

## STUDI EKSPERIMENTAL EGT DAN SMOKE OPACITY PADA MESIN DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR CAMPURAN JATROPHA DENGAN SISTEM COLD EGR

**Eka Darmana**

Jurusan Teknik, Akademi Pelayaran Niaga Indonesia  
Jl. Pawiyatan Luhur II/17, Bendan Dhuwur, Semarang.  
Email: [darmanaeka@yahoo.com](mailto:darmanaeka@yahoo.com)

### Abstrak

Penipisan bahan bakar solar yang berasal dari fosil, mendorong manusia untuk mencari bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui. Salah satu bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan bahan bakar fosil dan dapat diperbaharui adalah jatropha biodiesel. Penggunaan bahan bakar jatropha tidak menjerumuskan performa dari mesin diesel akan tetapi nilai emisi NOx jatropha lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar solar. Teknik EGR membantu mereduksi emisi NOx tersebut, akan tetapi masih diperlukan pengkajian dampak EGR terhadap smoke opacity mesin diesel dengan memakai bahan bakar jatropha biodiesel. Pengujian dilakukan pada putaran mesin konstan 2000 rpm, dengan memvariasi bukaan katup EGR dari 0% - 100% dengan interval 25% pada setiap pembebanan. Pengujian dilakukan dengan bahan bakar D100 dan D30J70. Hasil penelitian menunjukkan bahwa EGT menurun ketika menggunakan cold EGR maupun bahan bakar jatropha. Smoke opacity meningkat ketika dioperasikan dengan sistem EGR. Peningkatan smoke opacity juga terjadi ketika menggunakan bahan bakar jatropha dibandingkan dengan bahan bakar solar (D100).

**Kata kunci:** diesel, EGT, smoke opacity, cold EGR, jatropha

### 1. PENDAHULUAN

Mesin diesel banyak digunakan sebagai moda transportasi karena efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesin bensin. Akan tetapi emisi NOx dan jelaga (*soot*) yang dihasilkan oleh mesin diesel masih cukup tinggi, dimana emisi ini berbahaya bagi kesehatan manusia. Oleh karena itu, standar emisi gas buang untuk mesin diesel diberlakukan sangat ketat di beberapa negara maju. Mesin diesel juga digunakan di berbagai sektor, antara lain: pembangkit listrik, konstruksi dan industri. Penggunaan yang luas pada mesin diesel menyebabkan kenaikan kebutuhan bahan bakar solar yang berasal dari fosil, dimana bahan bakar ini termasuk jenis bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui. Hal ini akan mengakibatkan cadangan bahan bakar solar semakin menipis. Penipisan bahan bakar solar dan dampak pencemaran lingkungan akibat emisi gas buang telah mendorong untuk mencari bahan bakar alternatif dan sistem yang dapat mereduksi emisi. Oleh karena itu, sangat diperlukan bahan bakar terbarukan yang

dapat menggantikan solar dan suatu sistem yang dapat mereduksi emisi gas buang.

Saat ini, sudah banyak sumber energi terbarukan yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif, salah satunya adalah biodiesel dari minyak nabati. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang digunakan pada mesin diesel, tanpa menjerumuskan performa dari mesin diesel. Salah satu biodiesel yang dijadikan bahan bakar dalam eksperimen ini adalah jatropha. Beberapa peneliti menyatakan bahwa jatropha dapat menggantikan bahan bakar solar tanpa mengalami kerugian daya yang cukup besar, akan tetapi nilai NOx yang dihasilkan jatropha relatif tinggi. Gomma M., (2010) menyimpulkan bahwa Jatropha blending yang digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel mampu meningkatkan *brake thermal efficiency* dan *brake spesific fuel consumption*. Akan tetapi *jatropha* mempunyai kelemahan terhadap emisi gas buang. Nilai NOx jatropha lebih tinggi dibandingkan bahan bakar solar (Pradeep, V., Sharma, R.P., 2007).

Untuk mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin diesel dapat menggunakan sistem *Exhaust Gas Recirculation* (EGR). EGR dapat mereduksi NOx pada mesin diesel, akan tetapi EGR akan berdampak pada jelaga yang dihasilkan mesin diesel tersebut. Prinsip kerja EGR adalah mensirkulasikan sebagian aliran gas buang kembali ke dalam mesin. Penggunaan EGR akan menghasilkan jelaga yang lebih banyak karena kurangnya oksigen di dalam ruang bakar. Oleh karena itu, meskipun EGR dapat mengurangi emisi NOx dengan efektif, akan tetapi menyebabkan emisi jelaga meningkat (Avinash Kumar Agrawal, 2004).

