

## KAJIAN PERFORMANSI TORSI DAN KONSUMSI BAHAN BAKAR (SFC) MESIN GENSET OTTO SATU SILINDER DENGAN BAHAN BAKAR CAMPURAN PREMIUM DAN SUPER FUEL

Efrin Simbolon<sup>1</sup>, Abdul H Nasution<sup>2</sup>, Tulus B. Sitorus<sup>3</sup>, Andianto Pintoro<sup>4</sup>, Himsar Ambarita<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

Email : efrain\_simb@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Semakin berkurangnya bahan bakar minyak menyebabkan timbulnya berbagai pemikiran bagaimana mengatasi permasalahan ini. Super fuel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan pada berbagai mesin, salah satunya adalah mesin bensin pada generator set 4-langkah. Penelitian dilakukan dengan variasi jumlah bola lampu dan variasi bahan bakar. Bola lampu yang digunakan untuk pengujian yaitu lampu 100 Watt dengan variasi jumlah lampunya 2; 4; 6; 8; 10 dan 12. Sedangkan variasi bahan bakar untuk pengujian yaitu 100% premium; 95% premium + 5% super fuel; 90% premium + 10% super fuel; 85% premium + 15% super fuel. Berdasarkan analisis, diketahui bahwa performansi campuran super fuel mengalami penurunan torsi dan Specific Fuel Consumption (SFC). Tetapi emisi gas buang yang dihasilkan dengan menggunakan campuran super fuel, mampu mereduksi kandungan emisi gas buang beracun seperti karbon monoksida (CO), dan hidrokarbon (HC). Kadar sisa oksigen (O<sub>2</sub>) dari campuran super fuel mengalami penurunan sedangkan kadar karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) mengalami peningkatan dibanding premium 100%..

*Kata kunci* : Bahan bakar fosil, super fuel, performansi, mesin pembakaran dalam, emisi gas buang

### ABSTRACT

*The decreasing availability of fossil fuels led to a variety of ideas how to solve this problem. Super fuel is one of the alternative fuel that can be used in various engine, one of which is a gasoline engine generator sets in 4-stroke. Research done by variation of the lamp and fuel variations . lamp that is used in research is the 100 Watt lamp. The variation of the lamp is 2; 4; 6; 8; 10 and 12. the variations of fuel for the reseacrh is 100% gasoline; 95% gasoline + 5 % super fuel; 90% gasoline + 10% super fuel and 85% gasoline + 15% super fuel . Based on the analysis , it is known that performance a super fuel mixture decreased torque and Specific Fuel Consumption (SFC). But emissions by using a super fuel mixture , can reduced the content of toxic exhaust emissions such as carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC) . And Residual rate of oxygen (O<sub>2</sub>) from the super fuel mixture decreased while the rate of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) have increased compared to 100% gasoline.*

*Keywords* : fossil fuels, super fuel, performance, combustion engine, exhaust emissions

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia relatif tinggi dengan rata-rata 7% per tahun, dan saat ini dengan ketergantungan pada energi fosil (95%). Menurut data Direktorat Jenderal Migas (2012) cadangan minyak Indonesia hanya tersisa 7,40 miliar barel. Apabila terus dikonsumsi tanpa ditemukannya cadangan minyak baru, diperkirakan cadangan minyak ini akan habis dalam dua dekade mendatang. Mengantisipasi hal tersebut diperlukan pengembangan sumber energi terbarukan (salah satunya biomasa) sebagai energi alternatif campuran bahan bakar untuk menghemat penggunaan minyak. peningkatan permintaan minyak<sup>[1]</sup>.

Berdasarkan pemikiran tersebut, maka dilakukan pengujian mesin otto dengan menggunakan Super fuel, disini penulis memilih "PowerMax", karena powermax ini merupakan inovasi putra

Indonesia dalam bidang suplemen bahan bakar yang dapat memberikan solusi dalam masalah efisiensi/penghematan pemakaian bahan bakar, mengatasi masalah polusi gas buang.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Nilai Kalor Bahan Bakar

Data yang diperoleh dari hasil pengujian bom kalorimeter adalah temperatur air pendingin sebelum dan sesudah penyalaan. Selanjutnya untuk menghitung nilai kalor atas, dapat dihitung dengan persamaan berikut<sup>[2]</sup>:

$$\text{HHV} = (T_2 - T_1 - T_{kp}) \times C_v$$

Dimana:

HHV = Nilai kalor atas (kJ/kg)

T<sub>1</sub> = Temperatur air pendingin sebelum penyalaan (°C).

