

**EFEK PENGGUNAAN ADITIF BIODISPERSAN
PADA BAHAN BAKAR BIOSOLAR (B-20) TERHADAP
KOMPONEN RUANG BAKAR MESIN DIESEL**

*(The Effect to Use of Biodispersant Additives on Biodiesel Fuel (B-20) to
Combustion Chamber Components of Diesel Engine)*

Emi Yuliarita

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"
Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan
Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

emiy@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I tanggal 23 April 2016; Diterima setelah perbaikan tanggal 3 Agustus 2016;
Disetujui terbit tanggal: 31 Agustus 2016.

ABSTRAK

Penambahan aditif berbasis nabati pada bahan bakar Biosolar (B-20) bertujuan untuk mengurangi deposit yang terjadi pada ruang bakar mesin terutama pada bagian kepala silinder. Aditif yang digunakan berasal dari minyak atsiri (campuran minyak sereh wangi, minyak cengkeh dan minyak nilam) dengan pertimbangan mudah didapatkan. Metode yang digunakan dalam pengukuran deposit komponen ruang bakar adalah merit rating yang mengacu pada metode CEC/M02-T70. Dimana nilai rating dari komponen mesin yang dievaluasi dinyatakan secara numeric dari 0 sampai 10. Nilai 10 menunjukkan tingkat kebersihan yang paling tinggi sedangkan nol menunjukkan tingkat kebersihan paling rendah. Hasil penelitian menunjukkan penambahan aditif biodispersan dalam B-20 sebanyak 2000ppm dapat menurunkan jumlah deposit pada bagian kepala silinder sebesar 3.5%. Efisiensi penurunan deposit yang signifikan akibat penambahan aditif tersebut dalam bahan bakar Biosolar B-20 terjadi pada bagian top piston yaitu 14,8%. Selanjutnya tingkat kebersihan yang diukur dalam indeks merit, juga menunjukkan penggunaan aditif biodispersan pada Biosolar (B-20) menghasilkan indeks merit yang lebih tinggi atau lebih bersih dibandingkan Biosolar (B-20) tanpa aditif.

Kata Kunci: biosolar, deposit, rating komponen mesin, keausan, aditif.

ABSTRACT

The addition of vegetable-based additives in fuels Biodiesel (B-20) aims to reduce deposit that occurs in the engine combustion chamber, especially on the top of the piston and the cylinder head. Additives used comes from essential oils (a mixture of citronella oil, clove oil and patchouli oil) with consideration easily obtained. The method used in the measurement of the deposit component of the combustion chamber is a merit rating that refers to the method CEC / M02-T70. Where the value of the rating of the engine components are evaluated stated numeric from 0 to 10. A score of 10 indicates the highest level of hygiene while zero indicates the lowest level of cleanliness. The results showed additive biodispersant in the B-20 as much as 20 ppm can reduce deposits by 3.5% in the cylinder head. the efficiency of the deposit with significant decline due to the addition of the additive in the fuel Biodiesel B-20 occurs at the top of the piston is 14.8%. The next level of cleanliness as measured in the merit index, also shows the use of additives biodispersant on Biodiesel (B-20) produces a higher index of merit or cleaner than Biodiesel (B-20) without additives.

Keywords: biodiesel, deposits, rating engine components, wear, additive.

