

**TINJAUAN PUSTAKA****2.1. Biodiesel**

Biodiesel / *fatty acid methyl ester* (FAME) adalah bioenergi ataupun bahan bakar alternatif pengganti minyak diesel (minyak fosil) yang terbuat dari minyak nabati ataupun hewani. Minyak nabati sebagai sumber utama biodiesel dapat dipenuhi oleh berbagai macam jenis tumbuhan tergantung pada sumber daya utama yang banyak terdapat di suatu tempat atau negara mengompilasi berbagai hasil riset di India tentang Bahan Bakar Nabati (BBN) biodiesel dan menemukan 75 spesies tanaman yang bisa menghasilkan biodiesel. Sebanyak 26 spesies di antaranya, termasuk *Jathropa curcas* (Jarak pagar), yang memenuhi standar kualitas USA, Jerman, dan Eropa (Azam et al. 2005). Di Indonesia terdapat 50 spesies tanaman yang bisa menghasilkan biodiesel, contoh yang populer adalah sawit, kelapa, jarak pagar, kapuk atau randu (Soerawidjaja, 2005). Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, bahan bakar biodiesel mempunyai kelebihan diantaranya bersifat biodegradable, non-toxic, memiliki angka emisi CO<sub>2</sub> dan gas sulfur yang rendah dan sangat ramah terhadap lingkungan (Marchetti dan Errazu, 2008).

Tabel 2.1 Di bawah ini menunjukkan syarat mutu biodiesel pada umumnya menurut standar SNI.

Tabel 2. 1 Syarat Mutu Biodiesel (Standar Nasional Indonesia, 2015)

NO	Parameter Uji	Satuan, min/max	Persyaratan
1	Massa jenis pada 40 °C	Kg/M <sup>3</sup>	850 – 890
2	Viskositas kinematik pada 40 °C	Mm <sup>2</sup> /s (cst)	2,3 – 6,9
3	Angka Setana	Min	51

4	Titik nyala (mangkok tertutup)	$^{\circ}\text{C}$ , min	100
5	Titik Kabut	$^{\circ}\text{C}$ , max	18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada $50^{\circ}\text{C}$ )		Nomor 1
	Residu karbon		0,05
7	-dalam percontoh asli, atau -dalam 10% ampas distilasi	%-massa, maks	0,03
8	Air dan sedimen	%-volume, max	0,05
9	Temperatur distilasi 90%	$^{\circ}\text{C}$ , max	360
10	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02
11	Belerang	mg/kg, max	50
12	Fosfor	mg/kg, max	4
13	Angka asam	mg-KOH/g, max	0,5
14	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02
15	Gliserol total	%-massa, maks	0,24
16	Kadar ester metil	%-massa, min	96,5
17	Angka iodium	-massa(g-12/100 g) max	115
18	Kestabilan oksidasi periode induksi metode rancimat atau periode induksi metode petro oksidasi	menit	480
19	Monogliserida	%-massa, maks	0,8

Di bawah ini merupakan tabel 2.2 yang menunjukkan hasil uji sampel B30 yang memenuhi spesifikasi dirjen migas yang dilakukan pada 25 November 2020.

Tabel 2. 2 Hasil uji sampel B30 (Spesifikasi Dirjen Migas)

NO	Parameter Uji	Units	Metode	Limits *)	Hasil Uji
1	<i>Appearance</i>		<i>Visual</i>	<i>Clear &amp; Bright</i>	<i>Clear &amp; Bright</i>
2	<i>Density at 15°C</i>	$\text{Kg/m}^3$	<i>ASTM D-1298</i>	815 - 880	837,1

