

PENGARUH DERAJAT PENGAPIAN TERHADAP KINERJA MOTOR BAKAR 6 LANGKAH BERBAHAN BAKAR ETANOL

Misru Razi

Mahasiswa S2
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
misru.razi@yahoo.com

Eko Siswanto

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
eko_s112@ub.ac.id

Widya Wijayanti

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
widya_dinata@ub.ac.id

The six-stroke spark ignition engine has the potential to be developed as a new alternative to future motor fuel technology. The development of motor vehicles will be directly proportional to the use of rising fossil fuels. It is, therefore, necessary to have renewable alternative fuel, in which one of them is using ethanol fuel. Characteristics of the ethanol fuel are different from fossil fuels so the ignition timing is needed to be modified. The purpose of this study was to determine the effect of the ignition degree on the performance of a 6-stroke spark-ignition engine fuel using ethanol. This research is worked out directly by experimental and testing on the intended object. The test was carried out on an ethanol-fueled 6-step spark ignition engine with variations in the ignition angle at 24°, 26° and 28°. Each variation was tested for a rotation interval of 600 rpm from 2400 rpm to 7200 rpm. The results show that ignition degree greatly affects performance. The ignition angle of 28° produced better torque, effective power, effective specific fuel consumption and effective thermal efficiency than those of the ignition degrees at 24° and 26° (standard angle). This is due to the use of ethanol fuel which has a slower combustion speed. Based on this fact, it is necessary to advance the ignition angle so that the explosive power of the air-fuel mixture is increasing. Low fuel consumption and better effective thermal efficiency were observed for 28° ignition degrees compared to 24° and 26° ignition degrees.

Keywords: Ignition Degree, Performance, 6-Stroke Engine, Ethanol.

1. PENDAHULUAN

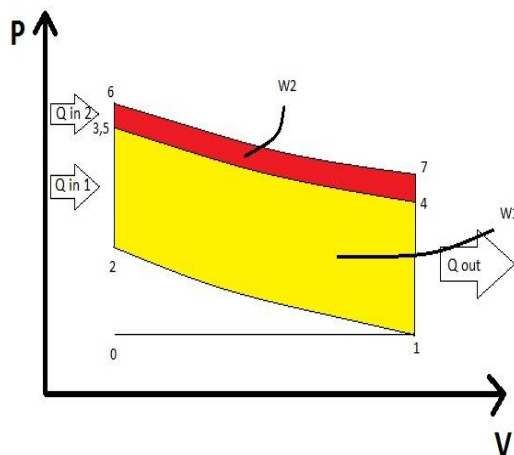
Meningkatnya jumlah penduduk di Indonesia mengakibatkan penggunaan kendaraan bermotor dari tahun ke tahun terus bertambah. Hal ini ditunjukkan dari data survei badan pusat statistik Indonesia yaitu jumlah kendaraan bermotor per tahun 2017 adalah sebagai berikut. Mobil penumpang 14.435.423 unit, bus 3.286.343 unit, truk 6.615.495 unit, sepeda motor 38.732.652 unit, dan total semua mencapai 630.118.969 unit 2017 [1]. Hingga saat ini tidak dipungkiri bahwa bahan bakar fosil yang paling diminati dan paling banyak digunakan oleh seluruh manusia. Data dari *Energy Information Administration* (EIA) Amerika Serikat menunjukkan bahwa konsumsi global minyak bumi mengalami kenaikan dari tahun ke tahun. Sebagai contoh, pada tahun 2017 total konsumsi dunia 98,55 juta barel per hari dan kemudian meningkat menjadi 100 juta barel per hari 2018 [2]. Jumlah tersebut sudah sangat berbanding terbalik dengan jumlah kesediaan bahan bakar minyak (BBM) sehingga salah satu jalan adalah menghemat bahan bakar minyak bumi dan beralih ke sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable*).

Semakin tingginya tuntutan akan kinerja motor sendiri sehingga dibutuhkan berbagai macam cara dilakukan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar dari minyak bumi dikarenakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*), salah satunya adalah menggunakan bahan bakar yang terbaharukan. Etanol (C₂H₅OH) adalah salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar motor bakar. Etanol dibuat dari proses pemasakan, fermentasi, destilasi dan dehidrasi beberapa jenis tanaman yang mengandung sukrosa seperti tebu, jagung, singkong, dan buah-buahan atau tanaman lain yang kandungan karbohidratnya tinggi seperti jagung, beras dan sorgum. Bahkan beberapa penelitian ternyata etanol juga dapat

dibuat dari biomassa *lignoselulosa* seperti limbah hasil pertanian, perkebunan dan kehutanan [3,4]. Beberapa hasil penelitian sebelumnya menunjukkan campuran bensin-etanol 30% (E30) dapat meningkatkan torsi dan daya dibandingkan menggunakan bahan bakar bensin murni dan menurunkan emisi gas CO, HC dan NO_x [5,6]. Selain itu mengganti bahan bakar bensin menjadi etanol pada motor 4 langkah rasio kompresi 11,2 : 1 dengan pengapian maju 5 derajat dapat menaikkan daya torsi dan efisiensi termal pada kondisi standart [7].

