



PAPER – OPEN ACCESS

Uji Cold Start Ability Kendaraan Bermesin Diesel Berbahan Bakar B30 di Lingkungan Bertemperatur Rendah

Author : Ihwan Haryono dkk.,
DOI : 10.32734/ee.v4i1.1273
Electronic ISSN : 2654-704X
Print ISSN : 2654-7031

Volume 4 Issue 1 – 2021 TALENTA Conference Series: Energy and Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Uji *Cold Start Ability* Kendaraan Bermesin Diesel Berbahan Bakar B30 di Lingkungan Bertemperatur Rendah

Ihwan Haryono^a, Budi Rochmanto^a, Respatya Teguh S^a, Misbah Khuddin^a

^aBalai Teknologi Termodinamika, Motor dan Propulsi (BT2MP)
BT2MP-Bd. 233 kawasan PUSPIPTEK, Setu, Tangerang Selatan, Indonesia 15314

ihwan.haryono@bppt.go.id, budi.rochmanto@bppt.go.id, respatya.teguh@bppt.go.id, misbah.khudin@bppt.go.id

Abstrak

Keputusan implementasi penggunaan bahan bakar biodiesel B30 secara nasional telah melalui berbagai uji, salah satunya adalah uji mampu hidup kendaraan diesel berbahan bakar biodiesel sawit (B30) di lingkungan bertemperatur rendah mendekati titik bekunya (*cold start ability*). Tujuan dari uji ini adalah untuk melihat kemampuan kendaraan bermesin diesel dihidupkan pada lingkungan bertemperatur rendah dengan menggunakan bahan bakar biodiesel dan solar. Metode pengujian internal menggunakan 3 buah kendaraan ringan (*light duty*) berbahan bakar B30 dengan kandungan Monogliserida (B100) 0,55 % dan (B100) 0,4 % serta diesel murni (solar) sebagai pembanding. Sebagai acuan diambil data *hot start ability* dari kendaraan yang sama setelah dilakukan perawatan berkala (*service*) di lingkungan bertemperatur lebih tinggi sebagaimana temperatur lingkungan pada umumnya. Dari hasil uji dengan suhu lingkungan sampai dengan 3,0 – 15,7 °C menunjukkan lama waktu dihidupkan kendaraan 0,942 – 1,809 detik untuk kendaraan berbahan bakar diesel (B0), 0,896 – 1,962 detik untuk kendaraan berbahan bakar B30 dengan kandungan MG (B100) 0,4 % dan 0,885 – 1,906 detik untuk kendaraan berbahan bakar B30 dengan kandungan MG (B100) 0,55 %. Dari data tersebut menunjukkan kendaraan berbahan bakar B30 dapat dihidupkan secara normal pada lingkungan bertemperatur rendah dan tidak mengindikasikan perbedaan *start ability* yang nyata antara kendaraan berbahan bakar B30 dengan kendaraan berbahan bakar B0 (solar). Waktu *cold start ability* ini lebih lambat rata-rata 0,6 detik dibandingkan dengan *hot start ability*.

Kata Kunci: Biodiesel Sawit; Presipitasi; *Start Ability*; Monogliserida; Sifat Alir Temperatur Rendah

Abstract

The decision to implement the use of palm biodiesel, B30, (biodiesel 30%) nationally has passed through various tests, one of which is the test of the ability of diesel vehicle fueled by B30 to be turned on in a low temperature environment close to its pour point (*cold start ability*). The purpose of this study was to determine the ability of diesel engine vehicles in starting (turning on) in low temperature environments using biodiesel and diesel. Internal method used 3 light duty vehicles with B30 fuel with Mono-glyceride content of (B100) 0.55 % and (B100) 0.4 % and pure diesel (diesel) as a comparison. As a reference, hot start ability data taken from the same vehicle after serviced, carried out in an environment with a higher temperature as the ambient temperature in general. From the test results with ambient temperatures up to 3.0 - 15.7 °C, it shows that the vehicle starting time is 0.942 - 1.809 seconds for diesel fueled vehicles (B0), 0.896 - 1.962 seconds for B30 fueled vehicles with MG content (B100) 0.4 % and 0.885 - 1.906 seconds for vehicles fueled by B30 with a MG (B100) content of 0.55 %. From these data, it shows that vehicles with B30 fuel can be started normally in low temperature environments and do not indicate a significant difference in starting ability between B30-fueled vehicles and B0 (diesel) fueled vehicles. The cold start time of this ability is 0.6 seconds slower on average than the hot start ability.