3	<i>ASTM color</i>	-	<i>ASTM D-1500</i>	Max. 3,0	L 2,5
4	<i>Viscosity Kinematic at 40°C</i>	cSt	<i>ASTM D-445</i>	2,0 – 5,0	3,896
5	<i>Flash Point PMcc</i>	°c	<i>ASTM D-93</i>	Min. 52	63
6	<i>Sulfur Content</i>	%m/m	<i>ASTM D-4294</i>	Max. 0,25	0,01
7	<i>Water content by Karl Fischer</i>	ppm	<i>ASTM D-6304</i>	Max. 425	159
8	<i>Calculated Cetane Index</i>	-	<i>ASTM D-4737</i>	Min. 45	60
9	<i>Pour Point</i>	°c	<i>ASTM D-97</i>	Max. 18	12
10	<i>Distillation 90 % Vol</i>	°c	<i>ASTM D-86</i>	Max. 370	349
11	<i>Corrosion Copper Strip (3H/40°C)</i>	Class	<i>ASTM D-130</i>	Kelas 1	1a
12	<i>Total Acid Number</i>	mgKOH/gr	<i>ASTM D-664</i>	Max. 0,6	0,2
13	<i>Sediment Content</i>	% m/m	<i>ASTM D-473</i>	Max. 0,01	0,01
14	<i>Fame Content</i>	%Vol	<i>ASTM D-7806</i>	Max. 30	30

Bahan bakar biodiesel harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan ASTM. Ada beberapa literatur yang memberikan informasi mengenai properties biodiesel ini. Antara lain dalam laporan Connemann & Fischer 1998, dan Steven A Howel, B.S. Salah satu parameter penting dalam penentuan kualitas bahan bakar adalah angka setana. Angka setana adalah ukuran yang digunakan untuk menyatakan kualitas bahan bakar yang dibakar di ruang bakar mesin. Selain itu, agar dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti solar, biodiesel harus mempunyai kemiripan sifat fisik dan kimia dengan minyak solar. Salah satu sifat fisik yang penting adalah viskositas. Minyak lemak nabati sendiri dapat dijadikan bahan bakar namun viskositasnya terlalu tinggi sehingga tidak memenuhi persyaratan untuk dijadikan bahan bakar mesin diesel. Viskositas minyak nabati jauh lebih tinggi daripada solar atau biodiesel, sehingga ketika minyak nabati

disuntikkan ke ruang bakar, pompa injeksi bahan bakar di mesin diesel tidak dapat menghasilkan pengkabutan yang baik. (Destianna et al, 2007)

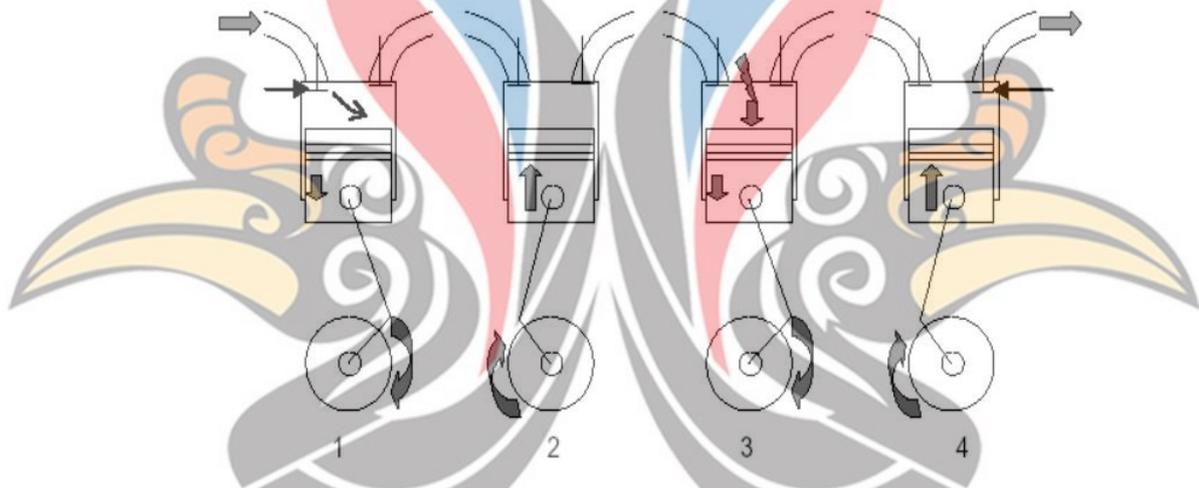
Biodiesel memiliki beberapa kelebihan dibanding bahan bakar solar pada umumnya, diantaranya adalah bahan bakar yang tidak beracun dan dapat dibiodegradasi, memiliki bilangan setana yang tinggi, dapat mengurangi emisi karbon monoksida, hidro-karbon dan NO<sub>x</sub> (Arifin, et al, 2008). Ada beberapa alasan menurut Van Gerpen, et al. (2005) terkait dengan yang terjadi dalam pembakaran bahan bakar biodiesel terutama kemampuannya dalam mereduksi emisi. Pertama, *methyl ester* mengandung atom oksigen dalam molekulnya sedangkan solar tidak. Penambahan oksigen dalam bahan bakar menandakan pembakaran lebih besar yang memungkinkan partikulat dan hidrokarbon terbakar lebih dahulu sebelum meninggalkan ruang bakar. Kedua, meningkatnya nilai cetana. Pengaruh nilai setana bahan bakar yaitu jika nilai cetana lebih tinggi maka akan mudah terbakar dibanding dengan yang lebih rendah. Ketiga, panjangnya rantai karbon dan ikatan rangkap dalam bahan bakar biodiesel. Umumnya, ikatan rangkap lebih sedikit dan bertambahnya panjang rantai karbon menyebabkan turunnya emisi.