T<sub>2</sub> = Temperatur air pendingin sesudah penyalaan (°C).

C<sub>v</sub> = Panas jenis bom kalorimeter (73529.6 kJ/kg °C).

T<sub>kp</sub> = Kenaikan temperatur akibat kawat penyala (0.05 °C).

Sehingga besarnya nilai kalor bawah (LHV) dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2400(M + 9H_2)$$

Dimana:

LHV = Nilai Kalor Bawah (kJ/kg)

M = Persentase kandungan air dalam bahan bakar (*moisture*)

Untuk menghitung nilai persentase kadar hidrogen dalam bahan bakar dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut<sup>[3]</sup>:

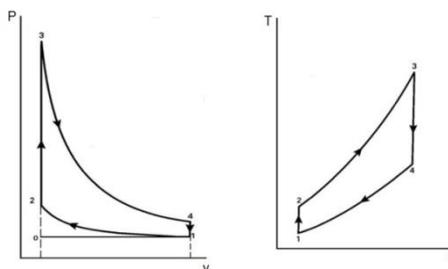
$$H_2 = 26 - 15d$$

Dimana:

H<sub>2</sub> = Persentase kandungan hidrogen dalam bahan bakar

### 2.2 Mesin Otto Empat Langkah

Motor bensin dapat dibedakan atas 2 jenis yaitu motor bensin 2-langkah dan motor bensin 4-langkah. Pada motor bensin 2- langkah, siklus terjadi dalam dua gerakan torak atau dalam satu putaran poros engkol. Sedangkan motor bensin 4-langkah, pada satu siklus terjadi dalam 4- langkah seperti pada gambar 1 berikut.



Gambar 1 Diagram P-v dan T-s Siklus Otto Ideal

Proses yang terjadi pada siklus otto adalah sebagai berikut:

Proses 0-1 : langkah isap

Proses 1-2 : kompresi isentropic

Proses 2-3 : proses pembakaran volume konstan dianggap sebagai proses pemasukan kalor

Proses 3-4 : proses isentropik udara panas dengan tekanan tinggi mendorong piston turun menuju TMB

Proses 4-1 : proses pelepasan kalor pada volume konstan piston

Proses 1-0 : langkah buang pada tekanan konstan<sup>[4]</sup>.

## 2.3 Performansi Motor Bakar

Parameter mesin diukur untuk menentukan karakteristik pengoperasian pada motor bakar. Parameter dan performansi mesin dapat dilihat dari rumus- rumus dibawah ini<sup>[5]</sup>.

### 1. Torsi

Torsi yang dihasilkan suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan dynamometer yang dikopel dengan poros output mesin. Oleh karena sifat dynamometer yang bertindak seolah-olah seperti sebuah rem dalam sebuah mesin, maka daya yang dihasilkan poros output ini sering disebut sebagai daya rem (Brake Power).

$$T = \frac{60P}{2\pi n}$$

Dimana:

$P$  = Daya keluaran(Watt)

$n$  = Putaran mesin (rpm)

$T$  = Torsi (Nm)

### 2. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (*specific fuel consumption, sfc*)

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu. Bila daya rem dalam satuan kW dan laju aliran massa bahan bakar dalam satuan kg/jam, maka :

$$Sfc = \frac{\dot{m}_f \times 10^3}{P_B}$$

Dimana :

Sfc = konsumsi bahan bakar spesifik (g/kW.h).

$\dot{m}_f$  = laju aliran bahan bakar (kg/jam)

Besarnya laju aliran massa bahan bakar ( $\dot{m}_f$ ) dihitung dengan persamaan berikut :

$$\dot{m}_f = \frac{sgf \times V_f \times 10^{-3}}{t_f} \times 3600$$

Dimana :

Sgf = specific gravity

$V_f$  = volume bahan bakar yang diuji

$t_f$  = waktu untuk menghabiskan bahan bakar (detik)

## 2.4 Super Fuel

Super Fuel Powermax adalah gasohol peningkat oktan yang dibuat khusus untuk meningkatkan oktan BBM Premium. Powermax adalah Fuel Additive inovasi putra Indonesia dalam bidang suplemen bahan bakar yang kinerjanya mampu mendispersikan air kedalam bahan bakar sehingga terjadi emulsi antara air, Powermax dan bahan bakar yang menjadikannya solusi dalam masalah penghematan pemakaian bahan bakar, mengatasi masalah polusi gas buang. Powermax oktan 115 dikembangkan dari bioetanol.

