

# KAJIAN PERFORMANSI DAYA DAN TORSI MESIN GENSET OTTO SATU SILINDER DENGAN BAHAN BAKAR CAMPURAN PREMIUM DAN SERBUK BIOMASSA PELEPAH KELAPA SAWIT

Henri A. Gultom<sup>1</sup>, Tulus B.Sitorus<sup>2</sup>, Syahril Gultom<sup>3</sup>, Taufiq B. N<sup>4</sup>, Dian M. Nasution<sup>5</sup>

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

Email : henriandriano\_gultom@yahoo.com

## ABSTRAK

Semakin berkurangnya cadangan minyak bumi dan pemakaian bahan bakar fosil yang terus meningkat menyebabkan timbulnya ancaman krisis energi. Mengantisipasi hal tersebut diperlukan pengembangan sumber energi terbarukan sebagai energi alternatif campuran bahan bakar untuk menghemat penggunaan minyak. Serbuk biomasa dari pelepah kelapa sawit merupakan sumber biomasa yang mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai campuran bahan bakar yang dapat digunakan pada berbagai mesin, salah satunya adalah pada mesin otto 4-langkah. Pada penelitian ini digunakan mesin genset otto 4-langkah STARKE tipe GFH1900LX dengan daya puncak 1,3 kW, daya rata-rata 1,0 kW, bore 55 mm, stroke 40 mm,  $V_d 95 \times 10^{-6} m^3$ ,  $V_c 10 \times 10^{-6} m^3$ , rasio kompresi 10,5 : 1, dan jumlah silinder 1 silinder. Bahan bakar yang digunakan yaitu premium 100%, premium 99% + serbuk pelepah kelapa sawit 1%, premium 97,5% + serbuk pelepah kelapa sawit 2,5% dan premium 95% + serbuk pelepah kelapa sawit 5%. Pengujian dilakukan pada variasi jumlah lampu sebagai beban yaitu 200 watt, 400 watt, 600 watt, 800 watt 1000 watt dan 1200 watt. Dari hasil pengujian daya maksimal turun hingga 6,71%, dan torsi turun 4,64%.

Kata kunci : bahan bakar fosil, emisi gas buang, performansi, Serbuk pelepah kelapa sawit

## ABSTRACT

*The decreasing petroleum reserves and the continuous rising consumption of fossil fuels causing the threat of an energy crisis. To overcome this problem we need to develop the renewable energy sources as an alternative mixed fuel to conserve the fuel consumption. The powdered grain of biomass from oil palm frond is a source of biomass that potentially develop as a mixed fuel that can be used in kinds of engine one of which is the 4-stroke otto engine. In this research used the otto engine 4-stroke gensets STARKE GFH1900LX type with peak power 1,3 kW, rate power 1,0 kW, bore 55 mm, stroke 40 mm,  $V_d 95 \times 10^{-6} m^3$ ,  $V_c 10 \times 10^{-6}$ , the compression ratio 10.5 : 1, and the number of cylinder 1 cylinder. The fuel used is 100% premium, 99% premium + 1% powdered grain of biomass from oil palm frond, 97.5% premium + 2.5% powdered grain of biomass from oil palm frond and 95% premium + 5% powdered grain of biomass from oil palm frond. Tests carried out on variations of the amount of light as a load of 200 watts, 400 watts, 600 watts, 800 watts 1000 watts and 1200 watts. From the test results power decrease down to 6,71%, torque decrease down to 4.64%,*

*Keywords : exhaust emissions, fossil fuels, performance, powdered palm frond grain*

