

PERFORMA DAN EMISI JELAGA DARI MESIN DIESEL PADA PUTARAN RENDAH DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR CAMPURAN BIOSOLAR DAN METANOL KADAR RENDAH

*Kurnia Uwais Alqorni Purwatama¹, Syaiful²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: nio.kurnia@gmail.com

Abstrak

Semakin meningkatnya penggunaan mesin diesel menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar diesel dan peningkatan emisi. Untuk mengurangi peningkatan emisi yang ditimbulkan mesin diesel, maka dilakukan penelitian tentang penggunaan metanol kadar rendah (LPM) sebagai campuran bahan bakar biosolar. Metanol kadar rendah (LPM) memiliki kandungan O₂ yang tinggi dan *cooling effect* dari kandungan air yang tinggi menyebabkan senyawa pembentuk *soot* menurun. Selain itu penggunaan metanol kadar rendah (LPM) juga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar mesin diesel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek penggunaan bahan bakar D100 dan D85LPM15 terhadap performa dan emisi mesin diesel. Penelitian ini menggunakan sebuah motor diesel 4 silinder, sebuah dynamometer dan sebuah Smokemeter. Motor diesel dilengkapi dengan *hot EGR (Exhaust Gas Recirculation)*. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan beban 25%, 50%, 75%, 100% dengan menggunakan variasi bukaan katub EGR 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dan dipertahankan pada putaran mesin konstan 1500 rpm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *brake power* dan *brake torque* menurun 0,90% ketika menggunakan bahan bakar D85LPM15. *Brake specific fuel consumption* dan *equivalence ratio* meningkat ketika menggunakan bahan bakar D85LPM15. *Volumetric efficiency*, *exhaust gas temperature* dan *smoke opacity* menurun masing – masing sebesar 0,62%, 1,30% dan 6,93% ketika menggunakan bahan bakar D85LPM15.

Kata Kunci: diesel, EGR, emisi, LPM, performa.

Abstract

Increasing use of diesel engines makes higher fuel consumptions and emissions. To reduce higher emission due to the use of diesel engines, a research on the use of fuel mixtures between low purity methanol (LPM) and biodiesel was conducted. Low purity methanol (LPM) have high oxygen content and cooling effect from higher water content so influence compound of soot formation decrease. Furthermore, using methanol can decrease fuel consumption in diesel engine. The aim of this study was to find using effect of pure diesel and the blends of diesel with D85LPM15 fuel on performance and emission of diesel engine. This research used a 4-cylinder diesel engine, a dynamometer and a smoke meter. The diesel engine was equipped by hot EGR. The Experiment varied with load start from 25%, 50%, 75%, 100% with variation of opening EGR valve start from 0%, 25%, 50%, 75%, 100% and keep at 1500 rpm. This experiment results showed that brake power and brake torque decreased by 0.90% when using D85LPM15 fuel. Brake specific fuel consumption and equivalence ratio increased when using D85LPM15 fuel. Volumetric efficiency, exhaust gas temperature and smoke opacity decreases respectively were 0.62%, 1.30% and 6.93% when using D85LPM15 fuel.

Keywords: Diesel, EGR, LPM, Performance, Soot.

1. PENDAHULUAN

Mesin diesel telah dikenal sebagai jenis motor bakar yang mempunyai efisiensi tinggi. Saat ini, penggunaan mesin diesel antara lain untuk angkutan berat, traktor, dsb. Salah satu keunggulan mesin diesel terletak pada sistem pembakarannya, yaitu menggunakan *compression-ignition* yang tidak memerlukan busi. Sistem ini memungkinkan tercapainya tekanan awal yang tinggi sebelum terjadi proses pembakaran. Hal ini akan meningkatkan *thermal-efficiency* dibandingkan sistem yang lain. Keunggulan yang lain dari mesin diesel adalah fleksibilitas jenis bahan bakar yang bisa digunakan karena pembakaran yang terjadi tidak memerlukan pengontrolan bunga api.