## 2.2. Mesin Diesel

Mesin Diesel merupakan alat yang dapat menghasilkan tenaga serta dapat mengubah sumber energi panas menjadi suatu daya tenaga mekanik melalui sistem pembakaran bahan bakar (Pounder's, 2009). Pada mesin diesel dapat dibedakan berdasarkan jenis pembakaran motor bakarnya yang dibedakan menjadi beberapa macam yaitu sistem motor pembakaran dalam (*internal combustion engines*) dan sistem motor pembakaran luar (*external combustion engines*). Motor pembakaran luar adalah suatu alat dimana energinya bisa dipakai guna menghasilkan suatu kerja atau daya mekanik yang didapatkan menggunakan metode pembakaran bahan bakar dilakukan pada ruang bakar di luar motor tersebut, seperti contohnya pada mesin uap, mesin turbin uap. Sedangkan motor pembakaran dalam adalah mesin yang tenaganya ditujukan untuk menghasilkan kerja mekanik yang diperoleh dari pembakaran bahan bakar mesin itu sendiri,

seperti mesin diesel dan mesin bensin. Mesin empat langkah dalam hal ini merupakan suatu mesin yang kerjanya setiap satu silindernya mendapatkan satu kali pembakaran dan membutuhkan empat kali pergerakan piston yaitu dua kali bergerak ke bawah, dua kali bergerak keatas, serta dua kali putaran poros engkol. (Utomo, 2020)

Pembakaran pada mesin diesel terjadi karena bahan bakar yang disuntikkan ke dalam silinder terbakar dengan sendirinya dikarenakan suhu udara terkompresi tinggi di ruang bakar yang mengakibatkan tekanan di dalam silinder naik dengan cepat, sehingga mendorong piston untuk bergerak dari titik mati atas ke titik mati bawah. Adapun langkah kerja motor diesel 4 langkah seperti dibawah ini :



Gambar 2. 1 Langkah kerja motor diesel 4 langkah (Arismunandar, 2002; Soenarta, Furuhama,1985)

Urutan langkah kerja motor diesel 4 langkah yang ditunjukkan seperti Gambar 2.1 sebagai berikut:

1) Langkah Hisap (*Intake Stroke*)

Piston bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), kemudian katup masuk terbuka dan katup buang tertutup, lalu udara murni masuk kedalam silinder melalui katup masuk.

2) Langkah Kompresi (*Compression Stroke*)

Udara murni yang terhisap kedalam silinder dimampatkan oleh piston yang bergerak dari TMB ke TMA yang dimana kedua katup baik hisap

maupun buang tertutup. Selama langkah ini, tekanan naik antara 30 – 40 kg/cm<sup>2</sup> begitu pula dengan temperature yang naik antara 400° - 500° C.

### 3) Langkah Usaha (*Power Stroke*)

Pada langkah ini, katup hisap dan buang masih tertutup. Partikel-partikel (kabut) bahan bakar yang disemprotkan oleh *nozzle* akan bercampur dengan udara yang mempunyai tekanan dan suhu yang tinggi, sehingga terjadilah pembakaran yang menghasilkan tekanan dan suhu yang tinggi, yang diakibatkan tekanan naik 80 – 110 kg/cm<sup>2</sup> dan temperature naik menjadi 600° - 900° C. Proses pembakaran ini akan menghasilkan tekanan balik kepada piston sehingga piston akan terdorong ke bawah beberapa saat setelah mencapai TMA sehingga bergerak dari TMA ke TMB.