I. PENDAHULUAN

Ketersediaan bahan bakar fosil yang diperkirakan akan habis dalam waktu tidak lebih dari 40 tahun (Y.Putrasari *et al.* 2016) dan permasalahan lingkungan khususnya emisi gas CO₂ yang disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil mendorong negara – negara di seluruh dunia mencari alternatif untuk memenuhi kebutuhan akan energi bahan bakar tersebut. Saat ini, banyak terdapat sumber energi pengganti bahan bakar fosil, yaitu *biofuel*, *geothermal*, *fuel cells*, nuklir, *gas fusions*, dan lain – lain (Y.Putrasari *et al.* 2016). Di antara sumber energi pengganti atau substitusi bahan bakar fosil tersebut, *biofuel* merupakan salah satu energi yang sangat berpotensi sebagai pengganti bahan bakar fosil (A.K.Azad *et al.* 2015), (J.Milano *et al.* 2016). Sumber utama *biofuel* adalah makanan dan tanaman sawit seperti tebu, gula bit, minyak sayur, dan lemak hewan (J.Milano *et al.* 2016). Keuntungan penggunaan *biofuel* sebagai energi alternatif antara lain dapat diperbaharui, ramah lingkungan, mudah terdegradasi, sangat berpotensi untuk mengurangi efek gas rumah kaca dan berada dalam jumlah melimpah di alam (Y.Putrasari *et al.* 2016). Di Indonesia, banyak dikembangkan penelitian mengenai *biofuel* khususnya biodiesel sebagai campuran minyak solar. Namun, penggunaan biodiesel masih belum optimal disebabkan karena beberapa hal. Salah satu masalah yang teridentifikasi pada pencampuran biodiesel ke dalam minyak solar adalah terjadinya peningkatan viskositas hasil pencampuran. Peningkatan viskositas ini akan berpengaruh negatif pada atomisasi penginjeksian bahan bakar pada mesin sehingga dapat menyebabkan terjadi pembakaran yang tidak sempurna pada mesin (S.Geacai *et al.* 2014), (M.Gülüm & A.Bilgin, 2016), (D.H.Qi *et al.* 2016), (O. M. Ali *et al.* 2016). Hal ini mengakibatkan turunnya daya mesin, meningkatnya pemakaian konsumsi bahan bakar serta karakteristik hasil pembakaran dapat menyebabkan peningkatan pembentukan deposit pada bagian piston (H.Wo *et al.* 2015). Pada umumnya deposit yang terbentuk berupa karbon yang bersifat sticking atau lengket. Sehingga lama kelamaan menyebabkan terjadinya tumpukan deposit yang berlebihan dan tidak terbakar dalam ruang bakar mesin.

Untuk mengatasi permasalahan diatas, salah satu solusi adalah dengan menambahkan aditif jenis dispersan yaitu suatu bahan yang ditambahkan kedalam bahan bakar minyak yang dapat meningkatkan kandungan oksigen

pada bahan bakar untuk meningkatkan efisiensi dan penggunaan bahan bakar sehingga dapat mengurangi pembentukan deposit (J.Cui *et al.* 2016).

Terdapat dua macam zat aditif yaitu zat aditif buatan (zat aditif sintesis) dan zat aditif yang berasal dari tumbuhan (bioaditif). Di Indonesia, bioaditif pada umumnya berasal dari tumbuhan yang mengandung minyak atsiri, misalnya minyak nilam, minyak cengkeh, minyak sereh wangi, minyak kayu putih, minyak kenanga, minyak lada dan minyak pala. Berdasarkan struktur senyawa penyusunnya, minyak atsiri memiliki rantai siklik dan rantai terbuka yang dapat menurunkan kekuatan ikatan antarmolekul penyusun solar sehingga proses pembakaran akan lebih efektif. Selain itu minyak atsiri juga dapat larut dalam minyak solar dan memiliki banyak atom oksigen yang dapat meningkatkan pembakaran bahan bakar dalam mesin (A.Kadarohman *et al.* 2008).

Penelitian yang dilakukan oleh (A.Butkus *et al.* 2016) melaporkan bahwa penambahan 5% *turpentine oil* sebagai aditif pada bahan bakar diesel berpengaruh positif pada performa mesin dan mengurangi emisi yang dihasilkan. Pramanik (K.Pramanik 2003) melaporkan bahwa campuran bahan bakar yang mengandung 50% *jatropha oil* dapat meningkatkan efisiensi termal pada mesin. (A.Kadarohman *et al.* 2008) dalam penelitiannya melaporkan bahwa *clove oil* memiliki performa yang lebih baik sebagai aditif dibandingkan dengan *turpentine oil* dalam hal peningkatan reaktivitas pembakaran.