Disamping beberapa keunggulan di atas, mesin diesel juga memiliki masalah yang berhubungan dengan pencemaran udara yaitu emisi jelaga (*soot*) dan *Nitrogen Oxide (NO_x)*. Emisi jelaga merupakan masalah utama mesin diesel. Jelaga terbentuk karena adanya CO₂ pada temperatur tinggi lebih dari 1500 K dengan kondisi kekurangan

oksigen. Partikel-partikel jelaga mengental dan menyerap senyawa-senyawa lain. Akibatnya adalah konsumsi bahan bakar yang tinggi. Emisi jelaga meningkat secara drastis dengan penambahan CO₂, tetapi partikel *nanostructure* (molekul PAH/*Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* dan *morphology*) mengalami sedikit perubahan. Sementara CO₂ meningkatkan massa jelaga melalui serangan radikal OH pada daerah oksidasi, produk pembakaran lain (H₂O) menghambat reaksi pertumbuhan molekul PAH pada pembakaran kaya bahan bakar. Disamping itu, meningkatnya konsentrasi H₂O menyebabkan konsentrasi A4R5 menurun secara eksponensial. Seperti kita ketahui bahwa adanya molekul PAH dan A4R5 menandakan terbentuknya emisi jelaga. Emisi jelaga memberikan efek buruk bagi kesehatan antara lain pemicu hipertensi, penyebab iritasi mata, penurunan kecerdasan, tenggorokan gatal dan batuk-batuk. Menurut peraturan perundang-undangan Menteri Lingkungan Hidup No.4 Tahun 2009 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru, maka perlu adanya upaya untuk mereduksi emisi kendaraan bermotor. Salah satu upaya yang digunakan yaitu dengan memodifikasi mesin dan sistem pembakarannya.

Ketersediaan cadangan minyak bumi di perut bumi yang semakin menipis menyebabkan ketersediaan diesel sebagai bahan bakar fosil ikut menipis. Oleh karena itu, alternatif bahan bakar pengganti diesel perlu dipikirkan lebih lanjut. Hal inilah yang menjadi acuan ditelitinya pengaruh campuran bahan bakar biosolar dan metanol kadar rendah terhadap performa dan emisi mesin diesel. Untuk itu dilakukan penelitian terhadap penggunaan metanol sebagai campuran bahan bakar mesin diesel. Methanol digunakan sebagai aditif campuran bahan bakar yang dapat menghasilkan oksigen dan meningkatkan panas penguapan serta dapat mereduksi jumlah NO_x dan PM (*Particular Matter*). Penggunaan metanol memiliki keuntungan antara lain rendah viskositas sehingga dapat dengan mudah diinjeksikan, dikabutkan dan dicampur dengan udara, rendah emisi karena tingginya rasio stokiometri udara dan bahan bakar, serta dapat meningkatkan efisiensi termal mesin.

EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) merupakan salah satu metode yang dapat mengurangi emisi gas buang sekaligus meningkatkan efisiensi bahan bakar. Prinsip kerja dari EGR adalah dengan mensirkulasikan aliran gas buang kembali ke dalam *engine*. Temperatur gas buang yang akan masuk kembali ke *engine* dapat disesuaikan dengan menempatkan *heater* (*Hot EGR*) atau *cooler* (*Cold EGR*) atau kombinasi keduanya EGR pada sisi *intake manifold*. Penggunaan EGR dapat diterapkan pada mesin diesel maupun mesin bensin.

Pada penelitian ini digunakan *Hot EGR* dengan campuran bahan bakar biosolar dan metanol kadar rendah. *Hot EGR* berfungsi untuk mereduksi nilai NO_x sedangkan campuran metanol digunakan untuk menurunkan prosentase PM (*Particullar Matter*). Adapun tujuan yang ingin diperoleh pada penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan variasi campuran bahan bakar biosolar dan metanol kadar rendah terhadap performa dan emisi jelaga dari mesin diesel dengan menggunakan *Hot EGR*, antara lain:

- Nilai *Brake Power*.
- Nilai *Brake Torque*.
- Nilai BSFC.
- Nilai *Equivalence Ratio*.
- Nilai *Volumetric Efficiency*.
- Nilai *Exhaust Gas Temperature*.
- Nilai *Brake Thermal Efficiency*.
- Nilai *Smoke Opacity*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