Keywords: Palm Biodiesel; Precipitation; *Start Ability*; Mono-glycerides; Cold Flow Properties

1. Pendahuluan

Implementasi penggunaan B30 pada aplikasi mesin diesel secara nasional telah diputuskan pemerintah Indonesia dan dimulai sejak awal tahun 2020. Keputusan ini sesuai dengan kebijakan pemerintah tentang Program Pengembangan Energi Nasional melalui pemanfaatan bahan bakar nabati (biofuel) dan sejalan dengan *road map* pemanfaatan bahan bakar nabati (BBN) yang tertuang dalam mengeluarkan Peraturan Menteri ESDM No. 12 tahun 2015 [1]. Penggunaan B30 ini telah melalui serangkaian pengujian untuk memastikan bahwa bahan bakar biodiesel B30 tidak berpengaruh negatif pada mesin diesel. Salah satu yang telah dilakukan adalah pengujian mampu dihidupkan kendaraan bermesin diesel di lingkungan yang bertemperatur rendah mendekati titik bekunya (*cold start ability*).

Salah satu permasalahan yang ada pada campuran biodiesel adalah terjadinya pengentalan (presipitasi) jika mempunyai temperatur yang rendah. Semakin rendah temperatur dan semakin tinggi kandungan monogliserida maka semakin tinggi juga pembentukan presipitat biodiesel. Demikian juga semakin tinggi komposisi biodiesel dalam campuran biodiesel, serta semakin tinggi kandungan monogliserida biodiesel murni (B100) yang digunakan untuk campuran biodiesel, maka pembentukan presipitasi di lingkungan temperatur rendah juga semakin tinggi [2].

Bahan bakar akan membeku jika mencapai titik suhu bekunya yang disebut *pour point* (PP). Sebelum bahan bakar membeku, molekul dari rantai karbon bahan bakar membentuk kristal terlebih dahulu. Pertumbuhan kristal sampai dapat terlihat mata seperti awan ($\sim 0,5 \mu\text{m}$) disebut *cloud point* (CP). Kristal ini terus tumbuh dan menggumpal sehingga dapat menyumbat filter. Pengujian standar ASTM D6371 yaitu mendinginkan sejumlah sampel dan mengalirkan 20 mL sampel pada filter dengan kerapatan $45 \mu\text{m}$ pada tekanan vakum 2kPa. *Cold Filter Plugging Point* (CFPP) didefinisikan sebagai temperatur dimana sampel gagal melewati filter dalam 1 menit. Untuk wilayah Amerika Utara parameter ini menggunakan pengujian *Low-Temperature Flow Test* (LTFT). Nilai (CP, PP dan CFPP/LTFT) digunakan sebagai karakterisasi sifat mampu alir pada temperatur rendah dari biodiesel [3].

Untuk biodiesel yang berasal dari minyak kelapa sawit mempunyai sifat mampu alir bertemperatur rendah, lebih tinggi dibandingkan dengan kebanyakan biodiesel dari bahan baku lainnya. Sifat mampu alir temperatur rendah dari berbagai bahan baku biodiesel sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 1. Sifat mampu alir pada temperatur rendah ini dikhawatirkan akan menurunkan mampu dihidupkan (*start ability*) pada kendaraan atau terjadinya penyumbatan saringan bahan bakar (*filter blocking*).