Pada penelitian ini aditif yang digunakan adalah jenis dispersan dengan bahan baku berasal dari minyak atsiri yang berasal dari campuran minyak sereh wangi, minyak cengkeh dan minyak nilam dengan perbandingan terbesar adalah minyak sereh wangi. Minyak sereh wangi merupakan minyak atsiri yang diproduksi dari tanaman sereh wangi terutama bagian daun. Kandungan komponen utama minyak sereh wangi adalah sitronelal, sitronelol, geraniol dan ester dari geraniol dan sitronelol. *aldehyd, keton, oksida, lactone, terpene* dan sebagainya. Komponen utama penyusun minyak sereh wangi adalah Sitronelal dan Geraniol dengan rumus molekul C₁₀H₁₈O. Senyawa-senyawa tersebut merupakan senyawa monoterpen yang biasa dimanfaatkan sebagai senyawa dasar dalam industri manufaktur, produk-produk parfum dan farmasi. Keberadaan sitronelal di alam tidak tersebar secara luas. Pemilihan minyak atsiri sebagai bahan baku aditif didasarkan pada pertimbangan

bahwa bahan dasar nabati ini lebih menguntungkan dari sisi ketersediannya karena banyak tumbuh di wilayah Indonesia (Y.Putasari *et al.* 2016). Selain itu Struktur kimia monoterpen dari kandungan utama minyak serih wangi menjadi pertimbangan yang menguntungkan sebagai aditif karena tersusun atas karbon rantai lurus (A.Kadarohman *et al.* 2008).

II. BAHAN DAN METODE

A. BAHAN

Bahan bakar uji yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Minyak solar murni (B0), campuran 10% biodiesel dalam minyak solar (B10), campuran 20% biodiesel dalam minyak solar (B20) dan campuran 20% biodiesel dalam minyak solar (B20) di tambah aditif dispersan (campuran minyak serih wangi, minyak cengek dan minyak nilam)

B. METODE PENGUJIAN

a. Uji Sifat Fisika Kimia Bahan Bakar Uji

Uji sifat fisika kimia bahan bakar mengikuti prosedur uji standar (ASTM). Pengujian yang dilakukan meliputi pengukuran densitas (ASTM D-1298), visikositas(ASTM D445), titik nyala(ASTM D-93), CSC (ASTM D-130) dan angka setana(ASTM D-639).

b. Uji Rating Komponen Mesin

Uji rating komponen mesin dilakukan mengacu pada metode Merit rating CEC/M02-T70. Dimana nilai rating dari komponen mesin yang dievaluasi dinyatakan secara numerik mulai dari 0 sampai 10. Nilai 10 menunjukkan tingkat kebersihan yang paling tinggi sedangkan nilai 0 menunjukkan tingkkat kebersihan paling rendah. Selain merit rating juga dilakukan pengukuran keausan dari komponen menggunakan micrometer khusus. Pengukuran dilakukan sebelum dan setelah uji ketahanan.

Selisih yang diperoleh dari pengukuran diameter ini merupakan besar keausan yang terjadi pada komponen mesin. Untuk silinder liner pengukuran dilakukan pada masing-masing liner pada kedalaman 20mm, 50mm, 70mm pada masing-masing posisi diagonalnya. Titik-titik pengukuran mewakili bagian atas, tengah dan bawah dimana daerah tersebut merupakan daerah pergerakan ring piston dan piston silinder liner.

III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil uji sifat fisika kimia utama dari masing-masing bahan bakar (B-0, B10, B20) meliputi parameter ujidensitas, visikositas, titik nyala, CSC dan angka setanaditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin banyak persentase penambahan biodiesel dalam bahan bakar minyak solar semakin tinggi nilai angka setana. Hal ini disebabkan karena bahan bakar Biodiesel mempunyai angka setana yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 53-56, sehingga dapat menaikkan nilai angka setana dari bahan bakar campuran.