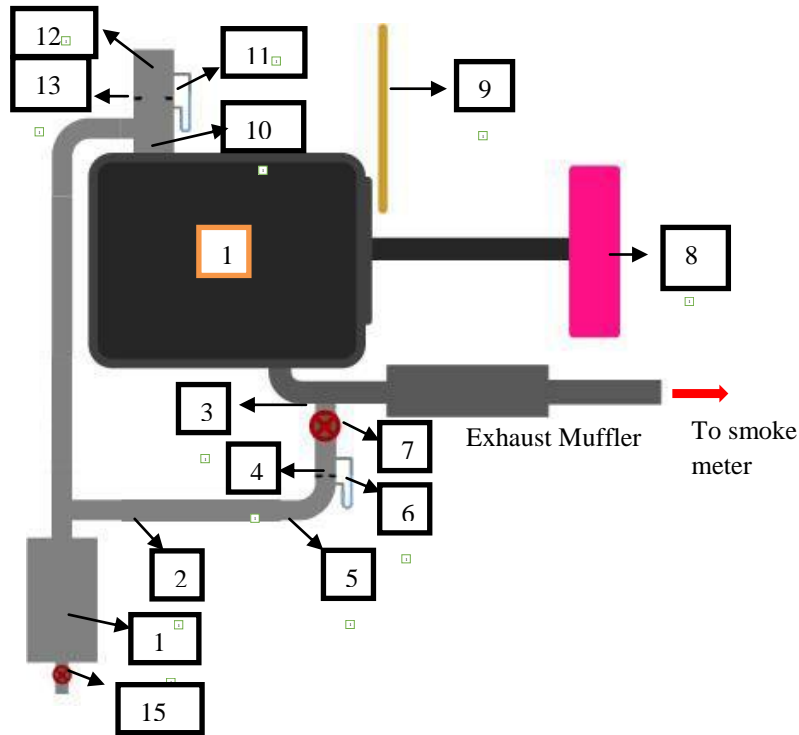
Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah biosolar dan metanol. Bahan bakar biosolar diproduksi oleh PT. Pertamina, Tbk. Variasi campuran bahan bakar pada penelitian ini adalah biosolar 100% (D100) dan biosolar 85% metanol 15% (D85LPM15). Pencampuran bahan bakar dipersiapkan sebelum dimulainya eksperimen untuk memastikan bahwa campuran tersebut homogen. Sebuah pengaduk digunakan saat pencampuran bahan bakar tersebut.

Pengujian dilakukan dengan mesin diesel injeksi langsung 4 silinder yang spesifikasinya dijelaskan pada table 1. Setiap variasi campuran bahan bakar akan dilakukan pengujian dengan putaran mesin konstan 1500 rpm dengan variasi beban 25% sampai 100% dengan interval 25%. Pengujian ini juga akan diberikan EGR dengan variasi bukaan dari 0% hingga 100%. Sebuah dynamometer merk dynamite Land & Sea digunakan untuk mengukur daya mesin yang nantinya akan digunakan untuk menghitung efisiensi thermal.

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Diesel

Spesifikasi	Uraian
Type Motor	Diesel, OHV, vertical in line, Direct Injection, 4JB1
Jumlah Silinder	4 silinder
Diameter Langkah	93 mm x 102 mm
Volume Silinder	2771 cc
Daya Maksimum	70 / 3000 (HP/rpm)
Torsi Maksimum	132/2000 (lb.ft/rpm)
Rasio Kompresi	18,2 : 1

Peralatan percobaan disusun seperti pada Gambar 1. Campuran bahan bakar yang telah dipersiapkan sesuai dengan persentase campurannya dialirkan ke mesin diesel. Kemudian aliran bahan bakar diukur untuk mengetahui konsumsi bahan bakar tersebut. Saat mesin diesel bekerja, pembebanan dilakukan dengan beberapa variasi beban yang diukur dengan menggunakan dynamometer. Hal ini dilakukan dalam rangka untuk mengukur torsi dan daya pengereman. Pada knalpot (*exhaust*) yang telah dihubungkan dengan EGR juga diatur variasi valve menuju EGR nya.



