

# Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST)

Journal homepage: <http://e-journal.janabadra.ac.id/index.php/JMST>

## Original Article

# Studi Eksperimental Unjuk Kerja Campuran Solar-Biodiesel Minyak Jelantah Pada Mesin Diesel

Ade Setiawan<sup>1</sup>, Joko Winarno<sup>1</sup>, Mochamad Syamsiro<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Jl. T.R. Mataram 55-57 Yogyakarta 55231

<sup>2</sup> Center for Waste Management and Bioenergy, Universitas Janabadra, Jl. T.R. Mataram 55-57 Yogyakarta 55231

\*Corresponding author:

E-mail: [syamsiro@janabadra.ac.id](mailto:syamsiro@janabadra.ac.id)

**Abstract** – In this study, biodiesel fuel produced from waste cooking oil was blended in 20%, 30%, 40% and 50% with the commercial diesel fuel. The biodiesel was collected from a company near Yogyakarta city. It was produced from transesterification process in a commercial scale reactor. The diesel-biodiesel mixtures were tested in a four-cylinder and four-stroke diesel engine with the compression ratio of 18 and water cooling system. The results show that the thermal efficiency of diesel engine increased with increasing the engine speed. The present of biodiesel also increased the thermal efficiency of the diesel engine. A mixture of 40% (B40) and 50% (B50) biodiesel resulted in the highest thermal efficiency. The brake mean effective pressure also increased with increasing the engine speed and biodiesel mixture. The specific fuel consumption showed a decrease in its value as a function of engine speed. Low specific fuel consumption means the high thermal efficiency of the diesel engine.

**Keywords** – Biodiesel; Waste cooking oil; Diesel engine; Thermal efficiency; Specific fuel consumption.

## 1. Pendahuluan

Pemanfaatan limbah atau sampah sebagai salah satu sumber energi sedang diteliti oleh banyak peneliti akhir-akhir ini. Berbagai jenis limbah baik pada maupun cair telah dimanfaatkan untuk memproduksi bahan bakar, baik itu cair, padat maupun gas. Pemanfaatan sampah plastik untuk dijadikan bahan bakar cair telah dilakukan oleh Syamsiro et al. (2013, 2014) untuk berbagai jenis plastik baik tanpa ataupun menggunakan katalis. Hasilnya menunjukkan bahwa tingkat konversinya bisa mencapai di atas 80% tergantung dari jenis plastiknya. Pirolisis non katalis menghasilkan bahan bakar mendekati solar, sedangkan yang menggunakan katalis dapat lebih mendekati ke bensin.

Selain limbah padat seperti plastik, limbah cair juga dapat dimanfaatkan untuk produksi bahan bakar cair seperti minyak goreng bekas atau jelantah. Konversi minyak jelantah menjadi bahan bakar cair dapat dilakukan dengan proses pirolisis (Meier et al., 2015; Chen et al., 2014) maupun dengan proses transesterifikasi menjadi biodiesel

(Hamze et al., 2015; Melero et al., 2014). Meier et al. melakukan studi pirolisis termal pada sistem kontinyu dan kondisi isotermal. Hasilnya kemudian dibuat model kinetiknya yang nantinya berguna untuk proses *scale up* reaktor pirolisis. Hamze et al. melakukan studi optimasi produksi biodiesel dari minyak jelantah menggunakan *response surface methodology* (RSM). Hasilnya menunjukkan bahwa produksi biodiesel bisa mencapai 99,38% berat.

Al-attab et al. (2016) mengkaji teknologi ekonomi produksi biodiesel dari minyak jelantah di Yaman. Kajian ini sangat penting untuk menerapkan produksi biodiesel dari minyak jelantah pada skala komersial. Al-attab mengkaji kelayakan ekonomi pada skala kecil (500-600 liter per hari) dan skala medium (2000 liter per hari). Hasilnya menunjukkan bahwa pada skala kecil masih layak dengan keuntungan yang lebih sedikit.