Dari paparan diatas kemudian dilakukan penelitian yang mengkaji bahan bakar campuran jatropha sebagai alternative bahan bakar fosil dengan menggunakan sistem EGR untuk mereduksi emisinya. Kajian eksperimental ini menitikberatkan pada emisi jelaga dan exhaust gas temperature pada mesin diesel menggunakan sistem *cold EGR*.

**Exhaust Gas Recirculation (EGR)**

Tehnik EGR sudah banyak digunakan pada beberapa tahun terakhir untuk mengurangi emisi NOx pada mesin diesel. EGR mensirkulasikan sebagian kecil dari *exhaust gas* ke *intake manifold*, dimana *exhaust gas* yang disirkulasikan akan bercampur dengan udara yang masuk ke ruang bakar. EGR di klasifikasikan menjadi dua, yaitu *hot EGR* dan *cold EGR*. *Hot EGR* merupakan suatu metode yang digunakan untuk mensirkulasikan *exhaust gas* tanpa mendinginkan gas buang tersebut, sehingga menyebabkan peningkatan suhu udara masukan, sedangkan *Cold EGR* merupakan suatu metode yang digunakan untuk mensirkulasikan *exhaust gas* dengan mendinginkan gas buang tersebut menggunakan *heat exchanger*, sehingga menyebabkan penurunan suhu udara masukan (Avinash dkk., 2004).

Rajan dan Senthil Kumar (2009), menyimpulkan bahwa EGR mengurangi emisi NOx, karena terdapat muatan air pada

udara masukan, sehingga menurunkan suhu pembakaran. Suhu pembakaran yang rendah akan menyebabkan pembentukan jelaga yang meningkat. Sehingga pemakaian EGR akan membentuk *trade-off* antara penurunan emisi NOx dan peningkatan emisi jelaga, CO dan HC.

Jumlah EGR dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\%EGR = \frac{\dot{m}_{EGR}}{\dot{m}_i} \times 100\% \quad (\text{Heywood, 1988})$$

Dimana :

$\dot{m}_{EGR}$  = laju massa gas yang sirkulasikan kembali

$\dot{m}_i$  = total laju massa udara yang masuk ke silinder

**2. METODE PENELITIAN**

Mesin yang digunakan adalah mesin diesel dengan spesifikasi pada tabel 1. Untuk mendapatkan putaran mesin digunakan sensor *proximity* dengan display digital. Untuk mengukur laju aliran massa bahan bakar digunakan sebuah gelas ukur dan *stop watch*. Temperatur gas buang diukur menggunakan termometer digital dengan sensor termokopel, sedangkan laju aliran massa udara masuk dan laju aliran massa EGR didapat dengan mengukur perbedaan tekanan pada orifice. Skema peralatan pengujian dapat dilihat pada gambar 1. Pengambilan data dilakukan pada putaran mesin konstan yaitu 2000 rpm, dengan variasi bukaan katup EGR mulai 0% sampai 100% dengan interval 25%. Variasi bukaan katup pembebanan mulai 25% sampai 100% dilakukan pada tiap-tiap variasi bukaan katup EGR. Variasi diatas dilakukan untuk setiap campuran bahan bakar, yaitu solar (D100) dan solar 70% dengan jatropha 30% (D70J30). Spesifikasi bahan bakar ditunjukkan pada tabel 2.