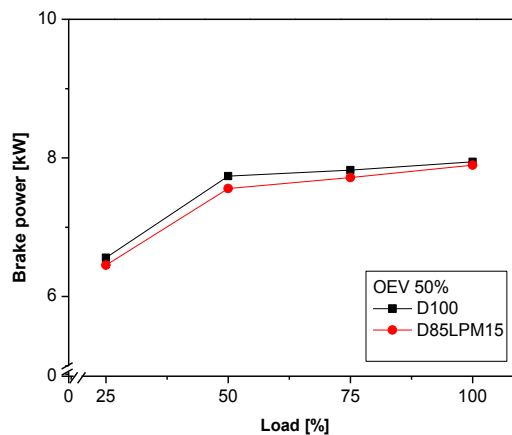
Gambar 1. Skema alat uji.

Keterangan:

- 1. Mesin diesel
- 2. Termokopel T3
- 3. Termokopel T1
- 4. EGR orifice
- 5. Termokopel T2
- 6. Manometer EGR
- 7. Katup EGR

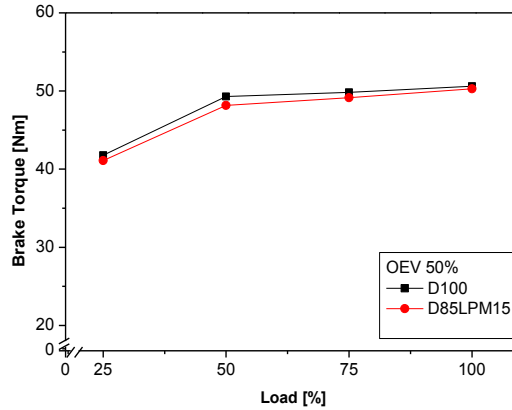
- 8. Dinamometer
- 9. Buret
- 10. Termokopel T4
- 11. Manometer intake
- 12. Termokopel T5
- 13. Intake orifice
- 14. Penampung
- 15. Katup

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

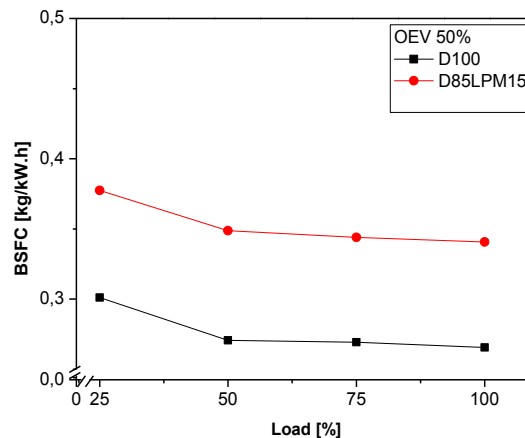


Gambar 2. Pengaruh campuran bahan bakar terhadap *brake power* dengan variasi beban menggunakan bukaan katup EGR 50%.

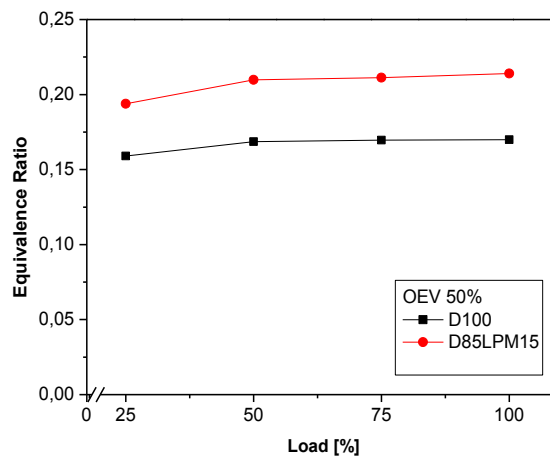
Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen murni yang bertujuan untuk mencari pengaruh penggunaan variasi campuran bahan bakar biosolar dan metanol kadar rendah terhadap performa dan emisi jelaga dari mesin diesel dengan menggunakan *Hot* EGR. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida Teknik Mesin, Universitas diponegoro, Semarang. Hasil pengujian dari bahan bakar biosolar murni (D100) dan campuran bahan bakar biosolar 85% metanol 15% (D85LPM15) dengan bukaan katub EGR 50% masing-masing dipresentasikan pada Gambar 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 dan 9.