## 1. PENDAHULUAN

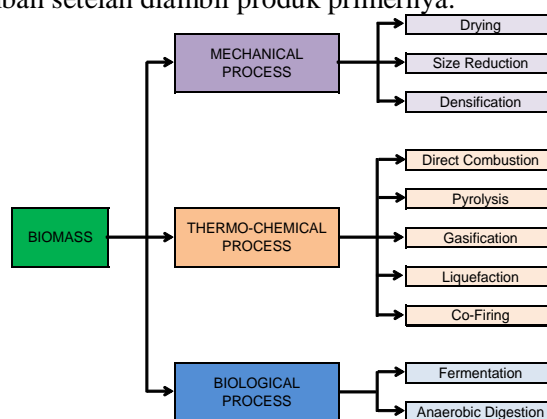
Kebutuhan energi di Indonesia relatif tinggi dengan rata-rata 7% per tahun, dan saat ini dengan ketergantungan pada energi fosil (95%). Menurut data Direktorat Jenderal Migas (2012) cadangan minyak Indonesia hanya tersisa 7,40 miliar barel. Apabila terus dikonsumsi tanpa ditemukannya cadangan minyak baru, diperkirakan cadangan minyak ini akan habis dalam dua dekade mendatang [2]. Mengantisipasi hal tersebut diperlukan pengembangan sumber energi terbarukan (salah satunya biomasa) sebagai energi alternatif campuran bahan bakar untuk menghemat penggunaan minyak. Disamping itu, perkembangan bisnis dan investasi kelapa sawit dalam beberapa tahun terakhir mengalami pertumbuhan yang sangat pesat. Permintaan atas minyak nabati dan penyediaan biofuel telah mendorong peningkatan permintaan minyak nabati yang bersumber dari

*crude palm oil (CPO)* yang berasal dari kelapa sawit. Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam pengembangan perkebunan dan industri kelapa sawit karena memiliki potensi cadangan lahan yang cukup luas, ketersediaan tenaga kerja, dan kesesuaian agroklimat. Menurut data Direktorat Jenderal Pertanian (2011) Luas areal perkebunan sawit di Indonesia sekitar 8.992.824 Ha dengan total produksi mencapai 23.096.541 ton dan produktivitas 3.526 kg/Ha[3]. Hal ini jelas menghasilkan banyak limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Dewasa ini teknologi peluluhan biomassa telah canggih dan bahan baku dapat dikurangi dengan ukuran mikronik atau bahkan lebih kecil. Penggunaan serbuk biomassa secara langsung sebagai bahan bakar dalam mesin *reciprocating* bisa menjadi alternatif bagus karena ketersediaan bahan baku limbah padat biomassa dan fleksibilitas dari *Internal Combustion Engine (ICE)*.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Selain digunakan untuk tujuan primer serat, bahan pangan, pakan ternak, miyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Umum yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya.



Gambar 1 Teknologi Konversi Biomassa[5]

### 2.2 Komposisi Bahan Baku

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) adalah salah satu jenis tanaman paku yang menghasilkan salah satu jenis minyak nabati yang berasal dari benua Afrika[6]. Klasifikasi tanaman kelapa sawit adalah:

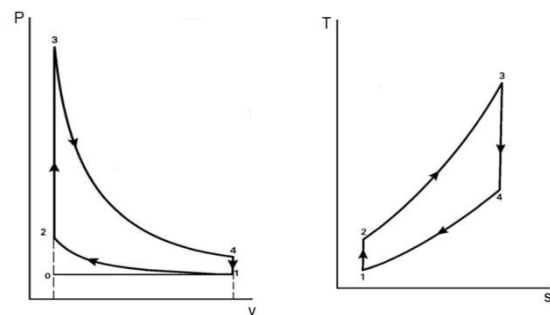
Divisi : *Embroyphyta Siphonagama*  
 Sub divisi : *Pteropsida*  
 Kelas : *Angiospermae*  
 Ordo : *Monocotyledonae*  
 Famili : *Arecaceae*  
 Sub family : *Cocoidae*  
 Genus : *Elaeis*  
 Spesies : 1. *E. guineensis* Jacq.  
 2. *E. oleifera* (H.B.K) Cortes  
 3. *E. odora*

