



Terakreditasi: SK No.: 66b/DIKTI/Kep/2011  
Terakreditasi: SK No.: 60/E/KPT/2016  
Website : <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/reaktor/>

Reaktor, Vol. 16 No. 3, September Tahun 2016, Hal. 116-122

## Efek Aditif LPM dan HPM terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)*) dan Emisi Jelaga Mesin Diesel Injeksi Langsung Berbahan Bakar Campuran Solar dan Jatropha dengan *Cold EGR (Exhaust Gas Recirculation)*

Syaiful<sup>1,\*</sup> dan Sobri<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto SH Tembalang Semarang  
Telp./Fax. (024)7460059

<sup>2)</sup>Program Studi Permesinan Perikanan, Sekolah Tinggi Perikanan, Jakarta  
Jl. AUP Pasar Minggu, Jakarta  
Telp./Fax. (021)7806874/(021)7805030

\*Penulis korespondensi : [syaiful.undip2011@gmail.com](mailto:syaiful.undip2011@gmail.com)

### Abstract

**EFFECT OF LPM AND HPM ADDITIVES ON BRAKE SPECIFIC CONSUMPTION (BSFC) AND SMOKE EMISSION OF DIRECT INJECTION DIESEL ENGINE FUELED BY DIESEL FUEL AND JATROPHA OIL BLEND WITH COLD EGR.** *Diesel engines have been widely used as a mode of public transport and private vehicles because of several advantages compared to gasoline engines including greater power, fuel economy, high reliability and durability of the engine and lower CO emissions. However, diesel engines release more NO<sub>x</sub> and soot emissions into the atmosphere. This is a serious problem with the strict regulations regarding exhaust emissions. Besides problems of depletion of fossil fuel reserves require various parties to seek alternative fuels derived diesel fuel. Therefore, this work is intended to reduce soot emissions by adding LPM (low purity methanol) or wet methanol and HPM (high purity methanol) into a mixture of jatropha and diesel fuels. From this research, it is also desirable to observe the effect of methanol additive to the specific fuel consumption. Experiment method was conducted to obtain the correlation between the percentage of methanol to a brake specific fuel consumption (BSFC) and soot emissions. Methanol (LPM and HPM) was varied in the range of 5 to 15% by volume. Jatropha is in the range of 10 to 30%. The rate of EGR (exhaust gas recirculation) expressed by OEV (opening EGR valve) was varied at the opening of 0 to 100%. Engine load was varied from 25 to 100% at intervals of 25%. The engine speed was kept constant of 2000 rpm. The results show that the use of fuel mixture increases evenly BSFC of 5.2% and soot emissions of 65%.*

**Keywords:** *BSFC; cold EGR and diesel engine; soot emissions; jatropha; LPM and HPM*

### Abstrak

*Mesin diesel telah banyak digunakan sebagai moda transportasi umum dan kendaraan pribadi oleh karena beberapa kelebihan dibandingkan dengan mesin bensin diantaranya daya yang lebih besar, hemat bahan bakar, kehandalan dan ketahanan mesin yang tinggi (high reliability and durability), dan emisi CO yang lebih rendah. Akan tetapi mesin diesel melepaskan lebih banyak emisi NO<sub>x</sub> dan jelaga ke atmosfer. Hal ini menjadi permasalahan serius dengan semakin ketatnya regulasi menyangkut emisi*

gas buang. Selain itu permasalahan menipisnya cadangan bahan bakar fosil menuntut berbagai pihak untuk mencari bahan bakar alternatif pengganti solar. Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud untuk mereduksi emisi jelaga dengan menambahkan LPM (low purity methanol) atau wet methanol dan HPM (high purity methanol) ke dalam campuran bahan bakar *jatropha* dan solar. Dari penelitian ini juga diinginkan untuk mengamati pengaruh aditif metanol terhadap konsumsi bahan bakar spesifik. Metode eksperimen dilakukan untuk mendapatkan keterkaitan antara prosentase metanol terhadap *brake specific fuel consumption* (BSFC) dan emisi jelaga. Metanol (LPM dan HPM) divariasikan pada rentang 5 sampai 15%. *Jatropha* adalah pada rentang 10 sampai 30%. Laju EGR (*exhaust gas recirculation*) yang dinyatakan oleh OEV (*opening EGR valve*) divariasikan pada bukaan 0 sampai 100%. Beban mesin divariasikan dari 25 sampai 100% dengan interval 25%. Putaran mesin dipertahankan konstan 2000 rpm. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar campuran rata-rata meningkatkan BSFC 5,2% dan menurunkan emisi jelaga sampai 65%.

