

## Unjuk Kerja Mesin Diesel Generator Set Satu Silinder Menggunakan Bahan Bakar Pertadex – Minyak Nabati

Rani Mutia Sari<sup>1</sup>, Rico Aditia Prahmana<sup>\*1,2</sup>, Abdul Muhyi<sup>1</sup>, Devia Gahana C A<sup>1</sup>, Jooned Hendrarsakti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknologi Produksi dan Industri, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 3536

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No. 8 Lb. Siliwangi, Kecamatan Coblong, Kota Bandung Jawa Barat 40132.

\* Corresponding email: [rico.aditia@ms.itera.ac.id](mailto:rico.aditia@ms.itera.ac.id)

### Riwayat Artikel

Diterima  
12/12/2021  
Disetujui  
29/12/2021  
Diterbitkan  
31/12/2021

### Abstrak

Setiap tahunnya kebutuhan dunia akan energi terus bertambah tetapi ketersediaan akan energi fosil terus mengalami penurunan. Hal ini yang mendorong perlunya energi baru dan terbarukan untuk mensubstitusikan energi fosil tersebut agar dapat mengurangi penggunaannya. Salah satu alternatif yaitu dengan penggunaan minyak nabati dari crude palm oil yang dimana minyak nabati tersebut dibuat melalui proses transesterifikasi terlebih dahulu agar viskositas pada minyak nabati mendekati nilai viskositas pada minyak diesel yang terbuat dari fosil tersebut. Pada penelitian tugas akhir ini akan membahas tentang analisa perbandingan unjuk kerja mesin diesel satu silinder dengan putaran mesin sebesar 1000 rpm hingga 2000 rpm dengan interval setiap kenaikan 200 rpm dan daya konstan 1500 Watt berbahan bakar pertamina dex murni dan campuran antara pertamina dex dengan minyak nabati yang telah diformulasikan yaitu MS10, MS20, MS30, dan MS40 melalui proses transesterifikasi menggunakan katalis basa homogen. Didapatkan hasil nilai unjuk kerja mesin terbaik pada variasi bahan bakar pertamina dex dengan nilai berurut-turut 0,729 Hp; 32,500 kg.cm; 0,587 kg/Hp.jam; 0,029; dan 0,285 kPa. Yang disusul oleh bahan bakar MS40, sedangkan nilai unjuk kerja mesin terburuk pada variasi bahan bakar MS10.

**Kata Kunci:** minyak kelapa sawit, minyak nabati, pertamina dex, performa mesin diesel

### Abstract

Every year the world's need for energy continues to increase but the availability of fossil energy continues to decline. This is what drives the need for new and renewable energy to substitute fossil energy in order to reduce its use. One alternative is the use of vegetable oil from crude palm oil, where the vegetable oil is made through a transesterification process so that the viscosity of vegetable oil approaches the viscosity value of diesel oil made from fossil. In this final project research will discuss about the comparative analysis of the performance of a single cylinder diesel engine with an engine speed of 1000 rpm to 2000 rpm with an interval of every 200 rpm increase and a constant power of 1500 watts fueled by pure Pertamina dex and a mixture of Pertamina dex with vegetable oil. MS10, MS20, MS30, and MS40 have been formulated through a transesterification process using a homogeneous alkaline catalyst. The results obtained are the best engine performance values for Pertamina Dex fuel variations with successive values of 0.729 Hp; 32,500 kg.cm; 0.587 kg/Hp.hours; 0.029; and 0.285 kPa. This was followed by the MS40 fuel, while the worst engine performance value was in the MS10 fuel variant.

**Keywords:** *crude palm oil, vegetable oil, pertamina dex, diesel engine performance*

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan dunia akan energi terus meningkat. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral cadangan energi minyak mentah di Indonesia akan habis selama 23 tahun, gas selama

59 tahun, dan batubara selama 82 tahun [1]. Bahan bakar fosil ini akan terus mengalami pengurangan seiring dengan peningkatan jumlah penduduk di dunia dan berbagai macam kebutuhannya, karena bahan bakar fosil termaksud ke dalam jenis energi

yang tidak dapat diperbaharui [2]. Hal ini menuntut beberapa upaya untuk diciptakannya bahan bakar alternatif. Seperti halnya di negara Indonesia sendiri sudah mulai melakukan uji coba dan pencarian alternatif bahan bakar yang terbarukan sebagai pengganti atau substitusi bahan bakar fosil.