Jumlah pelepah, panjang pelepah, dan jumlah anak daun tergantung pada umur tanaman kelapa sawit. Tanaman yang berumur tua, jumlah pelepah dan anak daun lebih banyak. Begitu pula pelepahnya akan lebih panjang dibandingkan dengan tanaman yang masih muda. Berat kering satu pelepah dapat mencapai 4,5 kg. pada tanaman dewasa ditemukan sekitar 40 – 50 pelepah. Saat tanaman berumur sekitar 10 - 13 tahun dapat ditemukan daun yang luas permukaannya mencapai 10 – 15 m<sup>2</sup>. Luas permukaan daun akan berinteraksi dengan tingkat produktivitas tanaman. Semakin luas

permukaan atau semakin banyak jumlah daun maka produksi akan meningkat karena proses fotosintesis akan berjalan dengan baik. Proses fotosintesis akan optimal jika luas permukaan daun mencapai 11 m<sup>2</sup>. Jumlah kedudukan pelepah daun pada batang kelapa sawit disebut juga *phyllotaxis* yang dapat ditentukan berdasarkan perhitungan susunan duduk daun, yaitu dengan menggunakan rumus duduk daun 1/8. Artinya, setiap satu kali berputar melingkari batang, terdapat duduk daun (pelepah) sebanyak 8 helai. Pertumbuhan melingkar duduk daun mengarah ke kanan atau ke kiri menyerupai spiral. Pada tanaman yang normal dapat dipilih 2 set spiral berselang 8 daun yang mengarah ke kanan dan berselang 13 daun mengarah ke kiri[9].

Tabel 1 Proximate & Ultimate Analysis dari Biomasa Padat dari Sawit[5]

PALM BIOMASS : PROXIMATE - ULTIMATE ANALYSIS	FROND	
	Frond	
	Trangkaprasiith, 2010	
PROXIMATE ANALYSIS :		
Moisture	(%wt)	7.39
Volatile Matter	(%wt)	72.53
Fix Carbon	(%wt)	5.81
Ash	(%wt)	14.27
ULTIMATE ANALYSIS :		
C	(%wt)	38.38
H	(%wt)	5.53
O	(%wt)	53.73
N	(%wt)	2.27
S	(%wt)	0.09
Others	(%wt)	0
Ash	(%wt)	0
LHV	MJ/kg	17.25
Molecular Formula		



### 2.3 Sejarah Penggunaan Bahan Bakar Padat Pada Motor Bakar

Sejarah penggunaan bahan bakar padat pada mesin pembakaran dalam dibedakan dalam 3 periode yaitu: Periode pertama, sebagian besar dibuat di Jerman dengan batubara kering, dan berakhir dengan Perang Dunia II dan menyebabkan banyak perbaikan pada mesin diesel. Dimana penelitian ini banyak dikembangkan oleh Rudolf Diesel. Hambatan terbesar terdapat pada pengoperasian mesin. Periode kedua dilakukan di Amerika Serikat antara tahun 1945 dan 1973 penelitian mencari penyebab penurunan dari keausan mesin ke tingkat lebih lanjut yang diamati dengan perbandingan ke solar murni. Masalah utama, yaitu ukuran bahan bakar dan penyampaian ke silinder dengan waktu yang tepat, namun belum terpecahkan juga pada massa itu. Periode ketiga dari tahun 1973 sampai sekarang yakni meliputi tes skala penuh mesin dengan beberapa studi teoritis dan mulai menggunakan keanekaan hayati[7].

### 2.4 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.

Gambar 2 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[1]

## 2.5 Performansi Motor Bakar

Parameter mesin diukur untuk menentukan karakteristik pengoperasian pada motor bakar. Parameter dan performansi mesin dapat dilihat dari rumus- rumus dibawah ini[4].

### 1. Daya

Generator set atau sering disebut genset adalah sebuah perangkat yang berfungsi menghasilkan daya listrik. Disebut sebagai generator set dengan pengertian adalah satu set peralatan gabungan dari dua perangkat berbeda yaitu mesin dan generator atau alternator. Mesin sebagai perangkat pemutar sedangkan generator atau alternator sebagai perangkat pembangkit listrik. Mesin dapat berupa perangkat mesin diesel berbahan bakar solar atau mesin berbahan bakar bensin, sedangkan generator atau alternator merupakan kumparan atau gulungan tembaga yang terdiri dari stator (kumparan statis ) dan rotor (kumparan berputar). Dalam ilmu fisika yang sederhana dapat dijelaskan bahwa mesin memutar rotor pada generator sehingga timbul medan magnet pada kumparan stator generator, medan magnet yang timbul pada stator dan berinteraksi dengan rotor yang berputar akan menghasilkan arus listrik sesuai hukum Lorentz. Arus listrik yang dihasilkan oleh generator akan memiliki perbedaan tegangan di antara kedua kutub generatornya sehingga apabila dihubungkan dengan beban akan menghasilkan daya listrik, atau dalam rumusan fisika sebagai P dapat diperoleh dengan:

$$(1) \quad P_B = V \times I$$

dimana :

$P_B$  = daya ( Watt )

$V$  = tegangan (Volt)

$I$  = Arus (Ampere)

### 2 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*).

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

Dimana:

$P$  = Daya keluaran(Watt)

$n$  = Putaran mesin (rpm)

$T$  = Torsi (Nm)

## 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. Daya ( P )
2. Torsi ( T )

Prosedur pengujian dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu :

1. Pengujian mesin otto menggunakan bahan bakar premium
2. Pengujian mesin otto menggunakan bahan bakar premium 99% + serbuk pelepah kelapa sawit 1%
3. pengujian mesin otto menggunakan bahan bakar premium 97,5% + serbuk pelepah kelapa sawit 2,5%
4. Pengujian mesin otto menggunakan bahan bakar premium 95% + serbuk pelepah kelapa sawit 5%

### 3.3 Prosedur Pengujian

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

1. Mengoperasikan mesin dengan cara menarik *starter* penyalan 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 Daya

Besarnya daya yang dihasilkan oleh mesin menggunakan bahan bakar premium 100%, premium 99% + serbuk 1%, premium 97,5 + serbuk 2,5% dan premium 95% + serbuk 5% dapat dihitung dari besar tegangan (volt) dan kuat arus (ampere) yang dihasilkan pada pembacaan *multimeter*. Besarnya daya yang dihasilkan oleh masing-masing jenis bahan bakar pada tiap kondisi pembebanan dan putaran mesin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_B = V \times I$$

dimana :

$P_B$  = daya ( Watt )

$V$  = tegangan (Volt)

$I$  = Arus (Ampere)

