

PENGARUH *COLD EGR* TERHADAP *BRAKE POWER* PADA MESIN DIESEL DENGAN BAHAN BAKAR CAMPURAN SOLAR DAN *JATROPHA*

Ek a Darmana^{1*}, Syaiful², Berkah Fajar²

¹ Jurusan Teknik, Akademi Pelayaran Niaga Indonesia
Jl. Pawiyatan Luhur II/17, Bendan Dhuwur, Semarang.

² Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UNDIP

Jl. Prof. Sudharto, SH., Semarang

*Email: darmanaeka@yahoo.com

Abstrak

Penggunaan mesin diesel di segala sektor telah meningkatkan konsumsi bahan bakar fosil yang berdampak pada cadangan bahan bakar semakin tipis sehingga butuh bahan bakar alternatif. Disisi lain, mesin diesel memiliki masalah yang fundamental yaitu emisi gas buang yang berupa NOx dan jelaga. Salah satu alternatif bahan bakar yang dapat diperbaharui adalah biodiesel minyak jarak (*jatropha*), akan tetapi emisi NOx yang dihasilkan cukup tinggi. Penggunaan EGR membantu mereduksi emisi NOx tersebut, akan tetapi masih diperlukan pengkajian dampak EGR terhadap performa mesin diesel dengan memakai bahan bakar biodiesel. Bahan bakar yang digunakan adalah campuran solar dan *jatropha* dengan berbagai variasi. Pengujian dilakukan pada putaran mesin konstan 2000 rpm, dengan memvariasi bukaan katup EGR dari 0% - 100% dengan interval 25% pada setiap pembebanan. Pengujian dilakukan pada setiap variasi campuran bahan bakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *brake power* bahan bakar campuran cenderung menurun ketika dioperasikan dengan *cold EGR* kecuali pada OEV 75% dengan pembebanan 50% terjadi peningkatan *brake power* sebesar 2,58% untuk bahan bakar D80J20. *Brake power* juga tendensi menurun dengan pemakaian bahan bakar campuran dibandingkan bahan bakar solar.

Kata kunci: diesel, *brake power*, *cold EGR*, *jatropha*

1. PENDAHULUAN

Mesin diesel banyak di minati sebagai penggerak utama karena keuntungan mereka seperti efisiensi yang lebih besar, daya tahan dan bahan bakar yang ekonomis dibandingkan dengan mesin bensin. Walaupun banyak keuntungan, mesin diesel menghasilkan emisi yang lebih tinggi yaitu *Nitrogen Oxide* (NO_x) dan asap/*soot* yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Aplikasi mesin diesel sangat luas antara lain pada pembangkit listrik, pertanian, konstruksi, industri dan sektor transportasi. Penggunaan yang luas pada mesin diesel menyebabkan kenaikan kebutuhan minyak bumi yang berasal dari bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbarui.

Penipisan bahan bakar fosil dan dampak pencemaran lingkungan yang meningkat dari emisi gas buang telah menuntun untuk mencari bahan bakar alternatif. Untuk mengatasi kekawatiran kelangkaan sumber

energi dan kepedulian terhadap lingkungan dengan usaha menekan emisi, maka sangat diperlukan alternatif energi dengan dampak lingkungan yang lebih rendah. Saat ini, sudah banyak sumber energi sebagai alternatif bahan bakar, salah satunya adalah biodiesel dari minyak nabati yang merupakan bahan bakar terbarukan. Pertimbangan yang sangat penting pada biodiesel dari minyak nabati adalah biodiesel tersebut dihasilkan dari tanaman yang tidak dikonsumsi manusia/tidak dimakan. Minyak jarak (*jatropha*) merupakan salah satu alternatif biodiesel dari tanaman yang tidak dikonsumsi manusia.

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang digunakan pada mesin diesel, tanpa menjerumuskan performa dari mesin diesel. Senthil kumar, M., dkk (2003) menyatakan bahwa efisiensi termal mesin diesel dengan bahan bakar *jatropha oil* lebih rendah dibandingkan *diesel fuel*. Sementara, Gomma M., (2011) menyatakan bahwa campuran

jatropha yang digunakan pada mesin diesel menghasilkan efisiensi termal yang lebih besar dibandingkan dengan *diesel fuel*. Efisiensi termal meningkat seiring dengan bertambahnya campuran *jatropha* biodiesel.