Salah satu alternatif yang dapat memenuhi kriteria tersebut yaitu dengan pemanfaatan minyak nabati untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Minyak nabati secara umum merupakan minyak yang diperoleh dari tumbuh-tumbuhan sehingga sumbernya tidak dengan mudah habis seperti bahan bakar fosil. Untuk memperoleh minyak nabati yang dapat menjadi bahan bakar diesel diperlukan suatu proses yang disebut proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi yaitu reaksi antara trigliserida (minyak atau lemak) dengan alkohol untuk menghasilkan metil-ester dan gliserol dengan bantuan katalis basa [3]. Proses ini dimaksud untuk menghasilkan bahan bakar minyak dengan viskositas yang rendah sehingga bisa memperpanjang umur dari mesin diesel [4].

Produksi minyak nabati sendiri tidak dapat lepas dari ketersediaan bahan bakunya. Di Indonesia sendiri khususnya pada pulau Sumatera kelapa sawit (*crude palm oil*) menjadi salah satu pemasok terbesar dalam pembuatan minyak nabati. Berdasarkan data Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit (GAPKI) tercatat produksi kelapa sawit pada tahun 2017 sebesar 41,9 juta ton, dan naik sebesar 47,3 juta ton pada tahun 2018, sedangkan pada tahun 2019 mengalami peningkatan yang signifikan yaitu sebesar 51,8 juta ton [5].

Proses pembuatan minyak nabati pada penelitian ini menggunakan proses transesterifikasi, hal ini dikarenakan pada proses transesterifikasi didapatkan hasil yang secara umum memenuhi standar minyak nabati yang tertera pada syarat mutu SNI 7182:2015 kecuali pada parameter viskositas [6]. Menurut Prof. Dr. Mahfud, hampir semua minyak nabati diproduksi menggunakan proses transesterifikasi dengan katalis basa karena proses ini paling ekonomis dan membutuhkan suhu serta tekanan yang rendah untuk menghasilkan *yield* sebesar 98% [7].

Moh Wafir menggunakan bahan bakar pertadex dan campuran pertadex biodiesel biji kemiri B10-B30. Didapatkan hasil nilai daya efektif dan torsi terbaik pada B10, dengan peningkatan sebesar 3,92% dan 4,10%, nilai penggunaan bahan bakar terbaik pada B30 dengan pengurangan sebesar 1,51%, dan nilai efisiensi termal terbaik pada B20 dengan peningkatan sebesar 1,71% [8].

I Wayan Susila menggunakan bahan bakar solar dan campuran solar biodiesel biji karet B5-B20. Diperoleh hasil kinerja mesin terbaik pada bahan bakar B10 dengan putaran 2500 rpm, yang bernilai

daya maksimum 36,95 Ps, sfc 0,256 kg/(Ps.jam), efisiensi termal 58,44% [9]. Sedangkan, Tulus B. Sitorus, dkk menggunakan bahan bakar pertadex dan campuran pertadex biodiesel biji bunga matahari B5-B20. Didapatkan hasil daya menurun sebesar 1-4% dan konsumsi bahan bakar spesifik meningkat 11-58%, efisiensi termal aktual brake menurun 2-6% dan laju aliran massa bahan bakar menurun 4-14% [10].

Pada penelitian ini akan membahas tentang analisa perbandingan unjuk kerja mesin diesel satu silinder dengan putaran mesin yang divariasikan dari 1000 rpm hingga 2000 rpm setiap kenaikan interval sebesar 200 rpm dan daya konstan 1500 Watt berbahan bakar pertamina dex murni dan campuran antara pertamina dex dengan minyak nabati yang telah diformulasikan yaitu MS10 (10:90), MS20 (20:80), MS30 (30:70), dan MS40 (40:60) melalui proses transesterifikasi menggunakan katalis basa homogen. Diharapkan dengan dilakukannya penelitian ini dapat menganalisis perbandingan unjuk kerja mesin diesel yang dihasilkan dari bahan bakar tersebut serta mendapatkan formulasi komposisi bahan bakar terbaik berdasarkan dengan nilai unjuk kerja mesin diesel satu silinder yang dihasilkan.