**Kata kunci:** BSFC; cold EGR dan mesin diesel; emisi jelaga; *jatropha*; LPM dan HPM

**How to Cite This Article:** Syaiful dan Sobri, (2016), Efek Aditif LPM dan HPM Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC)) dan Emisi Jelaga Mesin Diesel Injeksi Langsung Berbahan Bakar Campuran Solar dan *Jatropha* dengan Cold EGR (*Exhaust Gas Recirculation*), Reaktor, 16(3), 116-122, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.16.3.116-122>

## PENDAHULUAN

Kepedulian terhadap lingkungan, peningkatan ketergantungan terhadap bahan bakar minyak dan penipisan cadangan sumber minyak bumi dari fosil telah mendorong penelitian-penelitian untuk menemukan bahan bakar alternatif. Banyak usaha melalui percobaan-percobaan dilakukan untuk mendapatkan bahan bakar dengan nilai efisiensi energi yang tinggi dan mengurangi emisi yang merusak lingkungan dengan tetap mempertahankan performa mesin.

*Jatropha* merupakan bahan bakar potensial pengganti solar karena beberapa kelebihan yang dimilikinya dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel lainnya. *Jatropha* adalah bahan bakar yang non-edible oleh karena bahan mentahnya tidak diperebutkan dengan manusia atau hewan. *Jatropha* memiliki sifat-sifat fisik mendekati bahan bakar solar. Krishna dkk. (2016) mengevaluasi secara eksperimen efek ruang bakar LHR (*low heating rejection*) dengan silinder dilapisi keramik terhadap performa dan emisi gas buang mesin diesel berbahan bakar alkohol dan CJO (*crude jatropha oil*). Perbaikan performa diperoleh pada campuran alkohol tertinggi. Penggunaan *jatropha* teresterifikasi sebagai bahan bakar mesin diesel digambarkan oleh Sharma dan Murugan (2013). Mereka juga meneliti efek penggunaan *jatropha methyl ester* (JME) dan *tyre pyrolysis oil* (TPO) terhadap ketahanan dari pelumasan (Sharma and Murugan, 2017). Studi tentang performa dan emisi dari mesin diesel berbahan bakar *jatropha* (JME) juga dilakukan oleh Chauhan dkk. (2012). Dari hasil penelitian mereka dapat disimpulkan bahwa biodiesel *jatropha* dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti solar. Rahman dkk. (2014) mempelajari efek *idling* terhadap performa dan emisi mesin diesel berbahan bakar campuran *jatropha* dan solar. Performa dan emisi mesin diesel berbahan bakar campuran *jatropha* dan solar dibandingkan dengan mesin diesel berbahan bakar campuran biodiesel lainnya dan solar dipelajari oleh Rashed dkk. (2016). Hasil kerjanya

memperlihatkan bahwa mesin diesel berbahan bakar campuran biodiesel meningkatkan konsumsi bahan bakar spesifik dibandingkan dengan mesin diesel berbahan bakar solar. Emisi CO dan HC yang dilepaskan dari mesin diesel berbahan bakar campuran biodiesel lebih rendah daripada mesin diesel berbahan bakar solar kecuali emisi NO<sub>x</sub>.

Metanol (CH<sub>3</sub>OH) dapat dipertimbangkan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bakar tambahan (aditif) untuk mesin diesel. Methanol juga mudah dalam penyimpanan, cara mendapatkan dan penanganannya. Blending methanol dengan bahan bakar fosil diketahui mempunyai pengaruh yang signifikan pada sifat bahan-bakar (*fuel properties*), proses pembakaran dan emisi yang dihasilkan (Imran dkk., 2013). Beberapa penelitian untuk mengetahui efek metanol terhadap performa dan emisi gas buang mesin diesel melalui berbagai metode telah banyak dilakukan. Kumar dkk. (2012) membandingkan pengaruh penggunaan methanol melalui metode *blending* dengan minyak *jatropha* dan dengan metode dual fuel. Sayin (2010) membandingkan pengaruh penggunaan methanol dan ethanol dalam campuran dengan bahan bakar diesel terhadap performa dan emisi dari mesin diesel. Hasil penelitiannya memperlihatkan bahwa emisi jelaga dapat diturunkan lebih banyak dengan menambahkan metanol dibandingkan dengan etanol oleh karena kandungan oksigen yang tinggi dalam methanol daripada ethanol. Metode *blending* merupakan metode paling sederhana dalam menambahkan methanol ke dalam ruang bakar mesin diesel karena metode ini tidak diperlukan modifikasi mesin. Syaiful dkk. (2013) meneliti pengaruh penggunaan *low purity* methanol (LPM) atau wet methanol yang mengandung 24,88% air sebagai bahan aditif bahan bakar solar dilengkapi dengan sistem EGR untuk mereduksi emisi jelaga yang diproduksi oleh mesin diesel. Selain itu campuran methanol dapat menggantikan (*replacing*) sejumlah bahan bakar solar. Sehingga dengan penggunaan methanol dalam jumlah tertentu berarti penghematan

bahan bakar diesel yang ramah lingkungan. Selain itu methanol dapat diperoleh dari sumber energi terbarukan yaitu dari biomass dan dari sumber tak terbarukan seperti *natural gas* dan *lignite coal* (Sayin, 2010).