Untuk mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan mesin diesel terutama NO_x, salah satu metode yang efektif adalah sistem *Exhaust Gas Recirculation* (Rajan K., 2009). Prinsip kerja dari *Exhaust Gas Recirculation* (EGR) adalah mensirkulasikan sebagian aliran gas buang kembali ke dalam *engine*. NO_x akan terbentuk pada temperature pembakaran yang tinggi, sementara jika temperature pembakaran rendah akan meningkatkan jumlah asap. Perkembangan teknologi telah mengklasifikasikan sistem EGR berdasarkan temperaturnya yaitu *hot EGR* dan *cold EGR*. Niranjana L. (2006) menyatakan bahwa sistem cold EGR lebih efektif dibandingkan dengan hot EGR dalam mereduksi emisi NO_x.

Penggunaan EGR telah sedikit menjawab permasalahan tentang emisi gas buang terutama NO_x, akan tetapi masih diperlukan pengkajian dampak EGR terhadap performa mesin diesel dengan memakai bahan bakar biodiesel. salah satu parameter untuk mengetahui performa mesin diesel adalah nilai *brake power*.

Pada penelitian ini digunakan EGR yang didinginkan (*Cold EGR*), dengan bahan bakar campuran solar dan *jatropha*. Penelitian ini meneliti pengaruh Cold EGR terhadap *brake power* mesin diesel dengan bahan bakar campuran solar dan *jatropha*.

Teknik EGR

EGR telah digunakan dalam beberapa tahun terakhir untuk mengurangi emisi NO_x pada mesin diesel. EGR mensirkulasikan sebagian kecil dari gas buang ke intake manifold, dimana gas buang yang disirkulasikan akan bercampur dengan udara yang masuk ke ruang bakar. EGR di klasifikasikan menjadi 2, yaitu *hot EGR* dan *cold EGR*. *Hot EGR* merupakan suatu metode yang digunakan untuk mensirkulasikan gas buang tanpa mendinginkan gas buang tersebut, sehingga menyebabkan peningkatan suhu udara

masuk, sedangkan *Cold EGR* merupakan suatu metode yang digunakan untuk mensirkulasikan gas buang dengan mendinginkan gas buang tersebut menggunakan *heat exchanger*, sehingga menyebabkan penurunan suhu udara masuk (Avinash dkk., 2004).

Rajan dan Senthil Kumar (2009), menyimpulkan bahwa EGR mengurangi emisi NO_x, karena terdapat muatan air pada udara masuk, sehingga menurunkan suhu pembakaran. Suhu pembakaran yang rendah akan menyebabkan pembentukan jelaga yang meningkat. Sehingga pemakaian EGR akan membentuk *trade-off* antara penurunan emisi NO_x dan peningkatan emisi jelaga, CO dan HC.

Prasad dkk. (2009), menyelidiki pengurangan emisi NO_x dari mesin diesel DI dengan bahan bakar *Mahua methyl ester* (MME) dengan EGR. Mesin diesel DI, dengan jumlah silinder tunggal dihubungkan dengan sistem *cold EGR* digunakan dalam percobaan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pada kondisi beban penuh, terjadi peningkatan CO dan emisi jelaga yang signifikan pada laju EGR diatas 15%. Sistem EGR yang digunakan dengan bahan bakar MME menyebabkan terjadinya muatan air pada udara yang masuk dalam silinder. Oleh karena itu, temperatur pembakaran menjadi turun, sehingga berdampak pada emisi NO_x yang menurun. Akan tetapi, performa mesin tidak stabil karena oksigen kurang. Selain itu, emisi jelaga, CO dan HC meningkat semakin tinggi. Pada kondisi beban penuh, MME dengan EGR 15% menunjukkan NO_x terendah. Tapi emisi HC, jelaga dan CO menjadi tinggi.

Rajan dan Senthil Kumar (2009), mempelajari efek EGR pada karakteristik kinerja dan emisi dari mesin diesel berbahan bakar biodiesel bunga matahari. Penelitian ini menggunakan mesin diesel DI dua silinder dengan pendingin air yang digunakan untuk percobaan. Bahan bakar yang digunakan adalah biodiesel bunga matahari dicampur dengan DF. Campuran biodiesel dinotasikan dengan B20 (biodiesel 20% menurut volumenya dicampur dengan

80% DF) dan B40. Ketika dioperasikan dengan EGR, hasil mengamatan menunjukkan bahwa, emisi jelaga lebih tinggi dibandingkan tanpa EGR. Emisi jelaga bertambah dengan meningkatnya beban mesin dan laju EGR. Mereka menyimpulkan bahwa penggunaan EGR dengan biodiesel mampu mengurangi Emisi NOx tetapi terjadi peningkatan emisi jelaga, CO dan HC yang tidak terbakar.