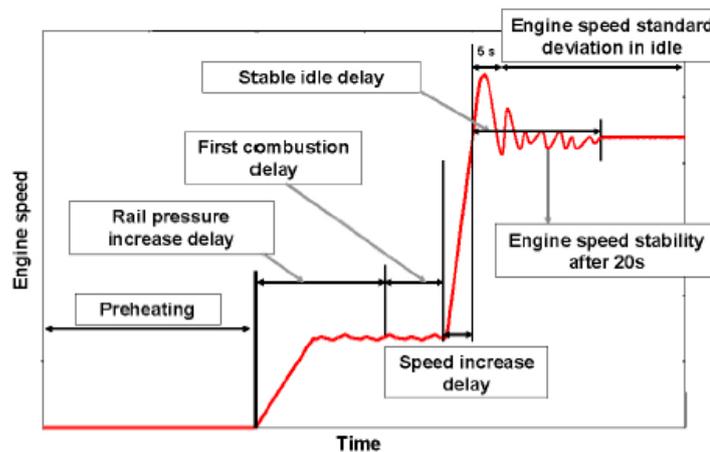
Tabel 1. Sifat mampu alir bertemperatur rendah berbagai jenis biodiesel [4]

JENIS FAME	CP (°C)	PP (°C)	CFPP (°C)
Canola (CaME)	-3	-12	-7
Jatropha (JME)	4	3	2
Lard (LME)	12	14	8
Palm (PME)	17	15	12
Rapeseed (RME), 49,8 % crucic acid	0	-15	-8
Rapeseed (RME), < 5 % crucic acid	-3	-9	-9
Soybean (SME)	1	1	-3
Tallow (TME)	13	13	8
Used cooking oil (UCOME)	9	-3	-6

Dari Tabel 1 terlihat bahwa biodiesel dari palm mempunyai titik beku (PP) sebesar $15 \text{ }^\circ\text{C}$, sementara untuk biodiesel Canola $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ dan untuk Rapeseed 49,8 % crucic acid sebesar $-15 \text{ }^\circ\text{C}$. Nilai PP dari palm biodiesel ini dipengaruhi oleh jumlah ikatan jenuh (saturated) fatty acid methyl ester (FAME). Untuk palm total FAME yang jenuh sebesar 48,2 % dibandingkan dengan canola dan rapeseed, masing-masing sebesar 5 % dan 11,2 %. Semakin tinggi kandungan rantai jenuhnya maka semakin tinggi PP dari biodiesel tersebut. Pada referensi lain, nilai CP, PP dan CFPP biodiesel dari bahan baku minyak sawit (palm) masing-masing $3,6 \text{ }^\circ\text{C}$, $-1,7 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Namun nilai-nilai tersebut lebih tinggi dari kebanyakan jenis biodiesel yang lain [5]. Sifat mampu alir pada kondisi dingin (*cold flow properties*) berpengaruh pada penyumbatan filter pada temperatur CP atau di atasnya [6].

Salah satu masalah utama yang terkait dengan penggunaan biodiesel adalah sifat mampu alir pada suhu rendah dengan adanya asam stearat dan palmitat dari metil ester biodiesel minyak sawit. Semakin panjang rantai karbon tidak jenuh dalam biodiesel, semakin buruk sifat mampu alir pada temperatur rendahnya. Sifat mampu alir pada suhu dingin yang jelek dari biodiesel akan menyebabkan tersumbatnya saluran bahan bakar, filter dan menyebabkan pemasukan bahan bakar di mesin kurang sehingga menyebabkan masalah pengapian. Dari masalah pengapian ini mengakibatkan pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna sehingga menimbulkan masalah *start* dan operasional pada mesin [7].

Unjuk kerja *start ability* pada kondisi dingin merupakan salah satu faktor penting dalam aplikasi penggunaan bahan bakar pada mesin diesel. Selain desain engine, pelumas mesin, sistem suplai dan properties bahan bakar berpengaruh pada *start ability* pada kondisi dingin [8]. Kinerja awal dari sebuah mesin diesel dievaluasi melalui tiga parameter yaitu waktu yang diperlukan untuk starting, stabilitas kecepatan engine setelah *starting* dan puncak opasitas (asap) dari emisi gas buang yang keluar dari knalpot [9]. Kriteria untuk menilai kualitas *cold start ability* sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1. Waktu starting adalah daerah dari awal *rail pressure increase delay* (akhir *preheating*) sampai dengan *speed increase delay* berakhir, yaitu saat kontak kendaraan mulai dinyalakan (*switch on*) sampai dengan kondisi idle tercapai yaitu waktu *stable idle delay* dan *engine speed stability*.