Motor bakar 4 langkah paling banyak digunakan hingga saat ini. Hal ini tidak lain karena konsumsi bahan bakar yang lebih rendah dan gas buang yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan motor bakar 2 langkah. Namun motor bakar 2 langkah atau 4 langkah memiliki permasalahan yang sama yaitu kurangnya waktu proses difusi bahan bakar-udara. Cukupnya waktu proses difusi udara-bahan bakar akan meningkatkan homogenitas campuran sehingga proses pembakaran menjadi lebih baik, yang pada akhirnya akan menghasilkan kinerja yang lebih baik [8]. Hal inilah yang mendasari penambahan jumlah langkah motor 4 langkah menjadi 6 langkah dengan harapan memperbaiki kualitas pembakaran sehingga dapat menurunkan tingkat konsumsi bahan bakar serta gas buang yang dihasilkan. Ebrahim, *et al.* [9] menyimpulkan adanya peningkatan *power output*, *efficiency thermal* saat *volumetric* meningkat. Budiprasjo dan Irawan [10] menyatakan dari penelitiannya bahwa pemanasan bahan bakar dapat meningkatkan unjuk kerja motor bakar. Kunal, *et al.* [11] menyatakan waktu pembakaran bahan bakar akan berkurang seiring bertambahnya temperatur dari bahan bakar tersebut.

Siswanto *et al.* [12,13] telah mengembangkan konsep motor bakar 6 langkah dengan tiga kali pengapian. Motor 6 langkah merupakan pengembangan dari motor 4 langkah dengan penambahan dua langkah yaitu langkah kompresi kedua dan langkah ekspansi kedua (Gambar 1). Jadi dalam satu siklus kerja terdapat dua kali kompresi dan dua kali kerja/ekspansi. Pada kondisi yang ideal diasumsikan semua campuran udara-bahan bakar dianggap telah terbakar habis, namun pada kenyataannya masih menyisakan campuran udara-bahan bakar yang tidak terbakar sempurna.



1. (0-1) = Langkah isap (isobarik)
2. (1-2) = Langkah kompresi 1 (isentropik)
3. (2-3) = Penambahan kalor 1/Q_{in 1} (isokhorik)
4. (3-4) = Langkah ekspansi 1 (isentropik)
5. (4-5) = Langkah kompresi 2 (isentropik)
6. (5-6) = Penambahan kalor 2/Q_{in 2} (isokhorik)
7. (6-7) = Langkah ekspansi 2 (isentropik)
8. (7-1) = Pelepasan kalor/Q_{out} (isokhorik)
9. (1-0) = Langkah buang (isobarik)

Gambar 1. Prediksi diagram P-V ideal motor bakar 6 langkah.

Motor 4 langkah menggunakan sistem pengapian konvensional (Platina). Kelemahan dari sistem pengapian ini waktu pengapian ke posisi yang dapat membuat mesin yang bekerja optimal. Jika pengapian terlalu mundur maka tenaga yang dihasilkan menurun dikarenakan tidak mencapai tekanan maksimum. Mundurnya waktu pengapian menyebabkan banyak kerugian, yaitu langkah usaha campuran bahan bakar yang tidak terbakar sepenuhnya [14]. Alternatif untuk mempengaruhi efisiensi dan performa motor bakar langkah pada proses *timing* pengapian dilakukan dengan penggunaan sistem pengapian sepeda motor pada saat ini *Capacitor Discharge Ignition* (CDI) yang memiliki karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan sistem konvensional.

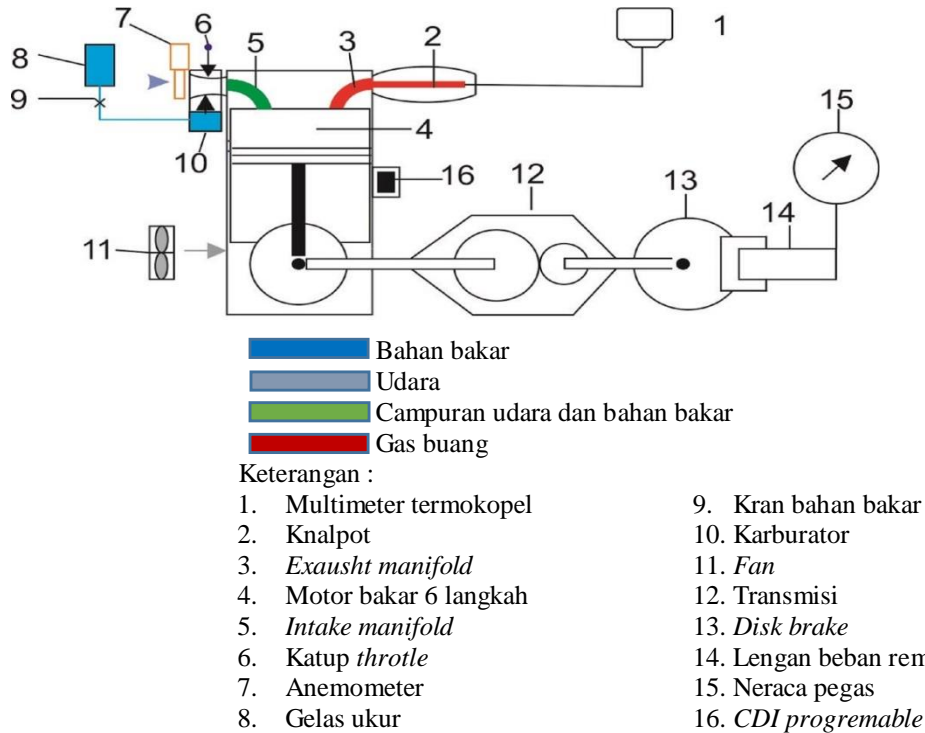
Beberapa faktor yang mempengaruhi baik tidaknya proses pembakaran adalah waktu pengapian kurang tepat menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna menghasilkan kinerja yang kurang efektif dan gas buang yang buruk, kualitas bahan bakar yang memiliki ketahanan terhadap *knocking* yang disebut angka oktana. Semakin tinggi angka oktana semakin kurang terjadi detonasi (*knocking*) untuk keperluan penelitian ini digunakan bahan bakar *ethanol* memiliki RON 11 tanpa timbal.