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

Atau bisa didefinisikan sebagai berikut :

$$\%EGR = 100\% \times \frac{\dot{m}_i \text{ tanpa EGR} - \dot{m}_i \text{ dengan EGR}}{\dot{m}_i \text{ tanpa EGR}}$$

(Gomaa M., 2010 dan Rajan K., 2009)

2. METODE PENELITIAN

Spesifikasi mesin yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1. Mesin dihubungkan dengan *water-brake dynamometer*. Putaran mesin diukur menggunakan *tachometer* digital dengan *proximity sensor*. Sebuah gelas ukur dan *stop watch* digunakan untuk mengukur laju alir bahan bakar. Temperatur gas buang diukur menggunakan termometer digital, sedangkan laju alir udara masuk dan laju alir EGR didapat dengan mengukur perbedaan tekanan pada *orifice*. Skema peralatan eksperimen dapat dilihat pada Gambar 1. Pengujian dilakukan pada putaran mesin yang konstan yaitu 2000 rpm, dengan memvariasi bukaan katup EGR mulai 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Pada kondisi ini, input EGR didinginkan dengan memberikan *cooler* pada saluran EGR yang akan dimasukkan ke

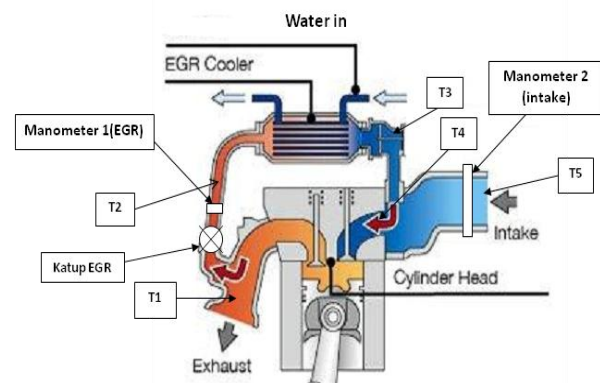
dalam silinder (*cold EGR*). Variasi bukaan katup pembebanan mulai 25%, 50%, 75% dan 100% dilakukan pada tiap-tiap variasi bukaan katup EGR. Variasi diatas dilakukan untuk setiap campuran bahan bakar, yaitu solar (D100), solar 90% dengan jatropa 10% (D90J10), solar 80% dengan jatropa 20% (D80J20) dan solar 70% dengan jatropa 30% (D70J30). Spesifikasi bahan bakar ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi mesin

Tipe Motor	<i>Diesel, OHV, vertical in line, Direct Injection, 4JB1</i>
Jumlah silinder	4 silinder
Diameter/langkah	93 mm/102 mm
Volume silinder	2771 cc
Daya maksimum	70/3000 (HP/rpm)
Torsi maksimum	132/2000 (lb.ft/rpm)
Perbandingan kompresi	18,2 : 1

Tabel 2. Spesifikasi bahan bakar

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



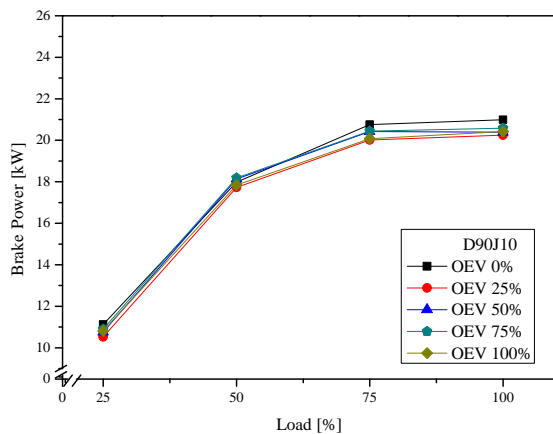
Gambar 1. Skema peralatan eksperimen

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian *brake power* dilakukan dengan pembebanan 25%, 50%, 75% dan 100% pada putaran konstan 2000 rpm. Pengambilan data *brake power* ini dilakukan dengan variasi bukaan katup EGR/*Opening of EGR Valve* (OEV) dan variasi bahan bakar. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh EGR dan komposisi bahan bakar terhadap *brake power*.