Selanjutnya untuk memilih bahan bakar uji B-20 yang di tambahkan aditif yang mempunyai kinerja optimum telah dilakukan formulasi aditif dari campuran minyak atsirih serih wangi, minyak cengek dan nilam pada perbandingan tertentu. Adapun hasil pengujian sifat fisika kimia dari bahan bakar B-20 yang sudah ditambahkan dengan 12 formula aditif yang di tampilkan pada tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa penambahan 12 variasi komposisi aditif pada bahan bakar Biosolar (B20) memberikan nilai viskositas yang bervariasi. Viskositas bahan bakar B20 yang paling kecil diperoleh dengan penambahan aditif (A12) sebanyak yaitu nilai viskositanya 3,628 cStdan angka setana tertinggi yakni sebesar 53.2. Semakin kecil nilai viskositas menunjukkan semakin berkurang kekentalan bahan bakar dalam arti semakin mudah suatu bahan bakar biosolar mengalami atomisasi saat berada di ruang bakar mesin sehingga akan memberikan

Tabel 1
Hasil Pengujian Sifat Fisika Kimia Biosolar.

Bahan Bakar	Distilasi T ₉₀ (°C)	Densitas (gr/cm ³)	Viskositas (cSt)	Titik Nyala (°C)	CSC	Cetane Number
B-0	361.0	0,8542	3,62	68	1a	48.7
B-10	355.5	0,8562	3.67	67	1a	50,2
B-20	350.5	0,8582	3.81	65	1a	52.2

Tabel 2
Hasil Uji Sifat-sifat Fisika Kimia B20 dengan Variasi Periasi Penambahan Aditif Dispersan.

Bahan Bakar	T90 (°C)	Density (gr/cm ³)	Viskositas (cSt)	Flash Point (°C)	CSC	Lubrisitas	Cetane Number
B-20	350.5	0,8582	3,81	65	1a	169	52.5
B-20 +A1	352.0	0,8582	3.653	70	1a	229	48.7
B-20 + A2	352.0	0,8582	3.647	70	1a	163	49.1
B-20 + A3	353.5	0,8582	3.683	71	1a	249	49.7
B-20 + A4	352.5	0,8582	3.631	70	1a	186	49.4
B-20 + A5	349.5	0,8582	3.671	70	1a	240	49.3
B-20 + A6	352.5	0,8582	3.638	70	1a	193	49.1
B-20 + A7	353.5	0,8582	3.676	71	1a	235	49.1
B-20 + A8	353.0	0,8582	3.635	70	1a	212	48.8
B-20 + A9	353.0	0,8582	3.682	70	1a	204	48.8
B-20 + A10	352.5	0,8582	3.662	71	1a	289	52.3
B-20 + A11	347.0	0,8582	3.675	72	1a	221	52.3
B-20 + A12	352.0	0,8582	3.628	71	1a	203	53.2

efek semakin sempurna reaksi pembakaran yang terjadi dalam ruang bakar mesin. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan nilai angka setana bahan bakar yang merupakan indikator dari sifat pembakaran suatu bahan bakar motor diesel (M.E.Tat 2015), (A. C.Limited 2014), (P.Mukhopadhyay & R.Chakraborty, 2015). Walaupun penurunan viskositasnya tidak signifikan tapi ini cukup berarti karena mampu memberikan nilai angka setana yang lebih baik dibandingkan jenis formula aditif yang lain. Oleh karena itu bahan bakar B20 yang di tambah aditif A12 yang diambil sebagai sampel uji untuk pengujian selanjutnya.