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini menggunakan motor bakar 4 langkah yang sudah dilakukan modifikasi menjadi motor bakar 6 langkah. Pengaturan modifikasi pada penelitian ini dilakukan dengan cara memberikan gigi reduksi antara

putaran *camshaft* dengan putaran *crankshaft*. Dengan demikian untuk tiga putaran *crankshaft* terjadi satu kali putaran *camshaft*. Selain itu ada perubahan pada bentuk model *camshaft*, dimana katup hisap dan buang hanya akan terbuka pada puncak nok pergerakan *camshaft*. Untuk advancer pengapian masih menggunakan dari sistem pengapian 4 langkah, sehingga akan mempengaruhi besarnya sudut pengapian saat putaran mesin bertambah dan meningkatkan resiko terjadinya *misfire*.

2.1 Instalasi Penelitian



Gambar 2. Instalasi penelitian.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental langsung dengan menguji pada objek yang dituju. Dengan cara melakukan pengamatan pada objek dengan mencari data sebab dan akibat dalam suatu proses melalui eksperimen sehingga mendapatkan data hasil pengujian [15]. Berdasarkan penelitian sebelumnya diperoleh bahwa parameter derajat pengapian sangat mempengaruhi kinerja (torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik dan efisiensi termal efektif). Oleh karena itu masalah penelitian ini adalah mengetahui pengaruh derajat pengapian terhadap kinerja pada motor bakar 6 langkah menggunakan bahan bakar etanol murni.

Variabel dalam penelitian ini terdiri atas variabel terikat yaitu kinerja (torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik dan efisiensi termal efektif), variabel bebas yakni derajat pengapian dan putaran mesin (RPM) beserta variabel kontrol yang mencakup pembukaan *throttle* 35%, pengujian menggunakan karburator, bahan bakar menggunakan etanol murni, motor bakar 6 langkah dengan 125 cc sebagai keadaan modifikasi, gigi transmisi 2 faktor reduksi 1/18.656. Selanjutnya proses instalasi alat dan setting seperti terlihat pada Gambar 2.

Pengambilan data dilakukan 3 kali pengulangan untuk setiap pengambilan data, tujuannya adalah untuk menghindari adanya kesalahan pembacaan data baik dari alat ataupun dari manusia. Adapun langkah – langkah pengambilan data yang dilakukan adalah: (1) mengatur derajat pengapian 24° , 26° (standar) dan 28° . (2) Mengukur putaran (RPM) motor bakar 6 langkah dengan menggunakan *tachometer* (Gambar 3), mulai dari putaran 7200 sampai 2400 dengan menggunakan pembebanan atau pengereman interval 600. (3) Mengukur panas gas buang dengan menggunakan termokopel dan pembacaan menggunakan multimeter digital (Gambar 4). Interpretasi hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk grafik kemudian berdasarkan grafik tersebut akan dibahas fenomena hubungan antara variabel – variabel dalam penelitian dan langkah terakhir adalah menyajikan kesimpulan.



Gambar 3. Tachometer

Spesifikasi *Tachometer*

<i>Range</i>	: 0.1 rpm (from 0.5 to 999.9 rpm)
<i>Power / Battery life</i>	: Baterai AAA pemakaian kontinu 50 jam.
<i>Accuracy</i>	: 0.05 % + 1 digit
Negara Pembuat	: Italia



Gambar 4. Multimeter digital

Spesifikasi Multimeter digital

Akurasi Dasar (DCV)	: 0.5 %
Kapasitansi	: 1 nF sampai 10 mF
Frekuensi	: 0.01 Hz sampai 100 kHz
Suhu (Type K)	: -200 C - 8000 C
Kontinuitas	: <i>Audible</i> dan <i>Visual</i>
Ukuran	: 6.5x3.2x1.7" (164x82X44mm)
Berat	: 5.9 oz (450 g)
Negara Pembuat	: Taiwan

2.2 Perhitungan Torsi, Daya efektif, Kunsumsi bahan bakar spesifik dan Efisiensi termal efektif

Untuk mengetahui besarnya daya efektif, besar torsi yang diperlukan adalah torsi *crankshaft*. Torsi dapat di hitung dari nilai torsi *disk brake* (T_d). Torsi *disk brake* (T_d) dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$T_d = (F \times L) \times (f \times l) \quad (\text{kg.m}) \quad (1)$$

Dimana F adalah besar gaya pengereman (kg), L adalah panjang lengan beban torsi dari titik pusat *disk brake* (m), f adalah berat dari *disk brake* (kg), l adalah jari-jari (m). Sehingga besar torsi *crankshaft* diperoleh dari persamaan 2.

$$TC = T_d / i_n \quad (2)$$

Dimana i_n adalah rasio dari gear transmisi.

Daya efektif dari motor bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.

$$N_e = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60.75} = \frac{T \cdot n}{716.5} \quad (3)$$

T_c merupakan besar nilai torsi pada *cranshaft* dan n adalah kecepatan putaran dari *cranshaft*.

