



Analisa Termodinamika Motor Bakar 6 Tak Siklus MUB-2 Menggunakan Bahan Bakar Pertamina Dan Etanol

Elandi¹, Eko Siswanto², Agung Sugeng Widodo³

Universitas Brawijaya, Indonesia

*e-mail korespondensi: elandi.poltesa@gmail.com

Abstract. *The six-stroke combustion engine is a refinement of the four-stroke engine by adding two strokes of the four-stroke combustion engine. The two steps in question are the second compression stroke and the second expansion stroke, so in one work cycle, there are two compressions and two combustions. The method used is an experimental research method. This study aims to obtain the performance value and exhaust gas emission values for Pertamina and Ethanol fuels on a six-stroke engine, the fuel used is Pertamina fuel with a purity of 100% and Ethanol with a purity of 99.7%. Based on the results of research, analysis, and discussion, the performance of the MUB-2 six-stroke combustion engine with Pertamina and Ethanol fuels concluded that the combustion efficiency of the Pertamina six-stroke fuel motor is 1.06% less than ethanol fuel, cycle work (W_{net}) Pertamina fuel six-stroke motor is 1.12% higher than ethanol fuel, the thermal efficiency (η_{th}) of Pertamina fuel six-stroke motor is comparable to ethanol fuel, while the fuel efficiency (η_f) of the six-stroke ethanol fuel engine is 1.06% higher than the Pertamina fuel.*

Keyword: *thermodynamics; six strokes; Pertamina; ethanol*

Abstrak. Mesin pembakaran enam langkah merupakan penyempurnaan dari mesin empat langkah dengan menambahkan dua langkah dari mesin pembakaran empat langkah. Dua langkah yang dimaksud adalah langkah kompresi kedua dan langkah ekspansi kedua, jadi dalam satu siklus kerja, ada dua kompresi dan dua pembakaran. Metode yang digunakan adalah metode penelitian eksperimen. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai unjuk kerja dan nilai emisi gas buang bahan bakar Pertamina dan Etanol pada mesin enam langkah, bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar Pertamina dengan kemurnian 100% dan Etanol dengan kemurnian 99,7%. Berdasarkan hasil penelitian, analisis, dan pembahasan, kinerja mesin pembakaran enam langkah MUB-2 dengan bahan bakar Pertamina dan Etanol disimpulkan bahwa Efisiensi *combustion* motor bakar enam langkah berbahan bakar pertamax lebih kecil 1,06% dibandingkan bahan bakar etanol, kerja siklus (W_{net}) motor bakar enam langkah berbahan bakar pertamax lebih besar 1,12% dibandingkan bahan bakar etanol, efisiensi thermal (η_{th}) motor bakar enam langkah berbahan bakar pertamax sebanding dengan bahan bakar etanol, sedangkan efisiensi fuel (η_f) motor bakar enam langkah berbahan bakar etanol 1.06% lebih besar dari pada bahan bakar pertamax.

Kata kunci: termodinamika; 6-langkah; pertamax; etanol

PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar minyak (BBM) yang merupakan bahan bakar fosil (premium, pertalite, pertamax) masih mendominasi untuk penggunaan kendaraan bermotor. Namun karena sifatnya yang termasuk dalam energi tak terbarukan maka tidak bisa terus-menerus mengandalkan bahan bakar minyak sebagai energi utama. Berbagai macam cara dilakukan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar dari minyak bumi dikarenakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable*), sehingga salah satu jalan penghematan penggunaan bahan bakar minyak bumi adalah beralih ke sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable*). Oleh karena itu perlu adanya inovasi bahan bakar alternatif untuk kendaraan bermotor. Salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan adalah etanol. [1]

Etanol dapat diproduksi dari produk fermentasi pertanian seperti ubi kayu, tebu, jagung, dan lain sebagainya sehingga etanol termasuk energi yang dapat diperbaharui (*renewable*). Proses pembuatan etanol memiliki keunggulan dibandingkan dengan bahan bakar fosil karena biaya yang dibutuhkan untuk proses pembuatan lebih murah, etanol memiliki unsur senyawa hidrokarbon yang kecil sehingga polusi yang dihasilkan lebih kecil, angka oktan 111 sehingga mampu rasio tinggi hingga 13:1, Selain itu etanol memiliki perbedaan dengan *gasoline*, dimana etanol termasuk dalam *oxygenated fuel* yang di dalam setiap senyawanya memiliki kandungan 35% oksigen dan keunggulannya saat dijadikan bahan bakar adalah dapat mereduksi emisi gas buang. [2]