Biodiesel merupakan bahan bakar dari minyak nabati, lemak hewani, atau minyak goreng bekas yang memiliki sifat menyerupai minyak diesel (solar). Komoditas perkebunan

penghasil minyak nabati di Indonesia yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel cukup banyak, diantaranya minyak kelapa sawit, kelapa, kapok, kemiri, kacang kedelai dan jarak pagar. Dua komoditas yang akan dikembangkan untuk menjamin ketersediaan bahan baku biodiesel yaitu sawit/Crude Palm Oil (CPO) dan Jarak Pagar/Crude Jatropha Curcas Oil (CJCO) (Prihandana et al., 2006). Saat ini, pemanfaatan CPO sebagai bahan baku biodiesel tentu akan mengganggu pasokan ekspor serta ketersediaan minyak goreng di Indonesia. Selain itu, harga biodiesel yang terbuat dari CPO dimungkinkan lebih mahal dari harga minyak solar subsidi karena persaingannya dengan harga minyak untuk kebutuhan pangan.

Permasalahan ekonomis merupakan masalah pokok yang menjadi kendala dalam pengembangan biodiesel dari sawit dan jarak pagar. Oleh karena itu diperlukan bahan baku lain yang lebih murah dan belum dimanfaatkan secara maksimal hingga saat ini. Minyak goreng bekas merupakan salah satu bahan baku yang dapat dimanfaatkan untuk biodiesel karena memiliki sifat-sifat yang mirip dengan solar.

Pemanfaatan minyak jelantah di Indonesia masih belum maksimal. Sampai saat ini sebagian minyak jelantah dari perusahaan besar dijual ke pedagang kaki lima yang kemudian digunakan untuk menggoreng makanan dagangannya dan sebagian lain hilang begitu saja ke saluran pembuangan. Apabila ditinjau dari komposisi kimianya, minyak jelantah mengandung senyawa-senyawa yang bersifat karsinogenik yang terjadi selama proses penggorengan. Maka penggunaan minyak goreng bekas yang berkelanjutan dapat merusak kesehatan manusia dan akibat selanjutnya dapat mengurangi kecerdasan generasi berikutnya. Indonesia memiliki 79 pabrik minyak goreng (Prihandana et al., 2006), yang setiap tahunnya mengalami peningkatan jumlah produksinya.

Keunggulan biodiesel dibandingkan dengan minyak fosil diantaranya adalah biodiesel merupakan bahan bakar dapat diperbarui (*renewable*). Selain itu juga dapat memperkuat perekonomian negara dan menciptakan lapangan kerja baru. Biodiesel merupakan bahan bakar ideal untuk industri transportasi dan industri-industri skala besar karena dapat digunakan pada berbagai mesin diesel, termasuk mesin-mesin pertanian.

Biodiesel yang diperoleh dari hasil esterifikasi dengan methanol dapat digunakan dalam keadaan murni atau dicampur (*blending*) dengan solar. Penggunaan biodiesel murni 100% biasa dikenal dengan nama B100. Namun harus diperhatikan bahwa biodiesel merupakan ester yang dapat melunakkan polimer karet, sehingga bahan tersebut harus diganti dengan bahan yang tahan terhadap ester. Sebagai alternatif dilakukan pencampuran antara solar dan biodiesel dengan perbandingan antara 95% solar dan 5% biodiesel (B5) hingga 80% solar dan 20% biodiesel (B20). Campuran ini dapat digunakan secara langsung tanpa memerlukan penggantian komponen yang terbuat dari bahan karet.

Studi pemanfaatan biodiesel minyak jelantah pada mesin diesel telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Can

(2014) mengkaji karakteristik pembakaran, performa, dan emisi gas buang campuran solar-biodiesel 5% dan 10%. Hasilnya menunjukkan bahwa pencampuran biodiesel minyak jelantah sedikit menurunkan efisiensi termal mesin dan meningkatkan emisi NOx.

Studi campuran minyak jelantah yang lebih tinggi belum banyak dilakukan oleh para peneliti. Untuk itulah, perlu dilakukan kajian performa mesin diesel pada campuran biodiesel yang lebih tinggi untuk mengetahui efek penambahannya pada mesin diesel.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Bahan

Bahan yang digunakan sebagai bahan bakar adalah solar dan biodiesel dari minyak jelantah. Solar yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari salah satu Stasiun Pengisian Bahan Bakar (SPBU) di Yogyakarta. Sedangkan biodiesel minyak jelantah diperoleh dari CV. Kebanggaan Kita. Adapun spesifikasi kedua bahan bakar tersebut ditunjukkan pada tabel 1. Gambar 1 adalah sampel campuran solar-biodiesel minyak jelantah yang digunakan di dalam penelitian ini. Campuran solar-biodiesel yang digunakan meliputi 20% (B20), 30% (B30), 40% (B40), dan 50% (B50) biodiesel minyak jelantah.