### 4) Langkah Pembuangan (*Exhaust Stroke*)

Pada langkah ini dimana katup hisap tertutup dan katup buang terbuka sesaat sebelum piston mencapai TMB sehingga gas sisa pembakaran mulai keluar. Piston bergerak dari TMB ke TMA mendorong gas buang keluar dari ruang bakar melalui katup buang.

Setelah langkah ini berakhir, langkah kerja motor diesel 4 langkah (4 tak) akan kembali lagi ke langkah hisap. Proses yang berulang-ulang tersebut diatas disebut dengan siklus diesel.

## 2.3. Uji Unjuk Kerja Motor Diesel

Semua mesin harus diketahui karakteristik dan unjuk kerjanya. Karakteristik yang umum di tunjukkan adalah daya yang dihasilkan, torsi, kebutuhan bahan bakar spesifik dan gas buang yang diemisikan. Secara garis besar biodiesel dapat digunakan tanpa memodifikasi dan penambahan alat lain. Karakteristik bahan bakarnya pun juga mirip dengan minyak solar dengan kadar sulfur rendah. Biodiesel mempunyai kelebihan dibandingkan dengan minyak solar dimana daya lubrikasinya sangat signifikan sehingga dapat memperbaiki karakteristik minyak solar.

*Performance* mesin berkaitan dengan kemampuan mesin dalam melakukan putaran untuk menghasilkan tenaga. Beberapa parameter yang dapat dilihat dalam mengetahui kualitas sebuah mesin diantaranya daya efektif ( $N_e$ ), torsi, *specific fuel consumption* (*SFC*), dan efisiensi termal mesin. Pudjanarsa dkk, (2008) menjelaskan mengenai parameter untuk mengetahui performa mesin, yaitu :

### 2.3.1 Torsi dan Daya

Secara sederhana torsi dapat diartikan sebagai momen puntir. Pada pengaplikasiannya di motor diesel, didefinisikan sebagai momen akibat tekanan dari gerakan naik turun piston yang berputar pada sumbu poros engkolnya. Sedangkan daya, didefinisikan sebagai kemampuan mesin dalam melakukan proses kerja untuk memindahkan atau menahan beban tiap satuan waktunya. Hubungan antara torsi dan daya sangat berkaitan di dalam sebuah aktifitas mesin. Sebagaimana dapat dirumuskan dalam persamaan berikut :

$$P = 2 \frac{\pi n}{60} T \quad (2.1)$$

Di mana :

P = Daya keluaran (watt)

n = Putaran mesin (RPM)

T = Torsi (N.m)

### 2.3.2 *Specific Fuel Consumption* (*SFC*)

Konsumsi bahan bakar spesifik dapat diartikan sebagai jumlah bahan bakar yang digunakan oleh mesin dalam setiap satuan daya yang dihasilkan untuk kurun waktu per 1 jam, dapat dinyatakan dalam satuan kg/kWh. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai *SFC* diantaranya : (Pudjanarsa dkk, 2008)

1. Pembebanan mesin
2. Putaran mesin

3. Kecepatan laju aliran bahan bakar
4. Daya efektif mesin

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai SFC dapat dilihat pada persamaan di bawah ini (Pudjanarsa dkk, 2008) :

$$SFC = \frac{mf}{P} 10^3 \quad (2.2)$$

Di mana :

SFC = Konsumsi bahan bakar spesifik (gr/kWh)

mf = Laju aliran bahan bakar (kg/jam)

P = Daya keluaran (watt)

Nilai dari aliran massa bahan bakar (mf) dihitung dengan persamaan berikut (Pudjanarsa dkk, 2008) :

$$mf = \frac{\rho \cdot v_f}{t_f} \times 3600 \quad (2.3)$$

Di mana :

$\rho$  = Massa jenis (kg/liter)

$v_f$  = Volume bahan bakar (liter)

$t_f$  = Waktu untuk konsumsi bahan bakar sebanyak  $v_f$  (detik)