Pertamax merupakan jenis bahan bakar bensin dengan angka oktan 92, memiliki rumus kimia $C_{10}H_{24}$. [3] Dimana pertamax ini dianjurkan digunakan untuk kendaraan bahan bakar bensin yang mempunyai perbandingan kompresi tinggi (9,1 : 1 sampai 10 : 1). Bensin dengan bilangan oktan tinggi mempunyai periode penundaan yang panjang Pertamax adalah bahan bakar yang memiliki angka oktan (RON) minimal 92 diperuntukkan untuk mesin kendaraan yang mempunyai rasio kompresi antara 9:1 s.d. 10:1. [4]

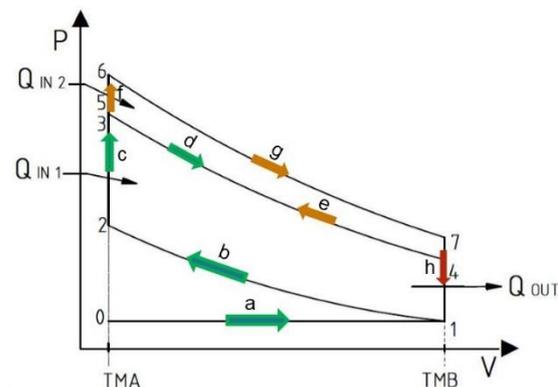
Penggunaan bahan bakar etanol akan berpengaruh terhadap proses pembakaran, karena angka oktan etanol 111 [2] lebih besar dibandingkan pertamax dengan angka oktan 92,[3] hal ini akan berpengaruh terhadap sudut pengapian, karena untuk sudut pengapian yang digunakan mengikuti dari bahan bakar bensin atau pertamax, yaitu $17,5^{\circ}$ sebelum TMA [4]. Sedangkan untuk penggunaan bahan bakar etanol sudut pengapiannya adalah 28° sebelum TMA [5] Hal ini disebabkan karena penggunaan bahan bakar etanol yang mengakibatkan kecepatan pembakaran menjadi lebih lambat sehingga perlu memajukan sudut pengapian agar daya ledak campuran udara bahan bakar lebih besar. [2,6]

Variasi campuran bahan bakar *gasoline-ethanol (gasohol)* akan berpengaruh terhadap emisi gas buang motor bakar otto 6-Langkah [7]. Campuran yang digunakan yaitu bensin (pertamax 92) dan etanol dengan kadar kemurnian 99%. Variasi etanol yang ditambahkan pada campuran bahan bakar adalah 0% (E0), 10% (E10), 20% (E20), 30% (E30) dan variasi interval putaran 600 rpm dari putaran 3000 rpm sampai dengan 7200 rpm. Didapatkan hasil kesimpulan semakin banyak penambahan kadar etanol pada campuran bahan bakar semakin menurunkan emisi CO dan HC pada gas buang. Sifat etanol yang termasuk *oxygenated fuel* menyebabkan pada campuran bahan bakar dengan kadar etanol yang lebih banyak menghasilkan kandungan O_2 yang lebih tinggi. [7-8]

Pada tahun 2019 telah diteliti tentang nilai *combustible species* dari motor bensin 4 tak berbahan bakar pertamax. Dari hasil uji emisi gas buang dengan menggunakan gas analyzer mendapatkan kadar CO (karbon monoksida) sebesar 5,30% dan mendapatkan kadar HC (Hidrokarbon) sebesar 825,33 ppm. Kadar *combustible species* yang tinggi berpengaruh terhadap unjuk kerja mesin, sehingga efisiensi dan dayanya akan menurun. [8]