Gambar 1. Kriteria *cold start* [10]

Untuk memastikan sifat mampu dihidupkan kendaraan bermesin diesel pada temperatur rendah, telah dilakukan pengujian *cold start ability* pada 3 buah kendaraan penumpang bermesin diesel di Desa Sembungan Kec. Kejajar, Dieng, Jawa Tengah pada pertengahan bulan Agustus 2019. Pemilihan lokasi dan waktu pengujian dikarenakan lokasi ini merupakan desa tertinggi di Pulau Jawa dan mengalami masa dingin pada musim kemarau (sekitar Juli-Agustus).

Tujuan dari pengujian *start ability* ini adalah untuk memastikan kemampuan nyala *engine* kendaraan diesel pada temperatur rendah dengan menggunakan bahan bakar biodiesel (B30) dari sawit. Kemampuan hidup dari *engine* kendaraan tersebut dilihat dari waktu yang dibutuhkan saat pertama *motor starter* bekerja sampai *engine* menyala. Selain itu, dari perbandingan pengujian *start ability* untuk pemakaian biodiesel pada kandungan Monogliserida 0,55 % dan 0,4 % diharapkan mampu memberi rekomendasi pada pemilihan kandungan monogliserida yang tepat dan efektif dalam pengambilan kebijakan nasional terkait penggunaan biodiesel di Indonesia.

2. Metodologi Penelitian

Metode pengujian lapangan ini merupakan metode internal yang telah didiskusikan dengan pihak terkait dengan kajian ini dengan beberapa engineer serta teknisi dari beberapa produsen kendaraan nasional (ATPM). Referensi yang dapat digunakan pada pengujian ini adalah pengujian *cold start ability* yang dilakukan di laboratorium sebagaimana dipublikasikan pada referensi no [9], [10], [11].

2.1. Peralatan

Tiga buah kendaraan penumpang bermesin diesel dengan teknologi yang identik dimana mesin memiliki spesifikasi sistem injeksi common rail, 4 silinder dengan volume 2,399 mL, 16 valve system DOHC, torsi maks 349 Nm/1200-2800 rpm, dilengkapi *turbocharged intercooler*. Peralatan ukur suhu & RH mempergunakan merk Luxtron LM 8000 sedangkan pengukuran waktu memakai Stopwatch merk Seiko S502-4000. Pemeriksaan kondisi aki kendaraan menggunakan alat *battery checker* 490 A CCA untuk STD CCA dan 490 A EN untuk STD EN.

2.2. Bahan Bakar

Tiga jenis bahan bakar: Diesel murni (Solar), B30 yang dihasilkan dari pencampuran Solar dengan B100 dari minyak kelapa sawit dengan kandungan MG 0,4 % dan 0,5 %. Bahan bakar solar memenuhi spesifikasi dari Dirjend Migas [12] dan B100 memenuhi spesifikasi mutu nasional kecuali untuk kandungan monogliseridanya [13].

2.3. Jalannya Pengujian

Sebelum dilakukan uji, ketiga kendaraan dilakukan servis sebagaimana dilakukannya secara rutin tetapi tanpa penggantian filter bahan bakar. Tujuannya adalah supaya kotoran yang ada di filter masih sebagaimana kendaraan beroperasi secara umum. Setelah dilakukan servis kendaraan dijalankan (*running-in*) sejauh 150 km. Selesai run-in, kendaraan dilakukan uji *start ability* (*hot start*). Catat suhu dan waktu durasi start. Data ini dijadikan sebagai patokan untuk perbandingan kemampuan *cold start ability* setelah didiamkan dan temperatur bahan bakar kendaraan sesuai dengan temperatur lingkungannya.

Berikutnya mobil uji didiamkan (*soaking*) selama minimal 6 jam dan diteruskan dengan pengujian *start ability* dengan kondisi temperatur terendah, di sekitar pukul 3 pagi. Jika gagal dilakukan start, tunggu sampai temperatur naik setiap 1 °C, dan dilakukan tiap sehingga temperatur terendah tercapai.