Tabel 1. Sifat fisik dan karakteristik bahan bakar solar dan biodiesel minyak jelantah.

Properties	Unit	Solar	Biodiesel Minyak Jelantah
Densitas	g/cm <sup>3</sup>	0,83	0,89
Viskositas Kinematik	mm <sup>2</sup> /s	3,78	7,60
Flash point	°C	72	170
Kadar air	% vol	-	0,2
Nilai Kalor	MJ/kg	45,2	39,95



Gambar 1. Sampel campuran solar-biodiesel minyak jelantah.

## 2.2. Pengujian Unjuk Kerja Mesin Diesel

Metode yang dilakukan dalam pengujian ini adalah metode *variable load*, yaitu dengan melakukan pengamatan perubahan kecepatan putaran poros output mesin akibat dari massa pembebahan (*variable load*) yang berubah. Massa pembebahan yang digunakan adalah 4, 5, 6, dan 7 kg. Spesifikasi mesin diesel yang digunakan ditunjukkan pada tabel 2. Adapun alat engine test bed dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.

Tabel 2. Spesifikasi mesin diesel yang digunakan di dalam pengujian.

Parameter	Spesifikasi
Merek	Toyota
Jumlah silinder	4
Diameter silinder	86 mm
Panjang langkah piston	84 mm
Rasio kompresi	18 : 1
Sistem pendinginan	air



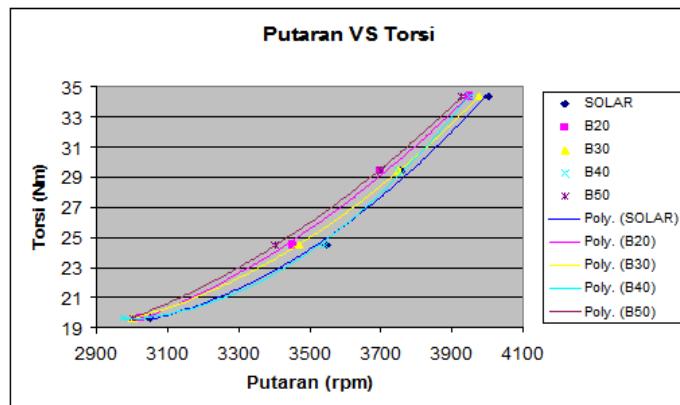
Gambar 2. Diesel engine test bed.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan putaran dan torsi. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa torsi dari semua jenis bahan bakar mengalami kenaikan dengan bertambahnya putaran mesin. Pada grafik dapat terlihat torsi tertinggi terjadi pada bahan bakar campuran B50 dan terendah terjadi pada solar. Perbedaan torsi antara masing-masing jenis bahan bakar tersebut terlihat tidak terlalu besar. Dapat dilihat pada grafik bahwa nilai torsi cenderung naik akibat pencampuran biodiesel. Semakin banyak campuran biodiesel berakibat nilai torsinya semakin tinggi.

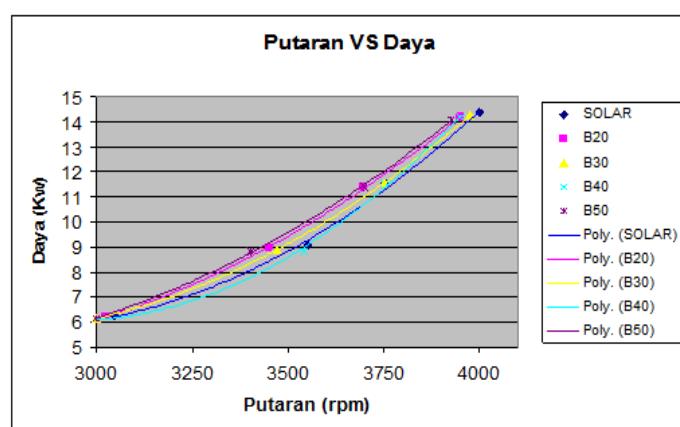
Pada penelitian sebelumnya oleh Laksono (2006), menyebutkan bahwa terjadi penurunan torsi dari semua

jenis bahan bakar dengan bertambahnya putaran mesin. Hal tersebut terjadi karena pada pengujian yang dilakukan menggunakan variabel speed sehingga dengan bertambahnya putaran mesin maka massa pembebahan semakin berkurang. Pada penelitian ini menggunakan variabel load, sehingga semakin besar massa pembebahan maka semakin tinggi putaran mesinnya.