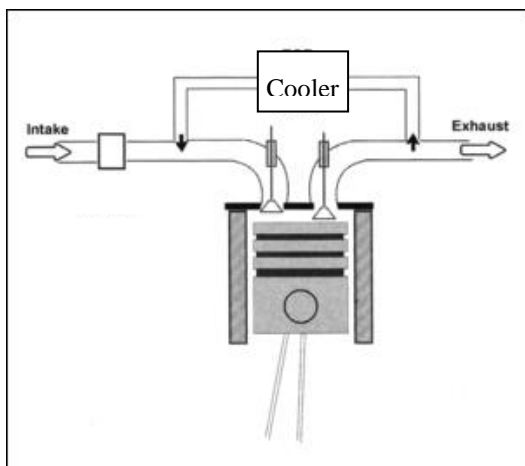
**Tabel 1. Spesifikasi mesin**

Tipe Motor	Diesel, OHV, vertical in line, Direct Injection, 4JB1, 4 silinder
Diameter/langkah	93 mm/102 mm
Daya maksimum	70/3000 ( HP/rpm)

Torsi maksimum	132/2000 (lb.ft/rpm)
Perbandingan kompresi	18,2 : 1

**Tabel 2. Spesifikasi bahan bakar**

Karakteristik	D100	Jatropha
Angka Setana	48,0	41,8
Nilai Kalor (MJ/kg)	45,21	37,97
Viscositas pada Suhu 40°C (Mpa.s)	2,5	4,84
Titik Nyala (°C)	60,0	198,0
Kadar Air (% v)	0,05	3,16



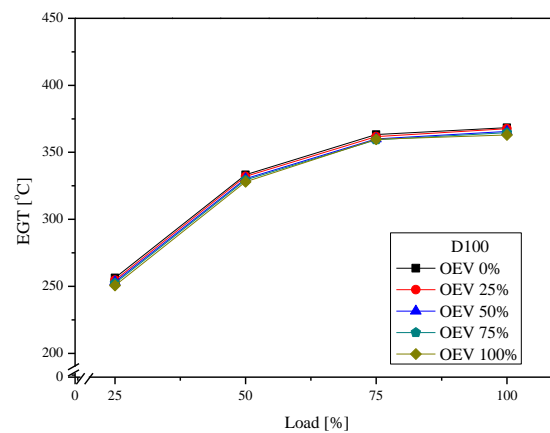
Gambar 1. Skema peralatan eksperimen

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan pembebanan 25% - 100% pada putaran konstan 2000 rpm. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan variasi bukaan katup EGR/*Opening of EGR Valve* (OEV) dan variasi bahan bakar. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh EGR dan variasi bahan bakar terhadap *exhaust gas temperature* dan *opacity*.

Eksperimen untuk mengetahui pengaruh EGR terhadap *exhaust gas temperature* (EGT) ini dilakukan dengan OEV 0% - 100%. Hasil pengujian dari masing-masing OEV tersebut dibandingkan dengan hasil pengujian tanpa EGR (OEV 0%) untuk memperoleh perubahan nilai EGT tertinggi. Sedangkan untuk memperoleh nilai

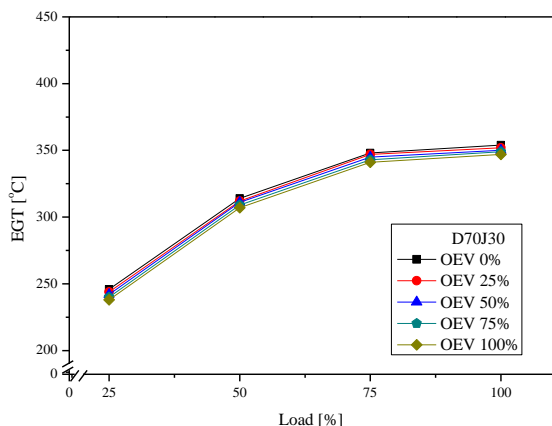
EGT terendah maupun tertinggi, dilakukan perbandingan dengan nilai EGT lainnya. Gambar 2 dan 3 menunjukkan nilai EGT mesin diesel pada empat tingkat pembebanan dengan diberi lima variasi OEV. EGT meningkat dengan meningkatnya beban. Ketika dioperasikan dengan EGR terjadi penurunan EGT seiring bertambahnya laju EGR pada pembebanan yang sama. Aplikasi sistem EGR dapat meningkatkan *specific heat* campuran gas buang dan udara masuk yang berdampak puncak temperatur pembakaran menjadi rendah sehingga EGT menjadi turun (Anivash K. dkk, 2004). Penurunan EGT dapat disebabkan oleh jumlah oksigen yang berkurang akibat gas buang yang disirkulasikan sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna sehingga menurunkan suhu di ruang bakar dan konsekuensinya menurunkan suhu gas buang (Rajan K. dan Senthil Kumar, 2009). Kedua alasan ini juga disampaikan Agarwal (2011).