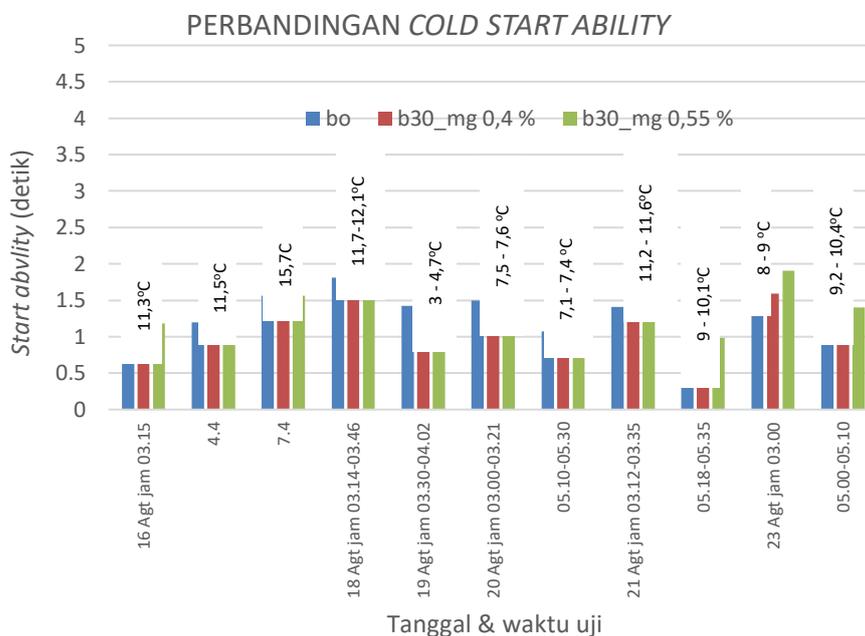
Uji *start ability* dilakukan melalui pengukuran waktu yang diperlukan untuk menghidupkan kendaraan dari saat pertama *motor starter* bekerja sampai engine menyala, dalam satuan detik, dengan menggunakan *time counter (stopwatch)*. Pengujian dilakukan minimal oleh 2 orang dimana salah satu orang bertugas menghidupkan kendaraan (*driver*), sedang yang lain mencatat waktu yang dibutuhkan dari saat kunci kontak kendaraan di “on” kan (dengan aba-aba dari *driver*) menggunakan *stopwatch* serta data kondisi lingkungan. Latihan sinkronisasi waktu diperlukan sebelum pengujian *start ability* sebenarnya dilakukan.

Sebelum pengujian, dipastikan bahwa kondisi battery masih bekerja dengan baik dengan menggunakan *battery checker*. Aturan ditetapkan yaitu engine harus bisa menyala dalam waktu ≤ 5 detik, jika tidak maka dilakukan pengulangan maksimal 3 kali. Kendaraan yang tidak dapat dihidupkan ≤ 5 detik lebih dari 3 kali dianggap gagal. Pengujian juga dilakukan 3 kali untuk menjaga keterulangannya. Nilai *start ability* diambil dari rata-rata data pengukuran.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian *start ability* pada kondisi kendaraan dingin (*cold start*) menunjukkan bahwa seluruh kendaraan uji dapat langsung dihidupkan (1 kali) dalam waktu kurang dari 5 detik pada 11 kali pengambilan data pada waktu yang berbeda, baik itu untuk kendaraan berbahan bakar Solar (B0), B30 dari campuran B100 dengan kandungan Monogliserida 0,4 % maupun B30 dari campuran B100 dengan kandungan Monogliserida 0,55 %. Dari hasil pengukuran yang ditampilkan dalam bentuk grafik pada gambar 2, dapat dilihat bahwa kondisi pengambilan data dalam hal ini temperatur lingkungan pada saat dilakukan *cold start ability* berada pada rata-rata 10,7 °C, dengan rentang temperatur minimal 3 °C dan maksimal 15,7 °C. Dikarenakan temperatur lingkungan yang mudah berubah-ubah maka pengujian dilakukan di sekitar pukul 03.00 - 05.00 WIB untuk mendapatkan temperatur yang paling rendah.