## 2. Metode

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah BBM dengan jenis Pertamina Dex serta minyak nabati dari *crude palm oil* yang diproses melalui transesterifikasi dengan bantuan katalis basa homogen KOH terlebih dahulu. Penelitian ini diawali dengan proses pembuatan minyak nabati dengan menggunakan proses transesterifikasi dan dibantu oleh katalis KOH. Setelah itu proses selanjutnya yaitu mencampurkan bahan bakar antara pertamina dex dengan minyak nabati dengan formulasi yang sudah ditentukan, yang dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Formulasi Bahan Bakar

Komposisi	Formulasi	Volume Total
Pertamina Dex Murni	Dex	1L
10% Minyak Nabati dan 90% Pertamina Dex	MS10	1L
20% Minyak Nabati dan 80% Pertamina Dex	MS20	1L
30% Minyak Nabati dan 70% Pertamina Dex	MS30	1L
40% Minyak Nabati dan 60% Pertamina Dex	MS40	1L

Lalu bahan bakar pertamina dex murni dan hasil pencampuran bahan bakar antara pertamina dex dengan minyak nabati yang sudah diformulasi tersebut diujikan ke dalam mesin diesel pada putaran motor yang divariasikan yaitu 1000, 1200,

1400, 1600, 1800, dan 2000 rpm dan beban daya konstan sebesar 1500 Watt. Sehingga diperoleh data yang didapatkan yaitu tegangan listrik (V), arus listrik (I), waktu pemakaian bahan bakar per 5 ml ( $t_f$ ), dan suhu *exhaust*, yang selanjutnya diolah datanya untuk mendapatkan parameter unjuk kerja mesin diesel tersebut yang di antaranya daya efektif generator ( $N_e$ ), torsi ( $M_t$ ), konsumsi bahan bakar spesifik (sfc), efisiensi termal ( $\eta_{th}$ ), dan tekanan efektif rata-rata (bmep). Adapun spesifikasi mesin dan generator listrik yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3 berikut ini.

Tabel 2. Spesifikasi Mesin Diesel

Merek	Dongfeng R175A
Tipe	4 Langkah
Sistem Pembakaran	Penggabungan Langsung
Jumlah Silinder	1 Silinder
Diameter x Panjang Langkah	75 mm x 80 mm
Volume Silinder	0,353
Perbandingan Kompresi	22 : 1
Tegangan Maksimum / RPM	7 Hp / 2600
Tegangan Rata-rata	6,5 Hp / 2600
Pemakaian Bahan Bakar	≤ 294,2
Kapasitas Oli	2 L
Sistem Pendingin	Air dengan Hoper
Cara Menghidupkan	Engkol
Jenis Oli	SAE 40
Jenis Diesel Kapasitas Tangki	4,75 L
Kapasitas Tangki Air	7 L
Ukuran Peti	380 mm x 50 mm x 550 mm
Berat Kotor	82 kg
Berat Bersih	72 kg
Tahun Pembuatan	2017

Tabel 3. Spesifikasi Generator Listrik

Merek	Dongfeng St 3
Keluaran Maksimum	3 kW
Keluaran Rata-rata	2,4 kW
Tegangan	220 V
Phase	1

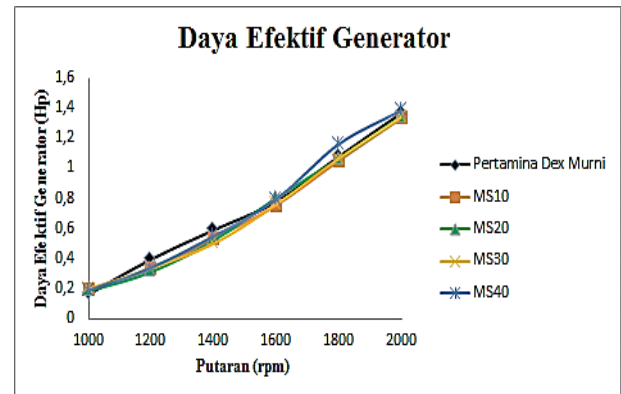
Power Factor	1,0
Kecepatan Putar	1500 rpm
Arus	13 A
Berat	70 kg

### 3. Hasil dan Pembahasan

Data awal yang diambil pada pengujian ini adalah dengan menggunakan bahan bakar pertamina dex murni (tanpa campuran) yang selanjutnya dengan mencampurkan bahan bakar antara pertamina dex dengan minyak nabati sesuai dengan formulasi yang sudah dibuat sebelumnya yaitu MS10, MS20, MS30, dan MS40 dengan menggunakan variasi putaran mesin sebesar 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, dan 2000 rpm serta beban konstan sebesar 1500 Watt. Berikut ini adalah hasil data yang telah diperoleh:

#### 3.1. Daya efektif generator terhadap putaran mesin

Gambar 1 menunjukkan nilai daya efektif generator untuk semua variasi bahan bakar pada putaran motor hingga 2000 rpm dengan beban konstan 1500 Watt.



