

DAMPAK EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) PADA PRESTASI MESIN DIESEL *DIRECT INJECTION* DENGAN CAMPURAN SOLAR DAN BIODIESEL JATROPHA

Heru Danarbroto¹⁾, Susanto²⁾

¹⁾Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pandanaran Semarang, Jl. Banjarsari Barat No.1 Semarang; Telp.024-70797974. Email: heru.danarunpand@yahoo.co.id

²⁾Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pandanaran Semarang, Jl. Banjarsari Barat No.1 Semarang; Telp.024-70797974. Email: susanto.chem@gmail.com

Abstrak

Setelah adanya krisis tahun 2003, Indonesia harus mengembangkan biodiesel yang cocok dikembangkan di Indonesia. Biodiesel jatropha sangat berpotensi dikembangkan di Indonesia tetapi mempunyai kekurangan yaitu mempunyai nilai *modulus bulk* yang tinggi dan temperatur didih yang tinggi dari diesel *fuel* sehingga memicu terbentuknya emisi *nitrogen oxides* (*NOx*). *Exhaust gas recirculation* (*EGR*) adalah metode untuk mengurangi emisi *NOx*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efek *Exhaust Gas Recirculation* (*EGR*) type panas, terhadap performa dan emisi *soot* pada mesin diesel Isuzu 2,8 liter type 4BJ1, dengan menggunakan bahan bakar campuran diesel *fuel* dan jatropha biodiesel. Dalam experiment output *EGR* di tentukan pada temperatur 100°C dan putaran mesin ditetapkan 2000 rpm. Selain itu, juga diberikan variasi dalam komposisi campuran bahan bakar, % *Opening EGR Valve* (*OEV*) dan beban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, pada D100 dengan *OEV* 75%, *brake power* meningkat sebesar 10,29% dibandingkan *OEV* 0%. Penambahan persentase jatropha pada *OEV* 0% sampai 100% menurunkan *smoke opacity*, seperti pada D70J30 dengan *OEV* 50% dan beban 75% turun 22.68% dibandingkan D100.

Kata kunci: *EGR*, prestasi mesin diesel, jatropha.

Abstract

After the crisis in 2003, Indonesia is a need to develop a suitable biodiesel developed in Indonesia. Jatropha biodiesel are very likely to be developed in Indonesia but has shortcomings that have high bulk modulus and high boiling temperature of the diesel fuel that triggers the formation of emissions of nitrogen oxides (*NOx*). Exhaust gas recirculation (*EGR*) is a method to reduce *NOx* emissions. The purpose of this study was to determine the effect of Exhaust Gas Recirculation (*EGR*) type of heat, the performance and emissions of soot on a 2.8 liter Isuzu diesel engine type 4BJ1, using a fuel mixture of diesel fuel and jatropha biodiesel. In the experiment *EGR* output is determined at a temperature of 100 ° C and 2000 rpm engine rotation set. In addition, given the variations in the composition of the fuel mix, % *EGR Valve Opening* (*OEV*) and the load. The results showed that, on the D100 with *OEV* 75%, *brake power* increased by 10.29% compared *OEV* 0%. The addition of jatropha on *OEV* percentage of 0% to 100% decrease the *smoke opacity*, as in D70J30 with *OEV* 50% and 75% load down 22.68% compared to the D100.

Keywords: *EGR*, diesel engine performance, jatropha.

1. PENDAHULUAN

Bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui adalah biodiesel. Biodiesel dibuat dari tanaman sumber pangan dan tanaman bukan sumber pangan. Biodiesel dari tanaman sumber pangan tidak dikembangkan karena akan mengganggu ketahanan pangan. Bahan dasar biodiesel dari bahan non pangan adalah mahua, alga, punggamia, biji karet, jatropha (jarak pagar) dan lain-lainnya (Demirbas, 2009). Penelitian ini menggunakan biodiesel jatropha yang mempunyai potensi besar dikembangkan di Indonesia karena bisa hidup di lahan kritis dan tandus.

Kelebihan biodiesel jatropha dibandingkan solar adalah memiliki rantai hidrokarbon yang sederhana, tidak mengandung belerang, struktur molekulnya mengandung oksigen, titik nyala yang tinggi, mempunyai sifat pelumasan yang baik. Kekurangan biodiesel jatropha adalah mempunyai nilai modulus bulk yang tinggi dan temperatur didih yang tinggi dari solar sehingga memicu terbentuknya emisi *nitrogen oxides* (*NOx*) (Gomaa, 2011).

Hasil penelitian-penelitian sebelumnya telah menemukan solusi untuk mengurangi emisi *NOx* (Gomaa, 2011). Emisi *NOx* dikurangi dengan jalan

mengsirkulasikan sebagian *exhaust gas* kembali ke ruang bakar. Turunnya temperatur ruang bakar akan menghambat terbentuknya emisi NO_x. Metode ini disebut metode *exhaust gas recirculation (EGR)* (Agrawal, 2003). Kekurangan metode *EGR* ini adalah bila temperatur ruang bakar turun dari 2000° K maka akan memicu terbentuknya emisi jelaga (*soot*) (Gomaa, 2010). Penelitian lain yang dilakukan oleh Alain Maiboom dan kawan-kawan melaporkan peningkatan temperatur *inlet* pada tingkat *EGR* konstan memberikan emisi NO_x bisa positif dan bisa juga negatif tergantung pada temperatur operasi (Maiboom, 2007). Penelitian ini difokuskan pada efek *Exhaust Gas Recirculation* terhadap performa dan emisi *soot* untuk mesin diesel injeksi langsung menggunakan campuran bahan bakar diesel dan jatropha.

1.1. Perumusan Masalah

Paparan di latar belakang menunjukkan adanya tuntutan untuk segera melakukan pengembangan bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui. Bahan bakar alternatif yang paling mendesak untuk segera dikembangkan adalah biodiesel untuk bahan bakar mesin diesel. Bahan bakar biodiesel ini diharapkan ramah lingkungan dan hemat. Efek *EGR* terhadap performa dan emisi jelaga pada mesin diesel dengan menggunakan campuran bahan bakar diesel produksi Pertamina dan jatropha sebagai bahan bakar menarik untuk diteliti lebih lanjut.

1.2. Originalitas Penelitian

Penelitian Alain Maiboom dan kawan-kawan menunjukkan efek dari kenaikan temperatur *intake manifold* terhadap pembakaran dan emisi pada mesin diesel injeksi langsung berkecepatan tinggi sebagai akibat dari *EGR* masih belum mantap diketahui (Maiboom, 2007). Oleh karena itu penelitian ini difokuskan pada penggunaan *hot EGR* dengan campuran solar dan biodiesel jatropha.