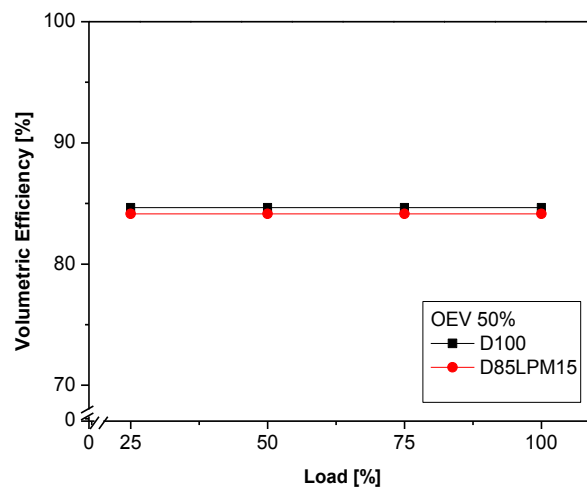
Gambar 3. Pengaruh campuran bahan bakar terhadap *brake torque* dengan variasi beban menggunakan bukaan katub EGR 50%.



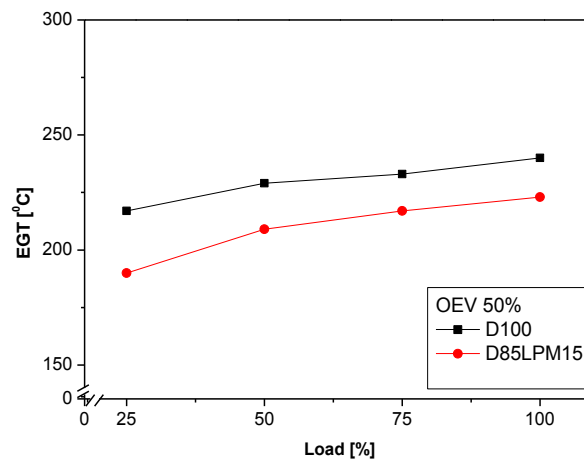
Gambar 4. Pengaruh campuran bahan bakar terhadap *brake specific fuel consumption* dengan variasi beban menggunakan bukaan katub EGR 50%.



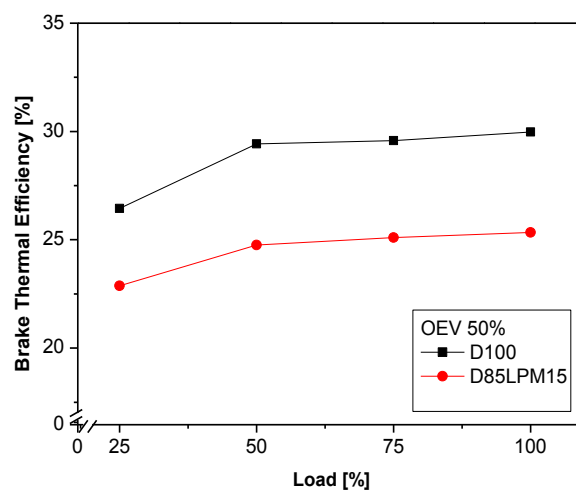
Gambar 5. Pengaruh campuran bahan bakar terhadap *equivalence ratio* dengan variasi beban menggunakan bukaan katub EGR 50%.



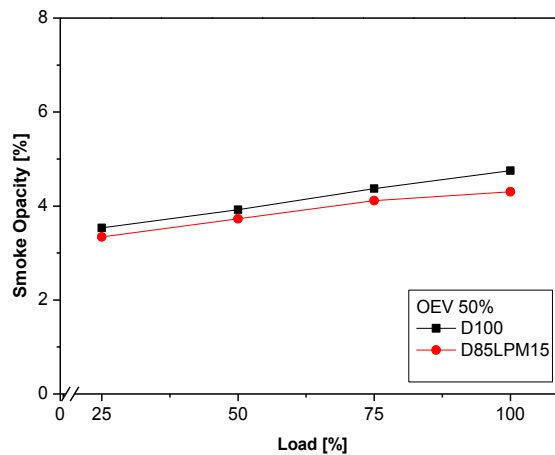
Gambar 6. Pengaruh campuran bahan bakar terhadap *volumetric efficiency* dengan variasi beban menggunakan bukaan katub EGR 50%



Gambar 7. Pengaruh campuran bahan bakar terhadap *exhaust gas temperature* dengan variasi beban menggunakan bukaan katub EGR 50%.