## 3. METODOLOGI

### 3.1. Bahan yang Digunakan

Bahan bakar yang menjadi objek pengujian ini adalah bahan bakar premium, dan serbuk biomassa pelepah kelapa sawit.

### 3.2. Pengamatan dan Tahap Pengujian

Parameter yang akan ditinjau dalam pengujian ini adalah :

1. Torsi (T)
2. SFC (g/kW.h)

Prosedur pengujian dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

1. Pengujian mesin otto menggunakan bahan bakar premium
2. Pengujian mesin otto menggunakan bahan bakar 95% premium + 5% super fuel.
3. pengujian mesin otto menggunakan bahan bakar 90% premium + 10% super fuel.
4. Pengujian mesin otto menggunakan bahan bakar 85% premium + 15% super fuel.

### 3.3. Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian performansi motor dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mengoperasikan mesin dengan cara menarik *starter* penyalaan mesin, kemudian memanaskan mesin selama 10 menit.
2. Setelah mesin beroperasi dengan baik, timbanglah massa bahan bakar awal sebelum dilakukan pengujian.
3. Memulai pengujian dengan menyalakan 2 lampu sebagai variasi beban awal (pengujian pertama).
4. Menyalakan *stopwatch* dan menghitung waktu pengujian sampai 5 menit.
5. Mengukur putaran mesin dengan menggunakan *tachometer*.
6. Mencatat tegangan dan kuat arus menggunakan *multi meter*.
7. Mematikan mesin dengan cara menekan tombol *Off* setelah 5 menit pengujian.
8. Mencatat bahan bakar yang habis selama pengujian melalui pembacaan timbangan digital.
9. Mengulang pengujian untuk variasi jumlah lampu berikutnya.
10. Mengulang pengujian dengan bahan bakar yang berbeda.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Torsi

Besarnya torsi yang dihasilkan oleh mesin menggunakan bahan bakar premium 100%, 95% premium + 5% super fuel, 90% premium + 10% super fuel dan 85% premium + 15% super fuel dapat dihitung dari besar daya berdasarkan tegangan (volt) dan kuat arus (ampere) yang dihasilkan pada pembacaan *multimeter*. Besarnya torsi yang dihasilkan oleh masing-masing jenis bahan bakar pada tiap kondisi pembebanan dan putaran mesin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$T = \frac{60P}{2\pi n}$$

dimana :

$T$  = torsi (Nm)

$P$  = daya ( Watt )

$N$  = putaran (rpm)