Gambar 2. Pengaruh variasi OEV terhadap EGT pada berbagai variasi beban dengan bahan bakar D100

Pada gambar 2 menunjukkan bahwa ketika dibandingkan dengan nilai EGT pada OEV 0%, untuk bahan bakar D100 tendensi nilai EGT pada variasi OEV mengalami penurunan. Penurunan EGT terbesar terjadi pada beban 25% dengan variasi OEV 100%

sebesar 2,21% dibandingkan tanpa EGR (OEV 0%). Nilai EGT tertinggi terjadi pada beban 100% dengan variasi OEV 0% sebesar 368,33 °C. Sedangkan nilai EGT terendah terjadi pada beban 25% dengan variasi OEV 100% yaitu 250,67 °C. Tendensi yang sama juga terjadi ketika dioperasikan dengan bahan bakar D70J30 sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.

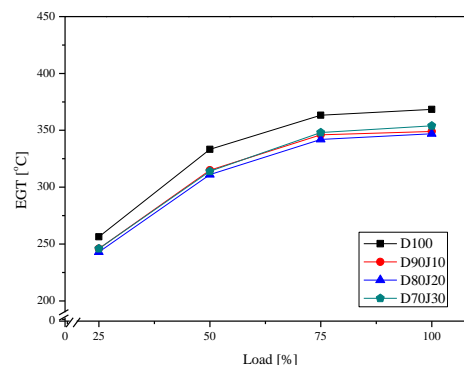


Gambar 3. Pengaruh variasi OEV terhadap EGT pada berbagai variasi beban dengan bahan bakar D70J30

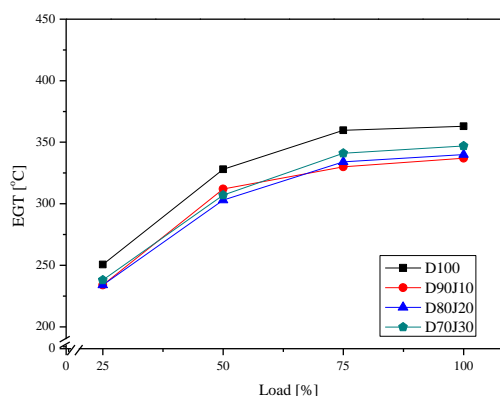
Pada gambar 3 menunjukkan pengaruh EGR terhadap EGT dengan bahan bakar D70J30. EGT menurun dengan bertambahnya EGR. Penurunan EGT paling besar terjadi pada beban 25% dengan tingkat OEV 100% sebesar 3,25% dibandingkan tanpa EGR (OEV 0%). Nilai EGT paling tinggi terjadi pada beban 100% dengan tingkat OEV 0% sebesar 354,00 °C. Sedangkan nilai EGT paling rendah terjadi pada beban 25% dengan variasi OEV 100% yaitu 238,00 °C. EGT rendah dapat menjadi indikasi bahwa temperature pembakaran didalam ruang bakar juga rendah. Sehingga penurunan EGT dapat menjadi indikasi pengurangan emisi NOx karena NOx terbentuk pada temperature pembakaran yang tinggi (Anivash K. dkk, 2004).

Gambar 4 dan 5 menunjukkan nilai EGT mesin diesel tiap-tiap variasi EGR pada

empat tingkat pembebanan dengan empat variasi bahan bakar. EGT meningkat ketika beban ditingkatkan. Ketika menggunakan variasi bahan bakar, EGT bahan bakar diesel lebih tinggi dibandingkan bahan bakar campuran *jatropha*. Hal ini karena nilai kalor D100 lebih tinggi dibandingkan bahan bakar campuran (Saleh H. E., 2009). Dengan kata lain EGT bahan bakar campuran lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar D100 disebabkan nilai kalor bahan bakar campuran lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar D100 sehingga panas yang dihasilkan bahan bakar campuran juga lebih rendah, akibatnya temperatur diruang bakar akan lebih rendah dan pada akhirnya EGT juga menjadi lebih rendah.



Gambar 4. Pengaruh variasi bahan bakar terhadap EGT pada berbagai beban untuk OEV 0%.