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dibahas sebelumnya, penggunaan metanol sebagai aditif dari bahan bakar mesin diesel telah dilakukan. Akan tetapi, penggunaan aditif LPM atau *wet methanol* belum banyak dipelajari. *Wet methanol* diartikan sebagai metanol dengan kadar air tinggi berkisar 25%. Untuk diketahui, harga LPM dan HPM di pasaran terpaut jauh. Harga HPM diperkirakan 70 kali harga LPM. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efek aditif LPM dengan HPM terhadap konsumsi bahan bakar spesifik dan emisi jelaga dari mesin diesel berbahan bakar campuran jatropha dan solar pada lingkungan EGR dingin.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Peralatan

Di dalam penelitian ini, bahan bakar yang digunakan adalah campuran antara bahan bakar diesel (biosolar), minyak jarak (Jatropha) dan methanol dengan kemurnian 99% (HPM) dan *wet methanol* dengan kadar air 24,88% (LPM) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Karakteristik biosolar (solar) diperoleh dari PERTAMINA, jatropha dan LPM diperoleh dari Wahana Lab dan HPM diperoleh dari Lab. B2TE-BPPT. Angka setana (*cetane number*) merupakan suatu angka yang menyatakan kualitas pembakaran dari bahan bakar mesin diesel, yang diperlukan untuk mencegah terjadinya detonasi (*knocking*). Angka setana yang rendah akan menyebabkan sulitnya bahan bakar untuk terbakar sendiri (*auto-ignition*). Angka setana yang rendah menghasilkan lebih lamanya periode keterlambatan pembakaran (*ignition delay*) yang dapat menurunkan daya mesin dan naiknya polutan emisi gas buang (Abd-Alla, 2002). Prosentase volume minyak jarak adalah 10, 20 dan 30% sedangkan prosentase volume metanol (LPM dan HPM) yang diuji adalah 5, 10 dan 15% dari volume biosolar. Pengujian dilakukan pada sebuah mesin diesel injeksi langsung 4 silinder, *naturally aspirated* yang spesifikasinya diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Karakteristik bahan bakar dan aditif methanol

Karakteristik	Biosolar	Jatropha	HPM	LPM
Angka setana	48,0	41,8	4,8	3,3
Kadar air (%)	0,05	3,16	0,05	24,88
Viskositas kinematik pada suhu 40°C (mPa.s)	2,0-5,0	3,23	0,474	0,46
Nilai kalor (MJ/kg)	45,21	37,97	20,08	21,73
Titik nyala (°C)	60	198	13	10,7

Tabel 2. Spesifikasi tes mesin diesel

Uraian	Keterangan
Merek	Isuzu
Tipe	4BJ1
Jumlah silinder	4, vertical in-line, Direct Injection
Diameter silinder	93 mm
Panjang langkah	102 mm
Volume silinder total	2771 cc
Rasio kompresi	18,2 : 1
Torsi maksimum	178,96 Nm (pada 2000 rpm)
Daya maksimum	52,2 kW (pada 3000 rpm)

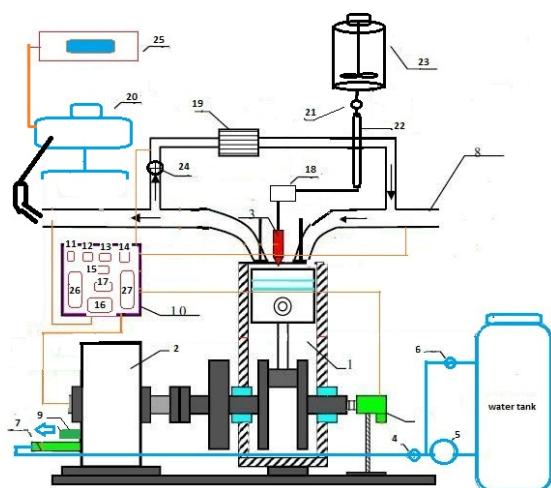
Untuk menghindari masalah pemisahan (*separation problem*) diantara ketiga bahan bakar tersebut, sebuah pengaduk (*mixer*) digunakan untuk menghasilkan campuran yang homogen dan dihubungkan dengan saluran masuk bahan bakar. Dynamometer hidrolik merek DYNOMITE Land and Sea digunakan untuk mengukur pembebanan sebuah mesin. Smoke meter tipe 495/01 buatan Italia digunakan untuk mengukur emisi jelaga dari gas buang mesin diesel. Resolusi yang dimiliki smoke meter ini adalah 0,1%. Termokopel tipe K dengan ketelitian 0,1°C digunakan untuk mengukur temperatur udara masuk ruang bakar dan temperatur gas buang. Sebuah tachometer untuk mengukur kecepatan putar mesin. Untuk mengukur laju aliran udara dan EGR digunakan *orifice plate* dan manometer pipa U. Laju bahan bakar diukur menggunakan buret.