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Turut serta dalam upaya pelestarian lingkungan hidup dengan mengembangkan metode untuk mengurangi emisi kendaraan bermotor.
2. Upaya untuk mengembangkan bahan bakar alternatif ramah lingkungan dan dapat diperbaharui serta berpotensi dikembangkan di Indonesia.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui performa dan emisi *soot* dari mesin diesel sebelum dan

sesudah menggunakan *EGR*. Bahan bakar yang digunakan diesel *fuel* Pertamina dicampur dengan biodiesel jatropha. Untuk mengetahui performa dan emisi, beberapa variabel dihitung tertera di bawah ini:

- a. *Brake power (P)*.
- b. *Torque (T)*
- c. *Brakespecific fuel consumption (BSFC)*
- d. *Opacity*.
- e. *Equivalent ratio (ϕ)*
- f. *Exhaust gas temperature (EGT)*
- g. *Volumetric efficiency (η_v)*.
- h. *Thermal efficiency (η_{th})*.

Hasil analisis selanjutnya diperoleh campuran bahan bakar dan perlakuan yang paling optimum untuk campuran bahan bakar biodiesel sehingga dapat digunakan dengan baik di mesin diesel.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Exhaust Gas Recirculation (EGR)

Aplikasi sistem *EGR* di motor bakar (*Internal Combustion Engine*) secara prinsip adalah mengendalikan emisi *Nitrogen Oxide (NO_x)* di dalam exhaust gas. Polutan ini termasuk yang berbahaya baik pada motor bensin maupun motor diesel. *EGR* bekerja dengan mensirkulasi kembali sebagian dari gas buang dari *exhaust manifold* kembali ke ruang bakar (*Combustion Chamber*), sebagian gas buang (dalam konteks ini disebut "*inert*" karena gas ini tidak bereaksi dengan pembakaran) yang berfungsi menggantikan sebagian kelebihan *oxygen* yang disalurkan masuk ke dalam silinder. Sehingga, kadar *oxygen* yang disalurkan ke dalam silinder jadi berkurang. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Alain Maiboom dan kawan-kawan, yang berjudul, *Experimental study of various effects of exhaust gas recirculation (EGR) on combustion and emissions of an automotive direct injection diesel engine*, tahun 2007, yang khusus meneliti tentang efek *EGR* terhadap, pembakaran dan emisi motor diesel, melaporkan, bila persentase *EGR* yang diberikan semakin besar, maka emisi NO_x akan turun tetapi memicu terbentuknya emisi *soot*, begitu juga sebaliknya. Dilaporkan juga pengaruh dari kenaikan temperatur pada *intake manifold*, sebagai akibat dari *EGR*, pada performa dan emisi masih belum mantap karena dilaporkan kadang-kadang berpengaruh positif, kadang negatif (Maiboom, 2007). K. Rajan dkk melakukan penelitian dengan judul, *Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on the Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine with Sunflower Oil Methyl Ester*. Dalam penelitian di selidiki efek *EGR* terhadap performa dan karakteristik emisi motor diesel dengan menggunakan campuran bahan bakar diesel dan

minyak bunga matahari sebagai bahan bakar. Dari penelitian dilaporkan menurunkan kadar emisi NOx pada kadar emisi soot yang sama (Rajan, 2009). dan 15% EGR berhasil meningkatkan *brake thermal efficiency* dan *brake specific consumption* serta mengurangi emisi (Gomaa, 2010).

Tinjauan pustaka menunjukkan efek EGR terhadap performa dan emisi motor diesel belum mantap diketahui. Penelitian ini akan menggali lebih dalam efek yang terjadi.

Perhitungan persentase EGR diperoleh dengan persamaan dibawah ini (Agrawal, 2003):

$$\% EGR = \frac{VolumedariEGR}{Totalmasukankedalamsilinder} \times 100 \quad (2.1)$$

2.1.1. Klasifikasi EGR

Klasifikasikan EGR berdasarkan temperatur *intake*, EGR terdiri dari beberapa jenis, yaitu (Agrawal, 2003):

a. Hot EGR

Udara buang diresirkulasi tanpa didinginkan, menyebabkan peningkatan temperatur *intake*.

b. Fully cold EGR

Exhaust gas didinginkan sepenuhnya sebelum bercampur dengan udara segar, menggunakan *heat exchanger*, menyebabkan kelembaban yang tinggi pada *exhaust gas* dan tetesan air yang dihasilkan dapat menimbulkan efek yang tidak diinginkan pada silinder.

c. Partly cold EGR

Exhaust gas didinginkan sampai diatas temperatur embunnya. EGR yang digunakan didalam penelitian ini, jenis *hot EGR* dilengkapi dengan *heater* 600 watt.

2.2. Performa Mesin Diesel

2.2.1. Torsi dan Daya Pengereman

Dinamometer digunakan untuk mengukur torsi sebuah mesin. Pada dasarnya ada tiga jenis alat ukur daya atau torsi, yaitu dinamometer penggerak, dinamometer transmisi, dinamometer absorpsi. Dinamometer penggerak digunakan untuk mengukur beberapa peralatan seperti turbin dan pompa serta mensuplai energi untuk menggerakkan peralatan yang akan diukur. Dinamometer transmisi adalah peralatan pasif yang ditempatkan dilokasi tertentu. Dinamometer absorpsi mengubah energi mekanik sebagai torsi yang diukur, sehingga sangat berguna untuk mengukur daya atau torsi yang dihasilkan

sumber daya seperti motor bakar atau motor motor listrik.

Pada pengujian digunakan dynamometer hidraulik yang termasuk dynamometer jenis absorpsi. Dynamometer hidraulik adalah dynamometer yang menggunakan sistem hidrolis atau fluida untuk menyerap mesin. Fluida yang digunakan biasanya air, dimana air berfungsi sebagai media pendingin dan media gesek perantara. Dynamometer hidraulik ini memiliki dua komponen penting yaitu sudu gerak (*rotor*) dan sudu tetap (*stator*). *Rotor* terhubung dengan poros dari mesin yang akan diukur, dimana putaran dari mesin tersebut memutar rotor dynamometer. Rotor akan mendorong air didalam dynamometer, sehingga air akan terlempar menghasilkan tahanan terhadap putaran mesin. Aliran air secara kontinu melalui rumah (*casing*) sangat penting untuk menurunkan temperatur dan juga untuk melumasi seal pada poros. Sedangkan *stator* terletak berhadapan dengan *rotor* dan terhubung tetap pada casing. Pada casing dipasang lengan, dimana pada ujung lengan terdapat alat ukur pembebanan sehingga torsi yang terjadi dapat diukur.

Pada saat dynamometer ini dijalankan, mesin dihidupkan dan putaran mesin diatur pada putaran tertentu. Air masuk kedalam casing melalui selang dari penampungan air sehingga rongga antara *rotor* dan *stator* selalu terisi air. Air yang keluar dari dynamometer tidak diperbolehkan melebihi 80°C, jika sudah mendekati temperatur tersebut dibuka katup keluar yang lebih besar. Suplai air harus bersih, dingin, dan konstan yang dapat diperoleh dari pompa.

Keuntungan dynamometer hidraulik adalah :

1. Tidak membutuhkan instalasi yang permanen.
2. Mudah dipindahkan dari satu mesin ke mesin yang lain.
3. Mudah dioperasikan oleh satu orang.
4. Dapat bekerja pada mesin yang besar atau memiliki kecepatan putar yang tinggi.