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

- Jumlah lampu = 2  $\Rightarrow$  Putaran 4330 rpm

$$P = V \times I$$

$$P = 250,5 \times 0,8$$

$$P = 200,4 \text{ watt}$$

- Jumlah lampu = 4  $\Rightarrow$  Putaran 4410 rpm

$$P = V \times I$$

$$P = 250 \times 1,605$$

$$P = 401,2 \text{ watt}$$

- Jumlah lampu = 6  $\Rightarrow$  Putaran 4510 rpm

$$P = V \times I$$

$$P = 250,5 \times 2,41$$

$$P = 603,7 \text{ watt}$$

#### 4.1.2 Daya yang dihasilkan menggunakan bahan bakar premium 99% + serbuk pelepah sawit 1%

- Jumlah lampu = 2  $\Rightarrow$  Putaran 4360 rpm
 
$$P = V \times I$$

$$P = 249,5 \times 0,805$$

$$P = 200,8 \text{ watt}$$
- Jumlah lampu = 4  $\Rightarrow$  Putaran 4420 rpm
 
$$P = V \times I$$

$$P = 249,5 \times 1,605$$

$$P = 400,4 \text{ watt}$$
- Jumlah lampu = 6  $\Rightarrow$  Putaran 4530 rpm
 
$$P = V \times I$$

$$P = 250,5 \times 2,405$$

$$P = 602,4 \text{ watt}$$

#### 4.1.3 Daya yang dihasilkan menggunakan bahan bakar premium 97,5% + serbuk pelepah sawit 2,5%

- Jumlah lampu = 2  $\Rightarrow$  Putaran 4380 rpm
 
$$P = V \times I$$

$$P = 250 \times 0,805$$

$$P = 201,2 \text{ watt}$$
- Jumlah lampu = 4  $\Rightarrow$  Putaran 4440 rpm
 
$$P = V \times I$$

$$P = 249,5 \times 1,61$$

$$P = 401,7 \text{ watt}$$
- Jumlah lampu = 6  $\Rightarrow$  Putaran 4540 rpm
 
$$P = V \times I$$

$$P = 249,5 \times 2,41$$

$$P = 601,3 \text{ watt}$$

#### 4.1.4 Daya yang dihasilkan menggunakan bahan bakar premium 95% + serbuk pelepah sawit 5%

- Jumlah lampu = 2  $\Rightarrow$  Putaran 4430 rpm
 
$$P = V \times I$$

$$P = 249,5 \times 0,81$$

$$P = 202,1 \text{ watt}$$
- Jumlah lampu = 4  $\Rightarrow$  Putaran 4470 rpm
 
$$P = V \times I$$

$$P = 249,5 \times 1,605$$

$$P = 400,4 \text{ watt}$$
- Jumlah lampu = 6  $\Rightarrow$  Putaran 4570 rpm
 
$$P = V \times I$$

$$P = 250 \times 2,41$$

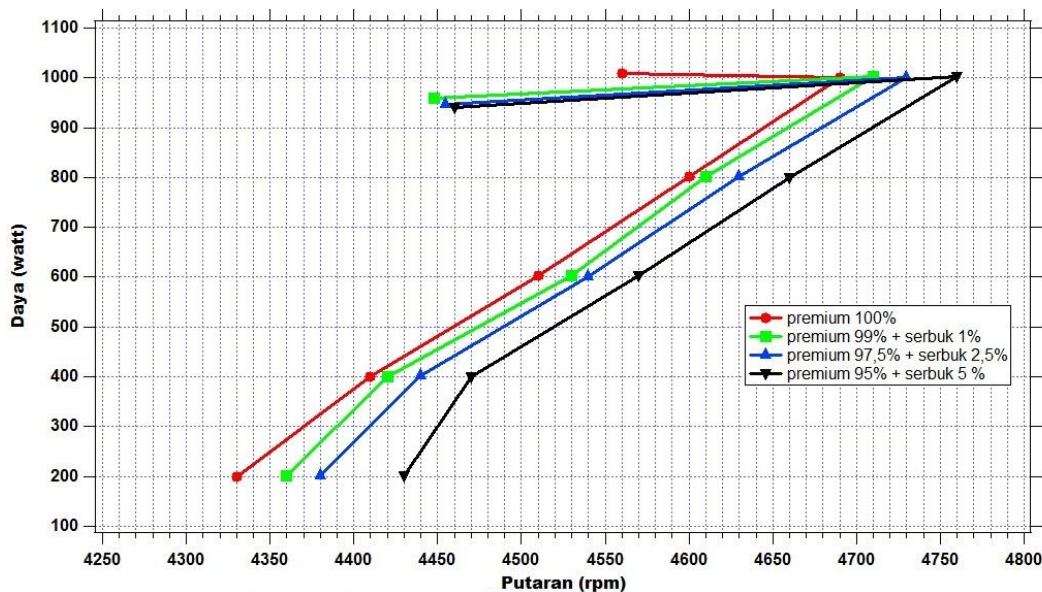
$$P = 602,47 \text{ watt}$$

Dengan cara perhitungan yang sama untuk setiap jenis bahan bakar, variasi putaran mesin dan variasi jumlah lampu, maka hasil perhitungan daya untuk setiap kondisi tersebut dapat dilihat pada table dibawah ini:



**Tabel 4.1 Tabel Hasil Perhitungan Daya Pada Tiap Bahan Bakar**

Bahan Bakar	Parameter Uji	Jumlah lampu (@100 Watt)					
		2	4	6	8	10	12
Premium 100%	n (rpm)	4330	4410	4510	4600	4690	4560
	V (volt)	250,5	250	250,5	250	250	224
	I (Ampere)	0,8	1,605	2,41	3,205	4,005	4,5
	P (Watt)	200,4	401,2	603,7	801,2	1001	1008
Premium 99% + Serbuk 1%	n (rpm)	4360	4420	4530	4610	4710	4448
	V (volt)	249,5	249,5	250,5	250,5	250	213
	I (Ampere)	0,805	1,605	2,405	3,2	4,01	4,505
	P (Watt)	200,8	400,4	602,4	801,6	1002	959,6
Premium 97,5% + Serbuk 2,5%	n (rpm)	4380	4440	4540	4630	4730	4455
	V (volt)	250	249,5	249,5	250	249,5	210
	I (Ampere)	0,805	1,61	2,41	3,21	4,01	4,51
	P (Watt)	201,2	401,7	601,3	802,5	1000	947,1
Premium 95% + Serbuk 5%	n (rpm)	4430	4470	4570	4660	4760	4460
	V (volt)	249,5	249,5	250	250	250	208,5
	I (Ampere)	0,81	1,605	2,41	3,2	4,01	4,51
	P (Watt)	202,1	400,4	602,5	800	1002	940,3



**Gambar 4.1 Grafik Daya (watt) vs Putaran (rpm) untuk setiap bahan bakar**

Analisa :

Berdasarkan hasil perhitungan daya untuk setiap bahan bakar diketahui bahwa untuk mendapatkan daya yang sesuai dengan jumlah lampu sebagai beban yang sama pada setiap bahan bakar, maka mesin cenderung menaikkan putarannya agar daya yang dihasilkan sama untuk setiap bahan bakar. Putaran yang semakin naik untuk menghasilkan daya yang sama menunjukkan bahwa kualitas pada bahan bakar yang semakin menurun jika kadar campuran serbuk pelepah kelapa sawit semakin banyak. Data pada beban 12 lampu menunjukkan bahwa saat mesin diberi beban maksimal 12 lampu, maka dengan menggunakan bahan bakar premium mampu menghasilkan daya keluaran paling tinggi yaitu 1008 watt dengan putaran 4560 rpm ; bahan bakar premium 99% + serbuk 1% hanya mampu menghasilkan daya sebesar 959,6 watt dengan putaran 4448 rpm ; bahan bakar premium 97,5% + serbuk 5% hanya mampu menghasilkan daya sebesar 947,1 watt dengan putaran 4455 rpm ; sedangkan bahan bakar premium 95% + serbuk 5% hanya mampu menghasilkan daya sebesar 940,3 watt dengan putaran 4460 rpm. Daya yang dihasilkan mesin yang tidak mencapai beban

12 jumlah lampu menunjukkan bahwa mesin generator set ini maksimum bekerja dengan daya rata rata 1000 watt.

#### 4.2 Torsi

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

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

Dimana:

$P$  = Daya keluaran(Watt)

$n$  = Putaran mesin (rpm)

$T$  = Torsi (Nm)