### Prosedur Penelitian

Eksperimen dilakukan di Laboratorium Termofluida Departemen Teknik Mesin Universitas Diponegoro yang mana skema alat pengujian ditunjukkan pada Gambar 1. Campuran bahan bakar biosolar, jatropha, HPM dan LPM disiapkan sesuai dengan prosentase pengujian sebelum percobaan dimulai. Pengujian pertama dilakukan dengan mesin diesel berbahan bakar campuran biosolar, jatropha dan HPM. Sedangkan pengujian yang kedua mesin diesel berbahan bakar campuran biosolar, jatropha dan LPM.

Karena sifat polaritas methanol yang tinggi sehingga sulit bercampur dengan biosolar, maka sebuah mixer (23) digunakan untuk mendapatkan campuran bahan bakar yang homogen. Posisi *mixer* ditempatkan lebih tinggi daripada mesin sehingga campuran bahan bakar mengalir ke mesin berdasarkan prinsip gravitasi dan juga dibantu oleh sebuah pompa bahan bakar (*fuel feed pump*) yang terpasang pada mesin. Sebuah buret (21) dengan sebuah katup bahan bakar (22) dipakai untuk mengukur konsumsi bahan bakar, dimana setiap 30 ml dihitung waktunya melalui sebuah gelas ukur selanjutnya menuju pompa injeksi bahan bakar (18) dan disemprotkan oleh injector (3). Sebuah tachometer (17) digunakan untuk mengukur putaran mesin melalui sebuah *proximity sensor*. Untuk mengukur daya yang keluar digunakan dynamometer (2) merk Dynomite Land & Sea. Untuk mengukur torsi mesin, poros mesin dikopel dengan sebuah dynamometer yang dibebani dengan media air. Variasi pembebanan

mesin dilakukan melalui pembukaan katup aliran air (4) ke dynamometer sebesar 25, 50, 75 dan 100%. Air yang ditampung di dalam tanki air dialirkan oleh sebuah pompa (5) menuju saluran *inlet* (7) pada dynamometer dan langsung dibuang (tidak disirkulasikan) (9). Besarnya torsi yang timbul dibaca oleh sebuah *strain load sensor* yang terpasang pada lengan torsi di dynamometer akibat pembebanan dan ditampilkan pada *load display* (16). Percobaan dilakukan pada putaran mesin yang tetap yaitu 2000 rpm dengan variasi campuran bahan bakar. Sebagian gas buang yang disirkulasikan didinginkan oleh EGR cooler (19) dan saat pengambilan data temperaturnya dijaga pada temperature 30°C. Besarnya persentase EGR yang menuju saluran masuk (*intake manifold*) (8) untuk bercampur dengan udara segar diatur melalui variasi pembukaan katup input EGR (24) sebesar 0, 25, 50, 75 dan 100%. Pada setiap variasi dilakukan pengujian sebanyak 3 kali dan nilai ketidaktentuan data (*uncertainties data*) dalam persen diambil dari hasil pengujian.



- |                                      |                                 |
|--------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Mesin diesel                      | 18. Pompa bahan bakar           |
| 2. Dynamometer                       | 19. EGR cooler                  |
| 3. Injektor                          | 20. Smoke meter                 |
| 4,6. Katup air                       | 21. Katup bahan bakar           |
| 5. Pompa                             | 22. Burret                      |
| 7. Inlet air                         | 23. Ruang pencampur bahan bakar |
| 8. Inlet udara                       | 24. Katup EGR                   |
| 9. Outlet air                        | 25. Display smoke               |
| 10. Display temperatur dan manometer | 26. Manometer udara             |
| 11-15. Display temperatur            | 27. Manometer gas EGR           |
| 16. Display beban mesin              |                                 |
| 17. Display kecepatan mesin          |                                 |