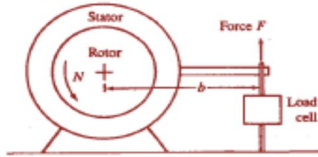
Kedudukan alat ukur harus menunjukkan angka nol (dynamometer dalam keadaan seimbang) pada waktu berhenti dan pada waktu air mengalir masuk stator tetapi mesin belum bekerja. Pengukuran kecepatan putar poros perlu dilakukan untuk mendapatkan perhitungan daya dan juga untuk menghindari kelebihan kecepatan putar yang dapat mengakibatkan kerusakan pada dynamometer.

Torsi yang dihasilkan mesin adalah :

$$T = F \times b \quad (2.2)$$

Dimana dalam satuan SI, yaitu :

- T = torsi (Nm)
- F = gaya penyeimbangan (N)
- b = jarak lengan torsi (m)



Gambar 2.1 Prinsip kerja dynamometer
 (Heywood, 1988).

Adapun daya yang dihasilkan mesin atau diserap oleh dynamometer adalah hasil perkalian dari torsi dan kecepatan sudut.

$$P = 2\pi \frac{n}{60} \times T \times 10^{-3} \quad (2.3)$$

Dimana dalam satuan SI, yaitu :

- P = daya (kW)
- T = torsi (Nm)
- n = Putaran kerja (rpm)

Sebagai catatan, torsi adalah ukuran dari kemampuan sebuah mesin melakukan kerja sedangkan daya adalah angka dari kerja telah dilakukan. Besarnya daya mesin yang diukur seperti dengan didiskripsikan di atas dinamakan dengan brake power (Pb). Daya disini adalah daya yang dihasilkan oleh mesin untuk mengatasi beban, dalam kasus ini adalah sebuah rem. (Heywood, 1988).

2.2.2. Brake Mean Effective Pressure (BMEP)

Unjuk kerja mesin relatif yang diukur, dapat diperoleh dari perbandingan kerja per siklus dengan perpindahan volume silinder per siklus. Parameter ini merupakan gaya per satuan luas dan dinamakan dengan mean effective pressure (mep). Brake mean effective pressure didefinisikan sebagai tekanan efektif rata-rata terjadi pada setiap langkah kerja dari mesin untuk menghasilkan output daya yang sama dengan brake horsepower/BHP. BHP itu sendiri didefinisikan sebagai jumlah daya yang terdapat pada poros. (Heywood, 1988)

$$\text{Kerja per siklus} = P \frac{n_R}{N} \quad (2.4)$$

Tekanan efektif rata-rata juga dapat dinyatakan dengan torsi.

$$\text{BMEP} = \frac{6,28 \times n_R \times T}{V_d} \quad (2.5)$$

Dimana dalam satuan SI, yaitu :

- n_R = jumlah putaran engkol untuk setiap langkah kerja2 (untuk siklus 4 langkah) 1 (untuk siklus 2 langkah)

BMEP = *brake mean effective pressure* (kPa)

V_d = *displacement volume* (dm³)

2.2.3. Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)

Dalam pengujian mesin, konsumsi bahan bakar diukur sebagai laju aliran massa bahan bakar per unit waktu (\dot{m}_f). Konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) adalah aliran laju bahan bakar per satuan daya. Pengetahuan ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana efisiensi mesin dalam menggunakan bahan bakar untuk menghasilkan daya. Brake specific fuel consumption didefinisikan sebagai konsumsi bahan bakar spesifik pada setiap langkah kerja dari mesin untuk menghasilkan output daya yang sama dengan jumlah daya yang terdapat pada poros. (Heywood, 1988)

$$\text{BSFC} = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (2.6)$$

Dimana dalam satuan SI, yaitu :

BSFC = *Brake Specific Fuel Consumption* (kg/ kW. jam)

\dot{m}_f = *massa bahan bakar* (kg/jam)

P = *daya* (kW)

$$\dot{m}_f = \rho_{bb} \times \frac{v}{t} \times \frac{3600}{1000} \quad (2.7)$$

Dimana,

ρ_{bb} = berat jenis bahan bakar (kg/m³)

V = volume bahan bakar (m³)

t = waktu (detik)

2.2.4. Perbandingan Udara Bahan Bakar (Fuel /Air Ratio)

Setelah diketahui aliran massa bahan bakar (\dot{m}_f). Dalam pengujian mesin, pengukuran juga dilakukan terhadap laju aliran massa udara (\dot{m}_a). Perbandingan

antara keduanya berguna untuk mengetahui kondisi operasi mesin. (Heywood, 1988).

$$\text{Air/Fuel Ratio} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad (2.8)$$

$$\text{Fuel/ AirRatio} = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} \quad (2.9)$$

Dimana dalam satuan SI, yaitu :

\dot{m}_a = laju aliran massa udara (kg/jam)

\dot{m}_f = massa bahan bakar (kg/jam)

ϕ = FAR relative

Untuk Relative Fuel/ Air Ratio (ϕ) :

$$\phi = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)_{\text{aktual}}}{\left(\frac{F}{A}\right)_{\text{stoichiometry}}} \quad (2.10)$$

Relative Fuel/Air Ratio ini memberikan parameter informasi yang berguna menetapkan komposisi campuran udara-bahan bakar yang baik.

Jika : $\phi > 1$ = maka campuran itu kaya akan bahan bakar

$\phi = 1$ = campuran stokiometri

$\phi < 1$ = maka campuran itu miskin akan bahan bakar

2.2.5. Efisiensi Bahan Bakar (η_f)

Efisiensi adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan per siklus, terhadap jumlah energi yang disuplai per siklus yang dapat dilepaskan selama pembakaran. Suplai energi yang dapat dilepas selama pembakaran adalah massa bahan bakar yang disuplai per siklus dikalikan dengan harga panas dari bahan bakar (Q_{HV}). Harga panas bahan bakar ditentukan dalam sebuah prosedur tes standar, dimana diketahui massa bahan bakar yang terbakar sempurna dengan udara dan energi dilepas oleh proses pembakaranyang kemudian diserap dengan kalorimeter. Pengukuran efisiensi ini dinamakan dengan *fuel conversion efficiency* (η_f) dan didefinisikan sebagai (Heywood, 1988):

$$\eta_f = \frac{W_c}{\dot{m}_f \times Q_{HV}} = \frac{\frac{(P \times n_R)}{n}}{\frac{(\dot{m}_f \times n_R)}{n} \times Q_{HV}} = \frac{P}{\dot{m}_f \times Q_{HV}} \quad (2.11)$$

Dari persamaan diatas dapat disubstitusikan dengan $\frac{P}{\dot{m}_f}$ dan hasilnya adalah:

$$\eta_f = \frac{3600}{\text{sfc} \times Q_{HV}} \quad (2.12)$$

Dimana dalam satuan SI, yaitu :

η_f = efisiensi dari kerja mesin

Q_{HV} = harga panas dari bahan bakar

sfc = konsumsi bahan bakar spesifik (kg/ kW. jam)

Dalam efisiensi ini besarnya Q_{HV} merupakan harga panas rendah (Q_{LHV}) dari bahan bakar yang digunakan, yaitu 45213,82 kJ/kg.