Pengujian Rating Komponen Mesin

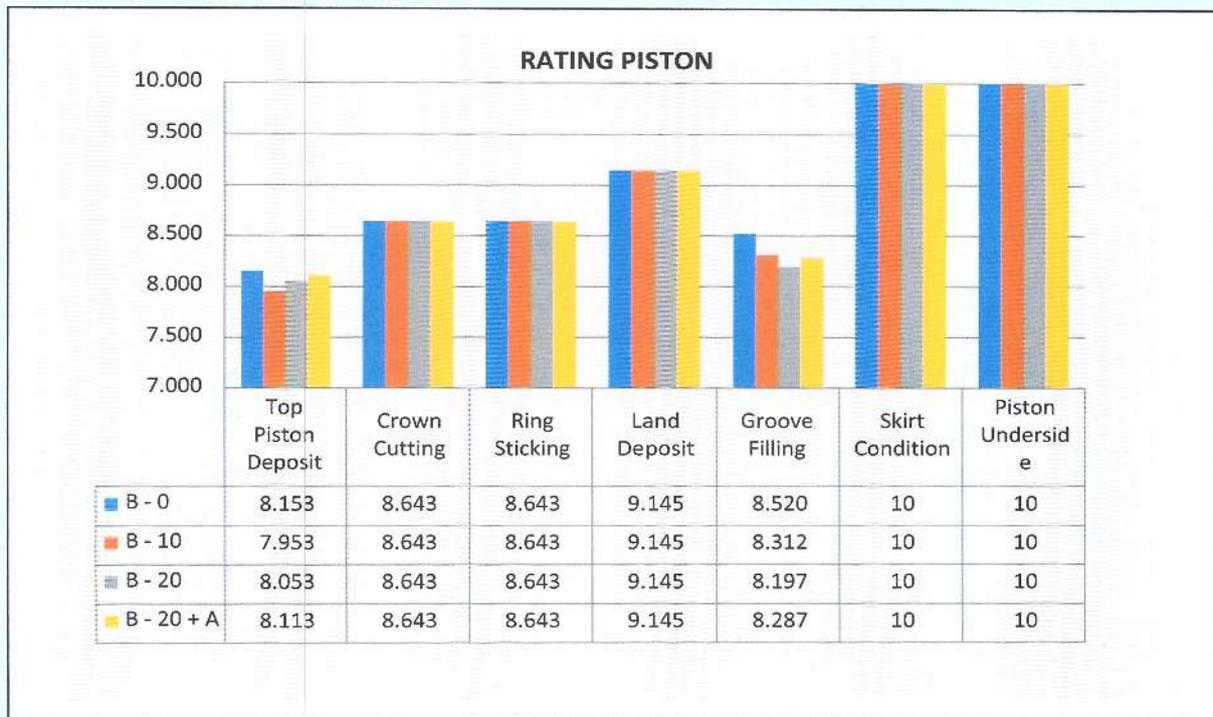
Rating komponen mesin dilakukan dua tahap yaitu sebelum dan sesudah uji ketahanan bahan bakar. Komponen utama mesin yang di uji terdiri dari piston dan kepala silinder. Pengujian rating komponen mesin dilakukan melalui penimbangan dan pengukuran komponen mesin yang bertujuan menggambarkan keausan komponen mesin yang saling bergesekan selama proses pengujian. Sedangkan deposit yang terbentuk memberikan gambaran pengaruh bahan bakar terhadap komponen mesin di ruang bakar. Semakin tinggi nilai rating yang diperoleh menunjukkan dampak penurunan deposit yang dihasilkan. Hal ini berkorelasi dengan berat deposit

setelah deposit ditimbang.

- Piston

Pengamatan terhadap piston mencakup deposit pada top piston (*top piston deposit*), kondisi kepala piston (*crown cutting*), kondisi ring piston (*ring sticking*), kondisi permukaan piston (*skirt condition*) dan sisi bawah piston (*piston underside*). Hasil rating piston dalam bentuk kecenderungan perubahan pembentukan deposit yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan semua bagian dari piston yang di rating memberikan nilai yang sama kecuali untuk top piston dan groove filling. Jadi bagian piston yang berpotensi menghasilkan deposit adalah top piston dan *groove filling*. Pada top piston dari 3 (tiga) jenis pemakaian bahan bakar Biosolar (B-10, B-20 dan B-20+A) yang dibandingkan terhadap minyak solar murni (B-0) deposit yang terbentuk sangat tipis, hanya berupa lapisan karbon hitam dengan ketebalan <0,005 mm dengan sebaran yang merata di semua bagian top piston. Deposit yang terbentuk dari pemakaian Biosolar B-20 lebih banyak dibandingkan pemakaian Biosolar B-20 di tambah aditif. Dimana deposit yang dihasilkan dari B-20 memberikan perbedaan hasil 1,24% lebih banyak terhadap B-0 sedangkan bahan bakar B-20 yang di tambah aditif hanya 0,5%. Sedangkan untuk



Gambar 1
Hasil Rating Piston.