#### 4.1.1 Torsi yang dihasilkan menggunakan bahan bakar 100% Premium

- Jumlah lampu = 2, Daya(P) = 200,4 watt, Putaran (N) = 4330 rpm

$$T = \frac{60P}{2\pi n}$$

$$T = \frac{60 \times 200,4}{2\pi 4330}$$

$$T = 0,442 \text{ Nm}$$

- Jumlah lampu = 4, Daya(P) = 401,2 watt, Putaran (N) = 4410 rpm

$$T = \frac{60P}{2\pi n}$$

$$T = \frac{60 \times 401,2}{2\pi 4410}$$

$$T = 0,869 Nm$$

#### 4.1.2 Torsi yang dihasilkan menggunakan bahan bakar 95% premium + 5% super fuel

- Jumlah lampu = 2 Daya(P) = 200,2 watt, Putaran (N) = 4343 rpm

$$T = \frac{60P}{2\pi n}$$

$$T = \frac{60 \times 200,2}{2\pi 4343}$$

$$T = 0,44 Nm$$

- Jumlah lampu = 4 Daya(P) = 401,1 watt, Putaran (N) = 4439 rpm

$$T = \frac{60P}{2\pi n}$$

$$T = \frac{60 \times 401,1}{2\pi 4439}$$

$$T = 0,863 Nm$$

#### 4.1.3 Torsi yang dihasilkan menggunakan bahan bakar 90% premium + 10% super fuel

- Jumlah lampu = 2 Daya(P) = 200,12 watt, Putaran (N) = 4362,5 rpm

$$T = \frac{60P}{2\pi n}$$

$$T = \frac{60 \times 200,12}{2\pi 4362,5}$$

$$T = 0,438 Nm$$

- Jumlah lampu Daya(P) = 400,45 watt, Putaran (N) = 4432 rpm

$$T = \frac{60P}{2\pi n}$$

$$T = \frac{60 \times 400,45}{2\pi 4432}$$

$$T = 0,863 Nm$$

#### 4.1.4 Torsi yang dihasilkan menggunakan bahan bakar 85% premium + 15% super fuel

- Jumlah lampu = 2 Daya(P) = 200 watt, Putaran (N) = 4391 rpm

$$T = \frac{60P}{2\pi n}$$

$$T = \frac{60 \times 200}{2\pi 4391}$$

$$T = 0,435 Nm$$

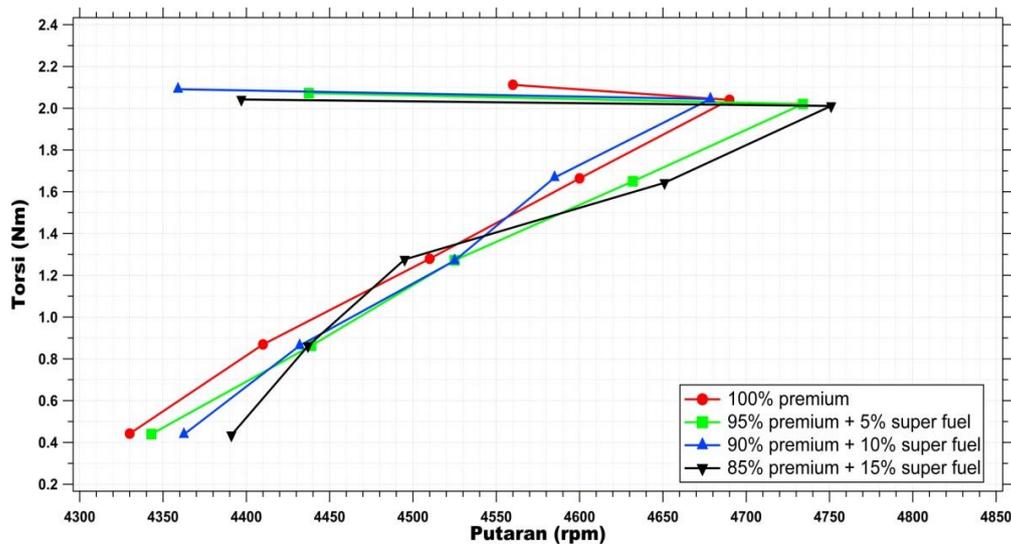
- Jumlah lampu = 4 Daya(P) = 400,16 watt, Putaran (N) = 4437 rpm

$$T = \frac{60P}{2\pi n}$$

$$T = \frac{60 \times 400,16}{2\pi 4437}$$

$$T = 0,862 Nm$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk setiap jenis bahan bakar, variasi putaran mesin dan variasi jumlah lampu, maka hasil perhitungan torsi untuk setiap kondisi tersebut dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini:



**Gambar 2 Grafik Torsi (Nm) vs Putaran (rpm) untuk setiap bahan bakar**

Analisa :

Berdasarkan hasil perhitungan dengan variasi pembebanan jumlah lampu yang sama pada tiap jenis bahan bakar maka didapat bahwa torsi terendah mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar 85% premium + 15% super fuel pada putaran mesin 4391 rpm yaitu 0,435 Nm. Sedangkan torsi tertinggi mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar premium 100% pada putaran mesin 4560 rpm yaitu sebesar 2,112 Nm.

Besar kecil torsi mesin bergantung pada besar kecil daya dan putaran mesin. Semakin besar daya mesin maka torsi semakin besar, sebaliknya semakin kecil daya mesin maka torsi semakin kecil. Namun, besar kecil torsi berbanding terbalik dengan putaran mesin. Semakin besar putaran mesin maka torsi semakin kecil, sebaliknya semakin kecil putaran mesin maka torsi semakin besar.

**4.2 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Sfc)**

Adapun rumus untuk menghitung besarnya SFC mesin dari masing-masing pengujian pada tiap variasi beban dan putaran yaitu:

$$Sfc = \frac{\dot{m}f \times 10^3}{P_B}$$

Dimana :

Sfc = konsumsi bahan bakar spesifik (g/kW.h)

$\dot{m}f$  = laju aliran bahan bakar (kg/jam)

Besarnya laju aliran massa bahan bakar ( $\dot{m}f$ ) dihitung dengan persamaan berikut :

$$\dot{m}f = \frac{m_f 10^{-3}}{t_f} \times 3600$$

dimana :

$m_f$  = massa bahan bakar yang habis (dalam hal ini pada saat 5 menit (300 detik) awal, berapa gram konsumsi bahan bakar yang terjadi).

