

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Data yang didapatkan dari pengujian motor bakar 6 langkah dengan variasi sudut pengapian dengan bahan bakar etanol adalah sebagai berikut :

1. Data Pengujian Awal

Data pengujian awal dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1

Pengujian yang dianggap konstan atau tetap

Data Konstan						
v	L	l	m caliper	Kelembaban relatif(ϕ)	Pa	T _{st}
(l)	(mm)	(mm)	(kg)	(%)	(kpa)	(°C)
0.00 1	250	220	6	0.71	715	26

4.1.2 Pengolahan Data

Dari data hasil pengujian motor bakar 6 langkah maka dilakukan pengolahan data. Sebagai contoh perhitungan menggunakan data dari pengujian motor bakar 6 langkah sistem injeksi variasi 3 Gigi 2 terhadap torsi, daya efektif, *spesifik fuel consumption*, efisiensi termal efektif. Adapun perhitungannya disajikan sebagai berikut :

Diketahui

- 1) Gigi Transmsi 2, (faktor reduksi) = 1/18.656
- 2) Panjang lengan *dynamometer* (L) = 0.25 m
- 3) Besarnya beban *caliper* rem (f) = 6 kg
- 4) Panjang lengan *mounting caliper* (l) = 0.22 m
- 5) Massa jenis bahan bakar etanol $\rho_f = 790 \text{ Kg/m}^3$
- 6) Nilai kalor bahan bakar (LHV etanol) = 5643,35 kkal·kg⁻¹
- 7) Putaran mesin (n) = 7200 rpm
- 8) Waktu konsumsi bahan bakar (t) = 2.31 detik
- 9) Volume konsumsi bahan bakar (b) = 0,001 liter

Dari hasil data pengujian tersebut dilakukan perhitungan sebagai berikut :

1. Torsi (T)

Rumus torsi sesuai persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 T_d &= (F \times L) + (f \times l) \\
 &= (20 \text{ kg} \times 0.25 \text{ m}) + (6 \text{ kg} \times 0.22 \text{ m}) \\
 &= 6,32 \text{ (kg.m)}
 \end{aligned}$$

Nilai torsi diatas adalah perhitungan torsi pada poros roda belakang, sehingga untuk torsi pada poros engkol dibagi dengan factor reduksi. Sehingga :

$$\begin{aligned}
 T_c &= T_d / \text{faktor reduksi} \\
 &= 6,32 \text{ kg.m} / 18.656 \\
 &= 0.338 \text{ (kg.m)}
 \end{aligned}$$

2. Daya efektif (Ne)

Sesuai persamaan

$$\begin{aligned}
 N_e &= T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716.2} \\
 &= \frac{0,338 \text{ kg.m} \times 7200}{716.2} \\
 &= 3,405 \text{ (hp)}
 \end{aligned}$$

3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe)

Untuk mendapatkan konsumsi bahan bakar spesifik efektif, diperlukan perhitungan awal konsumsi bahan bakar dengan :

$$\begin{aligned}
 FC &= \frac{b}{t} \cdot \rho_f \cdot \frac{3600}{1000000} \\
 &= \frac{0.001 \text{ l}}{2,31 \text{ s}} \cdot 790 \text{ Kg/m}^3 \cdot \frac{3600}{1000} \\
 &= 1,23 \text{ (kg.jam}^{-1}\text{)}
 \end{aligned}$$

Pada hasil perhitungan konsumsi bahan bakar kita bias melanjutkan perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik. Contoh perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SFC_e &= \frac{Fc}{N_e} \\
 &= \frac{1,23 \text{ kg/jam}}{3.405 \text{ hp}} \\
 &= 0.361 \text{ (kg.hp}^{-1}\text{.jam}^{-1}\text{)}
 \end{aligned}$$