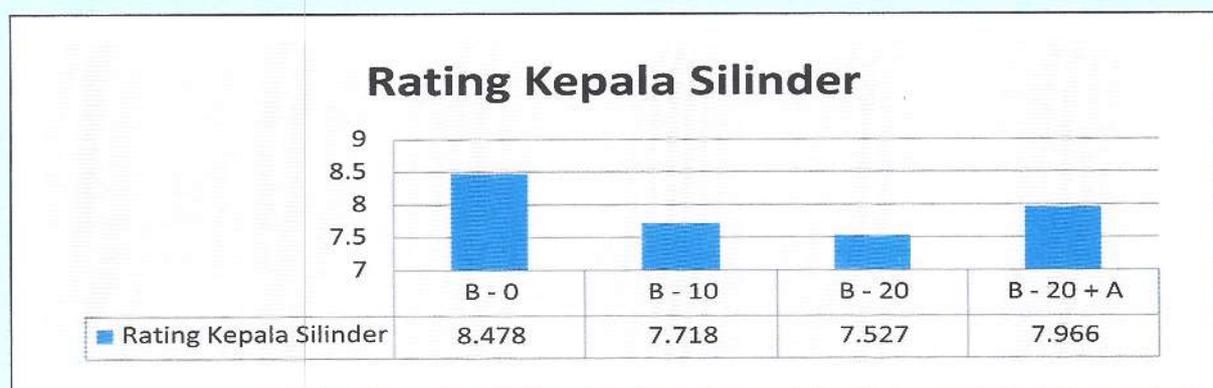
bahan bakar B-10 deposit yang dihasilkan mencapai 2,5%. Artinya dari ketiga bahan bakar Biosolar (B-10, B-20 dan B-20+Aditif) yang memberikan perbedaan hasil rating paling kecil terhadap bahan bakar solar murni (B-0) adalah bahan bakar B20+aditif. Jadi penambahan aditif biodispersan ke dalam bahan bakar Biosolar B-20 menyebabkan terjadinya pengurangan pembentukan deposit pada bagian top piston, dimana efisiensi pengurangan pembentukan deposit akibat penambahan aditif biodispersan pada bahan bakar B-20 dibandingkan dengan yang tidak di tambahkan aditif adalah sebesar 14,8%.

Bagian yang paling bersih dari piston adalah

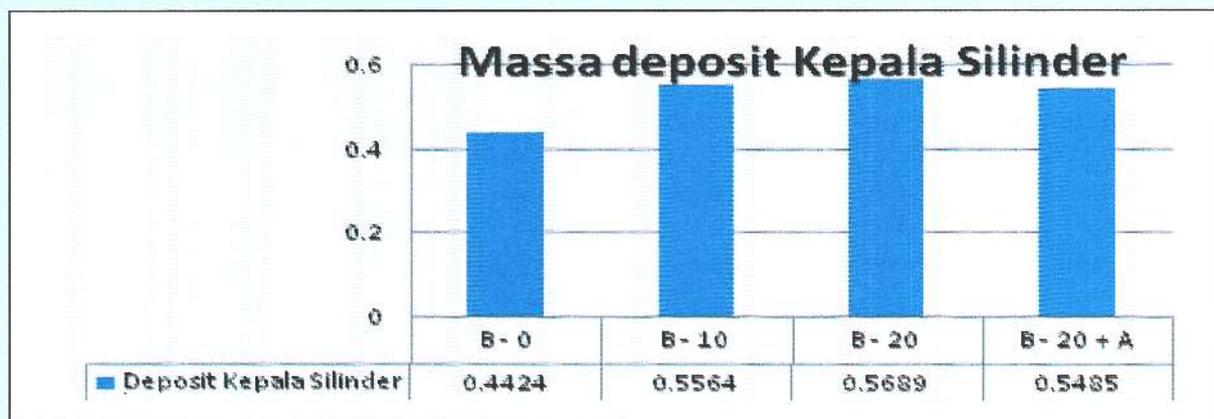
skirt dan piston underside dimana tidak ditemukan goresan atau scratch dan tidak terjadi perubahan warna varnish sehingga hasil rating memberikan nilai 10. Sedangkan pada bagian land deposit terdapat jejak karbon (trace carbon) yang sangat tipis yang dapat dilihat dari nilai rating yaitu 9,145 sudah mendekati angka 10. Perbedaan pembentukan deposit juga terjadi pada groove filling namun sangat kecil karena hanya berupa jejak karbon dengan efisiensinya 1.1%.