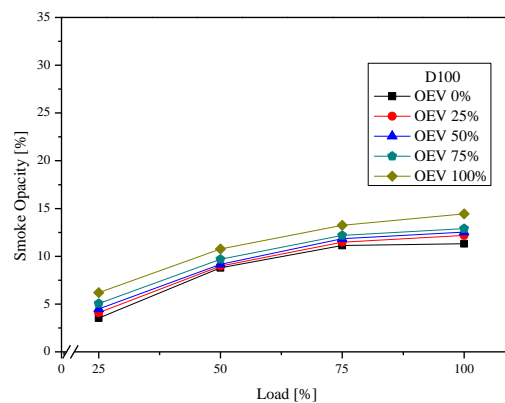
Gambar 5. Pengaruh variasi bahan bakar terhadap EGT pada berbagai beban untuk OEV 100%.

Pada gambar 4 menunjukkan bahwa terjadi penurunan EGT ketika menggunakan bahan bakar campuran *jatropha* dibandingkan dengan bahan bakar diesel pada EGR 0%. Penurunan EGT terbesar terjadi pada saat beban 50% dengan bahan bakar D80J20 sebesar 6,70% dibandingkan dengan bahan bakar D100. Nilai EGT terkecil terjadi pada saat beban 25% pada bahan bakar D80J20 yaitu 243,00 °C. Sedangkan nilai EGT tertinggi terjadi saat beban 100% dengan bahan bakar D100 yaitu 368,00 °C. Begitu juga ketika dioperasikan dengan EGR pada tingkat OEV 100% sebagaimana disajikan pada gambar 5. Pada gambar tersebut terlihat bahwa terjadi penurunan EGT ketika menggunakan bahan bakar campuran *jatropha* dibandingkan bahan bakar D100. Penurunan EGT tertinggi terjadi ketika beban 75% dengan bahan bakar D90J10 sebesar 8,25% dibandingkan dengan bahan bakar D100. Sementara nilai EGT terendah terjadi ketika beban 25% pada bahan bakar D90J10 dan D80J20 yaitu 234,00 °C. Sedangkan nilai EGT tertinggi terjadi saat beban 100% dengan bahan bakar D100 yaitu 363,00 °C.

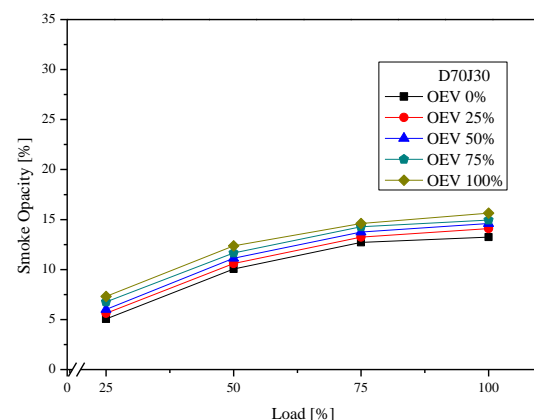
Gambar 6 dan 7 menyajikan nilai *smoke opacity* mesin diesel pada empat tingkat pembebanan dengan diberi lima variasi OEV. *Smoke opacity* meningkat dengan meningkatnya beban. *Smoke opacity* juga meningkat linier ketika dioperasikan dengan EGR pada pembebanan yang sama. Peningkatan opacity ini karena gas buang yang disirkulasikan mengurangi jumlah oksigen yang tersedia dan menjadikan pembakaran tidak sempurna sehingga konsekuensinya meningkatkan opacity (Gomaa dkk., 2011). Alasan serupa disampaikan oleh Pooja Ghodasara (2012).

Pada gambar 6 menunjukkan bahwa ketika menggunakan bahan bakar D100, *smoke opacity* mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya EGR. Ketika dibandingkan dengan OEV 0% (tanpa EGR), peningkatan *smoke opacity* tertinggi terjadi saat beban 25% pada tingkat OEV 100%

yaitu sebesar 73,33%. Sementara kenaikan *smoke opacity* paling rendah terjadi saat beban 50% pada tingkat OEV 25% yaitu sebesar 2,07%. Nilai *smoke opacity* terendah terjadi ketika beban 25% dengan tingkat OEV 0% yaitu 3,50%. Sedangkan ketika EGR dioperasikan, nilai *smoke opacity* terendah adalah 4,11% terjadi ketika beban 25% dengan tingkat OEV 25%. Ketika menggunakan bahan bakar D70J30 terjadi kecenderungan yang sama sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 7. *Opacity* meningkat seiring dengan meningkatnya EGR.