Konsumsi bahan bakar (FC) merupakan massa dari bahan bakar (kg) yang dikonsumsi oleh mesin dalam satuan waktu (jam) (persamaan 4).

$$SFC_e = \frac{F_c}{N_e} \quad (4)$$

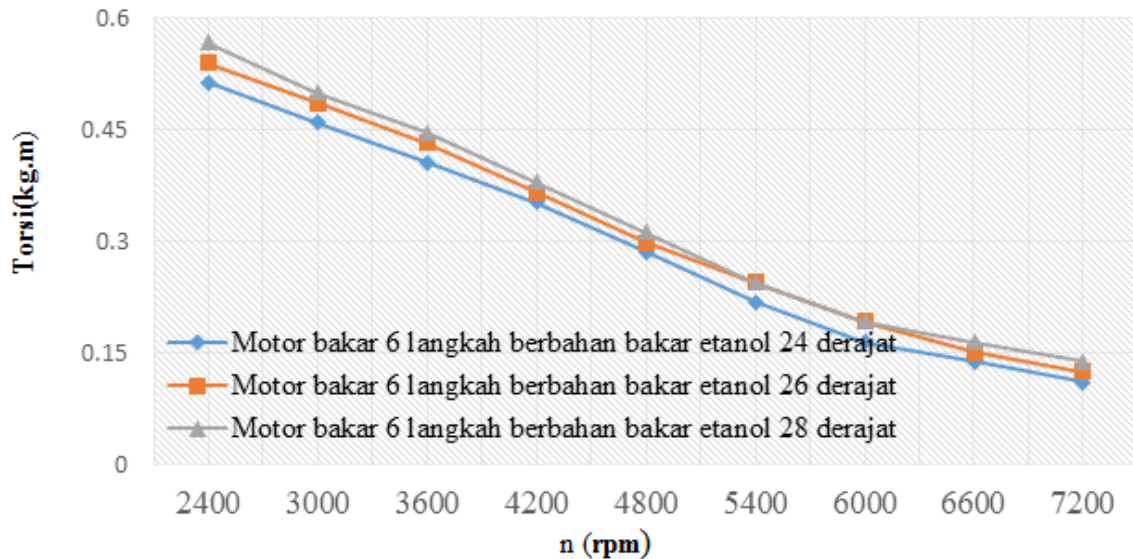
FC merupakan jumlah konsumsi bahan bakar dari motor bakar (kg/jam) dan N_e merupakan besar daya efektif yang dihasilkan oleh motor bakar (HP).

Efisiensi termal dihitung menggunakan persamaan 5.

$$\eta_{te} = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \cdot N_e}{F_c \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{\frac{F_c}{N_e} \cdot LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}} \times 100\% \quad (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Torsi Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol



Gambar 5. Grafik hubungan antara putaran mesin dengan torsi motor bakar 6 langkah bukaan *throttle* 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26° dan 28°.

Semakin tinggi putaran mesin maka semakin kecil torsi yang diperoleh (Gambar 5). 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. 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 3 variasi derajat pengapian yaitu 1 (sudut pengapian 28°), variasi 2 (sudut pengapian 26° standart) dan, variasi 3 (sudut pengapian 24°).

Pada 3 variasi (sudut pengapian 28°) didapat torsi tertinggi dapat terjadi dikarenakan pada variasi 1 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. Selain itu, disebabkan karena nilai kalor yang tinggi dari bahan bakar etanol itu sendiri yang terkompresi sempurna sehingga menghasilkan energi maksimal [16].

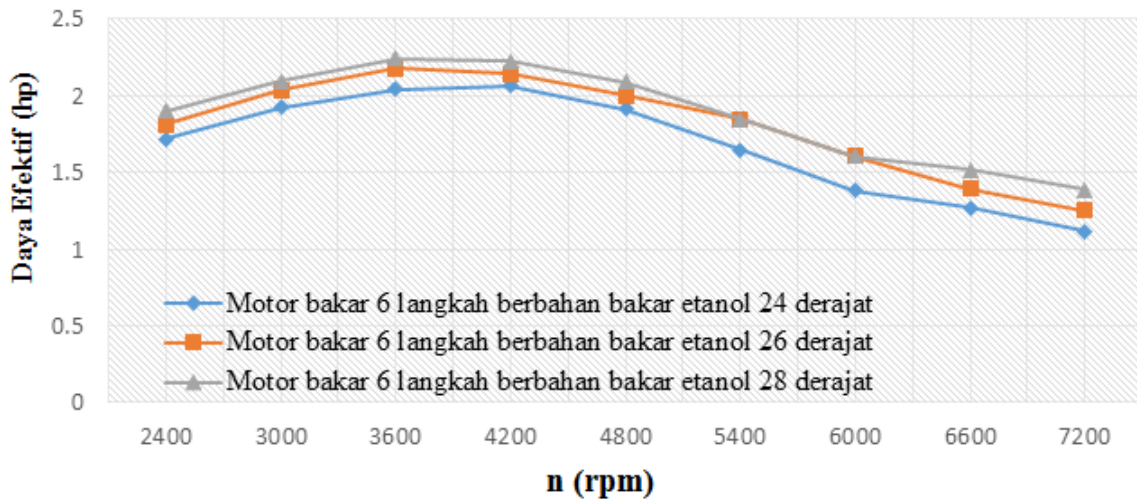
Hal ini dapat dibuktikan dari data perhitungan torsi pada variasi 1 (sudut pengapian 28°).Torsi terbesar yang didapatkan pada pengujian motor bakar 6 langkah dengan menggunakan bahan bakar etanol 3 variasi derajat pengapian yaitu pada putaran 2400 rpm sebesar 0.57 kg.m dan torsi terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 0.14 kg.m. Untuk variasi 2 torsi tertinggi pada putaran 2400 rpm sebesar 0.54 kg.m dan torsi terendah pada putaran 7200 rpm sebesar 0.12 kg.m. Untuk variasi 3 torsi tertinggi pada putaran 2400 rpm sebesar 0.51 kg.m dan torsi terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 0.11 kg.m.

3.2 Hubungan antara Putaran Mesin Dengan Daya Efektif Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol

Semakin tinggi putaran mesin mengakibatkan semakin kecil daya efektif yang didapatkan (Gambar 6). Hal tersebut disebabkan karena nilai dari daya efektif berbanding lurus dengan nilai torsi (T) dan putaran (n). Selain itu menurut [17] diasumsikan karena durasi difusi massa relatif lebih lama sehingga homogenitas campuran bahan bakar-udara juga menjadi lebih baik. Kemudian penambahan durasi difusi termal akan mampu menaikkan temperatur campuran bakar motor 6 langkah dan daya hasil proses pembakaran cenderung lebih baik.

Hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif dapat dilihat nilai yang diperoleh grafik tertinggi pada motor 6 langkah 3 variasi derajat pengapian yaitu 1 (sudut pengapian 28°), kemudian variasi 2 (sudut pengapian 26° standar), kemudian yang terkecil variasi 3 (sudut pengapian 24°) pada motor bakar 6 langkah dengan menggunakan bahan bakar etanol. Untuk daya efektif terbesar yang didapat pada motor bakar 6 langkah pada 3 variasi tertinggi yaitu 1 pada putaran 3600 rpm sebesar 2,24 hp dan terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 1,38 hp. Untuk variasi 2 yaitu putaran 3600 rpm sebesar 2,17 hp dan terendah dicapai pada putaran

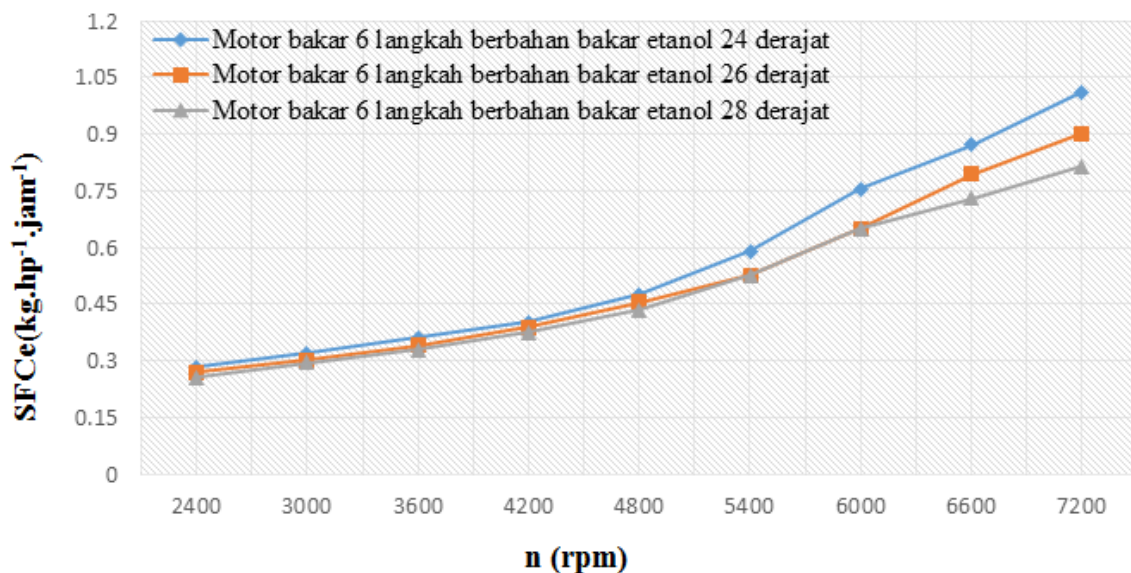
7200 rpm sebesar 1,25 hp. Untuk variasi 3 yaitu putaran 4200 rpm sebesar 2,07 hp dan terendah dicapai pada putaran 7200 rpm sebesar 1,12 hp.



Gambar 6. Grafik hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif motor bakar 6 langkah bukaan *throttle* 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26° dan 28°.

Pada Gambar 6 terlihat bahwa daya efektif motor bakar 6 langkah menggunakan bahan bakar etanol pada putaran 2400 rpm sampai putaran 3600 rpm meningkat dan kemudian terus menurun sampai putaran 7200 rpm. Fenomena ini terjadi karena pengujian dilakukan pada gigi transmisi 2 dengan faktor reduksi 1/18.656. Kondisi transmisi tersebut menyebabkan daya efektif maksimal cenderung terjadi pada putaran rendah. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Siswanto et. al (2017) dimana kondisi maksimal daya efektif diperoleh pada putaran 4000 rpm. Daya efektif yang besar dikarenakan campuran difusi yang lebih baik pada putaran 3600 rpm dibandingkan dengan putaran yang lain.

3.3 Hubungan antara Putaran Mesin dengan SFCE Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol



Gambar 7. Grafik hubungan antara putaran mesin dengan konsumsi bahan bakar spesifik motor bakar 6 langkah bukaan *throttle* 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26 dan 28°.