2.2.6. Efisiensi Volumetrik (η_v)

Sistem *intake manifold, intake port, intake valve* membatasi jumlah udara pada sebuah mesin dapat menginduksi. Parameter yang digunakan untuk mengukur efektivitas proses induksi mesin adalah efisiensi volumetrik η_v . Hal ini didefinisikan sebagai laju aliran volume udara sistem *intake* dibagi dengan tingkat di mana volume dipindahkan oleh piston (Heywood, 1988):

$$\eta_v = \frac{2 \times \dot{m}_a}{\rho_a \times V_d \times N} \quad (2.13)$$

Dimana dalam satuan SI, yaitu :

η_v = efisiensi volumetrik

\dot{m}_a = laju aliran massa udara (kg/jam)

V_d = volume silinder/displacement volum (dm^3)

ρ_a = massa jenis udara (kg/ kW. jam)

N = putaran mesin (rpm)

Laju aliran massa inlet dapat diambil sebagai massa jenis atmosfer udara atau mungkin diambil sebagai kerapatan udara di inlet manifold. Efisiensi volumetrik untuk mesin diesel agak lebih tinggi daripada untuk mesin bensin. (Heywood, 1988).

2.3. Sifat-sifat fisik bahan bakar

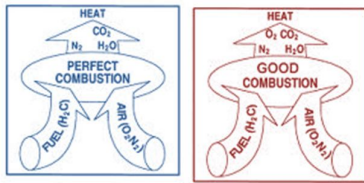
2.3.1. *Jatropha biodiesel*

Minyak jarak dihasilkan dari pressing (penekanan) yang disebut minyak jarak mentah/murni (*crude jatropha oil*). Sifat kimia dan fisika minyak jarak yang dihasilkan dengan cara pengepresan sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.1.

Struktur kimia dari minyak jarak pagar terdiri dari trigliserida dengan rantai asam lemak yang lurus (tidak bercabang), dengan atau tanpa rantai karbon tak jenuh, mirip dengan CPO. Struktur kimia dari minyak jarak pagar dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Manurung, 2007).

2.4. Teori Pembakaran

Proses pembakaran motor bakar merupakan reaksi kimia yang berlangsung sangat cepat antara bahan bakar dengan oksigen yang menimbulkan panas sehingga mengakibatkan tekanan dan temperatur gas yang tinggi. Dalam pembakaran proses yang terjadi adalah oksidasi dengan reaksi sebagai berikut (UNEP Bureau of Energy Efficiency, 2004) :



Gambar 2.3 Proses Pembakaran Mesin Diesel

Pembakaran sempurna terjadi bila campuran bahan bakar dan oksigen dari udara mempunyai perbandingan yang tepat sehingga bahan bakar habis terbakar. Sebaliknya, bila bahan bakarnya terlalu banyak (atau tidak cukup oksigen), dikatakan campuran "rich" (kaya), pembakaran ini menghasilkan api reduksi.

Supaya dihasilkan pembakaran yang baik, maka diperlukan syarat-syarat sebagai berikut :

- Jumlah udara yang sesuai
- Temperatur yang sesuai dengan penyalaan bahan bakar
- Waktu pembakaran yang cukup
- Kerapatan yang cukup untuk merambatkan api dalam silinder.
- Reaksi pembakaran baik bahan bakar diesel maupun bahan bakar metanol merupakan reaksi oksidasi antara senyawa hidrokarbon dengan oksigen sehingga dihasilkan produk berupa karbon dioksida, uap air, oksida nitrogen atau produk lainnya tergantung pada kualitas pembakaran.

2.5. Opacity

Opacity merupakan ukuran kegelapan dari exhaust gas yang diperoleh dari (SAE J1667, 2006):

$$N(\%) = 100 * (1 - e^{-kL}) \quad (2.15)$$

Dimana $N(\%)$ adalah Opacity dalam %, k adalah density sap dalam (m^{-1}) dan L adalah panjang efektif path optic dalam (m).

2.6. Orifice Plate Flowmeter

Orifice plate adalah salah satu alat yang dapat digunakan untuk mengukur laju aliran masa dari aliran, prinsip kerja aliran melewati orifice plate kemudian akan mengecil dan membentuk suatu daerah yang disebut vena contracta selanjutnya akan terjadi perbedaan tekanan aliran antara sebelum dan setelah melewati orifice plate, dan setelah itu laju aliran masa dari aliran dihitung menggunakan persamaan Bernoulli dan persamaan kontinuitas (Holman, 1986).

Persamaan kontinuitas :

$$0 = \frac{\partial}{\partial t} \int_{CV} \rho dV + \int_{CS} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (2.16)$$

$$\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 \quad (2.17)$$

Persamaan Bernoulli :

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \quad (2.18)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho V_2^2}{2} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \right] \quad (2.19)$$

$$\text{Substitusi persamaan : } P_1 - P_2 = \frac{\rho V_2^2}{2} \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \right]$$

Sehingga V_2 teoritis :

$$V_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \right]}} \quad (2.20)$$

Dan \dot{m} teoritis adalah :

$$\dot{m}_{\text{teoritis}} = \rho V_2 A_2 = \rho \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \right]}} A_2 \quad (2.21)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Material Penelitian

Material yang di teliti adalah empat jenis campuran bahan bakar dengan komposisi sebagai berikut:

- a. D100 (Diesel *fuel* 100%)
- b. D90J10 (Diesel *fuel* 90% Biodiesel Jatropha 10%)
- c. D80J20 (Diesel *fuel* 80% Biodiesel Jatropha 20%)
- d. D70J30 (Diesel *fuel* 70% Biodiesel Jatropha 30%)

3.2 Peralatan Penelitian

3.2.1. Mesin Uji

Mesin yang digunakan didalam pengujian adalah mesin diesel 4 silinder Isuzu Elf dengan spesifikasi seperti pada Tabel 3.1:

Tabel 3.1 Spesifikasi mesin diesel 4 silinder Isuzu Elf

Uraian	Mesin Diesel
Type mesin	4BJ1, 4 silinder, 4 cycle, Water cooled, Vertikal in-line, Direct Injection.
Volume silinder	2,8 liter
Daya maksimum	70 / 3000 (BHP/rpm).
Torsi maksimum	132/2000 (lb.ft/rpm).
Tekanan kompresi	18,2 : 1



Gambar 3.1 Mesin Uji

3.2.2. Thermocopel

Thermocopel adalah alat untuk mengukur temperatur. Prinsip dari *thermocopel* ini adalah dua buah metal yang berbeda digabungkan bersama, sehingga menimbulkan beda potensial jika salah satu ujungnya diberi panas.

Thermocopel banyak digunakan sebagai sensor *temperature* untuk pengukuran dan pengendalian. *Thermocopel* secara luas digunakan dalam ilmu pengetahuan dan industri; aplikasi meliputi pengukuran *temperature* untuk turbin, gas buang, mesin diesel, dan proses industri lainnya.