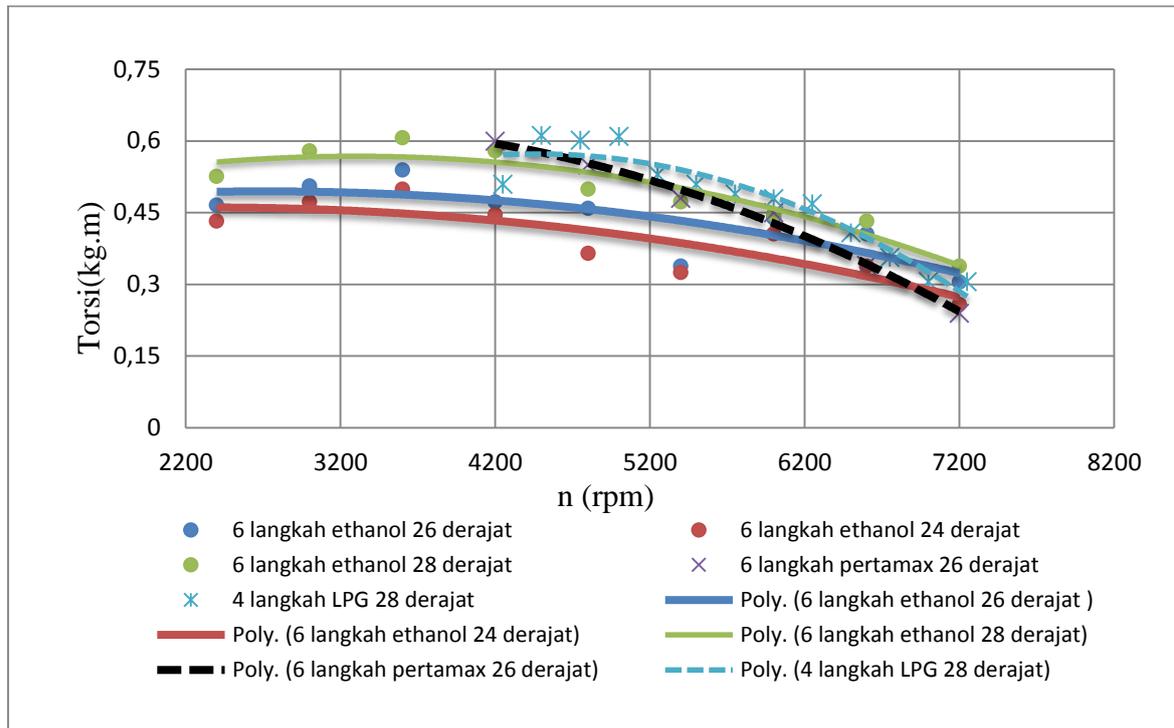
4. Efisiensi Termal Efektif (η_e), diperoleh :

$$\begin{aligned}
 \eta_e &= \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{Fc \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{Fc / N_e \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}} \times 100\% \\
 &= \frac{632}{0.361 \text{ kg / hp.jam} \times 5643,35 \text{ kkal.kg}} \times 100\% \\
 &= 30,97 \%
 \end{aligned}$$

4.2 Pembahasan

Pada penelitian ini, didapat hasil perhitungan data variasi sudut pengapian yang berbeda antara 24° , 26° dan, 28° didapat karakteristik yang berbeda pada motor 6 langkah. Kemudian perhitungan variasi sudut pengapian yang berbeda ditampilkan ke dalam bentuk grafik untuk mempermudah menganalisa perhitungan data

4.2.1 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Torsi



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi motor bakar 6 langkah bahan bakar etanol dengan bahan bakar pertamax dan motor bakar 4 langkah

Pada gambar 4.1 grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran mesin maka semakin kecil torsi yang diperoleh. Dikarenakan pada saat pengujian dimulai dari putaran tertinggi lalu diturunkan dengan penambahan beban pengereman pada poros. Sehingga menyebabkan torsi yang dihasilkan semakin kecil sejalan dengan tingginya putaran mesin. Hubungan antara gaya pengereman (F) dengan torsi (T) ditulis dengan rumus (2-1) :

$$Tc = \frac{Td}{(\text{factor reduksi})}$$

dengan :

Tc = torsi yang dihasilkan crankshaft (kg·m)

Td = torsi yang dihasilkan poros pengereman / *disk brake* (kg·m)