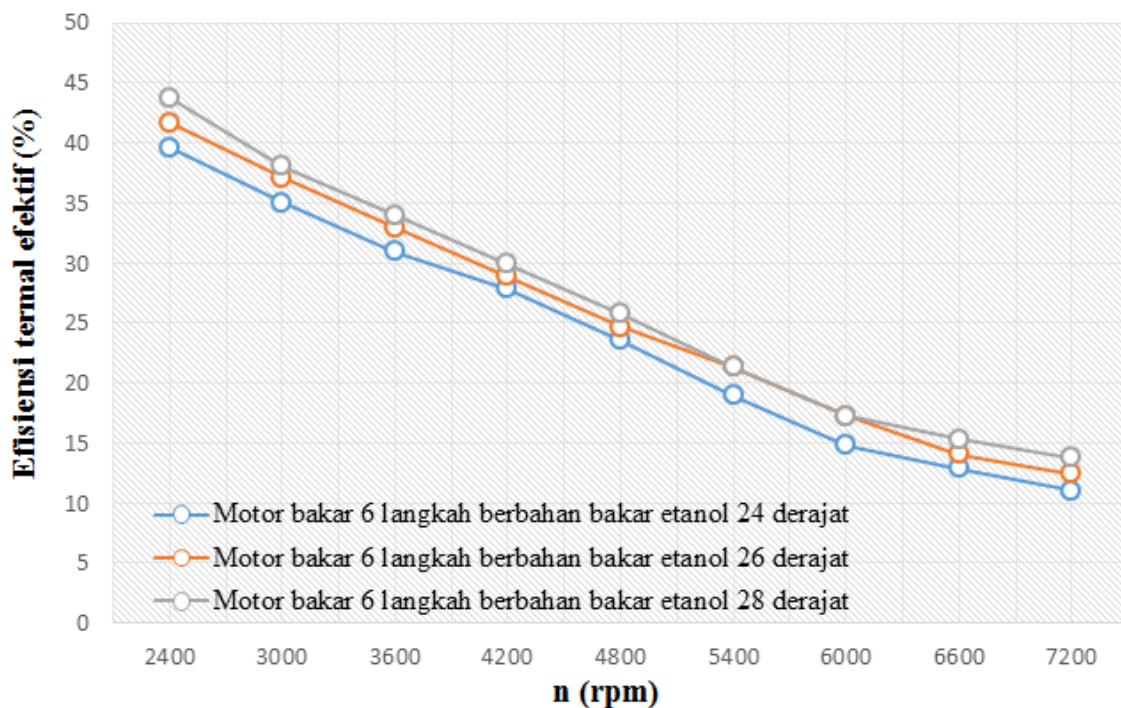
Semakin tinggi putaran poros maka SFCE yang dihasilkan juga semakin tinggi (Gambar 7). Hal ini disebabkan daya efektif sangat berpengaruh pada nilai SFCE karena konsumsi bahan bakar spesifik berbanding terbalik antara banyaknya bahan bakar yang digunakan dengan daya efektif (N_e) yang dihasilkan. Dilain sisi SFCE berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar (FC). Hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran

maka konsumsi bahan bakar 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 dapat terjadi karena bahan bakar bioetanol memiliki kalor laten yang tinggi. Kalor laten tinggi tersebut menyebabkan temperatur udara yang memasuki ruang bakar menjadi menurun karena kalor dari udara akan diserap oleh bahan bakar bioetanol untuk menguap. Akibatnya, densitas udara menjadi lebih tinggi sehingga volume udara menjadi lebih kecil. Karena hal tersebut, maka pasokan udara yang memasuki ruang bakar akan lebih banyak akibat adanya ruang-ruang kosong yang disebabkan oleh mengecilnya volume udara di ruang bakar. Pada kondisi ini, campuran antara bahan bakar dan udara disebut dengan campuran miskin (lean) [18].

Pada grafik diperoleh bahwa dari 3 variasi pada motor bakar 6 langkah dengan menggunakan bahan bakar etanol memiliki nilai terendah dibandingkan dengan variasi 2 dan 3. 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 menggunakan bahan bakar etanol yang diperoleh dari 3 variasi putaran yaitu 1 7200 rpm sebesar 0,81 kg/hp.h dan terendah dicapai pada putaran 2400 rpm sebesar 0,26 kg/hp.h. Untuk variasi 2 yaitu putaran 7200 rpm sebesar 0,90 kg/hp.h dan terendah dicapai pada putaran 2400 rpm sebesar 0,27 kg/hp.h. pada variasi 3 memiliki nilai SFCE paling tinggi yaitu putaran 7200 rpm sebesar 1,01 kg/hp.h dan terendah pada putaran 2400 menyentuh angka 0,28 kg/hp.h.

3.4 Hubungan antara Putaran Mesin dengan Efisiensi Termal Efektif Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan bakar Etanol

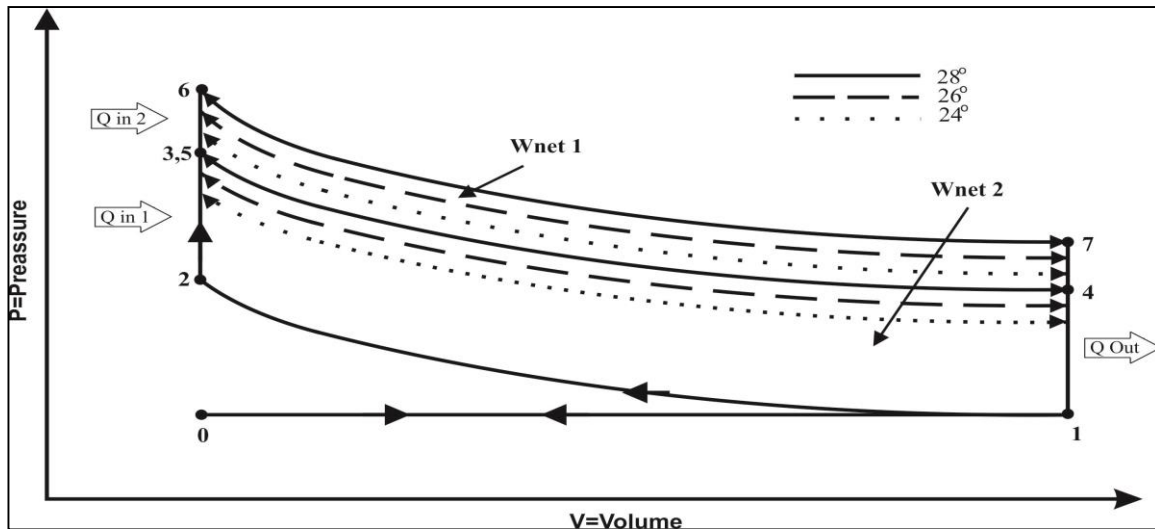


Gambar 8. Grafik hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif motor bakar 6 langkah bukaan *throttle* 35% menggunakan bahan bakar etanol variasi sudut pengapian 24°, 26 dan 28°.