Gambar 8. Pengaruh campuran bahan bakar terhadap *brake themal efficiency* dengan variasi beban menggunakan bukaan katub EGR 50%.



Gambar 9. Pengaruh campuran bahan bakar terhadap *opacity* dengan variasi beban menggunakan bukaan katub EGR 50%.

Pada Gambar 2 dan 3 menunjukkan nilai *brake power* meningkat dengan meningkatnya beban [1]. Selain itu terjadi penurunan nilai *brake power* pada campuran bahan bakar diesel-metanol (D85LPM15). Hal ini dikarenakan adanya *cooling effect* yang ditimbulkan dari sifat-sifat fisik ketika menggunakan metanol yaitu tingginya kandungan H₂O sebesar 24,88% yang mengakibatkan *long ignition delay* sehingga temperatur di dalam ruang bakar menurun [2]. Menurunnya temperatur di dalam ruang bakar mengakibatkan tekanan di ruang bakar juga menurun sehingga tekanan kerja indikasi menurun untuk menghasilkan daya [1]. Nilai *brake power* dengan beban 75% dan bukaan katub EGR 50% untuk variasi bahan bakar D85LPM15 menurun sebesar 1,39% dibandingkan pada bahan bakar D100, sedangkan nilai *brake torque* dengan beban 75% dan bukaan katub EGR 50% untuk variasi bahan bakar D85LPM15 menurun sebesar 1,39% dibandingkan pada bahan bakar D100.

Pada Gambar 4 menunjukkan terjadinya peningkatan nilai *brake specific fuel consumption* ketika menggunakan campuran bahan bakar diesel dan metanol. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh penurunan nilai daya yang diakibatkan oleh *cooling effect* pada metanol sehingga akan terjadi *long ignition delay* yang memiliki pengaruh terhadap turunnya temperatur di dalam ruang bakar [3]. Turunnya temperatur di dalam ruang bakar mengakibatkan meningkatnya laju aliran massa bahan bakar untuk menghasilkan energi per siklus yang sama selama proses pembakaran [1]. Nilai *brake specific fuel consumption* dengan beban 100% dan bukaan katub EGR 50% untuk variasi bahan bakar D85LPM15 meningkat 28,29% dibandingkan dengan bahan bakar D100.

Pada Gambar 5 menunjukkan nilai *equivalence ratio* meningkat dengan meningkatnya beban dan nilai *equivalence ratio* meningkat ketika menggunakan campuran bahan bakar diesel-metanol. Hal ini disebabkan adanya *cooling effect* pada metanol sehingga terjadi *long ignition delay* yang memiliki pengaruh terhadap turunnya temperatur di dalam ruang bakar [2]. Turunnya temperatur di dalam ruang bakar mengakibatkan meningkatnya laju aliran massa bahan bakar [1]. Nilai *equivalence ratio* dengan beban 100% dan bukaan katub EGR 50% untuk variasi bahan bakar D85LPM15 meningkat 26,00% dibandingkan dengan bahan bakar D100.

Pada Gambar 6 menunjukkan nilai *volumetric efficiency* tidak berpengaruh terhadap peningkatan beban tetapi berpengaruh terhadap putaran mesin. Semakin tinggi putaran mesin maka semakin rendah nilai *volumetric efficiency* dan begitu juga sebaliknya. Nilai *volumetric efficiency* menurun dengan meningkatnya prosentase campuran metanol pada campuran bahan bakar diesel- methanol karena metanol memiliki konsentrasi oksigen yang tinggi di dalam ruang bakar sehingga laju aliran massa udara yang masuk ke dalam ruang bakar berkurang [4]. Nilai *volumetric efficiency* dengan beban 100% dan bukaan katub EGR 50% untuk variasi bahan bakar D85LPM15 menurun sebesar 0,61% dibandingkan dengan bahan bakar D100.