Gambar 3. Pengaruh putaran terhadap torsi yang dihasilkan pada berbagai campuran solar-biodiesel.

Gambar 4 menunjukkan pengaruh putaran terhadap daya yang dihasilkan pada berbagai campuran solar-biodiesel. Hasilnya terlihat bahwa daya efektif dari semua jenis bahan bakar meningkat dengan bertambahnya putaran mesin. Peningkatan daya pada setiap putaran sesuai dengan nilai torsinya. Sehingga pada putaran mesin yang sama apabila torsi mengalami kenaikan, maka dayanya juga akan naik. Demikian juga pada kondisi torsi tetap, tetapi putaran mesin ditambah, maka daya efektif akan mengalami peningkatan.



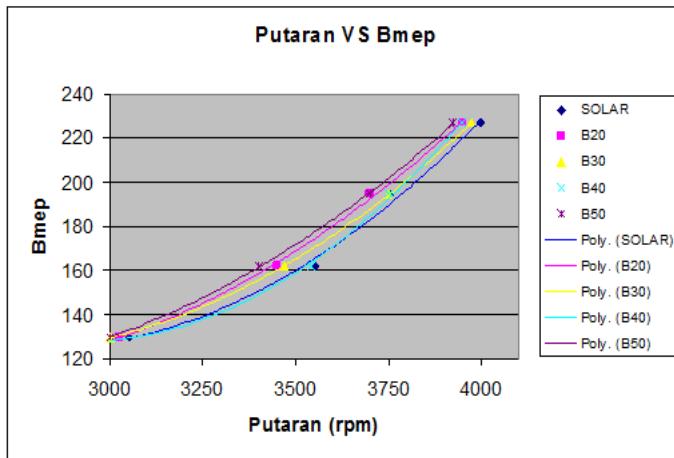
Gambar 4. Pengaruh putaran terhadap daya yang dihasilkan pada berbagai campuran solar-biodiesel.

Dari gambar 4 juga dapat diketahui bahwa daya efektif dari semua jenis bahan bakar terlihat tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Pada putaran sekitar 3000 rpm

daya pada bahan bakar solar terlihat lebih besar dari bahan bakar B20, B30, B40, dan B50. namun setelah putaran sekitar 3500 rpm bahan bakar campuran biodiesel cenderung naik walaupun kenaikan daya tidak besar. Kecuali pada B40, pada putaran awal dayanya cenderung turun, tetapi kembali naik pada putaran sekitar 4000rpm. Pada saat putaran awal daya efektif solar pada urutan tertinggi, namun pada putaran akhir pengujian sekitar 4000rpm daya efektif solar berada paling bawah. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin banyak campuran biodiesel daya efektif yang dihasilkan semakin naik namun kenaikan daya yang terjadi tidak besar.

Bmep (*Brake Mean Effective Pressure*) menunjukkan tekanan efektif rata-rata yang dihasilkan oleh mesin persiklus di dalam silinder yang apabila mendorong torak sepanjang langkahnya dapat menghasilkan kerja. Pengaruh putaran terhadap Bmep pada berbagai campuran solar-biodiesel ditunjukkan pada gambar 5. Dari grafik tersebut terlihat bahwa bmep dari semua jenis bahan bakar cenderung mengalami kenaikan dengan bertambahnya putaran mesin. Nilai bmep tertinggi terjadi pada campuran B50 dan terendah pada solar.