Dengan semakin tinggi putaran mesin maka secara umum efisiensi termal efektif yang dihasilkan akan cenderung menurun (Gambar 8). Hal ini dikarenakan nilai efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif. Sebelumnya telah diketahui bahwa kenaikan putaran mesin cenderung meningkatkan nilai SFCE. Dari kecenderungan tersebut dan persamaan 4 di atas diperoleh bahwa grafik hubungan putaran dengan efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai SFCE. Hal ini karena dengan semakin tinggi putaran maka gerakan bolak-balik piston juga semakin cepat sehingga kerugian mekanis semakin besar. Di samping 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 8 hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif dapat dilihat nilai rataan yang diperoleh grafik tertinggi dari 3 variasi 1 (sudut pengapian 28°), kemudian variasi 2 (sudut pengapian 26° standar), kemudian variasi 3 (sudut pengapian 24°) pada motor bakar 6 langkah dengan menggunakan bahan bakar etanol. Untuk efisiensi termal efektif terbesar didapat pada motor bakar 6 langkah pada 3 variasi yaitu pada putaran 1 2400 rpm sebesar 43,74 %, kemudian pada variasi 2 yaitu pada putaran 2400 rpm sebesar 41,67 %, pada variasi 3 didapat pada putaran 2400 rpm sebesar 39,60%.

3.5 Prediksi Diagram P-V Motor Bakar 6 Langkah Dua Kali Pembakaran



Gambar 9. Prediksi diagram P-V siklus ideal motor bakar 6 langkah menggunakan bahan bakar etanol dengan variasi sudut pengapian 24° , 26° dan 28° .

Gambar 9 secara umum menunjukkan prediksi diagram P-V siklus ideal motor bakar 6 langkah berdasar pada motor 4 langkah dengan penambahan 2 langkah torak setelah langkah ekspansi. Secara teoretis penambahan langkah torak didasarkan pada asumsi bahwa adanya campuran bahan bakar-udara yang masih tersisa pada akhir langkah ekspansi torak motor 4 langkah. Peningkatan nilai tekanan pada akhir pemasukan kalor ke-2 yaitu titik 6 yang menghasilkan kurva kerja bersih yang lebih besar (bidang 1-2-6-7) bila dibandingkan dengan pemasukan kalor ke-1 yaitu titik 4 (bidang 1-2-3-4). Meski hal ini memberi daya efektif rata yang lebih besar namun daya yang dihasilkan pada motor 6 langkah lebih kecil dibandingkan dengan motor 4 langkah. Ini dapat dipahami karena satu siklus termodinamika motor 6 langkah lebih banyak menghasilkan putaran, dari hubungan semakin banyak putaran persatu siklus maka daya yang dihasilkan motor semakin rendah untuk setiap putaran motor yang diberikan.

Diagram pada Gambar 9 menunjukkan nilai tekanan yang diperoleh pada setiap akhir proses langkah torak. Terjadi perbedaan nilai tekanan yang dicapai pada titik 3, 4, 5 dan 6 disebabkan adanya variasi sudut pengapian pada motor bakar. Prediksi diagram P-v didasarkan pada hasil kinerja dan data temperatur gas buang dari pengujian yang telah dilakukan pada perolehan efisiensi maksimum setiap variasi sudut pengapian. Tekanan pada titik 4 dan 6 didasarkan pada nilai tekanan efektif (MEP) dan tekanan pada titik 7 didasarkan pada temperatur gas buang. Setelah terjadi proses pemasukan kalor terlihat bahwa terjadi perbedaan nilai tekanan yang diperoleh dari setiap variasi sudut pengapian. Tekanan paling tinggi diperoleh pada kondisi sudut pengapian 28° ditunjuk oleh garis *continuous line*, kemudian menurun pada sudut pengapian 26° ditunjuk dengan garis *dash line* dan tekanan paling rendah diperoleh pada variasi sudut pengapian 24° ditunjuk garis *dot line*. Merujuk pada persamaan gas ideal tentang hubungan antara tekanan dan temperatur maka fenomena tersebut menunjukkan temperatur yang lebih tinggi dapat dicapai pada sudut pengapian yang lebih besar. Bahan bakar etanol memiliki *ignition delay* yang lebih lama disebabkan panas laten penguapan yang lebih tinggi dibandingkan gasolin. Karena itu pada sudut pengapian 28° yang artinya waktu pengapian lebih cepat dimana waktu penyalaan menjadi lebih lama sesuai dengan karakteristik pembakaran dari etanol.

Hasil penelitian menunjukkan efisiensi termal siklus dapat ditingkatkan dengan memperbesar sudut pengapian menjadi 28° . Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan alsafour, dimana dilaporkan bahwa memperbesar sudut pengapian pada mesin dengan bahan bakar campuran etanol-gasolin dapat meningkatkan efisiensi termal. Perubahan sudut pengapian dapat mempengaruhi karakteristik pembakaran dan karena itu akan menyebabkan kinerja mesin dan hasil pembakaran yang berbeda pula. Pada penelitian ini didapatkan