Gambar 1. Skema alat pengujian mesin diesel injeksi langsung dengan EGR

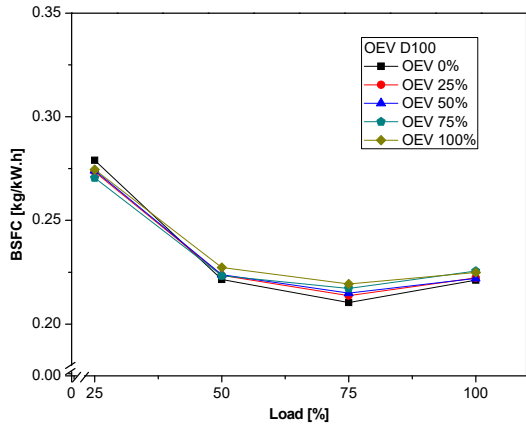
Untuk mengukur temperatur digunakan thermocouple tipe K yang dipasang pada *exhaust manifold*, *inlet* EGR, *outlet* EGR dan di *intake manifold* serta di blok mesin yang bersentuhan dengan air pendingin dimana hasil pengukuran ditunjukkan oleh thermokopel *display* (11-15). Untuk mengukur aliran

massa udara dan EGR digunakan *orifice* plat yang ditunjukkan oleh U manometer 1 (27) dan U manometer 2 (26) yang dipasang pada *intake manifold* dan pada saluran *input* EGR. Sedangkan untuk mengukur emisi gas buang yaitu emisi *smoke* digunakan *Smoke meter* OTC 495 (20) yang hasilnya ditunjukkan pada *display gas analyzer* Stargass 898 (25).

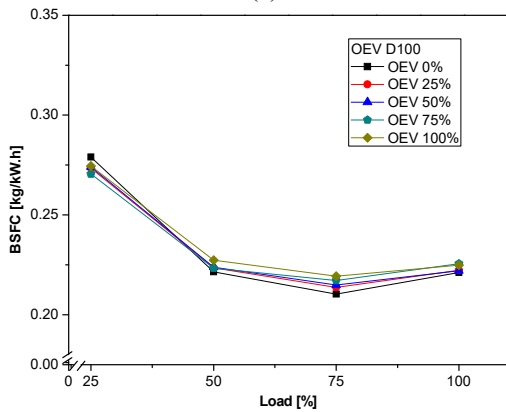
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 mengilustrasikan nilai BSFC dengan bahan bakar biosolar serta aditif LPM dan HPM 5 sampai 10% dengan bukaan EGR 0 sampai 100% pada berbagai variasi pembebanan. BSFC adalah nilai ekonomi dari bahan bakar dimana laju konsumsi bahan bakar dibandingkan dengan daya yang dihasilkan. Dalam eksperimen, *jatropha* divariasikan mulai dari 10 hingga 30%. Oleh karena kecenderungan yang serupa, nilai BSFC yang ditunjukkan pada Gambar 2 hanya untuk *jatropha* 10%. Dengan mengamati hasil yang ditunjukkan pada Gambar 2 (a), (b), (c) dan (d) diperoleh bahwa BSFC cenderung menurun dengan meningkatnya pembebanan (*Load*). Hal ini disebabkan kenaikan persentase daya mesin terhadap beban dibandingkan dengan konsumsi bahan bakar (Xue dkk., 2011). Pada pembebanan yang tinggi nilai BSFC mengalami kenaikan yang disebabkan kenaikan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan dan kandungan oksigen yang berkurang sehingga AFR (*air fuel ratio*) berubah dan mengakibatkan kenaikan BSFC (Husain dkk., 2012). Dari Gambar 2 juga teramati bahwa nilai BSFC meningkat seiring dengan kenaikan EGR rate. Hal ini disebabkan karena EGR akan merubah FAR (*fuel air ratio*) serta terjadinya efek pelemahan (*dilution effect*) akibat berkurangnya konsentrasi oksigen yang masuk kedalam silinder oleh sebagian gas buang yang disirkulasikan. Dengan berkurangnya konsentrasi oksigen, waktu pencampuran bahan bakar dan udara bertambah, sehingga mengurangi *burn rate* ketika pembakaran difusi dimulai. Akibatnya sulit untuk mencapai pembakaran stabil yang ditunjukkan dengan kenaikan BSFC (Qi dkk., 2011). Peningkatan BSFC akibat adanya EGR juga disetujui oleh Bose dan Maji (2009) dan Goma dkk. (2010). Pada mesin diesel berbahan bakar biosolar (D100), BSFC menurun dengan pemakaian EGR dibandingkan dengan tanpa EGR pada beban rendah. Kejadian ini juga terjadi pada penelitian yang dilakukan Agarwal dkk. (2011) dan Husain dkk. (2012). Penurunan BSFC tertinggi terjadi saat pembebanan 25% dengan OEV 75% sebesar 3,05% dibandingkan dengan tanpa EGR. Nilai BSFC terendah terjadi saat pembebanan 75% dengan tanpa EGR yaitu 0,2145 kg/kW.h. Sedangkan ketika menggunakan EGR, BSFC terendah terjadi saat OEV 25% sebesar 0,2138 kg/kW.h pada beban 75%.