Hingga saat ini masih banyak dilakukan pengembangan dan penelitian untuk meningkatkan performa dari motor bakar 4 tak serta mencari solusi agar emisi gas buang tidak terlalu tinggi, dari itu dilakukan penelitian motor bakar 6 tak yang merupakan pengembangan dari motor 4 tak, dengan menambahkan dua langkah dari motor 4 tak. Dua langkah yang dimaksud adalah langkah kompresi kedua dan langkah ekspansi kedua. Jadi dalam satu siklus kerja terdapat dua kali kompresi dan dua kali kerja/ekspansi. Dengan ditambahkannya dua langkah ini bertujuan untuk membakar kembali sisa campuran udara dan bahan bakar dari pembakaran pertama sehingga diharapkan campuran udara dan bahan bakar dapat terbakar sempurna. Tiga kali pengapian yang dimaksud adalah dalam satu siklus busi dipercikan sebanyak tiga kali, atau dengan kata lain setiap torak/piston bergerak menuju TMA maka terjadi proses percikan busi/pengapian. Tiga kali pengapian itu terjadi pada langkah kompresi ke-1, langkah kompresi ke-2, dan langkah buang. Sedangkan tujuan dari dipercikannya busi/pengapian pada langkah buang adalah untuk mengurangi emisi dari gas buang motor bakar 6 tak. [8]

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar pertamax dan etanol terhadap efisiensi pembakaran, efisiensi termal efektif, efisiensi bahan bakar, serta mengetahui perbandingan emisi gas buang (CO, HC, dan CO₂) pada motor bakar 6 tak dengan 2 kali pembakaran.



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

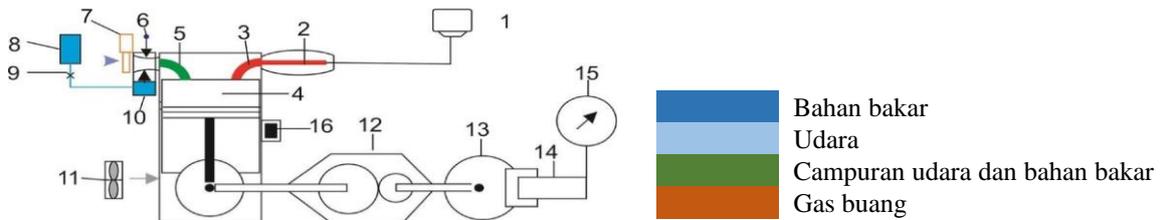
Gambar 1. Prediksi diagram P-V ideal motor bakar 6 tak

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimen 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 [9]. Berdasarkan penelitian sebelumnya diperoleh bahwa penggunaan bahan bakar yang berbeda sangat mempengaruhi performansi (torsi, daya efektif, dan konsumsi bahan bakar), bahan bakar yang digunakan adalah pertamax dengan

kemurnian 100% dan etanol dengan kemurnian 99,7%. Variabel dalam penelitian ini terdiri atas variabel terikat yaitu analisa termodinamika (efisiensi combustion, kerja siklus, efisiensi termal, dan efisiensi bahan bakar), variabel bebas yaitu putaran mesin (RPM), beserta variabel kontrol yaitu pengujian menggunakan karburator, motor bakar 4 tak 125 cc yang sudah dilakukan modifikasi menjadi motor bakar 6 tak.

Instalasi Penelitian



Gambar 2. Instalasi penelitian

Keterangan :

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| 1. Gas Analyzer | 8. Gelas ukur |
| 2. Knalpot | 9. Kran bahan bakar |
| 3. <i>Exhaust manifold</i> | 10. Karburator |
| 4. Motor bakar 6 tak | 11. <i>Fan</i> |
| 5. <i>Intake manifold</i> | 12. Transmisi |
| 6. Katup <i>throttle</i> | 13. <i>Disk brake</i> |
| 7. Anemometer | 14. Lengan beban rem |
| | 15. Neraca pegas |

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 isap dan buang hanya akan terbuka pada puncak nok pergerakan *camshaft*. Untuk advancer pengapian masih menggunakan dari sistem pengapian 4 tak, sehingga akan mempengaruhi besarnya sudut pengapian saat putaran mesin bertambah dan meningkatkan resiko terjadinya *misfire*.

Spesifikasi serta gambar motor bakar 6 tak yang diuji pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 1 berikut ini.