$t_f$  = waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak volume uji (detik).

**4.2.1 SFC yang dihasilkan menggunakan bahan bakar 100% Premium**

- $P = 200,4 \text{ watt} \Rightarrow n = 4330 \text{ rpm}, \Delta m = 51 \text{ gr}, \dot{m}f = 0,612 \text{ kg/jam}$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } Sfc &= \frac{\dot{m}_f \times 10^3}{P_B} \\ Sfc &= \frac{0,612 \times 10^3}{0,2004} \\ Sfc &= 3054 \text{ g/kWjam} \end{aligned}$$

- P = 401,2 watt  $\Rightarrow$  n = 4410 rpm  
 $\Delta m = 59 \text{ gr}, \dot{m}_f = 0,708 \text{ kg/jam}$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } Sfc &= \frac{\dot{m}_f \times 10^3}{P_B} \\ Sfc &= \frac{0,708 \times 10^3}{0,4012} \\ Sfc &= 1765 \text{ g/kWjam} \end{aligned}$$

#### 4.2.2 SFC yang dihasilkan menggunakan bahan bakar 95% Premium + 5% super fuel

- P = 200,2 watt  $\Rightarrow$  n = 4343 rpm,  $\Delta m = 56 \text{ gr}, \dot{m}_f = 0,672 \text{ kg/jam}$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } Sfc &= \frac{\dot{m}_f \times 10^3}{P_B} \\ Sfc &= \frac{0,672 \times 10^3}{0,2002} \\ Sfc &= 3356,6 \text{ g/kWjam} \end{aligned}$$

- P = 400,1 watt  $\Rightarrow$  n = 4439 rpm  
 $\Delta m = 65 \text{ gr}, \dot{m}_f = 0,78 \text{ kg/jam}$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } Sfc &= \frac{\dot{m}_f \times 10^3}{P_B} \\ Sfc &= \frac{0,78 \times 10^3}{0,4001} \\ Sfc &= 1945 \text{ g/kWjam} \end{aligned}$$

#### 4.2.3 SFC yang dihasilkan menggunakan bahan bakar 90% Premium + 10 % super fuel

- P = 200,12 watt, n = 4632,5 rpm,  $\Delta m = 59 \text{ gr}, \dot{m}_f = 0,708 \text{ kg/jam}$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } Sfc &= \frac{\dot{m}_f \times 10^3}{P_B} \\ Sfc &= \frac{0,708 \times 10^3}{0,2001} \\ Sfc &= 3538 \text{ g/kWjam} \end{aligned}$$

- P = 400,45 watt, n = 4432 rpm  
 $\Delta m = 67 \text{ gr}, \dot{m}_f = 0,804 \text{ kg/jam}$

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{\dot{m}_f \times 10^3}{P_B} \\ Sfc &= \frac{0,804 \times 10^3}{400,45} \\ Sfc &= 2008 \text{ g/kWjam} \end{aligned}$$

#### 4.2.4 SFC yang dihasilkan menggunakan bahan bakar 85% Premium + 15% super fuel

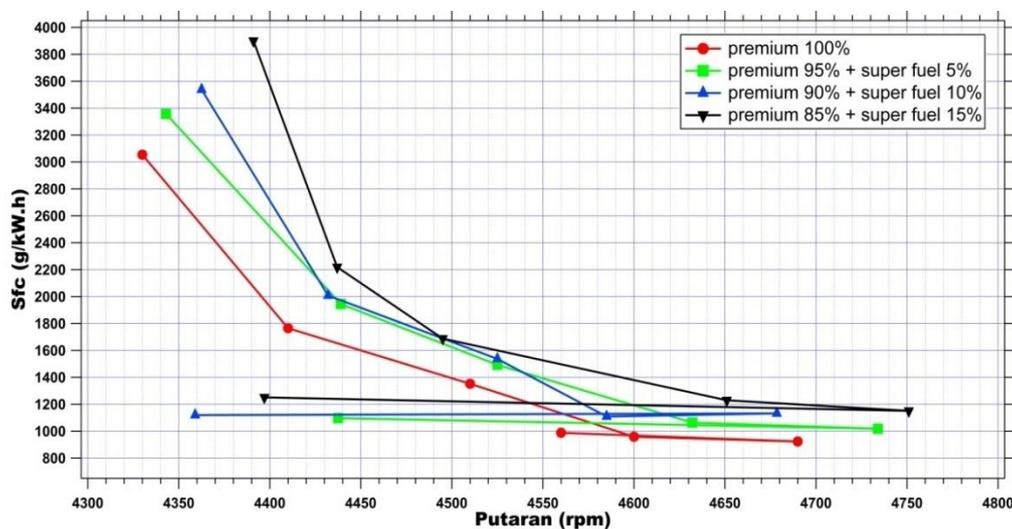
- P = 200 watt  $\Rightarrow$  n = 4391 rpm,  $\Delta m = 65 \text{ gr}, \dot{m}_f = 0,78 \text{ kg/jam}$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } Sfc &= \frac{\dot{m}f \times 10^3}{P_B} \\ Sfc &= \frac{0,78 \times 10^3}{0,2} \\ Sfc &= 3900 \text{ g/kWjam} \end{aligned}$$