Factor reduksi = perbandingan putaran poros *disk brake* dengan *crankshaft*

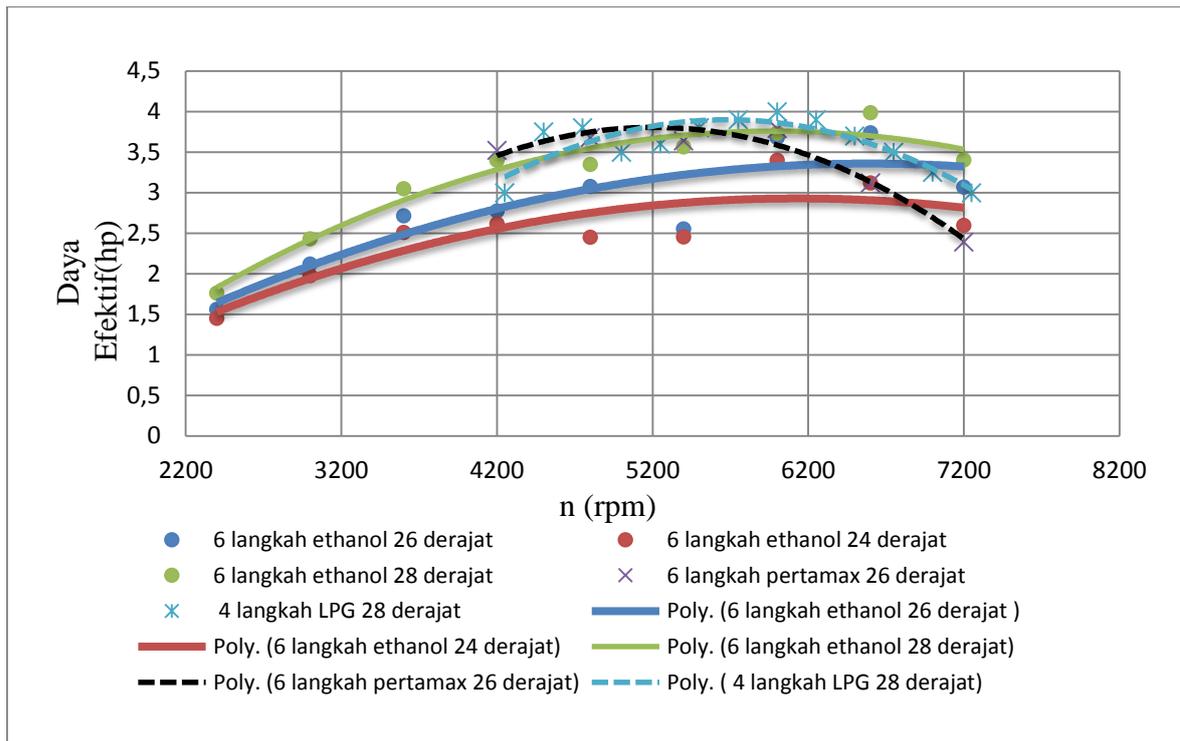
Pada gambar 4.1 grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi dapat dilihat bahwa kecenderungan grafik torsi relatif hampir sama, yang terlihat torsi tertinggi pada motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi ialah variasi 3 (sudut pengapian 28°), variasi 2 (sudut pengapian 26° standart) dan, variasi 1 (sudut pengapian 24°).

Pada variasi 3 (sudut pengapian 28°) didapat torsi tertinggi bisa terjadi dikarenakan pada variasi 3 sudut pengapianya mendekati tepat atau sesuai dengan kebutuhan mesin pada saat itu, sehingga menyebabkan ledakan bahan bakar dan udara mendekati sempurna, dan menghasilkan gaya dorong yang lebih besar pada piston yang menyebabkan torsi yang dihasilkan menjadi lebih besar. Hal ini dapat dibuktikan dari data perhitungan torsi pada variasi 3 (sudut pengapian 28°).

Torsi terbesar yang didapatkan pada pengujian motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi ialah variasi 3 yaitu pada putaran 3600 rpm sebesar 0.606 kg.m dan torsi terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 0.33 kg.m dikarenakan pada penggunaan bahan bakar *ethanol* yang memiliki *ignition lag* pembakaran yang lebih lama dibandingkan pertamax sehingga semakin jauh waktu pengapian sebelum TMA semakin tinggi nilai torsi yang dihasilkan. Untuk variasi 2 torsi tertinggi pada putaran 3600 rpm sebesar 0.539 kg.m dan torsi terendah pada putaran 7200 rpm sebesar 0.305 kg.m. Untuk variasi 1 torsi tertinggi pada putaran 3600 rpm sebesar 0.499 kg.m dan torsi terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 0.258 kg.m. Sedangkan pada variasi pertamax dengan sudut pengapian 26° standart torsi tertinggi pada putaran 4200 rpm sebesar 0.60 kg.m dan torsi terendah didapat pada putaran 7200 rpm sebesar 0.24 kg.m.