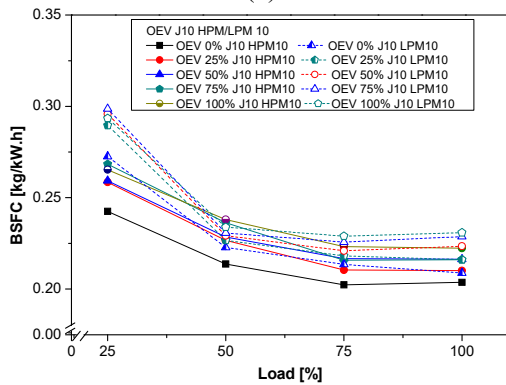
Hampir sama dengan D100, saat bahan bakar ditambah *jatropha* 10%, semakin besar OEV, nilai BSFC juga semakin meningkat. Besarnya peningkatan dan titik puncak BSFC dari masing-masing bahan bakar mempunyai nilai yang berbeda.



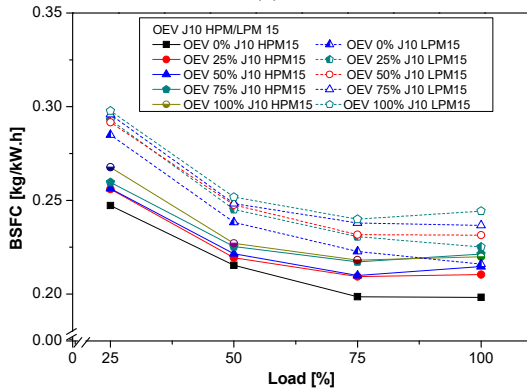
(a)



(b)



(c)



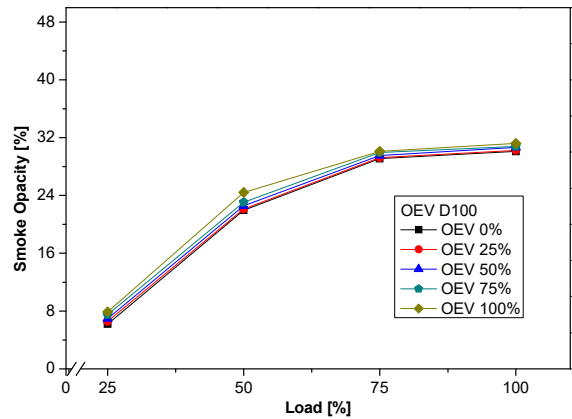
(d)

Gambar 2. Perbandingan nilai BSFC untuk berbagai variasi pembebanan (Load) pada laju EGR (OEV) berbeda dengan variasi aditif LPM dan HPM 5% sampai 15%

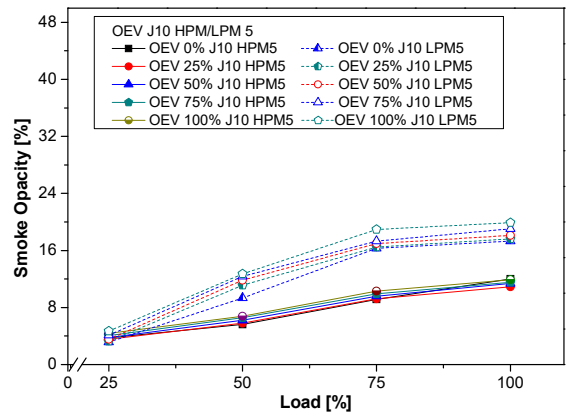
Dengan menggunakan LPM dimana kadar air pada methanol mendekati 25%, nilai BSFC meningkat dibandingkan dengan bahan bakar campuran dengan aditif HPM. Hal ini disebabkan angka setana LPM lebih rendah daripada HPM. Alasan lain juga dapat diperoleh dari Armas dkk. (2005).

### LPM dan HPM dengan Variasi EGR terhadap Emisi Jelaga

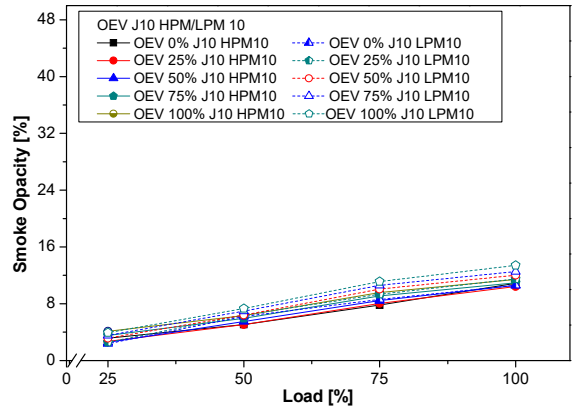
Emisi jelaga dapat diukur menggunakan *smoke meter* dimana besarnya dinyatakan oleh *smoke opacity*. Dalam hal ini, eksperimen dilakukan untuk mengetahui efek LPM dan HPM pada berbagai variasi laju EGR terhadap *smoke opacity*. Gambar 3 mengilustrasikan perbandingan *smoke opacity* dengan adanya aditif LPM dan HPM pada berbagai laju EGR.