Gambar 1. Grafik Daya Efektif Generator ( $N_e$ ) Terhadap Putaran Mesin

Secara umum idealnya grafik pada daya efektif generator ( $N_e$ ) adalah berbentuk linier terhadap putaran mesin. Grafik daya efektif generator ( $N_e$ ) yang diperoleh umumnya mengalami kenaikan seiring dengan penambahan putaran mesin yang diberikan. Nilai rata-rata daya efektif ( $N_e$ ) terbesar diperoleh oleh variasi bahan bakar MS40 yaitu sebesar 0,737 Hp dibandingkan dengan bahan bakar lainnya, sedangkan nilai rata-rata terkecil diperoleh oleh variasi bahan bakar MS30 sebesar 0,700 Hp. Dalam pengujian ini beban daya dijaga konstan, maka perubahan nilai daya efektif generator ( $N_e$ ) bergantung pada variasi torsi yang diberikan serta penggunaan bahan bakar yang berbeda formulasinya. Sesuai dengan Persamaan 1 yang digunakan yaitu:

$$N_e = \frac{v \cdot i}{746 \cdot \eta_{gen}} \tag{1}$$

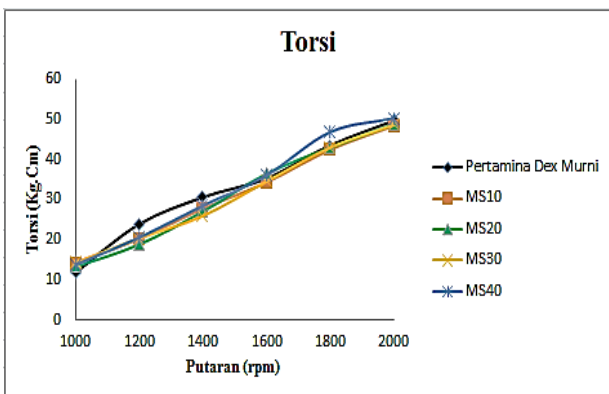
Dengan ( $N_e$ ) adalah daya efektif generator (Hp), V adalah tegangan listrik (volt), i adalah arus listrik (Ampere), dan  $\eta_{gen}$  adalah efisiensi mekanisme dari generator listrik yaitu bernilai 0,95. Sehingga, jika dilihat secara keseluruhan grafik daya efektif generator ( $N_e$ ) diatas membentuk garis lurus linier mengikuti bentuk idealnya dengan mengabaikan bentuk perbedaan nilai daya efektif generator ( $N_e$ ) yang cukup kecil dari masing-masing garis linier yang terbentuk sesuai dengan variasi bahan bakar.

3.2. Torsi terhadap putaran mesin

Gambar 2 adalah grafik nilai torsi terhadap putaran mesin. Torsi ( $M_t$ ) merupakan kemampuan dari mesin untuk melakukan kerja atau dapat pula didefinisikan sebagai kekuatan putar dari poros engkol yang dapat menggerakkan suatu kendaraan. Perubahan nilai torsi yang didapat akan bergantung pada putaran mesin yang diberikan. Hal ini sesuai dengan Persamaan 2 yang digunakan yaitu:

$$M_t = \frac{72610 \cdot N_e}{n} \tag{2}$$

Dengan ( $M_t$ ) adalah torsi (kg.cm), ( $N_e$ ) adalah daya efektif generator (Hp), dan  $n$  adalah putaran mesin yang diberikan (rpm). Maka bentuk grafik yang diperoleh terlihat mengalami kenaikan pada semua variasi bahan bakar, karena putaran mesin yang diberikan bervariasi mulai dari 1000 rpm hingga 2000 rpm dengan kenaikan interval setiap 200 rpm. Gambar grafik torsi ( $M_t$ ) tersebut membentuk garis linier dengan mengabaikan perbedaan nilai torsi yang cukup kecil dari masing-masing garis linier yang terbentuk sesuai dengan variasi bahan bakar. Diperoleh nilai rata-rata torsi terbesar pada variasi bahan bakar MS40 sebesar 32,701 kg.cm disusul dengan pertamina dex murni sebesar 32,500 kg.cm, sedangkan nilai terkecil diperoleh oleh variasi bahan bakar MS30 yaitu sebesar 31,166 kg.cm.