Namun jika dibandingkan dengan mesin 4 langkah berbahan LPG, kecenderungan grafik yang dihasilkan hampir serupa dengan hasil torsi motor bakar 6 langkah dengan bahan bakar *ethanol*. Torsi terbesar motor bakar 4 langkah dengan sudut pengapian 28° sebesar 0,61 kg.m dan torsi terbesar yang dihasilkan motor bakar 6 langkah dengan sudut 28° adalah 0,606 kg.m

4.2.2 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Daya efektif



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif motor bakar 6 langkah bahan bakar etanol dengan bahan bakar pertamax dan motor bakar 4 langkah.

Pada gambar 4.2 grafik hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif terlihat bahwa semakin tinggi putaran mesin mengakibatkan semakin kecil daya efektif yang didapatkan. Hal tersebut disebabkan karena nilai dari daya efektif berbanding lurus dengan nilai torsi (T) dan putaran (n). Sesuai dengan rumus (2-2) :

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,5}$$

dengan:

Ne = daya efektif (hp)

T = torsi (kg·m)

ω = kecepatan anguler poros (rad·detik⁻¹)

n = putaran poros (rpm)

Dapat dilihat dari persamaan rumus (2-2) bahwa nilai daya efektif sangat dipengaruhi oleh nilai putaran torsi. Pada pembahasan ini didapatkan bahwa semakin tinggi nilai putaran mengakibatkan gesekan antara torak dan dinding silinder semakin meningkat sehingga kerugian mekanis yang dihasilkan semakin meningkat.

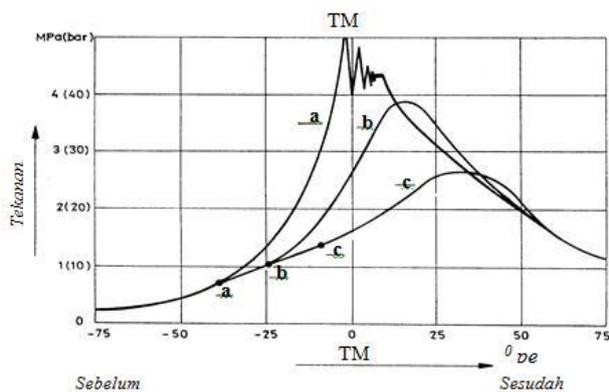
Pada gambar grafik 4.2 hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif dapat dilihat nilai rata-rata yang diperoleh grafik tertinggi pada variasi 3 (sudut pengapian 28°), kemudian

variasi pertamax (sudut pengapian 26° standart) variasi 2 (sudut pengapian 26° standart), kemudian yang terkecil variasi 1 (sudut pengapian 24°) pada motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi

Untuk daya efektif terbesar yang didapat pada motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi pada variasi 3 tertinggi yaitu pada putaran 6600 rpm sebesar 3.98 hp dan terendah dicapai pada putaran 2400 rpm sebesar 1,76 hp. Untuk variasi 2 yaitu putaran 6600 rpm sebesar 3.73 hp dan terendah dicapai pada putaran 2400 rpm sebesar 0,46 hp. Untuk variasi 1 yaitu putaran 6000 rpm sebesar 3,39 hp dan terendah dicapai pada putaran 2400 rpm sebesar 1,44 hp. Sedangkan pada variasi bahan bakar pertamax daya efektif terbesar pada putaran 6000 rpm sebesar 3,79 hp dan terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 2,39 hp.