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

- $P = 200,4 \text{ watt} \Rightarrow n = 4330 \text{ rpm}$

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

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

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

- $P = 401,2 \text{ watt} \Rightarrow n = 4410 \text{ rpm}$

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

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

$$T = 0,869 \text{ Nm}$$

- $P = 603,7 \text{ watt} \Rightarrow n = 4510 \text{ rpm}$

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

$$T = \frac{60 \times 603,7}{2\pi 4510}$$

$$T = 1,279 \text{ Nm}$$

##### 4.2.2 Torsi yang dihasilkan menggunakan bahan bakar Premium 99% + serbuk pelepah kelapa sawit 1%

- $P = 200,8 \text{ watt} \Rightarrow n = 4360 \text{ rpm}$

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

$$T = \frac{60 \times 200,8}{2\pi 4360}$$

$$T = 0,44 \text{ Nm}$$

- $P = 400,4 \text{ watt} \Rightarrow n = 4420 \text{ rpm}$

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

$$T = \frac{60 \times 400,4}{2\pi 4420}$$

$$T = 0,866 \text{ Nm}$$

- $P = 602,4 \text{ watt} \Rightarrow n = 4530 \text{ rpm}$

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



$$T = \frac{60 \times 602,4}{2\pi 4530}$$

$$T = 1,271 \text{ Nm}$$

#### 4.2.3 Torsi yang dihasilkan menggunakan bahan bakar Premium 97,5% + serbuk pelepah kelapa sawit 2,5%

- $P = 201,2 \text{ watt} \Rightarrow n = 4380 \text{ rpm}$

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

$$T = \frac{60 \times 201,2}{2\pi 4380}$$

$$T = 0,439 \text{ Nm}$$

- $P = 401,7 \text{ watt} \Rightarrow n = 4440 \text{ rpm}$

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

$$T = \frac{60 \times 401,7}{2\pi 4440}$$

$$T = 0,864 \text{ Nm}$$

- $P = 601,3 \text{ watt} \Rightarrow n = 4540 \text{ rpm}$

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

$$T = \frac{60 \times 601,3}{2\pi 4540}$$

$$T = 1,265 \text{ Nm}$$

#### 4.2.4 Torsi yang dihasilkan menggunakan bahan bakar Premium 95% + serbuk pelepah kelapa sawit 5%

- $P = 202,1 \text{ watt} \Rightarrow n = 4430 \text{ rpm}$

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

$$T = \frac{60 \times 202,1}{2\pi 4430}$$

$$T = 0,436 \text{ Nm}$$

- $P = 400,4 \text{ watt} \Rightarrow n = 4470 \text{ rpm}$

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

$$T = \frac{60 \times 400,4}{2\pi 4470}$$

$$T = 0,856 \text{ Nm}$$

- $P = 602,5 \text{ watt} \Rightarrow n = 4570 \text{ rpm}$

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

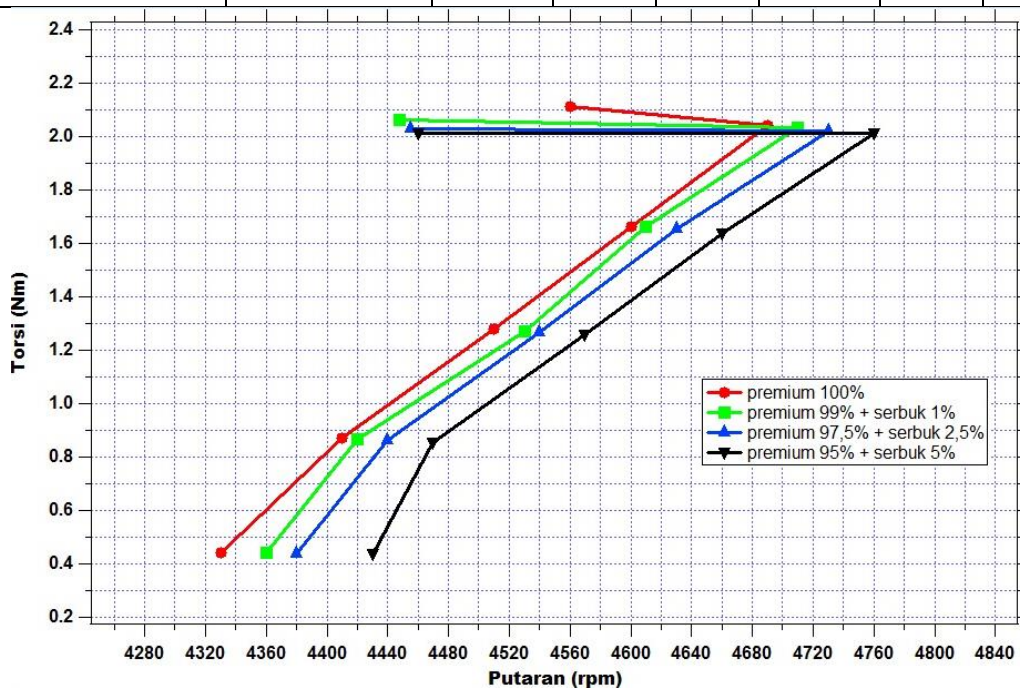
$$T = \frac{60 \times 602,5}{2\pi 4570}$$