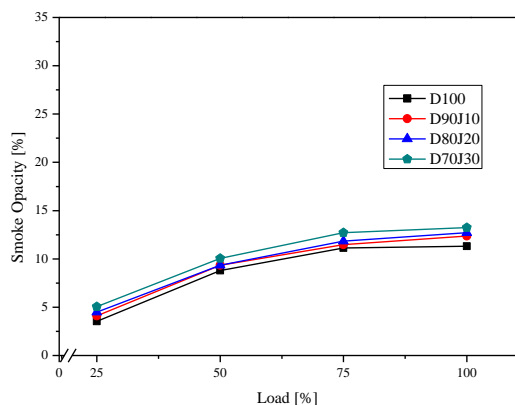
Gambar 6. Pengaruh variasi OEV terhadap *smoke opacity* pada berbagai variasi beban dengan bahan bakar diesel



Gambar 7. Pengaruh variasi OEV terhadap *smoke opacity* pada berbagai variasi beban dengan bahan bakar D70J30.

Ketika dibandingkan dengan OEV 0% (tanpa EGR), peningkatan *smoke opacity* tertinggi terjadi saat beban 25% pada tingkat OEV 100% yaitu sebesar 44,43%. Sementara kenaikan *smoke opacity* paling rendah terjadi saat beban 75% pada tingkat OEV 25% yaitu sebesar 4,11%. Nilai *smoke opacity* terendah terjadi ketika beban 25% dengan tingkat OEV 0% yaitu 5,07%. Sedangkan ketika EGR dioperasikan, nilai *smoke opacity* terendah terjadi ketika beban 25% dengan tingkat OEV 25% yaitu 5,64%.

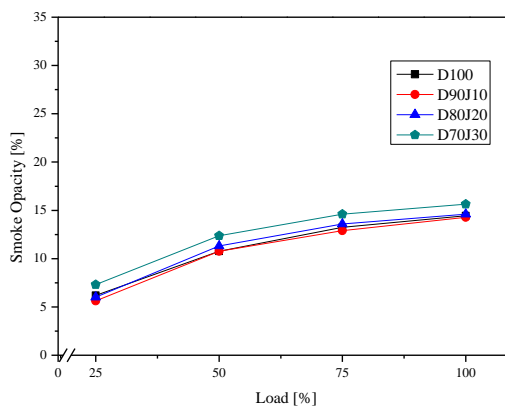
Gambar 8 dan 9 menunjukkan nilai *opacity* mesin diesel tiap-tiap variasi EGR pada empat tingkat pembebanan dengan empat variasi bahan bakar. *Smoke opacity* meningkat ketika beban ditingkatkan. Ketika dioperasikan dengan bahan bakar campuran *jatropha* terjadi peningkatan *opacity* pada beban yang sama. *Smoke opacity* meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan *jatropha* dalam bahan bakar. Hal ini karena buruknya atomisasi *jatropha* akibat tingginya viskositas bahan bakar (Senthil Kumar dkk., 2003).



Gambar 8. Pengaruh variasi bahan bakar terhadap *smoke opacity* pada berbagai beban untuk OEV 0%.

Gambar 8 menunjukkan pengaruh variasi bahan bakar terhadap *smoke opacity* pada OEV 0% (tanpa EGR). Terjadi peningkatan *smoke opacity* ketika menggunakan bahan bakar campuran

*jatropha* dibandingkan dengan bahan bakar diesel. Peningkatan *smoke opacity* terbesar terjadi pada saat beban 25% dengan bahan bakar D70J30 sebesar 43,30% dibandingkan dengan bahan bakar D100. Sementara peningkatan terkecil terjadi pada beban 75% menggunakan bahan bakar D90J10 sebesar 3,19%. Nilai *smoke opacity* tertinggi terjadi pada saat beban 100% pada bahan bakar D70J30 yaitu 13,24%. Sedangkan nilai *smoke opacity* terendah terjadi saat beban 25% dengan bahan bakar D100 yaitu 3,54%. Ketika menggunakan bahan bakar campuran *jatropha*, nilai *smoke opacity* terendah pada saat beban 25% dengan bahan bakar D90J10 yaitu 4,11%.