3.2.3. Orifice Plate Flowmeter

Orifice plate adalah alat yang dapat digunakan untuk mengukur laju aliran masa dari aliran, prinsip kerjanya aliran melewati *orifice plate* kemudian akan mengecil dan membentuk suatu daerah yang disebut *vena contract* selanjutnya akan terjadi perbedaan tekanan aliran antara sebelum dan setelah melewati *orifice plate*.

3.2.4. Dynamometer

Dynamometer digunakan untuk mengukur torsi sebuah mesin. Jenis dynamometer yang digunakan adalah hidraulik dengan fluida air. Dynamometer hidraulik ini memiliki dua komponen penting yaitu sudu gerak (rotor) dan sudu tetap (stator). *Rotor* akan mendorong air didalam dynamometer, sehingga air akan terlempar menghasilkan tahanan terhadap putaran mesin dan menghasilkan panas. Aliran air secara kontinu melalui rumah (*casing*) sangat penting untuk menurunkan temperature dan juga untuk melumasi seal pada poros. Sedangkan stator terletak berhadapan dengan rotor dan terhubung tetap pada *casing*.

Tabel 3.2 Spesifikasi dynamometer (Land & Sea, 2006)

Uraian	Land and Sea
Hp	15 to 800 (standart - satu rotor)
Hp option	1 to over 10.000
Torsi option	2 to over 5.000 lb-ft
RPM	1.000 - 10.000 (standart)- penyerapan optimal sampai 20.000

Adapun alat uji yang digunakan dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

Pengujian torsi dilakukan dengan *Constant Speed Test* yaitu metode untuk mengetahui karakteristik motor bakar yang beroperasi dengan beban bervariasi, tapi putarannya konstan. Dalam kondisi ini sudu gerak (rotor) akan tertahan oleh *casing* (stator). *Load display* dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Display Load

Dalam hal ini telah dilakukan proses kalibrasi untuk *load display*. Dinamometer dihubungkan dengan *load display* dengan dibebani beban tertentu dan pada layar *display* didapatkan suatu nilai yang sesuai dengan beban yang digunakan. Pada Gambar 3.3 merupakan hasil dari kalibrasi yang dilakukan pada *load display*. Proses kalibrasi ditunjukkan pada Gambar 3.2 dengan memberikan suatu nilai variasi beban 1 kg, 2 kg, 3 kg dan 4 kg maka didapatkan hasil yang sama pada tampilan *load display*.



Gambar 3.3 Kalibrasi dinamometer dengan *load display* (Didik A, 2011).

3.2.5. Alat pengukur emisi *exhaust*.

Instrumen ini didesain untuk mengukur CO, CO₂, HC, O₂ untuk mesin bensin, sedangkan untuk mesin diesel hanya bisa digunakan untuk mengukur opasitas, dan spesifikasi alat uji gas buang.

3.2.6. Prinsip Kerja Gas Analyzer

Gas analyzer akan menganalisa kandungan gas buang dan menghitung campuran udara-bahan bakar (λ) berdasarkan rpm mesin. Gas buang diukur dengan memasukkan probe ke dalam gas buang kendaraan. Gas buang yang dianalisa telah dipisahkan dari kandungan airnya melalui saringan kondensasi yang lalu diteruskan ke sel pengukuran.

Pemancar akan menghasilkan sinar infra merah yang dikirim melalui filter optis ke penerima sinar infra merah untuk menganalisa kandungan gas buang berupa CO, HC, CO₂.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian terhadap kinerja dan emisi *soot* mesin diesel Isuzu 2,8 liter type 4BJ1 menggunakan *EGR* type panas dengan temperatur *output EGR* dijaga pada temperatur 100°C. Bahan bakar yang digunakan pada saat pengujian ada 4 jenis campuran yaitu *diesel fuel*

4.1.2. Pengaruh variasi OEV dengan bahan bakar D90J10, D80J20, D70J30 terhadap *brake power*.

100% (D100), *diesel fuel* 90% biodiesel jatropha 10% (D90J10), *diesel fuel* 80% biodiesel jatropha 20% (D80J20) dan *diesel fuel* 70% biodiesel jatropha 30% (D70J30). Pembebanan pada saat pengujian dilakukan dalam 4 tingkat bukaan katup input dynamometer yaitu 25%, 50%, 75% dan 100%. *EGR* diberikan dalam 5 tingkat variasi *opening EGR valve* (OEV) yaitu 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% pada putaran mesin tetap 2000 rpm. Uraian ini meliputi parameter mesin diesel yaitu:

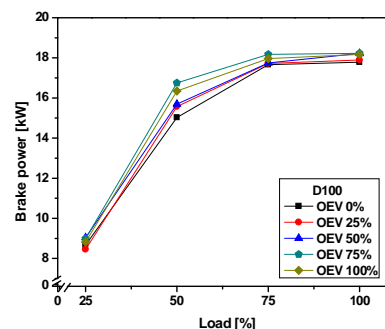
- 1) *Brake power* (P).
- 2) *Torque* (T),
- 3) *Brakespecific fuel consumption* (BSFC),
- 4) *Opacity*
- 5) *Equivalent ratio* (ϕ),
- 6) *Exhaust gas temperature* (EGT),
- 7) *Volumetric efficiency* (η_v)
- 8) *Thermal efficiency* (η_{th}).

4.1. Grafik dan Analisa *Brake Power*.

Analysis data *brake power* yang diperoleh pada saat pengujian adalah sebagai berikut :

4.1.1. Pengaruh OEV dengan bahan bakar D100 pada *brake power*.

Gambar 4.1 menunjukkan nilai *brake power* mesin diesel Isuzu 4BJ1 dengan berbagai variasi OEV pada berbagai pembebanan. Nilai *brake power* tertinggi pada tiap pembebanan diperoleh pada OEV 75%. Kenaikan nilai *brake power* OEV 75% dibandingkan OEV 0% pada beban 25%, 50%, 75%, dan 100% adalah 3.59%, 10.29%, 2.84% dan 2.41%. Pengaruh variasi OEV terhadap *brake power* menyebabkan nilai *brake power* meningkat dengan semakin besarnya OEV.

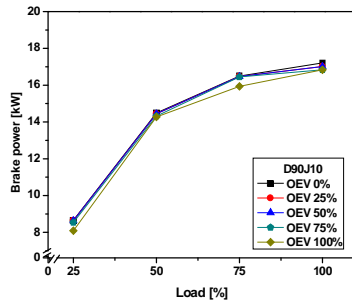


Gambar 4.1 Pengaruh OEV terhadap *brake power* pada berbagai beban dengan bahan bakar diesel.

Gambar 4.2, Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 menunjukkan nilai *brake power* mesin Isuzu 4BJ1 dengan berbagai variasi OEV pada berbagai pembebanan. Nilai *brake power* di semua variasi OEV

menurun dari nilai *brake power* pada OEV 0%. Untuk bahan bakar D90J10, D80J20 dan D70J30 penurunan terbesar terjadi pada OEV 100% pada beban 25% - 100%.