(a)

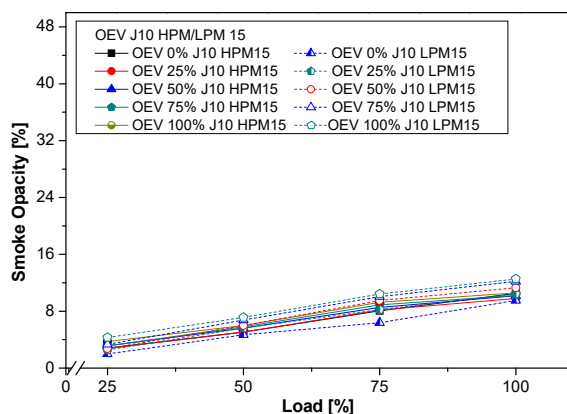


(b)



(c)





(d)

Gambar 3. Perbandingan *smoke opacity* untuk berbagai variasi pembebanan (Load) pada laju EGR (OEV) berbeda dengan variasi aditif LPM dan HPM 5% sampai 15%

Gambar 3 memperlihatkan bahwa *smoke opacity* meningkat seiring dengan meningkatnya beban mesin. Hal ini terjadi karena meningkatnya bahan bakar yang diinjeksikan ke ruang bakar dengan meningkatnya beban yang memungkinkan peningkatan karbon yang tidak teroksidasi karena pembakaran tidak sempurna (Syaiful dkk., 2013). Peningkatan *smoke opacity* karena beban juga terjadi pada penelitian Sayin (2010) dan Chauman dkk. (2012). *Smoke opacity* meningkat seiring dengan kenaikan EGR rate yang diakibatkan oleh berkurangnya konsentrasi oksigen di ruang bakar sehingga menurunkan oksidasi karbon yang mengakibatkan meningkatnya *smoke opacity* (Syaiful dkk., 2013) dan juga efek thermal oleh EGR (Qi dkk., 2011). Peningkatan *smoke opacity* akibat adanya EGR ini juga diketahui oleh Agarwal dkk. (2011) dan Husain dkk. (2012).

Gambar 3 (a) mempresentasikan pengaruh EGR terhadap *smoke opacity* pada mesin diesel dengan bahan bakar D100. Peningkatan OEV menyebabkan *smoke opacity* meningkat. Peningkatan *smoke opacity* tertinggi terjadi ketika OEV 100% pada beban 25% yaitu sebesar 26,99% dibandingkan dengan tanpa EGR. Sedangkan kenaikan *smoke opacity* terendah terjadi ketika OEV 25% pada beban 100% yaitu sebesar 0,46% dibandingkan dengan tanpa EGR. Nilai *smoke opacity* terendah terjadi ketika tanpa EGR dengan beban 25% yaitu sebesar 6,20%. Sedangkan ketika menggunakan EGR, nilai terendah adalah 6,57% terjadi ketika OEV 25% dengan beban 25%.

Dengan membandingkan penggunaan HPM dalam campuran bahan bakar dengan pemakaian LPM didapatkan nilai *smoke opacity* yang lebih rendah pada semua campuran bahan bakar seperti yang diekspresikan pada Gambar 3 (b-d). Pada kandungan jatropha 10%, pemakaian HPM5 dan HPM10 (lihat Gambar 3(b) dan (c)) menghasilkan penurunan rata-rata nilai *smoke opacity* sebesar 30,44% dan 8,47% dibandingkan LPM. HPM menghasilkan nilai *smoke opacity* yang lebih rendah dibandingkan dengan LPM. Hal ini disebabkan oleh tingginya kadar air di dalam

LPM. Pradeep dkk. (2007) juga mengamati bahwa kandungan air yang terlalu tinggi meningkatkan nilai *smoke* yang tinggi pada mesin diesel.