$$T = 1,26 \text{ Nm}$$

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

**Tabel 4.2 Tabel Hasil Perhitungan Torsi Pada Tiap Bahan Bakar**

Bahan Bakar	Parameter Performansi	Jumlah lampu (@ 100 Watt)					
		2	4	6	8	10	12
Premium 100%	n (rpm)	4330	4410	4510	4600	4690	4560
	P (Watt)	200,4	401,2	603,7	801,2	1001	1008
	T (Nm)	0,442	0,869	1,279	1,664	2,04	2,112
Premium 99% + Serbuk 1%	n (rpm)	4360	4420	4530	4610	4710	4448
	P (Watt)	200,8	400,4	602,4	801,6	1002	959,6
	T (Nm)	0,44	0,866	1,271	1,661	2,033	2,061
Premium 97,5% + Serbuk 2,5%	n (rpm)	4380	4440	4540	4630	4730	4455
	P (Watt)	201,2	401,7	601,3	802,5	1000	947,1
	T (Nm)	0,439	0,864	1,265	1,656	2,021	2,031
Premium 95% + Serbuk 5%	n (rpm)	4430	4470	4570	4660	4760	4460
	P (Watt)	202,1	400,4	602,5	800	1002	940,3
	T (Nm)	0,436	0,856	1,26	1,637	2,012	2,014



Gambar 4.4 Grafik Torsi (N.m) 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 torsi terendah mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar premium 95% + serbuk pelepah sawit 5% pada putaran mesin 4430 rpm yaitu 0,436 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.

Dari grafik terlihat bahwa semakin banyak kandungan serbuk biomassa dari pelepah kelapa sawit pada campuran bahan bakar maka torsi semakin menurun yang disebabkan oleh kenaikan putaran pada mesin untuk menghasilkan daya beban yang sama.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini yaitu:

- Semakin banyak kandungan serbuk biomassa dari pelepah kelapa sawit pada campuran bahan bakar menyebabkan penurunan daya keluaran yang dihasilkan oleh mesin. Hal ini terlihat dengan adanya peningkatan putaran mesin untuk menghasilkandaya keluaran yang sama. Dan mesin menghasilkan daya maksimal 1008 watt dengan bahan bakar premium 100%.
- semakin banyak kandungan serbuk biomassa dari pelepah kelapa sawit pada campuran bahan bakar maka torsi semakin menurun yang disebabkan oleh kenaikan putaran pada mesin untuk menghasilkan daya beban yang sama. Semakin kecil putaran yang dilakukan mesin untuk menghasilkan daya keluaran yang sama maka semakin besar torsi yang dihasilkan. Torsi terendah mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar premium 95% + serbuk pelepah sawit 5% pada putaran mesin 4430 rpm yaitu 0,436 Nm. Sedangkan torsi tertinggi mesin terjadi pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar premium 100% pada putaran mesin 4560 rpm yaitu sebesar 2,112 Nm.

### 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 serbuk biomassa pelepah kelapa sawit 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 serbuk biomassa pelepah kelapa sawit sebagai bahan bakar alternatif dapat dimaksimalkan.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Arismunandar, Wiranto. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Edisi kelima. Penerbit : ITB Bandung, 1988
2. Direktorat Jenderal Migas, 2012, *Statistik Minyak Bumi*. Jakarta
3. Direktorat Jenderal Pertanian, 2011, *Produksi, Luas Areal dan Produktivitas Perkebunan di Indonesia*. Jakarta
4. Heywod, Jhon B. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw Hill Book Company, New York, 1988
5. Kerdsuwan, S. Et al. *Renewable Energy from Palm Oil Empty Fruit Bunch*. Renewable Energy-Trends and Applications (2011) 123-150: Intechopen
6. Pahan, Iyung. 2010. *Panduan Lengkap Kelapa Sawit, Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir*. Penebar Swadaya. Jakarta.
7. Piriou, B. et al. *Potential direct use of solid biomass in internal combustion engines*. Progress in Energy and Combustion Science 39 (2013) 169–189 : Elsevier Ltd.
8. Pulkrabek, Willard W. *Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine*. Prentice Hall, New Jersey
9. Winarna, dkk. *Kesatuan Contoh Daun dan Sistem Pengambilan Contoh Daun*. Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit Volume 15 nomor 2 Juni 2007