### 2.3.3 Efisiensi *Thermal*

Efisiensi *thermal* merupakan perbandingan antara usaha yang dilakukan mesin dengan energi potensial kimia bahan bakar yang digunakan dalam jangka waktu tertentu. Secara sederhana dapat diartikan sebagai efisiensi pemanfaatan energi potensial kimia bahan bakar menjadi energi mekanik. Secara umum, rumus efisiensi *thermal* adalah :

$$\eta_t = \frac{W}{E_p} \times 100\% \quad (2.4)$$

Di mana :

W = Usaha yang dilakukan mesin (kJ)

$E_p$  = Energi bahan bakar dalam waktu tertentu (kJ)

Sementara itu energi potensial kimia bahan bakar dapat dihitung dengan rumus:

$$E_p = m_f \cdot \text{LHV} \cdot t \quad (2.5)$$

Di mana LHV adalah nilai kalor bawah bahan bakar dalam kJ/kg.

Selanjutnya persamaan (2.4) diubah menjadi :

$$\begin{aligned} \eta_t &= \frac{W}{E_p} \times 100\% \\ &= \frac{P \cdot t}{m_f \cdot \text{LHV} \cdot t} \times 100\% \\ &= \frac{P \cdot 3600}{m_f \cdot \text{LHV}} \times 100\% \end{aligned} \quad (2.6)$$

Di mana P adalah dalam satuan kW, mf dalam satuan kg/jam, dan LHV dalam satuan kJ/kg.

#### 2.4. Viskositas dan Densitas

Viskositas adalah nilai yang diukur dari daya hambatan aliran yang dialami suatu fluida pada suatu tekanan tertentu, biasanya sering disebut kekentalan atau penolakan terhadap penguangan. Contoh sederhananya yaitu membandingkan air dengan oli, tentu air akan lebih cepat mengalir jika dibandingkan dengan oli, dikarenakan kekentalan yang dimiliki oli lebih tinggi dari air. Sehingga dapat kita simpulkan bahwa semakin tinggi viskositas suatu cairan maka semakin susah cairan tersebut untuk bergerak mengalir begitupun sebaliknya. (Kusmanto, 2019)

Pada bahan bakar biodiesel memiliki nilai viskositas yang tinggi daripada solar. Jika biodiesel dicampur dengan solar, viskositasnya akan berubah. Perubahan viskositas cenderung ke viskositas yang lebih tinggi. Campuran bahan bakar yang mempunyai viskositas tinggi tersebut digunakan pada motor diesel, maka bahan bakar tersebut tidak mudah mengalir kesistem pompa dan injeksi sehingga yang terjadi selain beban mesin bertambah, kemungkinan juga pengkabutan tidak baik saat disuntikkan ke dalam ruang bakar, sehingga mengakibatkan pembakaran tidak sempurna, menurunkan performa mesin. Menurunnya performa mesin mengakibatkan pemakaian bahan bakar semakin boros dikarenakan membutuhkan waktu lebih lama untuk bercampur dengan

udara. Selain menurunnya performa mesin, daya yang dihasilkan mesin juga menurun. (Sudik dkk, 2013)

Untuk meningkatkan daya mesin, yaitu dengan memanaskan bahan bakar yang menyebabkan viskositas bahan bakar akan menurun, peristiwa ini dapat dijelaskan dengan teori Termodinamika yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur suatu fluida, semakin cepat cairan molekul akan bergerak, sehingga memperlebar jarak antar molekulnya. Jarak antar molekul yang lebar akan mengakibatkan penurunan kerapatan (densitas) dan viskositas, sehingga saat masuk ke dalam ruang bakar dapat membentuk butiran-butiran kabut bahan bakar yang lebih halus, dengan kondisi seperti ini maka proses pencampuran bahan bakar dengan udara akan lebih homogen yang berakibat bahan bakar akan lebih mudah terbakar. (Kusmanto, 2019)

## 2.5. Penelitian Terdahulu

Berikut adalah rangkuman hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan, ditunjukkan pada tabel 2.3:

Tabel 2. 3 Daftar Penelitian Terdahulu

No	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil
1.	Achmad Zakaria Ramadhan, “Analisa Penggunaan Biodiesel Minyak Jagung Sebagai Campuran Bahan Bakar Alternatif Mesin Diesel”, 2019	<b>Permasalahan</b> : Untuk mengetahui bagaimana pengaruh penggunaan campuran minyak jagung sebagai bahan bakar terhadap ujuk kerja mesin <i>diesel</i> dan membandingkan perhitungan secara ekonomis antara penggunaan bahan bakar solar murni dengan biodiesel minyak jagung jika menuai hasil yang positif terhadap kinerja mesin. <b>Metode</b> : Dengan melakukan eksperimental dengan penggabungan bahan baku solar dengan minyak jagung pada beberapa variasi dengan pembebanan berupa rangkaian listrik hingga 4000 watt.

		<p><b>Hasil :</b> Data menunjukkan campuran minyak jagung dapat mempengaruhi terhadap ujuk kerja mesin diesel, mulai dari nilai konsumsi bahan bakar yang rendah dengan tidak mengurangi performa mesin, torsi dan tenaga yang dihasilkan lebih besar, efisiensi total yang lebih tinggi, serta secara ekonomis tidak terlalu signifikan untuk digunakan dalam jangka panjang. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa pengaruh penambahan minyak jagung sebagai bahan bakar alternatif merupakan solusi yang bisa mengatasi masalah ketersediaan bahan bakar fosil dan juga berdampak baik terhadap kinerja mesin diesel.</p>
2.	<p>Imron Rosyadi, “Analisa Pengaruh Pemanasan Awal Bahan Bakar Solar Terhadap Performa Dan Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Motor Diesel Satu Silinder”, 2014</p>	<p><b>Permasalahan :</b> Untuk mengetahui bagaimana pengaruh pemanasan bahan bakar solar sebelum masuk ruang bakar dan membandingkannya dengan tanpa pemanas terhadap performa mesin dan konsumsi bahan bakar pada motor diesel satu silinder.</p> <p><b>Metode :</b> Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini yaitu solar murni yang dipanaskan dengan <i>electric heater</i> dengan variable temperatur yaitu (40°C, 45°C, 50°C) dan dibandingkan dengan pengujian tanpa <i>electric heater</i>. Bahan bakar akan di uji dengan menggunakan motor <i>diesel</i> dong feng dengan daya maksimal 7 Hp.</p> <p><b>Hasil :</b> Penelitian menunjukkan konsumsi bahan bakar yang paling rendah terdapat pada temperatur 50°C pada putaran 1000 rpm, sementara dengan tanpa pemanas konsumsi bahan bakar lebih tinggi bila dibandingkan dengan menggunakan pemanasan</p>

		<p><i>electric heater</i>. Hasil uji performa mesin menunjukkan bahwa torsi dan daya mesin pada bahan bakar solar murni yang dipanaskan lebih tinggi di bandingkan pada bahan bakar solar murni yang tidak dipanaskan.</p>
3.	<p>Muhammad Agus Sahbana dkk, “Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Awal Biodiesel Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dan Daya Pada Motor Diesel 4 Tak 4 Silinder”, 2012</p>	<p><b>Permasalahan</b> : Untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi temperatur pemanasan awal biodiesel terhadap konsumsi bahan bakar dan daya pada motor diesel 4 tak 4 silinder.</p> <p><b>Metode</b> : Penelitian ini menggunakan motor diesel <i>chevrolet</i> 4 tak 4 silinder 2000 cc dengan bahan bakar biodiesel yang dipanaskan terlebih dahulu. Variabel penelitian meliputi : bahan bakar biodiesel, motor diesel yang digunakan, putaran mesin, temperatur (suhu), konsumsi bahan bakar dan daya motor diesel.</p> <p><b>Hasil</b> : Akhir dari penelitian ini menunjukkan bahwa pada proses pemanasan campuran bahan bakar solar dan minyak jarak pada suhu 60° dihasilkan efisiensi efektif dan indikasi lebih baik serta konsumsi bahan bakar yang lebih irit dibandingkan dengan pemanasan 40° dan pemanasan bahan bakar 50°. Putaran <i>output</i> yang semakin meningkat pada proses pemanasan bahan bakar dengan suhu 60° didapatkan kinerja mesin yang lebih baik.</p>