## KESIMPULAN

Berdasarkan kaji eksperimental yang dilakukan pada penelitian ini, pengaruh penambahan *High Purity Methanol* (HPM) dan *Low Purity Methanol* (LPM) serta cold EGR pada campuran bahan bakar diesel-jatropha terhadap variasi BSFC mesin dan emisi *smoke* mengakibatkan nilai BSFC untuk campuran bahan bakar dengan aditif LPM lebih tinggi dibandingkan dengan nilai BSFC dengan aditif HPM. Sedangkan emisi jelaga yang dinyatakan oleh *smoke opacity* lebih rendah untuk bahan bakar campuran dengan aditif HPM dibandingkan dengan campuran dengan aditif LPM.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abd-Alla, G.H., (2002), Using Exhaust Gas Recirculation in Internal Combustion Engine : A Review, *Energy conservation and Management*, 43, pp. 1027 - 1042.
- Agarwal, D., Singh, S.K., and Agarwal, A.K, (2011), Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on Performance, Deposits and Durability of Constant Speed Compression Ignition Engine, *Applied Energy*, 88, pp. 2900-2907.
- Armas, O., Ballesteros, R., Martos, F.J., and Agudelo, J.R., (2005), Characterization of Light Duty Diesel Engine Pollutant Emissions Using Water-Emulsified Fuel, *Fuel*, 84, pp. 1011-1018.
- Bose, P.K. and Maji, D., (2009), An Experimental Investigation on Engine Performance and Emissions of A Single Cylinder Diesel Engine Using Hydrogen as Induced Fuel and Diesel as Injected Fuel with Exhaust Gas Recirculation, *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, pp. 4847-4854.
- Husain, J., Palaniradja, K., Alagumurthi, N., and Manimaran, R., (2012), Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on Performance and Emission of A Compression Ignition Engine with Staged Combustion (Insertion of Unburned Hydrocarbon), *International Journal of Energy Engineering*, 2, pp. 285-292.
- Imran, A., Varman, M., Masjuki and Kalam, M.A., (2013), Review on Alcohol Fumigation on Diesel Engine: A Viable Alternative Dual Fuel Technology for Satisfactory Engine Performance and Reduction of Environment Concerning Emission, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, pp. 739-751.
- Krishna, M.V.S.M., Prakash, T.O., Ushasri, P., Janardhan, N., and Murthy, P.V.K., (2016), Experimental Investigations on Direct Injection Diesel Engine with Ceramic Coated Combustion Chamber

- with Carbureted Alcohols and Crude Jatropha Oil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, pp. 606-628.
- Kumar B.S., Chauhan, N., and Cho, H.M., (2012), A Study on the Performance and Emission of A Diesel Engine Fueled with Jatropha Biodiesel Oil and Its Blends, *Energy*, 37, pp. 616-622
- Pradeep, V. and Sharma, R.P., (2007), Use Hot EGR for NOx Control in A Compression Ignition Engine Fuelled with Bio-diesel from Jatropha Oil, *Renewable Energy*, 32, pp. 1136-1154
- Qi, D., Leick, M., Liu, Y., and Lee C.F., (2011), Effect of EGR and Injection Timing on Combustion and Emission Characteristic of Split Injection Strategy DI-Diesel Engine Fueled with Biodiesel, *Fuel*, 90, pp. 1884-1891.
- Rahman, S.M.A., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Abedin, M.J., Sanjid, A., and Imtenan, S., (2014), Effect of Idling on Fuel Consumption and Emissions of A Diesel Engine Fueled by Jatropha Biodiesel Blends, *Journal of Cleaner Production*, 69, pp. 208-215.
- Rashed, M.M., Kalam, M.A., Masjuki, H.H., Mofijur, M., Zulkifli, N.W.M., and Rasul, M.G., (2016), Performance and Emission Characteristics of A Diesel Engine Fueled with Palm, Jatropha, Moringa Oil Methyl Ester, *Industrial Crops and Products*, 79, pp. 70-76.
- Sayin, C., (2010), Engine Performance and Exhaust Gas Emission of Methanol and Ethanol-Diesel Blends, *Fuel*, 89, pp. 3410-3415
- Sharma, A. and Murugan, S., (2013), Investigation on the Behaviour of a DI Diesel Engine Fueled with Jatropha Methyl Ester (JME) and Tyre Pyrolysis Oil (TPO) Blends, *Fuel*, 108, pp. 699-708.
- Sharma, A. and Murugan, S., (2017), Durability Analysis of A single Cylinder DI Diesel Engine Operating with Anon-Petroleum Fuel, *Fuel*, 191, pp. 393-402.
- Syaiful, Stefan, M., Bae, M.W., and Kazuo, T., (2013), Effect of Exhaust Gas Recirculation on Smoke Emission in a Direct Injection (DI) Diesel Engine Fueled Diesel-Low Purity Methanol (LPM) Blends, *The Seventh international Symposium on Mechanics, Aerospace and Informatics Engineering (ISMAI)*, 07, pp. 147-151
- Xue J., Grift T.E., Hansen A.C., (2011), Effect of Biodiesel on Engine Performance and Emissions, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 91, pp. 1761-1767.