.1	868.5
26	867.5	867	867.8	867.8	866.65	866.9
28	865.95	865.6	866.4	866.4	865.2	865.55
30	864.5	864.1	864.9	864.9	863.8	864.1
32	863	862.75	863.4	863.45	862.3	862.65
34	861.6	861.2	861.9	862	860.8	861.2
36	860.1	859.7	860.5	860.5	859.4	859.7
38	858.7	858.2	859	859.1	857.9	858.35
40	857.2	856.8	857.25	857.6	856.4	856.8

Perbandingan Uji Densitas Menggunakan Metode ASTM D1298 dengan ASTM D4052 pada Biodiesel Berbasis Kelapa Sawit (Abdurrojaq, dkk.)

Tabel 5
Hasil pengujian densitas terkoreksi menggunakan ASTM D4052

Temperatur Pengujian (°C)	Densitas Terkoreksi 15°C (kg/m ³) ASTM D4052					
	B-100 (A)	B-100 (B)	B-100 (C)	B-100 (D)	B-100 (E)	B-100 (F)
10	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-
14	875.6	875.2	876.1	876	874.9	875.1
16	875.5	875.1	875.9	875.9	874.8	875.1
18	875.4	874.8	875.6	875.6	874.5	874.9
20	875.3	874.8	875.6	875.6	874.5	874.85
22	875.25	874.8	875.5	875.6	874.4	874.7
24	875	874.6	875.3	875.4	874.2	874.6
26	874.6	874.1	874.9	874.9	873.85	874
28	874.35	874	874.8	874.8	873.6	873.95
30	874.2	873.8	874.9	874.9	873.5	873.8
32	874	873.75	874.4	874.45	873.3	873.65
34	873.9	873.5	874.2	874.3	873.1	873.5
36	873.7	873.3	874.1	874.1	873	873.3
38	873.6	873.1	873.9	874	872.8	873.25
40	873.4	873	873.55	873.8	872.6	873



Gambar 4
Grafik perbandingan hasil ASTM D1298 dan ASTM D4052 (Koreksi suhu 15°C).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit yang telah mendanai riset ini sesuai kontrak kerja No. PRJ- 146/DPKS/2018. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kelompok Pelaksana Penelitian dan Pengembangan Teknologi Aplikasi Produk, LEMIGAS, khususnya untuk Laboratorium Karakteristik Bahan Bakar dan Unjuk Kerja di Kelompok Bahan Bakar dan Aviasi dalam rangka pelaksanaan penelitian.

DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

Simbol	Definisi	Satuan
ASTM	American Standard Testing and Material	
<i>Cold Flow Properties</i>	Sifat alir Biodiesel yang timbul saat dalam kondisi pada suhu dingin	
Densitas	Berat jenis suatu zat	
<i>Density Meter</i>	Alat Otomatis untuk mengukur nilai berat jenis suatu komoditas	
EN	European Norm	
FAME	Fatty Acid Methyl Ester, Sebutan atau nama lain untuk biodiesel	
Hidrometer	Alat untuk mengukur berat jenis suatu cairan	
ppm	Part Per Million, Satuan kuantitas	
SG	Specific Gravity, Perbandingan densitas suatu fluida terhadap fluida standar.	
<i>Syringe</i>	Alat suntik atau spuit adalah pompa piston sederhana untuk menyuntikkan atau menghisap cairan atau gas.	

KEPUSTAKAAN

Alptekin, E. & Canakci, M., 2008. Determination of the Density and the Viscosities of Biodiesel-Diesel Fuel Blends. *Renewable Energy*, 33(12), pp. 2623-2630.

American Society for Testing and Material [ASTM], 2011. *Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter (ASTM D 4052)*, United States: ASTM.

American Society for Testing and Material [ASTM], 2011. *Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Hydrometer Method (ASTM D 1298)*, United States: ASTM.

Andrade, J., Prada, D. & Muniategui, S., 1995. Manual or Automatic Methods for Gravity Determinations in Heavy Petroleum Distillates? Structured Evaluation of Automation. *Laboratory Automation & Information Management*, 31(2), pp. 89-98.

AshrafurRahman, S., Van, T.C., Hossain, F.M., Jafari, M., Dowell, A., Islam, M.A., Nabi, M.N., Marchese, A.J., Tryner, J., Rainey, T., Ristovski, Z.D., & Brown, R.J., 2019. Fuel Properties and Emission Characteristics of Essential Oil Blends in a Compression Ignition Engine. *Fuel*, Volume 238, pp. 440-453.

Benjumea, P., Agudelo, J. & Agudelo, A., 2008. Basic Properties of Palm Oil Biodiesel-Diesel Blends. *Fuel*, 87(10-11), pp. 2069-2075.

Dunn, R. O., 2011. Fuel Properties of Biodiesel/Ultra-Low Sulfur Diesel (ULSD) Blends. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Volume 88, p. 1977-1987.

Fathurrahman, N. A., Wibowo, C.S., Bethari, S.A., Anggarani, R., Aisyah, L., & Maymuchar, M., 2021. The Influence of Outdoor Temperature and Storage Conditions on Stability of Biodiesel and Blends : Acidity and Hygroscopicity Behavior. *International Journal of Research in Engineering and Technology*.

Fathurrahman, N. A., Wibowo, C.S., Bethari, S.A., Anggarani, R., Aisyah, L., & Maymuchar, M., 2020. *Fuel Properties of Two Types High Speed Diesel Blending with Palm Oil Biodiesel in Indonesia*. Bogor, Indonesia, International Conference of Biomass and Bioenergy 2020.

Gülüm, M. & Bilgin, A., 2017. Measurements and Empirical Correlations in Predicting Biodiesel-Diesel Blends ' Viscosity and Density. *Fuel*, Volume 199, pp. 567-577.

Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., & Natarajan, M., 2012. Review of Biodiesel Composition, Properties, and Specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), pp. 143-169.

- NguyenThi , T. X., Bazile , J.-P. & Bessières, D.,** 2018. Density Measurements of Waste Cooking Oil Biodiesel and Diesel Blends Over Extended Pressure and Temperature Ranges. *Energies*, 11(5), p. 1212.
- Örs, İ., Sarikoc, S., Atabani, A.A., Unalan, S., & Akansu, S.O.,** 2018. The Effects on Performance, Combustion and Emission Characteristics of DICI Engine Fuelled with TiO₂ Nanoparticles Addition in Diesel/Biodiesel/n-Butanol Blends. *Fuel*, 234(177), p. 188.
- Paryanto, I., Prakoso, T., Susanto, H. B. & Gozan, M.,** 2019. The Effect of Outdoor Temperature Conditions and Monoglyceride Content on the Precipitate Formation of Biodiesel-Petrodiesel Blended Fuel (Bxx). *Evergreen*, 6(1), pp. 59-64.
- Pawar, R., Jagadale, K., Barade, V. & Gujar, P.,** 2018. A Comprehensive Review on Influence of Biodiesel and Additives on Performance and Emission of Diesel Engine. *Chemical Engineering Transactions*, Volume 65, pp. 451-456.
- Pham, M. T., Anh, T. L., Hoang, A. T. & Al Tawaha, A. R. M.,** 2018. Measurement and Prediction of the Density and Viscosity of Biodiesel Blends. *International Journal of Technology*, 9(5), p. 1015.
- Pratas, M. J., Freitas, S.V.D., Oliviera, M.B., Montiero, S.C., Lima, A.S., & Coutinho, J.A.P.,** 2011. Biodiesel Density: Experimental Measurements and Prediction Models. *Energy and Fuels*, 25(5), p. 2333–2340.