Pada Gambar 7 menunjukkan nilai *exhaust gas temperature* meningkat dengan meningkatnya beban dan nilai *exhaust gas temperature* menurun ketika menggunakan campuran bahan bakar diesel-metanol. Hal ini disebabkan pengaruh penurunan nilai daya yang diakibatkan oleh *cooling effect* pada metanol yang ditimbulkan dari tingginya kandungan air sebesar 24,88% sehingga mengakibatkan *long ignition delay* dan berpengaruh terhadap turunnya temperatur di dalam ruang bakar [2]. Nilai *exhaust gas temperature* dengan beban 100% dan bukaan katub EGR 50% untuk variasi bahan bakar D85LPM15 menurun 7,62% dibandingkan dengan bahan bakar D100.

Pada Gambar 8 menunjukkan nilai *brake thermal efficiency* menurun ketika menggunakan variasi bahan bakar diesel-methanol. Hal ini dikarenakan tingginya nilai *brake specific fuel consumption* yang diakibatkan oleh *cooling effect* pada methanol sehingga akan terjadi *long ignition delay* yang berpengaruh terhadap turunnya temperatur di dalam ruang bakar dan mengakibatkan meningkatnya laju aliran massa bahan bakar [2]. Nilai *brake thermal efficiency* pada

beban 100% dan bukaan katub EGR 50% dengan variasi campuran bahan bakar D85LPM15 menurun 18,29% dibandingkan pada bahan bakar D100.

Pada Gambar 9 menunjukkan nilai *opacity* meningkat dengan meningkatnya beban dan nilai *opacity* menurun pada variasi campuran bahan bakar diesel-methanol. Hal ini disebabkan methanol memiliki konsentrasi oksigen yang tinggi di dalam ruang bakar sehingga mengakibatkan menurunnya nilai *opacity*. Selain itu metanol memiliki kandungan air yang tinggi sebesar 24,88%. Pengaruh H₂O dapat menurunkan salah satu unsur pembentuk emisi *soot* yaitu A4R5 [5]. Nilai *opacity* pada beban 100% dan bukaan katub EGR 50% dengan variasi campuran bahan bakar D85LPM15 menurun 10,35% dibandingkan pada bahan bakar D100.