Penurunan *brake power* pada D90J10 sebesar 7.04%, 1.51%, 3.51% dan 2.17%. Pada D80J20 penurunan yang terjadi sebesar 8.10%, 4.58%, 4.09% dan 1.72% sedangkan pada D70J30 besar penurunan 9.61%, 9.42%, 5.54% dan 3.72% semua penurunan pada ketiga jenis campuran bahan bakar dihitung dari nilai *brake power* pada OEV 0%. Penurunan nilai *brake power* ini disebabkan jumlah udara segar yang masuk ke ruang bakar berkurang sehingga konsentrasi O₂ menurun mengakibatkan temperatur di ruang bakar menurun dan tekanan menjadi rendah,

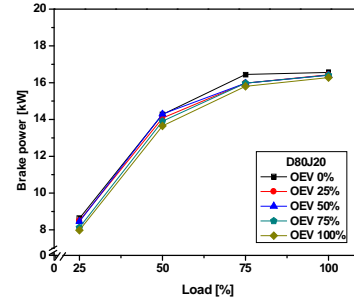


Gambar 4.2 Pengaruh variasi OEV terhadap *brake power* pada berbagai beban dengan bahan bakar D90J10.

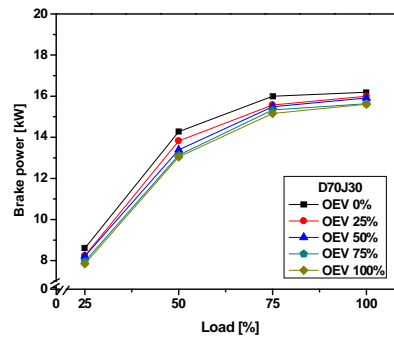
4.1.3. Pengaruh variasi campuran bahan bakar terhadap *brake power*.

Gambar 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 dan 4.9 menunjukkan pengaruh penambahan persentase jatropha pada tingkat OEV 0% sampai 100%. Variasi bahan bakar mengakibatkan penurunan nilai *brake power* pada bahan bakar D90J10 sampai D70J30. Penurunan terendah di setiap variasi tingkat OEV terjadi pada bahan bakar D70J30 dihitung dari nilai *brake power* D100.

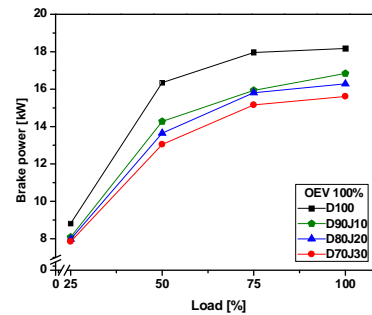
Berikut nilai penurunan *brake power* pada setiap variasi OEV, untuk OEV 0% sebesar 0.75%, 5.28%, 10.37% dan 9.85%, selanjutnya OEV 25% sebesar 2.61%, 12.63%, 13.85% dan 11.85% untuk OEV 50% sebesar 9.97%, 17.23%, 14.62% dan 14.49% pada OEV 75% sebesar 12.94%, 27.58%, 18.56% dan 16.60% sedangkan untuk OEV 100% sebesar 12.36%, 25.28%, 18.49% dan 16.43%.



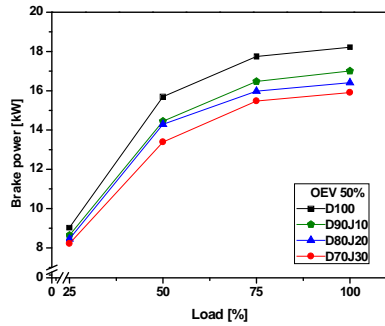
Gambar 4.3 Pengaruh variasi OEV terhadap *brake power* pada berbagai beban dengan bahan bakar D80J20.



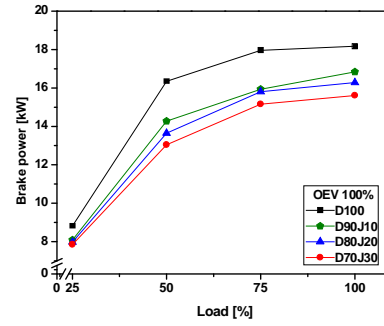
Gambar 4.4 Pengaruh variasi OEV terhadap *brake power* pada berbagai beban dengan bahan bakar D70J30.



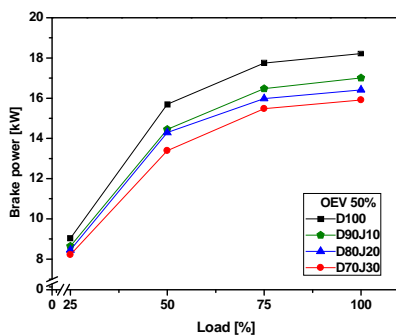
Gambar 4.5 Pengaruh variasi bahan bakar terhadap *brake power* pada berbagai beban untuk OEV 0%.



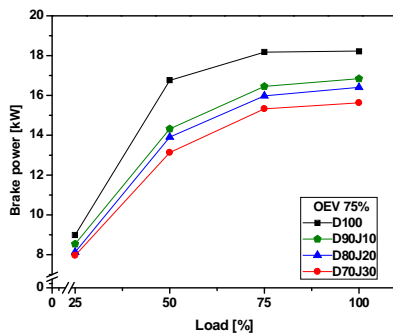
Gambar 4.6 Pengaruh variasi bahan bakar terhadap brake power pada berbagai beban untuk OEV 25%.



Gambar 4.9 Pengaruh variasi bahan bakar terhadap brake power pada berbagai beban untuk OEV 100%.



Gambar 4.7 Pengaruh variasi bahan bakar terhadap brake power pada berbagai beban untuk OEV 50%.



Gambar 4.8 Pengaruh variasi bahan bakar terhadap brake power pada berbagai beban untuk OEV 75%.

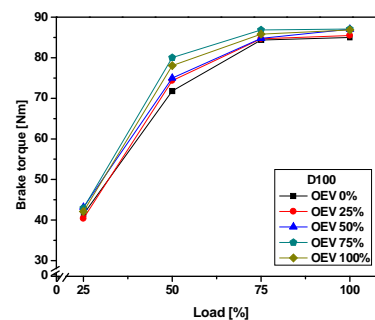
4.2. Grafik dan Analisa Brake Torque.

Analysis data *brake torque* yang diperoleh pada saat pengujian adalah sebagai berikut :

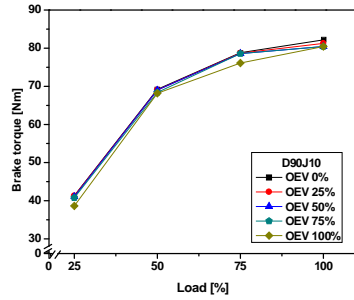
4.2.1. Pengaruh OEV terhadap *brake torque*.