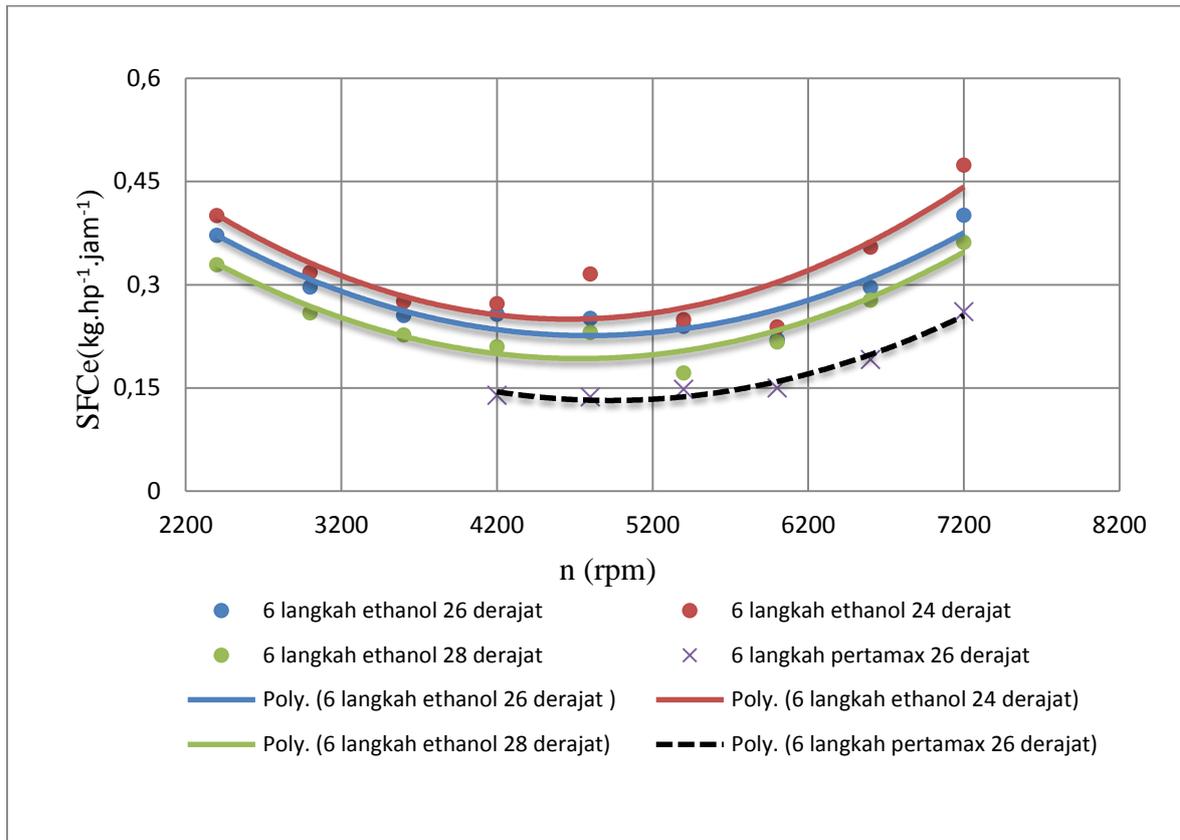
Jika dibandingkan dengan 4 langkah berbahan bakar LPG, motor bakar 6 langkah memiliki kecenderungan yang sama dengan daya efektif maksimum 3,9 hp sedangkan motor bakar 6 langkah sebesar 3,98 hp.

Namun jika dibandingkan dengan motor 6 langkah dengan variasi penggunaan bahan bakar pertamax dengan sudut pengapian 26° , penggunaan *ethanol* memiliki kecenderungan memiliki daya efektif yang lebih tinggi pada putaran 6800 – 7200. Hal tersebut dikarenakan terjadinya *knocking* pada bahan bakar pertamax dengan sudut 26° . Jika dilihat secara polinomial grafik motor 6 langkah dengan bahan bakar pertamax mengalami penurunan yang drastis. Hal tersebut seperti dijelaskan pada gambar dibawah.



Gambar 4.3 Diagram Tekanan Saat Pengapian Terlalu Awal, Tepat dan Terlalu Lambat
Sumber : Heywood (1988:18)

4.2.3 Hubungan antara Putaran Mesin dengan SFCe



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan sfce motor bakar 6 langkah bahan bakar ethanol dengan bahan bakar pertamax dan motor bakar 4 langkah.

Pada gambar 4.4 grafik hubungan antara putaran mesin dengan SFCe (*specific fuel consumption efektif*) dapat dilihat bahwa memiliki kecenderungan naik, semakin tinggi putaran poros maka SFCe yang dihasilkan juga semakin tinggi. Hal ini disebabkan daya efektif sangat berpengaruh pada nilai SFCe karena konsumsi bahan bakar spesifik berbanding terbalik antara banyaknya bahan bakar yang digunakan dengan daya efektif (N_e) yang dihasilkan. Dilain sisi SFCe berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar (F_c). Hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran maka konsumsi bahan bakar (*Fuel Consumption*) yang dibutuhkan semakin besar dimana laju aliran bahan bakar semakin cepat sedangkan jumlah bahan bakar yang terbakar relatif sedikit sehingga energi yang dihasilkan juga rendah. Hal ini sesuai dengan persamaan (2-3) :

$$SFC_e = \frac{F_c}{N_e}$$

dengan:

SFCe = *Specific Fuel Consumption Effective* ($\text{kg}\cdot\text{hp}^{-1}\cdot\text{jam}^{-1}$)

Fc = konsumsi bahan bakar ($\text{kg}\cdot\text{jam}^{-1}$)

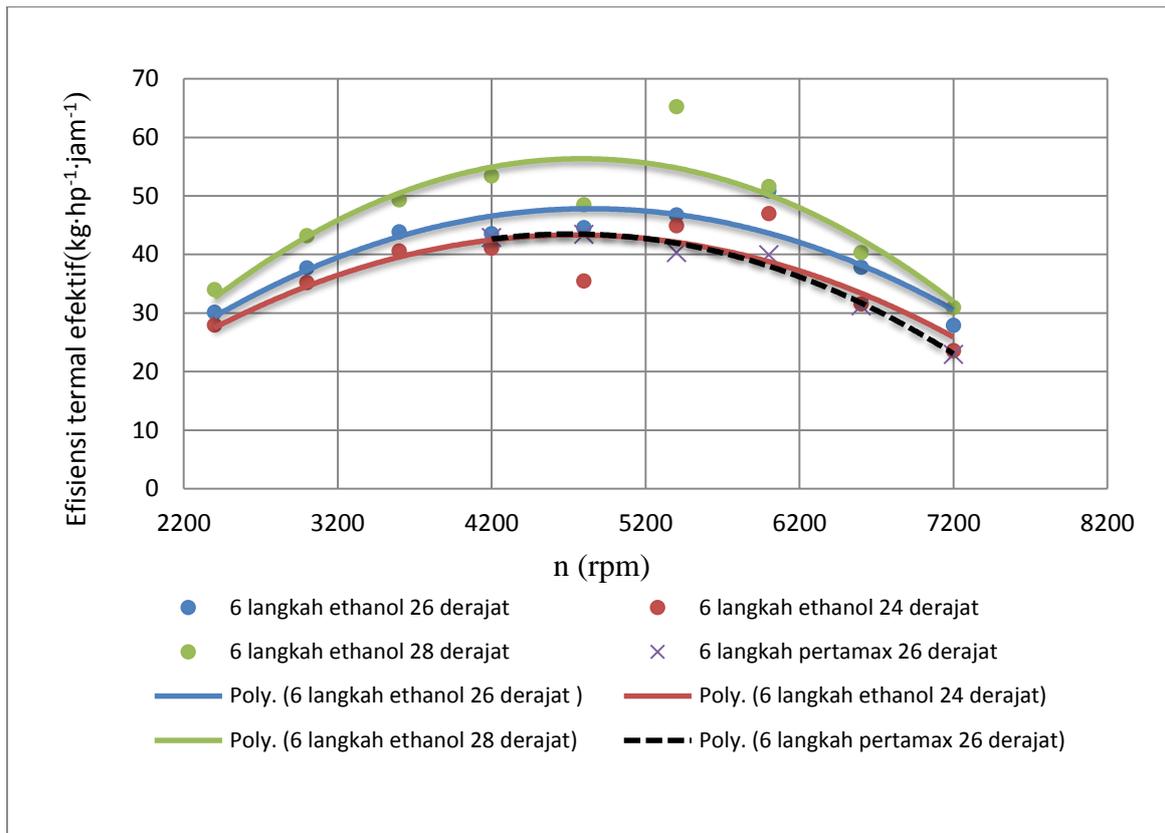
Ne = daya efektif (hp)

Pada grafik diperoleh bahwa variasi 3 pada motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi memiliki nilai terendah dibandingkan dengan variasi 2 dan 1. Hal ini sesuai dengan rumus diatas dimana apabila daya efektif yang dihasilkan semakin besar maka nilai SFCE yang didapatkan semakin kecil namun itu juga tergantung dari nilai *Fuel Consumption* yang dihasilkan juga dan pengaruh *air fuel ratio* memiliki pengaruh terhadap *fuel consumption*.

Untuk SFCE terbesar pada motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi terbesar diperoleh pada variasi 3 yaitu putaran 7200 rpm sebesar 0.361 kg/hp.h dan terendah dicapai pada putaran 5400 rpm sebesar 0,17 kg/hp.h. Untuk variasi 2 yaitu putaran 6600 rpm sebesar 0,40 kg/hp.h dan terendah dicapai pada putaran 6000 rpm sebesar 0,22 kg/hp.h. pada variasi 1 memiliki nilai SFCE paling tinggi yaitu putaran 7200 rpm sebesar 0,47 kg/hp.h dan terendah pada putaran 6000 menyentuh angka 0,22 kg/hp.h.