Tidak ada perbedaan waktu start yang signifikan pada ketiga kendaraan dengan bahan bakar yang berbeda tersebut. Demikian pula jika dilakukan perbandingan untuk perbedaan waktu *start ability* pada jam dan hari yang berbeda. Rata-rata waktu start untuk ketiga kendaraan tersebut untuk masing – masing kendaraan uji adalah kendaraan dengan bahan bakar B0 selama 1,33 detik, B30 (MG B100 = 0,4 %) selama 1,48 detik dan B30 (MG B100 = 0,55 %) selama 1,38 detik.



Gambar 2. Grafik perbandingan *start ability* (cold start) antara B0 dengan B30

Gambar 2 menunjukkan grafik perbandingan *start ability* antara B0 dengan B30 dari campuran B100 dengan kandungan Monogliserida 0,4 % dan 0,55 %. Perbedaan jeda waktu diantara kunci kendaraan dihidupkan (*on*) sampai kendaraan hidup (*nyala*) antara kendaraan berbahan bakar B0 dengan kedua B30 tidak tetap. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan B30 tidak berpengaruh pada kemampuan *start ability*nya. Perubahan temperatur lingkungan tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap *start ability*

kendaraan. Pada temperatur lingkungan terendah, seperti tanggal 19 Agustus 2020 yang menunjukkan temperatur 3 - 4,7 °C, kendaraan berbahan bakar B30 dapat dihidupkan lebih cepat di beberapa waktu dan temperatur lain.



(a) Suhu lingkungan 12,8 °C pukul 23.44 tgl 15/8/2019



(b) Temperatur 7,2 °C pukul 05.10 tanggal 20/8/2019

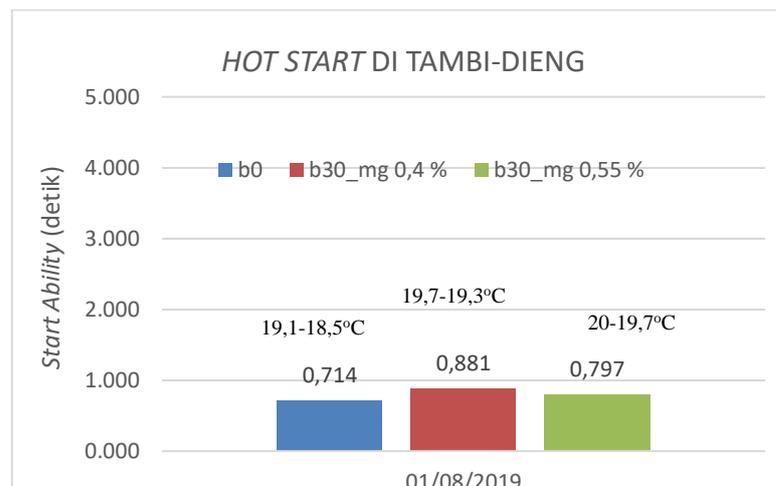
Gambar 3. Penampakan bahan bakar uji di temperatur lingkungan rendah

Kemampuan kendaraan dapat dihidupkan (*cold start*) dikarenakan masih ada sebagian bahan bakar berbentuk cair dan dengan disemprotkan ke ruang bakar dengan system injeksi bertekanan tinggi maka kendaraan dapat menyala dengan baik. Kondisi sebagian bahan bakar yang berbentuk awan (*cloud*) seperti ditunjukkan pada gambar 3 tidak mengurangi kemampuan start abilitynya.

Kemudahan start kendaraan berbahan bakar B30 dihasilkan dari nilai setana (*Cetane Number*) dari biodiesel yang tinggi [14]. Bahan bakar uji B30 juga dibuat dari minyak sawit (*palm*) sehingga mempunyai ikatan carbon jenuh yang lebih banyak dan nilai CN lebih tinggi dibanding jenis biodiesel lain. Nilai *cetane number* yang tinggi dari bahan bakar diesel menunjukkan kualitas pembakaran bahan bakar di ruang bakar. Semakin tinggi *Cetane Number* maka waktu yang dibutuhkan untuk menghidupkan kendaraan (*cranking time*) semakin cepat. Demikian juga semakin tinggi CN maka pembakaran semakin stabil, sehingga kendaraan kebisingan, getaran serta emisi gas buang semakin rendah [14][15].