4.2.1.1. Pengaruh OEV dengan bahan bakar D100, D90J10, D80J20, D70J30 terhadap *brake torque*.

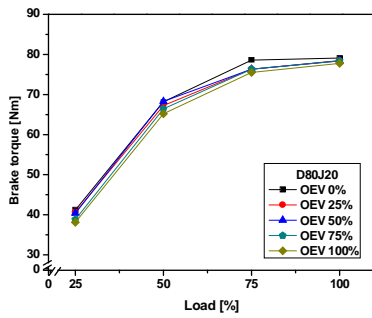
Gambar 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 menunjukkan nilai *brake torque* mesin diesel pada empat tingkat pembebanan dengan diberi lima variasi OEV. Jika dibandingkan dengan nilai *brake torque* pada OEV 0% untuk bahan bakar D100 nilai *brake torque* pada semua variasi OEV mengalami kenaikan yang terbesar terjadi pada OEV 75% dengan kenaikan sebesar 1.71%, 8.04%, 1.68% dan 2.13%. Untuk bahan bakar D90J10, D80J20 dan D70J30 semua nilai *brake torque* mengalami penurunan dan nilai penurunan terbesar semua terjadi pada OEV 100%. Penurunan nilai *brake torque* untuk D90J10 sebesar 6.57%, 1.48%, 3.39% dan 2.13% untuk D80J20 diperoleh penurunan sebesar 7.50%, 4.38%, 3.93% dan 1.69%, pada D70J30 sebesar 8.77%, 8.61%, 5.25% dan 3.59%.



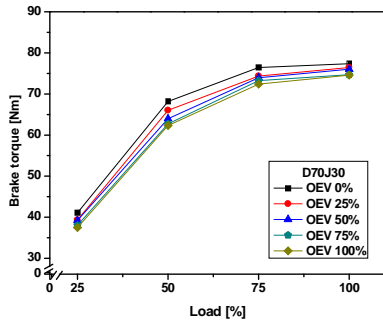
Gambar 4.10 Pengaruh variasi OEV terhadap *brake torque* pada berbagai variasi beban dengan bahan bakar diesel.



Gambar 4.11 Pengaruh variasi OEV terhadap *brake torque* pada berbagai beban dengan bahan bakar D90J10.



Gambar 4.12 Pengaruh variasi OEV terhadap *brake torque* pada berbagai beban dengan bahan bakar D80J20.



Gambar 4.13 Pengaruh variasi OEV terhadap *brake torque* pada berbagai beban dengan bahan bakar D70J30.

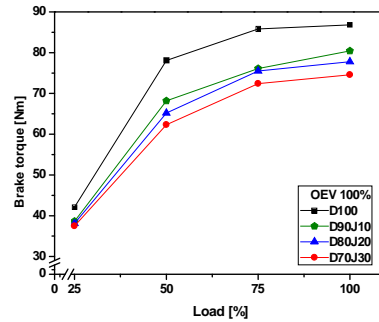
4.2.2. Pengaruh variasi campuran bahan bakar terhadap *brake torque*.

4.2.2.1. Pengaruh variasi bahan bakardengan OEV 0%, OEV 25%, OEV 50%, OEV 75% dan OEV 100% terhadap *brake torque*.

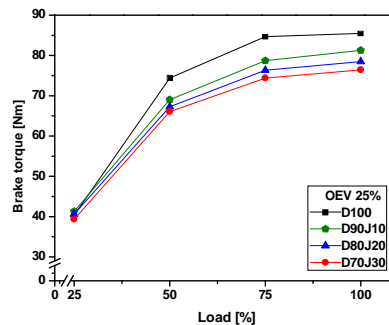
Gambar 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 dan 4.18 menunjukkan pengaruh penambahan persentase jatropha pada tingkat OEV 0% sampai 100%. Variasi bahan bakar

mengakibatkan penurunan nilai *brake power* pada bahan bakar D90J10 sampai D70J30. Penurunan terendah di setiap variasi tingkat OEV terjadi pada bahan bakar D70J30 dihitung dari nilai *brake power* D100.

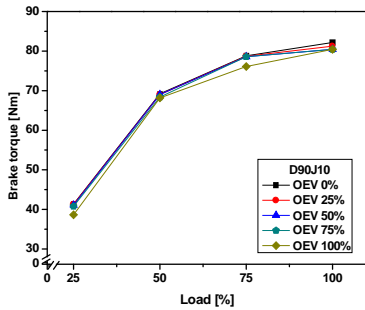
Berikut nilai penurunan *brake power* pada setiap variasi OEV, untuk OEV 0% sebesar 0.74%, 5.02%, 9.40%, dan 8.96%, selanjutnya OEV 25% sebesar 2.55%, 11.21%, 12.16%, dan 10.60% untuk OEV 50% sebesar 9.06%, 14.69%, 12.75%, dan 12.66% pada OEV 75% sebesar 11.46%, 21.62%, 15.65%, dan 14.24% sedangkan untuk OEV 100% sebesar 11.00%, 20.18%, 15.60%, dan 14.11%. Terjadi penurunan nilai *brake torque* pada bahan bakar campuran dikarenakan campuran bahan bakar diesel *fuel* dan jatropha mempunyai *heating value* yang rendah dibandingkan diesel *fuel* (Philip, 2003).



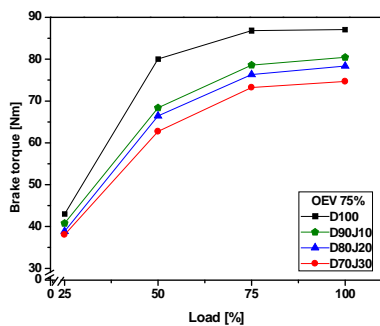
Gambar 4.14 Pengaruh variasi bahan bakar terhadap *brake torque* pada berbagai beban untuk OEV 0%.



Gambar 4.15 Pengaruh variasi bahan bakar terhadap *brake torque* pada berbagai beban untuk OEV 25%.



Gambar 4.16 Pengaruh variasi bahan bakar terhadap *brake torque* pada berbagai beban untuk OEV 50%.

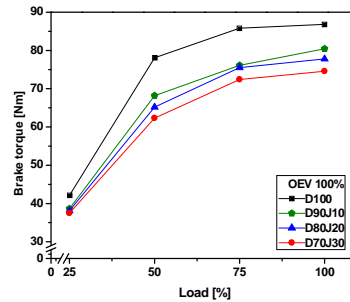


5. SIMPULAN

Dari hasil penelitian didapat pengaruh penggunaan variasi campuran bahan bakar diesel-jatropha dengan menggunakan *exhaust gas recirculation* terhadap performa dan emisi mesin diesel:

1. Nilai *brake power* mesin diesel meningkat ketika menggunakan bahan bakar D100 pada semua variasi OEV di setiap variasi pembebanan. Kenaikan tertinggi terjadi pada OEV 75% sebesar 3.59%, 10.29%, 2.84% dan 2.41% di bandingkan dengan OEV 0%. Nilai *brake power* pada tiga variasi bahan bakar yang lain menurun, penurunan terbesar terjadi pada bahan bakar D70J30 dengan OEV 100% pada semua variasi pembebanan, sebesar 9.61%, 9.42%, 5.54% dan 3.72% jika dibandingkan dengan OEV 0%.
2. Nilai *brake torque* mesin diesel meningkat pada bahan bakar D100 pada semua variasi OEV di setiap tingkat pembebanan. Kenaikan tertinggi terjadi pada OEV 75% sebesar 1.71%, 8.04%, 1.68% dan 2.13% jika dibandingkan dengan nilai pada OEV 0%. Nilai *brake torque* ketika menggunakan bahan bakar D90J10, D80J20, D70J30 menurun, penurunan terbesar terjadi pada bahan bakar D70J30 dengan OEV 100% pada semua variasi pembebanan sebesar 8.77%, 8.61%, 5.25% dan 3.59% jika dibandingkan dengan OEV 0%.