- Kepala Silinder

Kepala silinder termasuk ke dalam ruang bakar yang juga terkena dampak deposit dari sisa



Gambar 2
Grafik rating kepala silinder.



Gambar 3
Grafik deposit kepala silinder.

pembakaran. Deposit pada kepala silinder ini juga diamati sebagai pengaruh pemakaian bahan bakar yang digunakan selama running. Data hasil rating dan penimbangan berat deposit kepala silinder dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3.

Gambar 2 menunjukkan hasil rating pada kepala silinder dari 4 (empat) bahan bakar uji yang digunakan. Dari data hasil rating dan penimbangan berat deposit diperoleh nilai rating kepala silinder yang menggunakan bahan bakar B-0 paling tinggi diikuti B-20 ditambah aditif. Artinya B-0 memberikan efek paling bersih atau pemakaian bahan bakar B-0 memberikan efek pembentukan deposit paling rendah karena B0 tidak dicampur dengan Biodiesel setelah itu baru B-20 ditambah aditif.

Gambar 3 menunjukkan bahwa pemakaian aditif dispersan pada bahan bakar Biosolar B-20 cenderung mengurangi pembentukan deposit di kepala silinder mesin. Terlihat pada kepala silinder pembentukan deposit yang paling banyak terjadisaat pemakaian bahan bakar B-20 tanpa Aditif. Hal ini terlihat dari perbedaan hasil masa deposit yang dihasilkan dimana untuk bahan bakar B-20 tanpa aditif didapatkan efisiensi pembentukan deposit terhadap B-0 adalah sebesar 28%, sedangkan untuk bahan bakar B-20 yang di tabahkan aditif efisiensi pembentukan depositnya terhadap B0 sebesar 24%, dan bahan bakar B-10 sebesar 25%. Artinya Biosolar B-20 memberikan efek deposit lebih besar di kepala silinder dari pada Biosolar B-10, seiring dengan bertambah banyaknya jumlah Biodiesel dalam minyak Solar murni. Namun B-20 memberikan efek deposit lebih rendah atau hamper sama dengan B-10 setelah ditambahkan aditif dispesan sebesar 2000 ppm.

Efisiensi pengurangan pembentukan deposit pada kepala silinder akibat penambahan aditif biodispersan ke dalam Biosolar B-20 adalah sebesar 3,7% di bandingkan bahan bakar B-20 yang tidak di tambahkan aditif. Sehingga dapat disimpulkan pembentukan deposit pada kepala silinder berkurang seiring dengan penambahan aditif biodispersan dalam bahan bakar Biosolar tersebut. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian merit rating kepala silinder mesin (Gambar 2) dimana Biosolar B-20 yang di tambahkan aditif mempunyai nilai rating paling tinggi dibandingkan bahan bakar B-10 dan B-20. Korelasi antara nilai merit rating dan jumlah deposit adalah berbanding terbalik karena semakin besar nilai merit rating yang dihasilkan dari suatu komponen mesin maka tingkat kebersihan komponen mesin tersebut semakin tinggi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Peningkatan persentase Biodiesel dalam minyak Solar dapat meningkatkan pembentukan deposit pada komponen ruang bakar mesin seperti piston dan kepala silinder. Namun dengan penambahan aditif biodispersan pada bahan bakar Biosolar B-20 sebanyak 2000 ppm dapat mengurangi pembentukandepositterutama pada bagian top piston dan kepala silinder komponen ruang bakar mesin. Efisiensi pengurangan pembentukandeposit akibat penambahan aditif biodispersan ke dalam Biosolar (B-20) paling banyak terjadi pada bagian top piston yaitu 14.8%. Selain berat deposit tingkat kebersihan yang diukur dalam indeks merit juga menunjukkan penambahan aditif biodispersan pada bahan bakar B-20 menghasilkan indeks merit yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar B-10 dan B-20 tanpa