- P = 400,16 watt  $\Rightarrow$  n = 4437 rpm  
 $\Delta m = 74 \text{ gr}, \dot{m}f = 0,888 \text{ kg/jam}$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } Sfc &= \frac{\dot{m}f \times 10^3}{P_B} \\ Sfc &= \frac{0,888 \times 10^3}{0,40016} \\ Sfc &= 2219 \text{ g/kWjam} \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk setiap jenis bahan bakar, variasi putaran mesin dan variasi beban, maka hasil perhitungan SFC untuk setiap kondisi tersebut dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3 Grafik Sfc (g/kW.h) vs Putaran (rpm) tiap bahan bakar

Analisa :

Berdasarkan hasil perhitungan dengan variasi pembebanan jumlah lampu yang sama pada tiap jenis bahan bakar maka didapat bahwa Sfc terendah mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar premium 100% pada putaran mesin 4690 rpm yaitu 923 g/kWh. untuk menghasilkan daya sebesar 1001 watt. Sedangkan Sfc tertinggi mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar 85% premium + 15% super fuel pada putaran mesin 4391 rpm yaitu sebesar 3900 g/kW.h untuk menghasilkan daya sebesar 200 watt. berdasarkan hasil perhitungan juga menunjukkan bahwa semakin banyak campuran super fuel pada bahan bakar maka konsumsi bahan bakar akan semakin boros karena mesin beroperasi di putaran yang lebih tinggi sehingga laju aliran bahan bakar semakin besar yang menyebabkan kenaikan nilai Sfc pada mesin.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini yaitu:

1. semakin banyak kandungan super fuel pada campuran bahan bakar maka torsi semakin menurun yang disebabkan oleh kenaikan putaran pada mesin untuk menghasilkan daya beban yang sama. Torsi tertinggi mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan

bahan bakar premium 100% pada putaran mesin 4560 rpm yaitu sebesar 2,112 Nm. Sedangkan torsi terendah mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar 85% premium + 15% super fuel pada putaran mesin 4391 rpm yaitu 0,435 Nm.

2. Semakin banyak campuran super fuel pada bahan bakar maka konsumsi bahan bakar semakin boros. Sfc terendah mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar premium 100% pada putaran mesin 4690 rpm yaitu 923 g/kW.h untuk menghasilkan daya sebesar 1001 watt. Sedangkan Sfc tertinggi mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar 85% premium + 15% super fuel pada putaran mesin 4391 rpm yaitu sebesar 3900 g/kW.h untuk menghasilkan daya sebesar 200 watt.

#### 5.1. Saran

1. Untuk mendukung kelancaran dan akurasi hasil pengujian sebaiknya dilakukan pemeriksaan dan kalibrasi terhadap instrumentasi dan alat ukur setiap kali pengujian akan dilakukan.
2. Untuk meningkatkan performansi dari bahan bakar campuran super fuel dengan premium perlu diadakan penelitian lebih lanjut agar kelak bahan bakar campuran ini lebih berguna di masyarakat.
3. Mengingat mesin pada umumnya dirancang untuk bahan bakar cair maka perlu pengembangan konstruksi mesin yang sesuai agar penggunaan campuran super fuel sebagai bahan bakar alternatif dapat dimaksimalkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Migas, 2012, *Statistik Minyak Bumi*. Jakarta
- [2] Thayab, Awaluddin, dkk. *Buku Panduan Praktikum Bom Kalorimeter*. Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin USU, Medan, 2003.
- [3] Eugene A. Avallone., *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*, Mc. Graw – Hill, 1987
- [4] Arismunandar, Wiranto. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Edisi kelima. Penerbit : ITB Bandung, 1988
- [5] Heywod, Jhon B. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw Hill Book Company, New York, 1988