Jika dibandingkan dengan grafik polinomial SFCE 6 langkah berbahan bakar pertamax. Grafik polinomial SFCE 6 langkah berbagai bahan bakar *ethanol* lebih boros dikarenakan nilai kalor bahan bakar (LHV) *ethanol* sebesar 5643,35 kkal·kg⁻¹ lebih kecil daripada pertamax. sedangkan LHV pertamax 11304,97 kkal. kg⁻¹. hal tersebut dikarenakan adanya kadar air sebesar 1% pada etanol sehingga dibutuhkan energy untuk mengubah H₂O dari fasa cair menjadi fasa gas sehingga besar energi kalor yang dapat dimanfaatkan menjadi lebih kecil.

4.2.4 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Efisiensi Termal Efektif



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif motor bakar 6 langkah bahan bakar etanol dengan bahan bakar pertamax dan motor bakar 4 langkah.

Pada grafik 4.5 dapat dilihat bahwa dengan semakin tinggi putaran mesin maka secara umum efisiensi termal efektif yang dihasilkan akan cenderung menurun. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif. Hubungan antara nilai efisiensi termal efektif (η_{te}), konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe) ditulis dengan rumus (2-4) seperti berikut :

$$\eta_{te} = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{F_c / N_e \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}} \times 100\%$$

dengan :

$$1 \text{ hp} = 632 \text{ (kkal} \cdot \text{jam}^{-1}\text{)}$$

$$\eta_e = \text{Efisiensi termal efektif (\%)}$$

$$LHV_{bb} = \text{Nilai kalor dari bahan bakar (kkal} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$$

$$FC = \text{Konsumsi bahan bakar (kg} \cdot \text{jam}^{-1}\text{)}$$

$$N_e = \text{Daya efektif (hp)}$$

Sebelumnya telah diketahui bahwa kenaikan putaran mesin cenderung meningkatkan nilai SFCe. Dari kecenderungan tersebut dan persamaan diatas, diperoleh bahwa grafik hubungan putaran dengan efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai SFCe. Hal

ini disebabkan karena dengan putaran yang semakin tinggi maka gerakan bolak-balik piston juga semakin cepat sehingga kerugian mekanis semakin besar. Disamping itu waktu yang tersedia untuk membuka dan menutup katup isap semakin singkat, sehingga campuran udara dan bahan bakar yang dapat dimasukkan ke ruang bakar semakin berkurang. Hal tersebut menghasilkan jumlah energi kalor hasil pembakaran semakin menurun seiring meningkatnya putaran dan menurunkan daya efektif yang dihasilkan sehingga efisiensi termalnya ikut menurun.

Pada gambar grafik 4.4 hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif dapat dilihat nilai rata-rata yang diperoleh grafik tertinggi pada variasi 3 (sudut pengapian 28°), kemudian variasi 2 (sudut pengapian 26° standart), kemudian variasi 1 (sudut pengapian 24°) pada motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi, kemudian yang terkecil pada variasi pertamax (sudut pengapian 26° standart).

Untuk efisiensi termal efektif terbesar didapat pada motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi pada variasi 3 yaitu pada putaran 5400 rpm sebesar 65,26 %, kemudian pada variasi 2 yaitu pada putaran 6000 rpm sebesar 50,86%, pada variasi 1 didapat pada putaran 6000 rpm sebesar 46,98 %. Untuk variasi pertamax efisiensi termalnya terbesar pada putaran 4800 rpm sebesar 43,46%. Sehubungan dengan perbandingan antara efisiensi termal efektif 6 langkah berbahan bakar etanol dan pertamax didapatkan data bahwa efisiensi termal efektif motor bakar 6 langkah dengan bahan bakar etanol lebih baik daripada menggunakan bahan bakar pertamax pada putaran tinggi maupun putaran rendah. Hal ini disebabkan pada motor 6 langkah semakin tinggi putaran mesin maka konsumsi bahan bakar yang digunakan semakin besar namun menghasilkan daya yang besar sehingga nilai efisiensinya lebih baik ketimbang menggunakan bahan bakar pertamax .