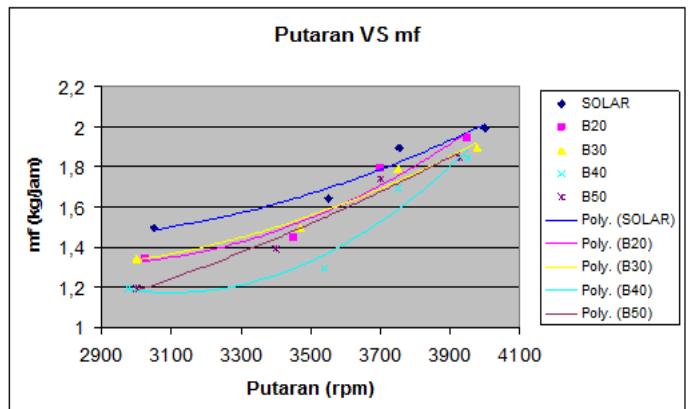
Kenaikan bmep dipengaruhi oleh nilai daya efektif dan putaran mesin. Secara teori apabila daya efektif mengalami kenaikan pada putaran yang sama, maka bmep juga akan mengalami kenaikan. Hal ini terjadi karena sesuai dengan rumus bahwa bmep berbanding lurus dengan daya efektif. Begitu juga sebaliknya, apabila daya efektif mengalami kenaikan dan putaran mesin juga naik, tetapi persentase kenaikan daya efektif lebih rendah dari kenaikan putaran mesin, maka bmep akan mengalami penurunan.



Gambar 5. Pengaruh putaran terhadap BMEP yang dihasilkan pada berbagai campuran solar-biodiesel.

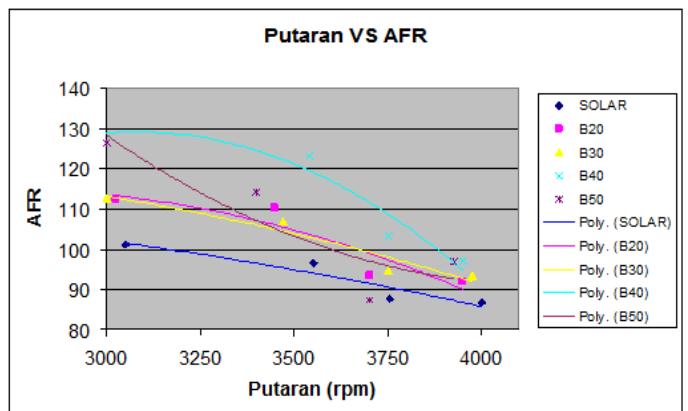
Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan antara putaran dengan laju konsumsi bahan bakar. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin bertambah putaran mesin maka konsumsi bahan bakar juga semakin meningkat. Peningkatan konsumsi bahan bakar terjadi pada semua jenis bahan bakar yang diuji. Konsumsi bahan bakar tertinggi

terjadi pada bahan bakar solar. Pada bahan bakar B20 dan B30 konsumsi bahan bakar cenderung sama, Konsumsi bahan bakar paling rendah terjadi pada campuran biodiesel B40. Hal ini dipengaruhi oleh nilai viskositas pada biodiesel lebih tinggi di banding solar.



Gambar 6. Pengaruh putaran terhadap laju konsumsi bahan bakar pada berbagai campuran solar-biodiesel.

*Air fuel Ratio* (AFR) merupakan perbandingan campuran antara udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar. *Air fuel ratio* yang diukur dalam hal ini adalah AFR aktual, yaitu perbandingan konsumsi bahan bakar dan udara yang nyata digunakan dalam proses pembakaran. Dari gambar 7 dapat diketahui bahwa AFR semua jenis bahan bakar cenderung mengalami penurunan dengan bertambahnya putaran mesin. Nilai AFR pada campuran biodiesel cenderung lebih tinggi di banding solar. AFR tertinggi terjadi pada bahan bakar B40 dan paling rendah pada solar. Semakin tinggi nilai AFR artinya campuran semakin gemuk, sedangkan semakin kecil nilai AFR artinya campuran semakin kurus.