Pengaruh EGR terhadap *brake power*

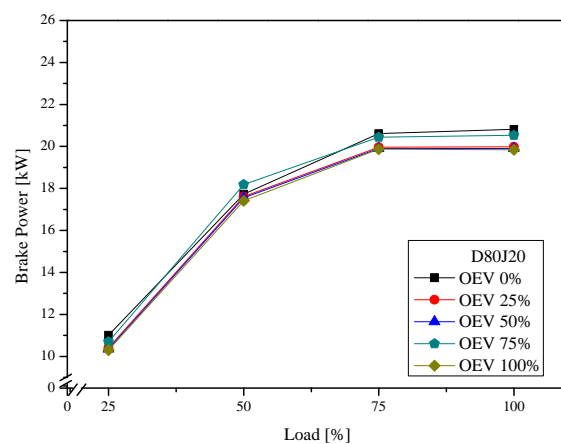
Gambar 2 sampai dengan gambar 4 memperlihatkan nilai *brake power* mesin diesel pada empat tingkat pembebanan dengan diberi lima variasi OEV. *Brake power* meningkat dengan meningkatnya beban. Gambar 2 menunjukkan nilai *brake power* menggunakan bahan bakar D90J10. Dari hasil pengujian *brake power* dengan bahan bakar D90J10 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai *brake power* ketika dioperasikan dengan EGR kecuali pada beban 50% dengan tingkat OEV 75% terjadi peningkatan sebesar 1,11%.



Gambar 2. Pengaruh variasi OEV terhadap *brake Power* pada berbagai beban dengan bahan bakar D90J10.

Penurunan tersebut disebabkan jumlah udara segar yang masuk ke ruang bakar berkurang digantikan dengan gas buang yang disirkulasikan sehingga konsentrasi oksigen menurun mengakibatkan temperatur di ruang bakar menurun dan

tekanan menjadi rendah pada akhirnya daya menjadi berkurang (Avinash K, 2004). Penurunan nilai *brake power* terbesar terjadi pada beban 25% dengan variasi OEV 25% sebesar 5,39% dibandingkan tanpa EGR (OEV 0%). Sedangkan nilai *brake power* tertinggi terjadi pada beban 100% dengan variasi OEV 0% sebesar 20,99 kW. Penurunan nilai *brake power* pada beban 25%, 50%, 75%, 100% berturut turut adalah 5,39%; 1,43%; 3,59 %; dan 3,54 %.

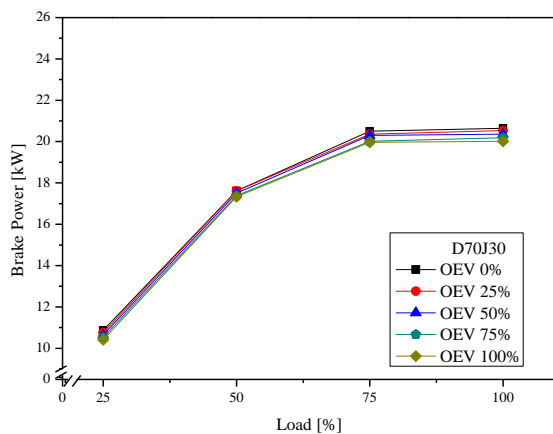


Gambar 3. Pengaruh variasi OEV terhadap *brake Power* pada berbagai beban dengan bahan bakar D80J20

Hasil pengujian menggunakan bahan bakar D80J20 diperlihatkan pada gambar 3. Terjadi penurunan nilai *brake power* ketika dioperasikan dengan EGR kecuali pada OEV 75% pada pembebanan 50% terjadi peningkatan sebesar 2,58%. Penurunan nilai *brake power* terbesar terjadi pada beban 25% dengan variasi OEV 100% sebesar 6,49% dibandingkan dengan OEV % (tanpa EGR). Sedangkan nilai *brake power* tertinggi terjadi pada beban 100% dengan variasi OEV 0% sebesar 20,82 kW. Penurunan nilai *brake power* pada beban 25%, 50%, 75%, 100% berturut turut adalah 6,49%; 1,77%; 3,60 %; dan 4,67 %.