aditif. Sehingga bahan bakar B-20 yang ditambah aditif biodispersan menunjukkan tingkat kebersihan dari komponen mesin lebih tinggi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada anggota tim penelitian Laboratorium KP3 Aplikasi Produk Lemigas, Laboratorium Fisika/Kimia BBM, Laboratorium Unjuk Kerja khususnya Yogi Pramujito Cs yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan Rating komponen mesin sehingga terselesaikannya tulisan ini.

KEPUSTAKAAN

- Y. Putrasari, A. Praptijanto, W. Budi, and O. Lim, 2016. *Resources , policy , and research activities of biofuel in Indonesia : A review. Energy Reports*, vol. 2, pp. 237–245, 2016.
- A. K. Azad, M. G. Rasul, M. M. K. Khan, S. C. Sharma, and M. A. Hazrat, 2015. *Prospect of biofuels as an alternative transport fuel in Australia. Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 331–351.
- J. Milano, H. Chyuan, H. H. Masjuki, W. T. Chong, and M. Kee, 2016. *Microalgae biofuels as an alternative to fossil fuel for power generation. Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 58, pp. 180–197.
- S. Geacai, O. Iulian, and I. Nita, 2014. *Measurement ,correlation and prediction of biodiesel blends viscosity. FUEL*, no. November.
- M. Gülüm and A. Bilgin, 2016. *Two-term power models for estimating kinematic viscosities of different biodiesel-diesel fuel blends. Fuel Process. Technol.*, vol. 149, pp. 121–130.
- D. H. Qi, K. Yang, D. Zhang, B. Chen, K. Yang, D. Zhang, B. Chen, and A. Thermal, 2016. *Combustion and emission characteristics of diesel-tung oil-ethanol blended fuels used.*
- O. M. Ali, R. Mamat, N. R. Abdullah, and A. Adam, 2016. *Analysis of blended fuel properties and engine performance with palm biodiesel e diesel blended fuel. Renew. Energy*, vol. 86, pp. 59–67.
- H. Wo, K. D. Dearn, R. Song, E. Hu, Y. Xu, and X. Hu, 2015. *Tribology International Morphology, composition, and structure of carbon deposits from diesel and biomass oil / diesel blends on a pintle-type fuel injector nozzle. Tribology Int.*, vol. 91, pp. 189–196.
- J. Cui, S. Oberoi, S. Briggs, and I. Goldmints, 2016. *Tribology International A viscosity modi fi er solution to reconcile fuel economy and durability in diesel engines. Tribology Int.*, vol. 101, pp. 43–48.
- A. Butkus, S. Pukalskas, Z. Bogdanovičius, A. Butkus, S. Pukalskas, and Z. Bogdanovi, 2016. *The influence of turpentine additive on the ecological parameters of diesel engines*, vol. 4142, no. October.
- Pramanik, 2013. *Properties and use of jatropha curcas oil and diesel fuel blends in compression ignition engine*, vol. 28, pp. 239–248.
- A. Kadarohman, F. Khoerunisa, and R. M. Astuti, 2008. *Potency of clove oil and turpentine oil as a diesel fuel bioadditive and their performance on one cylinder engine*, vol. 2008, no. October, p. 18962.
- M. E. Tat, 2011. *Cetane number effect on the energetic and exergetic effi ciency of a diesel engine fuelled with biodiesel. Fuel Process. Technol.*, vol. 92, no. 7, pp. 1311–1321.
- A. C. Limited, 2014. *Advanced fuel additives for modern internal combustion engines 7.*
- P. Mukhopadhyay and R. Chakraborty, 2015. *Effects of Bioglycerol Based Fuel Additives on Diesel Fuel Property, Engine Performance and Emission Quality : A Review*, vol. 79. Elsevier B.V.,.