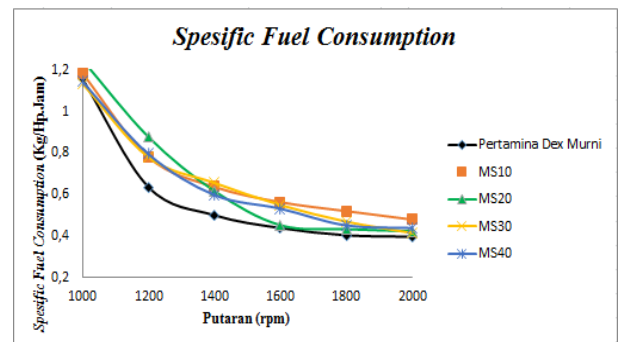


Gambar 2. Grafik Torsi ( $M_t$ ) Terhadap Putaran Mesin

3.3. Specific Fuel Consumption terhadap putaran mesin

Berdasarkan hasil pengolahan data yang diperoleh untuk nilai konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini. Dengan melihat Gambar 3 Pengaruh campuran minyak nabati ke dalam bahan bakar pertamina dex sangat mempengaruhi konsumsi bahan bakar Gambar 3 menunjukkan konsumsi bahan bakar spesifik pada bahan bakar pertamina dex murni lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar yang sudah dicampur oleh minyak nabati. Bila diamati dari grafik di atas, terlihat nilai sfc bahan bakar pada campuran pertamina dex dengan 10% minyak nabati (MS10) merupakan nilai paling tinggi dibandingkan dengan variasi bahan bakar lainnya. Hal ini dikarenakan peningkatan nilai sfc pada mesin dengan bahan bakar MS10 terjadi karena nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar lainnya, sehingga mesin dengan bahan bakar campuran antara pertamina dex dan minyak nabati akan membutuhkan daya yang lebih tinggi. Hal ini ditunjukkan melalui Persamaan 3 untuk menghitung nilai sfc yaitu:

$$sfc = \frac{3600 \cdot M_{bb}}{N_e \cdot s} \tag{3}$$



Gambar 3. Grafik Specific Fuel Consumption (sfc) Terhadap Putaran Mesin

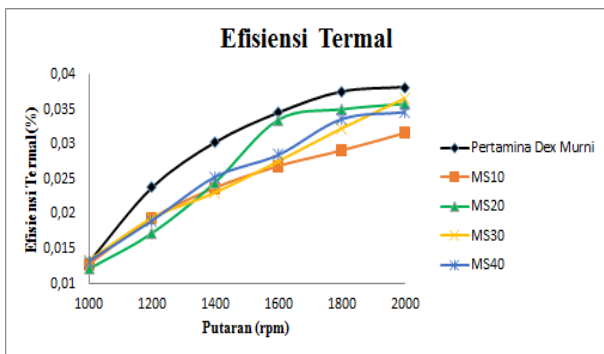
Dari Persamaan 3 dapat dilihat jika nilai berbanding terbalik dengan besarnya daya efektif generator. Hal ini berarti bahwa untuk menghasilkan daya yang sama yaitu sebesar 1500 Watt dibutuhkan jumlah konsumsi bahan bakar campuran antara pertamina dex dengan minyak nabati yang lebih banyak jika dibandingkan dengan bahan bakar pertamina dex murni. Dari Gambar 3 di atas dapat dilihat secara umum jika konsumsi bahan bakar pertamina dex murni mengalami peningkatan dengan adanya penambahan jumlah minyak nabati yang masuk ke dalam ruang bakar melalui variasi putaran mesin.