Gambar 3. Motor Bakar 6 Tak

Tabel 1. Spesifikasi motor bakar 6 tak yang diuji

Merk	Honda (modified)	Panjang Langkah	57,9 mm
Type	N/A	Volume Langkah	124,89 cc
Negara Pembuat	Jepang	Rasio Kompresi	9,3:1
Tipe Mesin	6 tak SOHC	Pendingin	Udara
Jumlah Silinder	1 (Satu)	Daya Poros	N/A
Diameter Piston	52,4 mm		

Perhitungan Kerja Siklus, Efisiensi Thermal, Efisiensi Pembakaran dan Efisiensi Bahan Bakar

Untuk menghitung kerja siklus, efisiensi thermal, efisiensi pembakaran dan efisiensi bahan bakar, cari rerata *combustible species* hasil pengujian dengan gas analyzer yang dicantumkan pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 2. Spesifikasi bahan bakar

Properties	Pertamax 92	Etanol (99,7)
Chemical Formula	C ₁₀ H ₂₄	C ₂ H ₅ OH
RON	92	111
LHV	44791 kJ/kg	26952 kJ/kg

Tabel 3. Rerata *Combustible species*

Motor Bakar	CO (% vol)	HC (ppm vol)	H ₂ (% vol)
4 Tak Pertamax	0,89	0,000074	0,41
4 Tak Etanol	0,15	0,000027	0,067
6 Tak Pertamax	0,71	0,000052	0,33
6 Tak Etanol	0,03	0,000014	0,015

Tabel 4. Besarnya QHV

Senyawa	QHVI
CO	282802 kJ/kmol
HC	572023 kJ/kmol
H ₂	240000 kJ/kmol

Tabel 5. Asumsi, kondisi awal, dan kondisi operasional

Kondisi Awal Operasi	
Tekanan Awal, P ₀ (kN/m ²)	101,3
Temperatur awal, T ₀ (K)	300
<i>Specific gas constant</i> , R (kJ/kg K)	0,284
<i>Specific heat</i> untuk volume konstan, cv (kJ/kg K)	0,946

<i>Specific heat</i> untuk tekanan konstan, c_p (kJ/kg K)	1,23
Rasio kalor spesifik, γ	1,3

Tabel 6. Massa udara dan bahan bakar

Parameter	Massa Udara (Ma)	Massa Bahan Bakar (Mf)	AFR
6 tak pertamax	0,0001443 kg	0,0000108 kg	13,37
6 tak etanol	0,0001376 kg	0,0000150 kg	9,15

Untuk menghitung kerja siklus dan efisiensi maka perlunya termodinamika siklus otto dan siklus MUB-2. Dapat dilihat pada persamaan (1) dibawah ini:

$$W_{net} = Q_{in} - Q_{out} \quad (1)$$

Dimana W_{net} adalah kerja siklus (kJ), Q_{in} adalah panas yang masuk sistem (kJ) dan Q_{out} adalah panas yang keluar sistem. [5] Untuk menghitung besarnya efisiensi thermal diperlukan rumus pada persamaan (2) di bawah ini:

$$\eta_t = \frac{(Q_{out} - Q_{in})}{Q_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana η_t adalah efisiensi thermal. [6] Untuk mengetahui besarnya efisiensi pembakaran yang terjadi pada siklus motor bakar maka perlu perhitungan dengan menggunakan persamaan (3) di bawah ini:

$$\eta_c = \frac{Q_{in}}{m \cdot Q_{HV}} \quad (3)$$

Dimana η_c adalah efisiensi pembakaran, m adalah massa dari bahan bakar (kg) dan Q_{HV} adalah heating value pada bahan bakar (kJ/kg). [7] Untuk mengetahui seberapa efisiensi penggunaan bahan bakar maka harus menghitung efisiensi bahan bakar yang dapat dilihat pada persamaan (4) di bawah ini:

$$\eta_f = \frac{W_{net}}{m \cdot Q_{HV}} \quad (4)$$

Dimana η_f adalah efisiensi bahan bakar, W_{net} adalah kerja siklus (kJ). [8]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Termodinamika Motor Bakar 6 Tak

Dari hasil perhitungan siklus termodinamika dengan menggunakan persamaan (3), persamaan (4), persamaan (5) dan persamaan (6) diperoleh hasil seperti yang dilihat pada Tabel 7 di bawah ini:

Tabel 7: Hasil perhitungan termodinamika

Parameter	6 Tak Pertamax	6 Tak Etanol
η_c	0,919	0,979
W_{net} (kJ)	0,217	0,193
η_{th}	0,488	0,488
η_f	0,448	0,477



Dari Tabel 7 Efisiensi combustion motor bakar 6 tak berbahan bakar pertamax lebih kecil 1,06% dibandingkan bahan bakar etanol, hal ini dipengaruhi oleh nilai *combustible species* dari bahan bakar etanol, dimana semakin kecil nilai emisi bahan bakar semakin tinggi nilai efisiensi pembakarannya hal ini menandakan pembakaran etanol lebih baik daripada pertamax. Kerja siklus (W net) motor bakar 6 tak berbahan bakar pertamax lebih besar 1,12% dibandingkan bahan bakar etanol, hal ini dipengaruhi oleh nilai kalor yang masuk ke ruang bakar akibat emisi gas buang pertamax yang lebih besar dibandingkan etanol. Efisiensi termal (η_{th}) motor bakar 6 tak berbahan bakar pertamax sebanding dengan bahan bakar etanol, hal ini dipengaruhi oleh perbandingan kerja siklus dan input kalor yang masuk. Sedangkan efisiensi fuel (η_f) motor bakar 6 tak berbahan bakar etanol lebih besar 1,06% dibandingkan bahan bakar pertamax, hal ini dipengaruhi oleh nilai kalor (QHV) pertamax yang lebih tinggi dibandingkan etanol sehingga berpengaruh terhadap efisiensi bahan bakar.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis dan pembahasan, Efisiensi *combustion* motor bakar 6 tak berbahan bakar pertamax lebih kecil 1,06% dibandingkan bahan bakar etanol. Kerja siklus (W net) motor bakar 6 tak berbahan bakar pertamax lebih besar 1,12% dibandingkan bahan bakar etanol. Efisiensi termal (η_{th}) motor bakar 6 tak berbahan bakar pertamax sebanding dengan bahan bakar etanol. Sedangkan efisiensi fuel (η_f) motor bakar 6 tak berbahan bakar etanol lebih besar 1,06% dibandingkan bahan bakar pertamax.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Arwin, Y. Lilis, dan S. W. Agung, "Karakteristik Pembakaran Droplet Campuran Bahan Bakar Bensin-Etanol", Malang: SENIATI. ISSN 2085-4218, pp 291-296, Feb. 2019.
- [2] A. Demirbas, (2005) *Biodiesel production from vegetable oils vis catalytic and non catalytic supercritical methanol transesterification methods*, prog. Energ. Combust 31, 466-87.
- [3] Wirawan, S. Tri, A. Ikram, Suryanto, Mulyadi, Musardy. "Analisis Bahan Bakar Bensin Terhadap Performansi Dan Nilai Ekonomi Motor Bensin Cm 11". Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M) 2018 (pp.12-17) 978-602-60766-4-9
- [4] R. Misru, S. Eko, W. Widya, "Pengaruh Derajat Pengapian Terhadap Kinerja Motor Bakar 6 Langkah Berbahan Bakar Etanol". Malang: JRM UB. eISSN 2477-6041 artikel 10, pp. 299-308, 2019
- [5] S. Eko, W. Denny, S. W. Agung, H. Nurkholis, D. B. Darmadi, dan Sudjito. (2016). *On The Performance of Six-Stroke Single-Power Combustion Engine*. *Journal of Heat and Mass Transfer*. 14: 201-218.
- [6] S. Eko, H. Nurkholis, N. S. Mega, dan W. Denny, 2014. *A Gasoline Six-stroke Internal Combustion Engine*. Patent Invention, Malang: Unpublished.
- [7] S. Eko, Y. Efendi, 2015. "Peningkatan Performa Sepeda Motor dengan Variasi CDI Programmable", Jurnal Science Tech LP2M UST Yogyakarta Vol 1 No 1.
- [8] G. Chandra, S. Eko, Y. Lilis, "Pengaruh Penambahan Langkah Kerja Terhadap Unjuk Kerja Motor Bakar" Rekayasa Mesin. eISSN 2477-6041 artikel 1, pp. 209-216, 2019.
- [9] Mardalis. "Metode Penelitian (Suatu Pendekatan Proposal)". Jakarta: Bumi Aksara 2009.