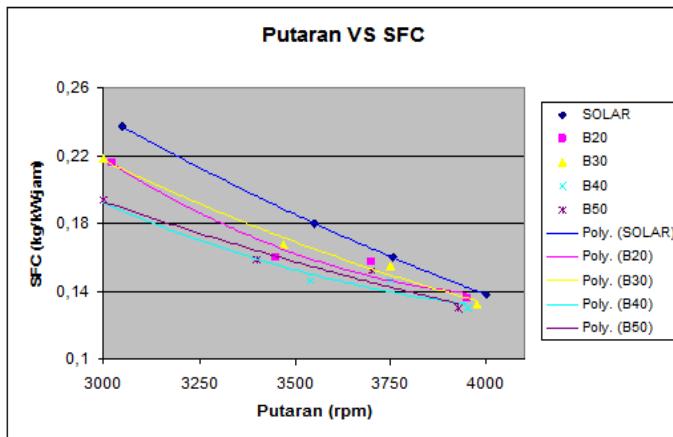
Gambar 7. Pengaruh putaran terhadap AFR pada berbagai campuran solar-biodiesel.

Dari garfik dapat disimpulkan bahwa pada pengujian ini campuran bahan bakar yang terjadi adalah campuran

kurus karena nilai AFRnya terlalu tinggi. Campuran dikatakan kurus apabila nilai *excess air* ( $\lambda$ ) lebih kecil dari 1. Apabila nilai *excess air* sama dengan 1, maka campuran tersebut merupakan campuran stokimetri (14,7 untuk solar). Sedangkan apabila lebih besar dari 1 disebut campuran kurus.

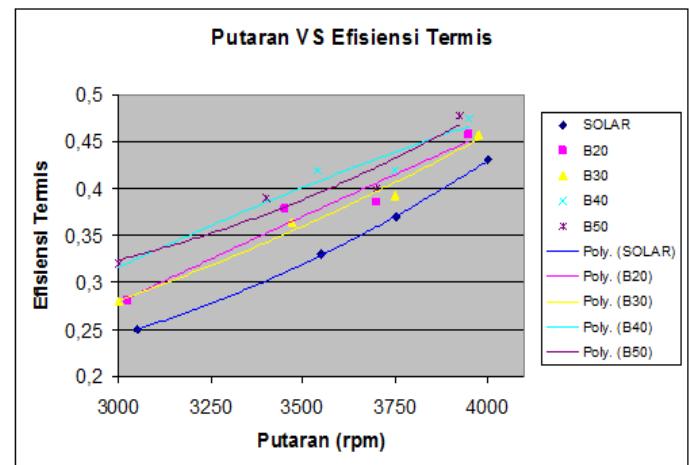
*Specific Fuel Consumption* (SFC) merupakan perbandingan antara bahan bakar yang terpakai sebagai input energi dengan daya yang dihasilkan sebagai output. Semakin tinggi nilai SFC, artinya semakin banyak energi bahan bakar yang tidak terkonversi menjadi daya. Hal ini disebabkan karena bahan bakar yang masuk ke dalam silinder tidak terbakar dengan sempurna, atau dapat juga disebabkan karena terjadinya rugi-rugi mekanis maupun rugi-rugi termis.

Dari gambar 8 terlihat bahwa SFC semua jenis bahan bakar yang diuji memiliki kecenderungan turun dengan bertambahnya putaran mesin. Pada bahan bakar solar tenaga hasil pembakaran yang dikonversi menjadi daya hanya sedikit, sedang pada campuran biodiesel tenaga hasil pembakaran yang dikonversi menjadi daya lebih banyak. Kecenderungan untuk turunnya SFC dengan bertambahnya putaran mesin terlihat pada semua bahan bakar yang diuji. Namun garis pada grafik terlihat cekung, dimungkinkan pada putaran dan daya tertentu nilai SFC akan naik. Dari grafik terlihat SFC tertinggi adalah bahan bakar solar, sedangkan terendah adalah bahan bakar B40.



Gambar 8. Pengaruh putaran terhadap SFC pada berbagai campuran solar-biodiesel.

Gambar 9 memperlihatkan grafik pengaruh putaran terhadap efisiensi termis pada berbagai campuran solar-biodiesel. Dari grafik ini terlihat bahwa semakin bertambahnya putaran mesin maka efisiensi termis juga semakin meningkat. Peningkatan efisiensi termis terjadi pada semua jenis bahan bakar yang diuji. Efisiensi termis terendah terjadi pada bahan bakar solar. Pada bahan bakar B20 dan B30 nilai efisiensi termis cenderung sama. Efisiensi termis tertinggi terjadi pada campuran biodiesel solar B40 dan B50 yang nilainya hampir sama.



Gambar 9. Pengaruh putaran terhadap efisiensi termal mesin diesel pada berbagai campuran solar-biodiesel.