Hasil pengujian *hot start ability* menunjukkan bahwa waktu *start ability* ketiga kendaraan < 1 detik. dan kendaraan berbahan bakar biodiesel (B30) sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan solar (B0), masing-masing dengan selisih 0,167 detik dan 0,083 detik (gambar 4). Jika dilakukan perbandingan hasil pengujian *cold start ability* (gambar 2) dengan kondisi temperatur rata-rata 10,7 °C, dengan kondisi *hot start* di lingkungan bertemperatur rata-rata 19,7 °C (gambar 4), terlihat jelas ada perbedaan waktu start pada kendaraan uji yang digunakan, baik itu untuk B0 (solar) maupun biodiesel (B30). Untuk waktu *cold start ability* lebih tinggi dibandingkan dengan waktu *hot start ability*.

Hot start ini dilakukan sesaat setelah kendaraan uji dilakukan *run-in*, dimana kendaraan dijalankan sejauh 150 km setelah dilakukan service rutin. Pada *cold start*, waktu start yang dibutuhkan lebih jika dibandingkan dengan waktu *hot start*. Rata-rata perbedaan yang terjadi untuk masing – masing uji adalah untuk kendaraan berbahan bakar B0 sebesar 0,616 detik, B30 (MG B100 = 0,4%) sebesar 0,599 detik dan B30 (MG B100 = 0,55%) sebesar 0,583 detik.



Gambar 4. Hot start ability B0 dan B30

Pengujian *hot start* dilakukan saat kondisi mesin diesel masih panas atau hangat. Dengan demikian bahan bakar yang ada di saluran bahan bakar (*fuel line*) mempunyai temperatur lebih tinggi dibanding dengan kondisi dingin. Temperatur bahan bakar

dipengaruhi oleh kondisi engine yang panas serta dari bahan bakar yang balik (*return*) sehingga tidak terjadi presipitasi dan viskositasnya lebih rendah. Biodiesel yang mempunyai temperatur lebih tinggi mengakibatkan viskositas lebih rendah [16]. Viskositas lebih rendah memudahkan untuk pengkabutan dan pembakaran pada mesin diesel [17].

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kendaraan bermesin diesel menggunakan B30 dapat dihidupkan dengan baik (*cold start ability*) dengan lingkungan bertemperatur rendah mendekati suhu titik bekunya. Bahan bakar B30 dari campuran diesel murni dan B100 dengan kandungan monogliserida 0,4 % dan 0,5 % tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Di lingkungan bertemperatur rendah 3 °C sampai dengan 15,7 °C, bahan bakar B30 mengalami presipitasi terlihat seperti awan (*cloud*) namun bahan bakar tersebut masih dapat diinjeksikan di ruang bakar dan mesin diesel dapat dihidupkan sebagaimana saat menggunakan bahan bakar diesel (Pertadex). Durasi waktu *start* rata-rata pada pengujian *start ability* pada ketiga kendaraan uji tersebut adalah kendaraan dengan bahan bakar B0 = 1,33 detik, B30 (MG B100 0,4 %) = 1,48 detik dan B30 (MG B100 0,55 %) = 1,38 detik.

Kemampuan *cold start ability* kendaraan diesel berbahan bakar B30 lebih rendah jika dibandingkan dengan kondisi mesin masih panas dan lingkungan lebih hangat (*hot start*), baik itu menggunakan bahan bakar diesel murni (Pertadex) maupun B30 dengan rata-rata 0,6 detik lebih lama.

Saran yang dapat diberikan yaitu perlu ditambahkan sensor putaran pada *crank shaft engine* dan dikonversi menjadi waktu untuk mendapatkan data yang lebih akurat. Selanjutnya dilakukan pengujian serupa untuk setiap penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar yang akan diterapkan di Indonesia, yaitu untuk setiap penerapan kandungan biodiesel (BXX) dan penetapan kandungan monogliserida yang akan digunakan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit Indonesia (BPDPKS), Asosiasi Produsen Biodiesel Indonesia (APROBI), PT. PERTAMINA yang telah mendanai dan mendukung studi ini dan Direktorat Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi - KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL (EBTKE-ESDM), perusahaan kereta api milik Indonesia (PT. KAI) yang telah mengkoordinasikan dan memfasilitasi studi ini. Juga kepada institusi atau orang lainnya yang berkontribusi pada kegiatan studi ini.