kesimpulan bahwa semakin besar sudut pengapian maka semakin tinggi tekanan puncak yang diperoleh. Namun secara teoretis perubahan sudut pengapian yang terlalu besar $>28^\circ$ memungkinkan tekanan di dalam *cylinder* naik terlalu cepat sebelum akhir langkah kompresi, kondisi ini menyebabkan kerugian langkah kerja kompresi dan mengakibatkan turunnya kerja bersih dari siklus. Sebaliknya memperkecil sudut pengapian $<24^\circ$ dapat menyebabkan rendahnya *peak pressure* yang dicapai karena pembakaran terjadi sudah pada langkah ekspansi dan akibatnya mengurangi transfer kerja fluida gas pada torak. Kondisi optimum sudut pengapian akan menghasilkan pembakaran yang optimal dan tekanan yang tinggi di dalam silinder dimana terjadi sesaat setelah torak sampai pada TMA. Hal ini akan menjamin terjadinya kerja kompresi yang minimum dan ekspansi maksimum selama proses langkah torak terjadi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis dan pembahasan, pengaruh derajat pengapian terhadap kinerja motor bakar 6 langkah dengan bahan bakar etanol dapat disimpulkan torsi terbesar didapatkan pada variasi satu (sudut pengapian 28°) dengan cara memajukan sudut pengapian 2° yaitu pada putaran 2400 rpm sebesar 0,57 kg.m. Daya efektif terbesar juga dihasilkan pada variasi satu (sudut pengapian 28°), yaitu pada putaran 3600 rpm sebesar 2,24 hp. *Specific Fuel Consumption Efektif* terkecil dihasilkan pada variasi satu (sudut pengapian 28°) yaitu putaran 7200 sebesar 0,26 kg/hp.h. *Efisiensi thermal efektif* terbesar dihasilkan pada variasi satu (sudut pengapian 28°) yaitu pada putaran 2400 sebesar 43,74%. Peningkatan efisiensi yang diperoleh dari penelitian adalah sebesar 2,07 % dari sudut pengapian 26° (sudut pengapian standar).

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] BADAN PUSAT STATISTIK INDONESIA. *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis* BPS - Statistic Indonesia: Jakarta. 1949-2017.
- [2] INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK, EIA AS (Energy Information Administration) http://www.iea.gov/outlooks/steo/report/global_oil.php. Diakses: Mei 2019.
- [3] THANGAVELU, S.K., AHMED, A.S., ANI, F.N., "Review on bioethanol as alternative Fuel For Spark ignition engines", *Science Direct Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 56, n. 1, pp. 820-835, Juni 2016.
- [4] ZABED, H., SAHU, J.N., SUELY, A., BOYCE, A.N., FARUQ, G., "Bioethanol production From renewable sources: Current perspectives and technological progress" *Science Direct Journal Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 71, n. 1, pp. 475-501, Mei 2017.
- [5] LODICE, P., LANGELLA, G., AMORESANO, A., "Ethanol in gasoline fuel blends; effect on fuel consumption and engine-out emission of SI engines in cold operating conditions", *Science Direct Journal Energy*, v 130, n. pp. 1081-1089, Maret 2018.
- [6] SINGH, P.A., RAMADHAS, R., MATHAI, A., SEHGAL., "Investigation on combustion, performance and emission of automotive engine fuel with ethanol-blended gasoline", *SAE International Journal Of fuels and lubricants*, v. 9, n. 1, p 215-223, April 2015.
- [7] SAIDUR, R., M. REZAEI, W.K. MUZAMMIL, M.H. HASSAN, S. PARIA, M. HASANUZZAMAN. "Technologies to Recover Exhaust Heat from Internal Combustion Engine." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.10, n 12, pp. 5649-5659. Maret 2015.
- [8] SOETIARI, T.J., Bahan Bakar dan proses kimia pembakaran, Jurusan Mesin Fakultas Mesin Universitas Brawijaya, Malang 1990.
- [9] EBRAHIMI, R., GHANBARIAN, D., TAYADON, M.R., "Performance of an otto engine with volumetric efficiency", *Journal Of American Science*, v.6, n. 3, pp. 27-31.2014.
- [10] BUDIPRASOJO, A., IRAWAN, A., "Engine combustion efficiency and performance of exhaust pipe fuel preheating system", *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 9, n. 1, pp. 1-7. 2018.
- [11] AHUJA, K., HARISH, A., RAGHAVAN, V., "Experimental study of initial fuel temperature on the burning rates of kerosene pools in cold environment" *International Journal of Engineering Research*, v. 4, n. 1, pp 36-39, January 2015.
- [12] SISWANTO, EKO. *Metode Operasi Motor Pembakaran Dalam Siklus Enam Langkah*. IDP000040589, 2016.
- [13] SISWANTO, E., WIDHIYANURIYAWAN, D., WIDODO, A.S., HAMIDI, N., DARMADI, D.B., SUDJITO, "On the performance of six-stroke single-power combustion engine", *JP Journal of Heat Mass Transfer*, v. 14, n. 2017.
- [14] SADIQ, Y. R., "Study on Influence of Ignition Timing on Performance and Emission of Petrol Engine", *Global Jurnal For Research analysis* Volume-5, Issue-2, ISSN N0 2277-8160 February 2016.
- [15] MARDALIS. *Metode Penelitian (Suatu Pendekatan Proposal)*. Jakarta: Bumi Aksara 2009.
- [16] AMRULLAH, M., SYAHRIR, JANUAR, F., "Performance analysis of the engine with mixture of ethanol and premium fuels", *Science Direct Journal Renewable Energy*, v. 97, n. pp 432-443, Mei 2015.

- [17] CHANDRA, G., SISWANTO, E., YULIATI, L., *Pengaruh Penambahan Langkah Kerja Terhadap Unjuk kerja Motor Bakar*, Tesis, Universitas Brawijaya, Malang, 2018.
- [18] DWIJO, H., MARTHEN, P., BAMBANG, S., "Studi Eksperimental Pengaruh Mapping Waktu Pengapian dan Mapping Durasi Injeksi Serta Rasio Kompresi Terhadap Perrformansi dan Emisi Gas Buang Engine Honda Cb150r Berbahan Bakar E50", *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, v. 12 No. 2, 81-86, Oktober 2017.