Gambar 4.17 Pengaruh variasi bahan bakar terhadap *brake torque* pada berbagai beban untuk OEV 75%.



Gambar 4.18 Pengaruh variasi bahan bakar terhadap *brake torque* pada berbagai beban untuk OEV 100%.

3. Nilai *brake specific fuel consumption* mesin diesel meningkat pada semua variasi bahan bakar untuk semua variasi OEV pada beban tinggi. Kenaikan tertinggi terjadi pada bahan bakar D70J30 dengan OEV 100% sebesar 7.46%, 8.00%, 4.17%, dan 3.46% jika dibandingkan dengan nilai pada OEV 0%.
4. Nilai *opacity* mesin diesel menurun bila persentase jatropha meningkat pada campuran bahan bakar. Penurunan terbesar terjadi pada OEV 0% dengan menggunakan bahan bakar D70J30 sebesar 36.75%, 30.36%, 25.07%, dan 25.46%. Sebaliknya nilai *opacity* akan semakin meningkat jika persentase OEV meningkat. Peningkatan *opacity* tertinggi terjadi pada OEV 100% dengan menggunakan bahan bakar D80J20 sebesar 57.45%, 33.50%, 10.14%, dan 16.86% jika dibandingkan dengan OEV 0%.
5. Nilai *equivalence ratio* mesin diesel meningkat ketika menggunakan variasi bahan bakar D100 dengan OEV 75% sebesar 6.36%, 18.73%, 12.97%, dan 13.54% jika dibandingkan dengan OEV 0%. Pada variasi bahan bakar yang lain tidak ada perbedaan nilai *equivalence ratio* yang terlalu signifikan.
6. Nilai *exhaust gas temperature* mesin diesel turun pada semua variasi bahan bakar disemua variasi OEV pada semua variasi pembebanan, penurunan terendah terjadi pada bahan bakar D70J30 dengan OEV 100% sebesar 1.93%,

- 5.81%, 7.60%, dan 4.01% dari nilai *exhaust gas temperature* OEV 0%.
7. Nilai *volumetric efficiency* mesin diesel menurun pada semua variasi bahan bakar di semua variasi OEV pada semua tingkat pembebanan. Penurunan terendah terjadi pada bahan bakar D100 dengan OEV 100% sebesar 6.12%, 6.27%, 5.98%, dan 6.12% dari nilai *volumetric efficiency* OEV 0%.
 8. Nilai *brake thermal efficiency* mesin diesel menurun pada semua variasi bahan bakar di semua variasi OEV pada semua tingkat pembebanan. Penurunan terendah terjadi pada bahan bakar D70J30 dengan OEV 100% sebesar 11.44%, 11.95%, 8.29%, dan 7.60% dari nilai *brake thermal efficiency* dengan OEV 0%.

Berdasarkan data hasil analysis terlihat tidak terlalu berbeda signifikan dengan performa dan emisi mesin diesel menggunakan *diesel fuel* jadi penggunaan bahan bakar campuran biodiesel jatropha sampai 30% dan EGR dengan *opening EGR valve* 100% dapat digunakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, Avinash Kumar, Singh, Srivastava, 2004 "Effect of EGR on the exhaust gas temperature and exhaust opacity in compression ignition engines". Environmental engineering and management, India Institut of Technology.
- Alain Maiboom, Xavier Tauzia, Jean-Franc-ois He'tet, 2007, "Experimental study of various effects of exhaust gas recirculation (EGR) on combustion and emissions of an automotive direct injection diesel engine", Ecole Centrale de Nantes, BP 92101, 44321 Nantes Cedex 3, France.
- Ayhan Demirbas, 2009 "Progress and recent trends in biodiesel fuels" International Journal of Energy Conversion and Management, Elsevier.
- B.P Singh, and P.K Sahoo.,2012, "A Simulation Model for Predicting the Performance of Bio Fuels Conventional Engine." IJETSE International Journal of Emerging Technologies in Sciences and Engineering, Vol.5, No.3.
- Badan Pusat Statistic, 2010 "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis tahun 1987-2010" Badan Pusat Statistik Indonesia.
- British Petroleum, 2012, "Statistical Review of World Energy", Juni.
- Bureau of Energy Efficiency., 2004," Energy Efficiency in Thermal Utilities." (www.energyefficiencyasia.org) ©UNEP, diakses tanggal 20 Desember 2012).
- Heywood, Dr.John B., 1988 "Internal combustion engine fundamentals", By Mc.Grew-Hill,.
- Holman J.P., E. Jasjfi, 1996, " Perpindahan Kalor." Jakarta: Erlangga.
- K. Rajan , K. R. Senthilkumar., 2009 " Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on the Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine with Sunflower Oil Methyl Ester ", Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering,.
- Land &Sea., 2006, "DYNOMite Owner's manual," Warranty Department 25 Hanniker Street Concord, NH 03301 USA.
- M. Gomaa, A.J. Alimin, K.A. Kamarudin., 2011" The effect of EGR rates on NO_x and smoke emissions of an IDI diesel engine fuelled with Jatropha biodiesel blends, International Journal Of Energy And Environment.
- M. Gomaa, AJ Alimin,KA. Kamarudin., 2010 "Trade-off between NO_x Soot and EGR rate fot an IDI diesel engine fuelled with JB5",World Academy of Science Engineering and Technology.
- Manurung Robert.,2007,"Valorisation of Jatropha curcas using the Biorefinery Concept," FACT Jatropha Expert Seminar, Biotechnology Research Center ITB.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5. , Tahun 2006, "Tentang Kebijakan Energi Nasional".
- Permen No.04, 2009,"Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru", Menteri Lingkungan Negara lingkungan hidup", Indonesia.
- Philip Kristanto, Ricky Winaya., 2002," Penggunaan Minyak Nabati Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pada Motor Diesel Sistim Injeksi Langsung," Jurnal Teknik Mesin Vol. 4, (2), pp. 99 – 103.
- Prof: G S Hebbar, 2006, "Analysis Of Performance And Emissions Of A Naturally Aspirated Stationary DI Diesel Engine With Exhaust Gas Recirculation," Mechanical Engineering Department, Gogte Institute of Technology, Belguam 590008 Karnataka, INDIA.