### 3.4. Tekanan efektif rata-rata terhadap putaran mesin

Gambar 4 merupakan grafik dari efisiensi termal ( $\eta_{th}$ ) terhadap putaran mesin yang divariasikan. Perubahan nilai efisiensi termal ( $\eta_{th}$ ) yang terjadi dipengaruhi oleh nilai dari konsumsi bahan bakar spesifik (*sfc*). Hal ini sesuai dengan Persamaan 4 yang digunakan yaitu:

$$\eta_{th} = \frac{632}{sfc \cdot Q} 100\% \quad (4)$$

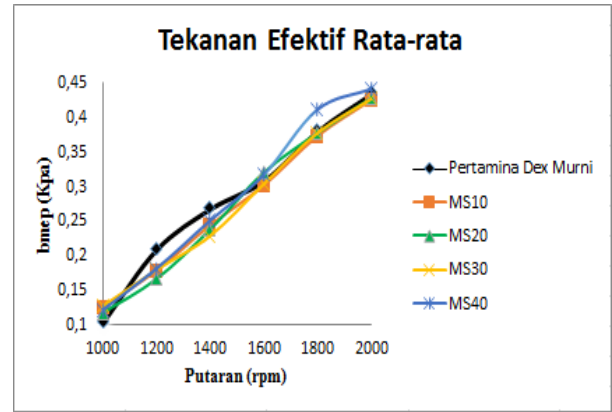
Dengan  $\eta_{th}$  adalah efisiensi termal, *sfc* adalah konsumsi bahan bakar spesifik (kg.Hp/jam), dan *Q* adalah nilai kalor (42.000 kJ/kg). Dapat dilihat dari persamaan diatas bahwa nilai efisiensi termal berbanding terbalik dengan konsumsi bahan bakar spesifik, jika nilai *sfc* yang diperoleh cukup rendah maka nilai  $\eta_{th}$  yang didapatkan akan meningkat.



Gambar 4. Grafik Efisiensi Termal ( $\eta_{th}$ ) Terhadap Putaran Mesin

Dari grafik tersebut dapat dilihat jika nilai efisiensi rata-rata terbesar ( $\eta_{th}$ ) diperoleh oleh bahan bakar pertamina dex dengan nilai 0,029, sedangkan nilai rata-rata terkecil diperoleh oleh jenis bahan bakar MS10 sebesar 0,023 dengan variasi putaran mesin dan beban yang konstan.

Tekanan efektif rata-rata (*b MEP*) merupakan besar tekanan konstan yang bekerja mendorong torak agar dapat terekspansi sehingga menghasilkan suatu daya mekanis yang sama dengan daya poros efektif. Nilai torsi dari mesin sangat dipengaruhi oleh nilai (*b MEP*) yang dapat dihasilkan dari mesin tersebut, sehingga grafik nilai (*b MEP*) dari mesin sangat identik dengan grafik nilai torsi. Berdasarkan hasil pengolahan data yang diperoleh untuk nilai tekanan efektif rata-rata (*b MEP*) dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.

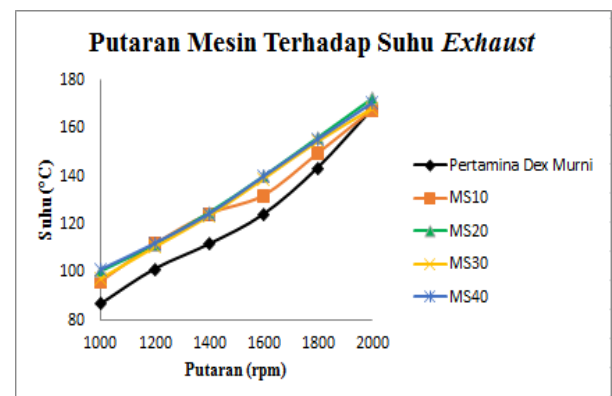


Gambar 5. Grafik Tekanan Efektif Rata-rata (*b MEP*) Terhadap Putaran Mesin

Dapat terlihat dari grafik di atas bahwa secara umum penambahan putaran pada mesin akan membuat nilai (*b MEP*) yang dihasilkan oleh mesin semakin tinggi. Proses pembakaran terjadi saat campuran antara udara dengan bahan bakar menghasilkan tekanan konstan yang bekerja pada piston untuk melakukan langkah kerja. Apabila ditinjau dari fenomena yang terjadi pada mesin, dengan adanya penambahan putaran mesin maka tekanan ekspansi yang dihasilkan juga semakin tinggi. Hal inilah yang menyebabkan nilai (*b MEP*) akan menjadi lebih tinggi dari putaran sebelumnya karena dengan adanya penambahan putaran mesin.