4. Kesimpulan

- Nilai *brake power* semakin meningkat dengan meningkatnya beban dan penggunaan EGR dapat meningkatkan nilai *brake power*. Namun nilai *brake power* pada campuran bahan bakar diesel-metanol (D85LPM15) menurun dibanding bahan bakar diesel murni (D100) karena adanya *cooling effect* yang ditimbulkan dari sifat-sifat fisik ketika menggunakan methanol. Pada beban 75% dan bukaan katub EGR 50%, nilai *brake power* untuk variasi bahan bakar D85LPM15 menurun sebesar 1,39% dibandingkan pada bahan bakar D100.
- Nilai *brake torque* yang dihasilkan bahan bakar campuran diesel-low purity methanol (D85LPM15) meningkat dengan meningkatnya persentase EGR. Namun nilainya cenderung lebih rendah dibandingkan dengan torsi yang dihasilkan dengan menggunakan diesel murni (D100). Pada beban 75% dan bukaan katub EGR 50%, nilai *brake torque* untuk variasi bahan bakar D85LPM15 menurun sebesar 1,39% dibandingkan pada bahan bakar D100.
- Nilai *brake specific fuel consumption* (BSFC) meningkat dengan meningkatnya persentase EGR untuk bahan bakar diesel murni (D100), namun untuk campuran bahan bakar diesel-low purity methanol (D85LPM15) nilai BSFC menurun dengan meningkatnya persentase EGR. Selain itu, nilai BSFC untuk bahan bakar campuran diesel-low purity methanol (D85LPM15) lebih tinggi dibandingkan dengan diesel murni (D100). Pada beban 100% dan bukaan katub EGR 50%, nilai *brake specific fuel consumption* untuk variasi bahan bakar D85LPM15 meningkat 28,29% dibandingkan dengan bahan bakar D100.
- Nilai *equivalence ratio* meningkat dengan meningkatnya beban dan nilai *equivalence ratio* meningkat ketika menggunakan campuran bahan bakar diesel-low purity methanol (D85LPM15). Pada beban 100% dan bukaan katub EGR 50%, nilai *equivalence ratio* untuk variasi bahan bakar D85LPM15 meningkat 26,00% dibandingkan dengan bahan bakar D100.
- Nilai *volumetric efficiency* menurun dengan meningkatnya persentase EGR dan nilai *volumetric efficiency* ketika menggunakan campuran bahan bakar diesel-low purity methanol (D85LPM15) lebih rendah dibandingkan dengan diesel murni (D100). Pada beban 100% dan bukaan katub EGR 50%, nilai *volumetric efficiency* untuk variasi bahan bakar D85LPM15 menurun sebesar 0,61% dibandingkan dengan bahan bakar D100.
- Nilai *exhaust gas temperature* semakin meningkat dengan meningkatnya beban dan nilai *exhaust gas temperature* menurun ketika menggunakan EGR pada bahan bakar diesel murni (D100). Namun ketika menggunakan campuran bahan bakar diesel-low purity methanol (D85LPM15) nilai *exhaust gas temperature* semakin meningkat ketika menggunakan EGR. Selain itu, penggunaan campuran bahan bakar diesel-low purity methanol (D85LPM15) mengakibatkan nilai *exhaust gas temperature* menjadi lebih rendah daripada diesel murni (D100). Pada beban 100% dan bukaan katub EGR 50%, nilai *exhaust gas temperature* untuk variasi bahan bakar D85LPM15 menurun 7,62% dibandingkan dengan bahan bakar D100.
- Nilai *brake thermal efficiency* pada bahan bakar diesel murni (D100) ketika menggunakan EGR menurun. Namun ketika menggunakan campuran bahan bakar diesel-low purity methanol (D85LPM15) nilai *brake thermal efficiency* meningkat ketika menggunakan EGR. Selain itu, nilai *brake thermal efficiency* ketika menggunakan campuran bahan bakar diesel-low purity methanol (D85LPM15) menurun dibanding ketika menggunakan bahan bakar diesel murni (D100). Pada beban 100% dan bukaan katub EGR 50%, nilai *brake thermal efficiency* untuk variasi bahan bakar D85LPM15 meningkat 18,29% dibandingkan dengan bahan bakar D100.
- Nilai *opacity* meningkat dengan meningkatnya beban dan nilai *opacity* meningkat ketika menggunakan EGR. Selain itu, nilai *opacity* pada campuran bahan bakar diesel-low purity methanol (D85LPM15) menurun dibanding bahan bakar diesel murni (D100). Pada beban 100% dan bukaan katub EGR 50%, nilai *opacity* dengan variasi campuran bahan bakar D85LPM15 menurun 10,35% dibandingkan pada bahan bakar D100.

5. REFERENSI

- Heywood, JohnB.L., 1988, "Internal Combustion Engine Fundamentals", United States of America, McGraw-Hill, Inc.
- Uen Doo L., 2009, "Effects of H₂O and NO on Extinction and Re-ignition of Vortex-Perturbed Hydrogen Counter Flow Flames", Proceedings of the Combustion Institute (32), ScienceDirect, pp. 1059-1066.
- Avinash K., 2004, "Effect of EGR on The Exhaust Gas Temperature and Exhaust Opacity in Compression Ignition Engines", Sadhana, Vol 29, pp. 275-284.

-
- [4] Lei Zhu, C.S. Cheung, W.G. Zhang, Zhen Huang, 2010, "Emissions characteristic of a diesel engine operating on biodiesel and biodiesel blended with ethanol and methanol", International Journal of the Total Environment, Number 408, ScienceDirect.
- [5] Paul D., 2012, "The Effect of CO₂/H₂O on The Formation of Soot Particles in The Homogeneous Environment of a Rapid Compression Facility", International Journal of Combustion and Flame (159), ScienceDirect, pp. 1090-1099.