Hal serupa terjadi ketika pengujian dilakukan dengan menggunakan campuran *jatropha* 30% (D70J30) yang diperlihatkan pada gambar 4. Pada gambar tersebut

menunjukkan bahwa ketika EGR dioperasikan, hasil pengujian memperlihatkan terjadi penurunan nilai *brake power*. Penurunan nilai *brake power* semakin besar dengan meningkatnya EGR. Penurunan nilai *brake power* terbesar terjadi pada beban 25% dengan variasi OEV 100% sebesar 4,21% dibandingkan dengan OEV 0% (tanpa EGR). Sedangkan nilai *brake power* tertinggi terjadi pada beban 100% dengan variasi OEV 0% sebesar 20,65 kW. Penurunan nilai *brake power* pada beban 25%, 50%, 75%, 100% berturut turut adalah 4,21%; 1,26%; 2,65%; dan 3,05 %.



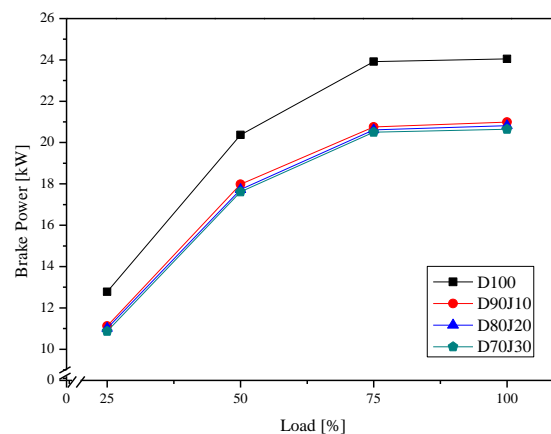
Gambar 4. Pengaruh variasi OEV terhadap *brake Power* pada berbagai beban dengan bahan bakar D70J30

Pengaruh bahan bakar terhadap *brake power*.

Pengujian untuk mengetahui pengaruh bahan bakar terhadap *brake power* ini dilakukan dengan beberapa variasi campuran bahan bakar yaitu D100, D90J10, D80J20, dan D70J30. Hasil pengujian dari bahan bakar campuran D90J10, D80J20, dan D70J30 tersebut dibandingkan dengan hasil pengujian dengan bahan bakar D100. Hasil pengujian pengaruh bahan bakar terhadap *brake power* di tunjukkan pada gambar 5 sampai dengan gambar 9. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa pemakaian bahan bakar campuran *jatropha* pada mesin diesel menghasilkan *brake power* lebih

rendah dibandingkan dengan bahan bakar diesel.

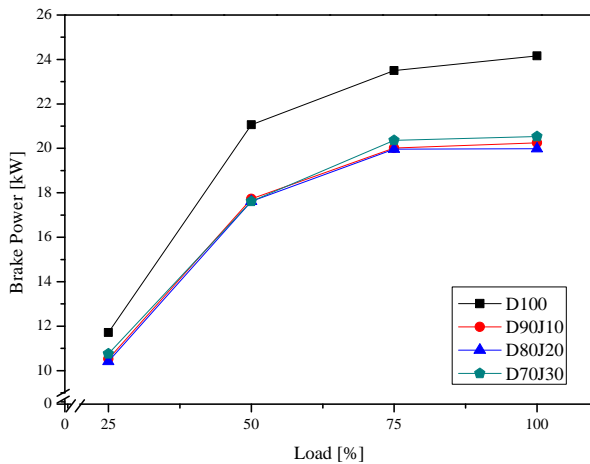
Hal ini karena nilai kalor pada bahan bakar campuran lebih rendah dibandingkan nilai kalor bahan bakar diesel. Karabektas (2009) menyatakan bahwa *brake torque* dan *brake power* menurun karena nilai kalor bahan bakar campuran lebih rendah. Semakin tinggi konsentrasi *jatropha* dalam campuran bahan bakar, *brake power* juga cenderung menurun. Penurunan nilai *brake power* juga disebabkan oleh viskositas bahan bakar campuran lebih besar dibandingkan bahan bakar diesel D100 yang mengakibatkan atomisasi kurang baik yang berdampak pada pembakaran yang buruk dan menurunkan *brake power* (Ejilah dkk., 2010).