### 3.5. Temperatur Exhaust terhadap putaran mesin

Putaran mesin juga dapat mempengaruhi nilai dari temperatur *exhaust* yang dihasilkan mesin tersebut. Untuk nilai temperatur *exhaust* dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Temperatur *Exhaust* Terhadap Putaran Mesin

Dari data hasil perhitungan yang didapatkan bahwa perubahan temperatur gas buang akan mempengaruhi nilai parameter yang dicari yaitu daya efektif generator ( $N_e$ ), torsi ( $M_t$ ), konsumsi bahan bakar spesifik (*sfc*), efisiensi termal ( $\eta_{th}$ ), dan tekanan efektif rata-rata (*b MEP*), jika semakin tinggi temperatur gas buang maka akan semakin besar pula nilai parameter yang diperoleh.

#### 4. Kesimpulan

Dari nilai parameter unjuk kerja yang telah dihasilkan pada pengujian mesin diesel untuk putaran mesin yang divariasikan dari 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, dan 2000 rpm dan beban daya dijaga konstan sebesar 1500 Watt dapat diketahui jika formulasi bahan bakar terbaik adalah pertamina dex yang disusul oleh bahan bakar MS40, sedangkan formulasi bahan bakar terendah diperoleh pada bahan bakar MS10.

#### Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik kepentingan pada penelitian ini.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian, Pengabdian Masyarakat, dan Penjaminan Mutu (LP3) Institut Teknologi Sumatera yang telah memberikan dana penelitian ini melalui program Hibah Smart ITERA Tahun 2018 berdasarkan Surat Keputusan Nomor 134y/IT9.C1/PP/2018.

#### Daftar Pustaka

- [1] Elinur, D.S. Priyarsono, M. Tambunan, and M. Firdaus, "Perkembangan Konsumsi dan Penyediaan Energi dalam Perekonomian Indonesia," *Indonesian Journal of Agricultural Economics (IJAE)*, vol. 2, no. 1, pp. 97-119, Desember 2010.
- [2] Hamsyah Adhari, Yusnimar, and Syelvia Putri Utami, "Pemanfaatan Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel dengan Katalis ZnO Presipitan Zinc Karbonat : Pengaruh Reaksi dan Jumlah Katalis," *Jurnal FTEKNIK*, vol. 3, no. 2, pp. 1-7, Oktober 2016.
- [3] Feliska A., "Sintesis dan Analisis Metil Ester Terozonasi dari Minyak Sawit Bersih dan Jelantah Untuk Bahan Bakar Mesin Diesel," Skripsi Sarjana Teknik Gas dan Petrokimia UI, Depok, Hal. 19-22, 27-30, 2005.
- [4] Nurhayati, Muhdarina, T. Ariful Amri, and Susanto, "Sintesis Biodiesel dengan Katalis Lempeng Palas Aktivitas NaOH yang Dikalsinasi Pada Suhu 300°C," *Presiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 2013.
- [5] Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (Gapki), "Kinerja Industri Sawit Indonesia 2019," Jakarta, Februari 2020, [https://gapki.id/KINERJA\\_INDUSTRI\\_SAWIT\\_INDONESIA\\_2019.pdf](https://gapki.id/KINERJA_INDUSTRI_SAWIT_INDONESIA_2019.pdf).
- [6] Rizal Alamsyah, Enny H.L., and Nobel C.S., "Esterifikasi – Transesterifikasi dan Karakteristik Mutu Biodiesel dari Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas Linn*)," *Jurnal Kimia Kemasan*, vol. 33, no. 1, pp. 124-130, April 2011.
- [7] Prof. Dr. Mahfud, "Biodiesel : Perkembangan Bahan Baku dan Teknologi," Surabaya : CV. Putra Media Nusantara (PMN), 2018.
- [8] Moh. Wafir, "Analisis Unjuk Kerja Mesin Diesel dengan Bahan Bakar Campuran Pertadex dan Biodiesel dari Biji Kemiri," Skripsi, Universitas Jember, 2020.
- [9] I Wayan Susila, "Kinerja Mesin Diesel Memakan Bahan Bakar Biodiesel Biji Karet dan Analisis Emisi Gas Buang," *JURNAL TEKNIK MESIN*, vol.12, no.1, pp.43-50, April 2010.
- [10] Tulus B. Sitorus, Alberto M. Lubis, and Rki H. Purba, "Analisis Unjuk Kerja Mesin Diesel Satu Silinder Menggunakan Supercarjer Berbahan Bakar Pertadex dan Campuran Pertadex Biodiesel Biji Bunga Matahari," Sumatera Utara : Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara, 2016.