Gambar 9. Pengaruh variasi bahan bakar terhadap *smoke opacity* pada berbagai beban untuk OEV 100%.

Kondisi yang tidak jauh berbeda terjadi ketika dioperasikan dengan EGR pada tingkat OEV 100% yang ditunjukkan pada gambar 9. Terjadi peningkatan *smoke opacity* ketika menggunakan bahan bakar campuran *jatropha* dibandingkan dengan bahan bakar diesel kecuali bahan bakar D90J10 yang mengalami penurunan pada semua beban. Penurunan terbesar terjadi pada saat beban 25%. Sementara peningkatan *smoke opacity* terbesar terjadi pada saat beban 25% dengan bahan bakar D70J30 sebesar 18,05,42% dibandingkan dengan bahan bakar D100. Nilai *smoke opacity* tertinggi terjadi pada

saat beban 100% pada bahan bakar D70J30 yaitu 15,63%. Sedangkan nilai *smoke opacity* terendah terjadi saat beban 25% dengan bahan bakar D90J10 yaitu 5,64%.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan diatas, studi eksperimental tentang *EGT* dan *opacity* pada mesin diesel menggunakan bahan bakar campuran *jatropha* dengan sistem *cold EGR*, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut: a) Aplikasi *EGR* menurunkan exhaust gas temperature. Hal ini dapat menjadi indikasi nilai *NOx* turun. b) Penggunaan bahan bakar campuran *jatropha* dengan kombinasi sistem *cold EGR* dapat menurunkan *EGT* sebagai salah satu indikasi emisi *Nox* menurun, akan tetapi *jathopha* dapat meningkatkan *smoke opacity* karena tingginya nilai viskositas bahan bakar tersebut c) Pemakaian *cold EGR* berpengaruh positif terhadap penurunan emisi *Nox* tetapi meningkatkan *smoke opacity* mesin diesel karena mengurangi jumlah oksigen sehingga pembakaran menjadi kurang sempurna.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, D., Singh, S.K, Agarwal, A.K. (2011), "Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on performance, deposits and durability of constant speed compression ignition engine"., *Elsevier*, **88**, 2900-2907.
- Avinash Kumar Agrawal. dkk. (2004), "Effect of EGR on the exhaust gas temperatur and exhaust"., *Sadhana*, **29**, 275–284.
- Gomaa, M., Alimin, A.J., Kamarudin, K.A. (2011), "The effect of EGR rates on NOX and smoke emissions of an IDI diesel engine fuelled with *Jatropha* biodiesel blends"., *International Energy and Environment Foundation*, **2**, 477 – 49.
- Gomma, M., Alimin, A.J., Kamarudin, K.A. (2010), "Trade off Between NOx, Soot and EGR rates for IDI Diesel Engine Fuelled with JB5"., *World Academy of Science, Engineering and Technology*, **38**, 522-527.
- Heywood, John B.L. (1988), *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Pooja Ghodasara, Mayur Ghodasara. (2012), "Experimental studies in emission and performance characteritics in diesel engine using bio-diesel blend and EGR (exhaust gas recirculation)"., *Emerging Technology and Advanced Engineering*, **2**, 2250-2459
- Pradeep, V., Sharma, R.P. (2007), "Use of hot EGR for NOx control in a compression ignition engine fuelled with biodiesel from *jatropha* oil"., *Renewable Energy*, **32**, 1132-1154.
- Rajan, K. dan Senthil Kumar, K.R. (2009), "The effect of exhaust gas recirculation (EGR) on the performance and emission characteristics of diesel engine with sunflower oil methyl ester"., *International Journal of Chemical Engineering Research*, **1**, 31 – 39.
- Rajan, K., Senthil Kumar, K.R. (2009), "The effect of exhaust gas recirculation (EGR) on the performance and emission characteristics of diesel engine with sunflower oil methyl ester"., *International Journal of Chemical Engineering Research*, **1**, 31-39.

- Saleh, H. E. (2009), “Effect of exhaust gas recirculation on diesel engine nitrogen oxide reduction operating with jojoba methyl ester”., *Renewable Energy*, **34**, 2178-2186.
- Senthil Kumar, M., Ramesh, A., Nagalingam, B. (2003), ”An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine”., *Biomass and Bioenergy*, 23, 309-318