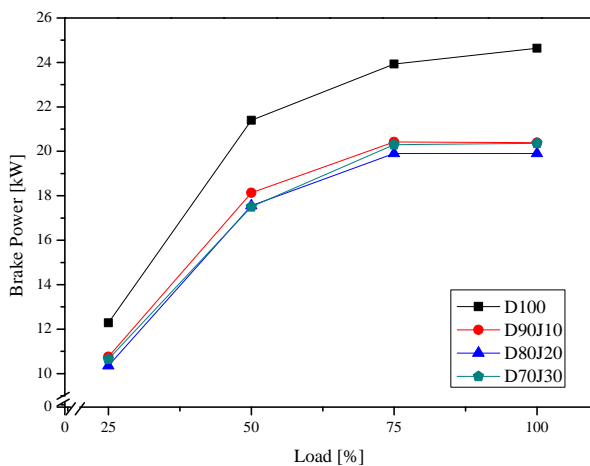
Gambar 5. Pengaruh variasi bahan bakar terhadap *brake power* pada beban untuk OEV 0%.

Gambar 5 menunjukkan pengaruh bahan bakar terhadap *brake power* pada mesin diesel tanpa EGR (OEV 0%). Nilai *brake power* menurun ketika dioperasikan dengan bahan bakar campuran. Penurunan *brake power* semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi *jatropha* pada bahan bakar. Penurunan *brake power* tertinggi terjadi pada bahan bakar D70J30 saat beban 25% yaitu sebesar 14,92% terhadap D100 pada beban yang sama. Nilai *brake power* tertinggi terjadi pada bahan bakar D100 saat beban 100% yaitu 24,05 kW. Ketika menggunakan bahan bakar

campuran, nilai *brake power* tertinggi terjadi pada bahan bakar D90J10 saat beban 100% sebesar 20,99 kW.



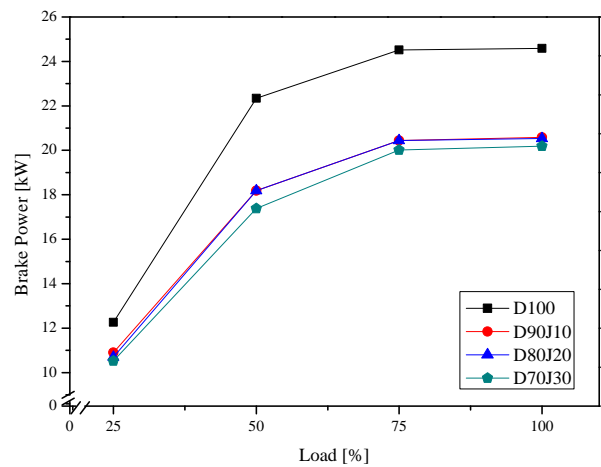
Gambar 6. Pengaruh variasi bahan bakar terhadap *brake power* pada berbagai beban untuk OEV 25%.



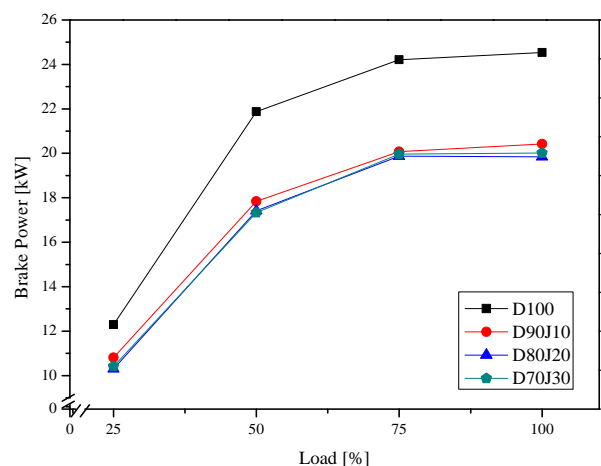
Gambar 7. Pengaruh variasi bahan bakar terhadap *brake power* pada berbagai beban untuk OEV 50%.

Ketika EGR dioperasikan dengan OEV 25%, hasilnya tidak jauh berbeda dibandingkan tanpa EGR (OEV 0%). Hal ini ditunjukkan pada gambar 6 yang menunjukkan bahwa, nilai *brake power* menurun ketika menggunakan bahan bakar campuran dibandingkan bahan bakar diesel.

Penurunan nilai *brake power* tertinggi terjadi pada bahan bakar D80J20 saat beban 100% yaitu sebesar 17,27% dibandingkan dengan bahan bakar D100 pada pembebanan yang sama. Nilai *brake power* tertinggi terjadi pada bahan bakar D100 saat beban 100% yaitu 24,16 kW. Sedangkan, ketika menggunakan campuran bahan bakar diesel dan *jatropha*, nilai *brake power* tertinggi terjadi pada bahan bakar D70J30 saat beban 100% sebesar 20,53 kW.