Referensi

- [1] Peraturan Menteri ESDM No. 12 tahun 2015 tentang Perubahan atas PerMen ESDM No. 32 tahun 2008 tentang penyediaan pemanfaatan & tata niaga bahan bakar nabati BIOFUEL
- [2] Paryanto, Imam, Tirto Prakoso, Bambang Heru Susanto, Misri Gozan. (2019) ""The Effect of Outdoor Temperature Conditions and Monoglyceride Content on the Precipitate Formation of Biodiesel-Petrodiesel Blended Fuel (BXX).” *Journal of Novel Carbon Resource Sciences and Green Asia Strategy* **6** (1): 59-64.
- [3] Edith, Odeigah, Rimfiel B. Janius, and Robiah Yunus. (2012) “Factors Affecting the Cold Flow Behaviour of Biodiesel and Methods for Improvement A Review.” *Pertanika Journal of Science and Technology* **20** (1): 1-14.
- [4] Dunn, Robert O. (2015) “Cold flow properties of biodiesel: a guide to getting an accurate analysis.” *Chemical Engineer Bio-Oils Research Unit*.
- [5] Folayan, Adewale Johnson, Paul Apeye Lucky Anawe, Adeyemi Emman Aladejare, Augustine Omoniyi Ayeni. (2019) “Experimental investigation of the effect of fatty acids configuration, chain length, branching and degree of unsaturation on biodiesel fuel properties obtained from lauric oils, high-oleic and high-linoleic vegetable oil biomass.” *Research Paper* **5**: 793–806.
- [6] The Coordinating Research Council. (2010) “Biodiesel Blend Low-Temperature Performance Validation.”
- [7] Dwivedi, Gaurav, dan M.P. Sharma. (2013) “Cold Flow Behaviour of Biodiesel-A Review.” *International Journal Of Renewable Energy Research* **3** (4)
- [8] Zöldy, Máté. (2019) “Investigation of Correlation Between Diesel Fuel Cold Operability and Standardized Cold Flow Properties.” *Periodica Polytechnica Transportation Engineering* **49** (2): 120–125.
- [9] Broatch, A., B. Tormos, P. Olmeda, R. Novella. (2014) “Impact of biodiesel fuel on cold starting of automotive direct injection diesel engines.” *Energy* **73**.
- [10] Starck, L., A. Faraj, H. Perrin, L. Forti, N. Jeuland and B. Walter. (2010) “Cold Start on Diesel Engines: Effect of Fuel Characteristics”.
- [11] Broatch, A., S. Ruiz, X. Margot, A. Gil. (2010) “Methodology to estimate the threshold in-cylinder temperature for self-ignition of fuel during cold start of Diesel engines.” *Energy*.
- [12] Spesifikasi bahan bakar minyak jenis Minyak Solar 48 menurut Surat Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 28.K/10/DJM.T/2016
- [13] Standar Nasional Indonesia untuk Biodiesel, SNI 7182: 2015
- [14] The Worldwide Fuel Charter. Fifth Edition. September 2013.
- [15] Alleman, Teresa L., and Robert L. McCormick., Earl D. Christensen, Gina Fioroni, and Kristi Moriarty, Janet Yanowitz. (2016) “Biodiesel Handling and Use Guide.” *Fifth Edition Departement of Energy*.
- [16] Kumbár, Vojtěch, dan Antonín Skřivánek. (2015) “Temperature Dependence Viscosity And Density Of Different Biodiesel Blends.” Department of Technology and Automobile Transport, Mendel University. Czech Republic.
- [17] Saxenaa, Parag, Sayali Jawale, Milind H Joshipura. (2013) “A review on prediction of properties of biodiesel and blends of biodiesel.” *Procedia Engineering* **51**: 395-402.