#### 4. Kesimpulan

Pengujian campuran solar-biodiesel minyak jelantah pada mesin diesel telah dilakukan untuk melihat pengaruh penambahan biodiesel terhadap performa mesin. Hasilnya menunjukkan bahwa torsi dan daya untuk semua jenis bahan bakar mengalami kenaikan dengan bertambahnya putaran mesin dan meningkat akibat pencampuran solar dengan biodiesel namun tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara solar dan campuran biodiesel. Tekanan efektif rata-rata (Bmep) mengalami kenaikan dengan bertambahnya putaran mesin dan meningkat dengan campuran biodiesel. Nilai Bmep tertinggi terjadi pada campuran B50 dan terendah pada solar.

SFC semua jenis bahan bakar yang diuji memiliki kecenderungan turun dengan bertambahnya putaran mesin. SFC tertinggi adalah bahan bakar solar, sedangkan terendah adalah bahan bakar B40. Hasil perhitungan efisiensi termis terlihat bahwa semakin bertambahnya putaran mesin maka efisiensi termis juga semakin meningkat. Efisiensi termis terendah terjadi pada bahan bakar solar. Efisiensi termis tertinggi terjadi pada campuran biodiesel solar B40 dan B50 yang nilainya hampir sama.

#### Daftar Pustaka

- Al-attab, K., Wahas, A., Almoqry, N., Alqubati, S. (2016) *Biodiesel Production from Waste Cooking Oil in Yemen: A Techno-economic Investigation*, Biofuels 8(1), pp. 1-11.
- Can, O. (2014) *Combustion Characteristics, Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fueled with a Waste Cooking Oil Biodiesel Mixture*, Energy Conversion and Management 87, pp. 676-686.
- Chen, G., Liu, C., Ma, W., Zhang, X., Li, Y., Yan, B., Zhou, W. (2014) *Pyrolysis of Corn Cob and Waste Cooking Oil in a Fixed Bed*, Bioresource Technology 166, pp. 500-507.
- Hamze, H., Akia, M., Yazdani, F. (2015) *Optimization of Biodiesel Production from the Waste Cooking Oil Using Response Surface Methodology*, Process Safety and Environmental Protection 94, pp. 1-10.

- Laksono, T. (2006) *Pengaruh Variasi Perbandingan Solar-biodiesel (Minyak Jelantah) Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang pada Motor Diesel*, Tugas Akhir, Universitas Janabadra.
- Meier, H.F., Wiggers, V.R., Zonta, G.R., Scharf, D.R., Simionatto, E.L., Ender, L. (2015) *A Kinetic Model for Thermal Cracking of Waste Cooking Oil Based on Chemical Lumps*, Fuel 144, pp. 50-59.
- Melero, J.A. Bautista, L.F., Iglesias, J., Morales, G., Sanches-Vazquez, R. (2014) *Production of Biodiesel from Waste Cooking Oil in a Continuous Packed Bed Reactor with an Agglomerated Zr-SBA-15/bentonite Catalyst*, Applied Catalysis B:Environmental 145, pp. 197-204.
- Prihandana R., Hendroko R., Nuramin M. (2006) *Menghasilkan Biodiesel Murah*, Agromedia Pustaka, Jakarta.
- Syamsiro, M., Saptoadi, H., Norsujianto, T., Noviasri, P., Cheng, S., Zainal, Z.A., Yoshikawa, K. (2014) *Fuel Oil Production from Municipal Plastic Wastes in Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Reactors*, Energy Procedia 47, pp. 180-188.
- Syamsiro, M., Cheng, S., Hu, W., Saptoadi, H., Pratama, N.N., Trisunaryanti, W., Yoshikawa, K. (2014) *Liquid and Gaseous Fuels from Waste Plastics by Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Processes over Indonesian Natural Zeolite Catalysts*, Waste Technology, 2(2), pp. 44-51.
- Syamsiro, M., Hu, W., Komoto, S., Cheng, S., Noviasri, P., Prawisudha, P., Yoshikawa, K. (2013) *Co-production of Liquid and Gaseous Fuels from Polyethylene and Polystyrene in A Continuous Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming System*, Energy and Environment Research, Vol. 3 No. 2, pp. 90-106.