Gambar 8. Pengaruh variasi bahan bakar terhadap *brake power* pada berbagai beban untuk OEV 75%.



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

Hal yang sama terjadi pada OEV 50%. Gambar 7 menunjukkan nilai *brake power* dengan berbagai bahan bakar pada OEV 50%, nilai *brake power* menurun ketika menggunakan campuran bahan bakar diesel dan *jatropha* di bandingkan dengan bahan bakar D100. Penurunan *brake power* tertinggi terjadi pada D80J20 saat beban 100% yaitu sebesar 19,22% terhadap D100 pada pembebanan yang sama. Nilai *brake power* tertinggi terjadi pada bahan bakar D100 saat beban 100% yaitu 24,64 kW. Ketika menggunakan campuran bahan bakar diesel dan *jatropha*, nilai *brake power* tertinggi pada D90J10 pada beban 75% sebesar 20,42 kW.

Ketika dioperasikan dengan OEV 75%, menghasilkan nilai *brake power* sebagaimana yang disajikan pada gambar 8. Nilai *brake power* menurun dengan penggunaan campuran bahan bakar diesel dan *jatropha*. Penurunan *brake power* tertinggi terjadi pada D70J30 saat beban 50% yaitu sebesar 22,18% terhadap D100 pada pembebanan yang sama. Nilai *brake power* tertinggi terjadi pada bahan bakar D100 saat beban 100% yaitu 24,59 kW. Sedangkan, ketika menggunakan bahan bakar campuran, nilai *brake power* tertinggi pada D90J10 pada beban 100% sebesar 20,59 kW.

Begitu juga ketika dioperasikan dengan OEV 100%, *brake power* mengalami tendensi yang sama dengan OEV 75%, hal ini terlihat pada gambar 9. Nilai *brake power* menurun dengan penggunaan bahan bakar campuran. Penurunan nilai *brake power* tertinggi terjadi pada bahan bakar D70J30 saat beban 50% yaitu sebesar 20,78% terhadap D100 pada pembebanan yang sama. Nilai *brake power* tertinggi terjadi pada bahan bakar D100 saat beban 100% sebesar 24,53 kW. Ketika menggunakan campuran bahan bakar diesel dan *jatropha*, nilai *brake power* tertinggi pada D90J10 pada beban 100% sebesar 20,42 kW.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan diatas, penelitian tentang pengaruh *cold EGR* terhadap *brake power* pada mesin diesel

dengan bahan bakar campuran solar dan *jatropha*, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut: a) *Brake power* yang dihasilkan oleh bahan bakar campuran tendensi menurun ketika dioperasikan dengan EGR kecuali menggunakan bahan bakar D80J20 terjadi peningkatan *brake power* sebesar 2,58 % pada tingkat OEV 75% dengan pembebanan 50% dibandingkan tanpa EGR (OEV0%). b) Pemakaian bahan bakar campuran *jatropha* menyebabkan nilai *brake power* cenderung lebih rendah dibandingkan dengan nilai *brake power* menggunakan bahan bakar solar. Penurunan rata-rata terkecil terjadi pada bahan bakar D90J10.

DAFTAR PUSTAKA

- Avinash Kumar Agrawal. dkk. (2004), "Effect of EGR on the exhaust gas temperatur and exhaust"., *Sadhana*, 29, 275–284.
- Ejiliah, I.R., Asere, A.A., Adisa, A.B., Ejila, A. (2010), "The effect of diesel fuel-jatrophaa curcas ole methyl ester blend on the performance of a variable speed compression ignition engine"., *Australian Journal of Agricultural Engineering*, 3, 80-85.
- Gomaa, 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.
- 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.
- Heywood, John B.L. (1988), *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Karabektas, M. (2009), "The effect of turbocharge on the performance and exhaust emissions of a diesel engine

- fuelled with biodiesel”., *Renewable Energy*, 34, 989-993
- Niranjan, L., Shijo Thomas and Sajith, V. (2006), “Experimental investigation on the effects of cold and hot EGR using diesel and bio-diesel as Fuel”., *international Conference on Energy and Environment*, Universiti Tenaga Nasional, Malaysia.
 - Prasad V.J.J. dkk. (2009), “Reduction of NOX in the exhaust gas of DI diesel engine fueled with mahua methyl ester along with exhaust gas recirculation”., *Renewable and Sustainable Energy*, 1, 1–14.
 - 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.
 - 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