

## PERBANDINGAN KINERJA MOTOR BAKAR 6-LANGKAH DENGAN POWER-EKSPANSI SAMPAI TITIK MATI BAWAH MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR PERTALITE DAN ETANOL

*This paper describes compare the performance and emissions of a 6-stroke engine with power-expansion up to BDC (bottom dead center) using pertalite fuel (non-renewable) and 99.7% ethanol (renewable alternative) with performance parameters including (effective power, fuel consumption, Combustion Efficiency  $\eta_c$ , thermal efficiency  $\eta_t$ , fuel efficiency  $\eta_f$  and emission parameters including (HC, CO and CO<sub>2</sub>). The method used is a real experimental method, with the independent variables being throttle openings of 35%, 40%, 45%, and 50% with loading on the prony disk brake of 10kg, 20kg, 30kg, 40kg, 50kg. The results of the research on the performance parameters of the magnitude of the effective power of ethanol is 17.5% less than pertalite, The rate of consumption of ethanol fuel 1,61 seconds/10ml lower than pertalite by 2,9 seconds/10ml, For the magnitude of the combustion efficiency (Combustion Efficiency) pertalite is 0.3% greater than ethanol, For the magnitude of the thermal efficiency p there is a 6-stroke engine with power-expansion up to BDC with ethanol fuel tends to be almost the same with 0.29% greater pertalite compared to ethanol, for the magnitude of pertalite fuel efficiency is 4% higher than ethanol. Then the emission parameters for the CO<sub>2</sub> value of 80% pertalite tend to have a higher value than ethanol, the HC value is 21.7% higher in ethanol, for the higher CO<sub>2</sub> content is dominated by 51.8% ethanol than pertalite.*

**Keywords:** Ethanol, Thermodynamics, Performance, HC, CO, CO<sub>2</sub>

### Reza Taufiqi Ivana

Mahasiswa S2  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
rezataufiqiivana@gmail.com

### Eko Siswanto

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
Eko\_s112@ub.ac.id

### Denny Widhiyanuriawan

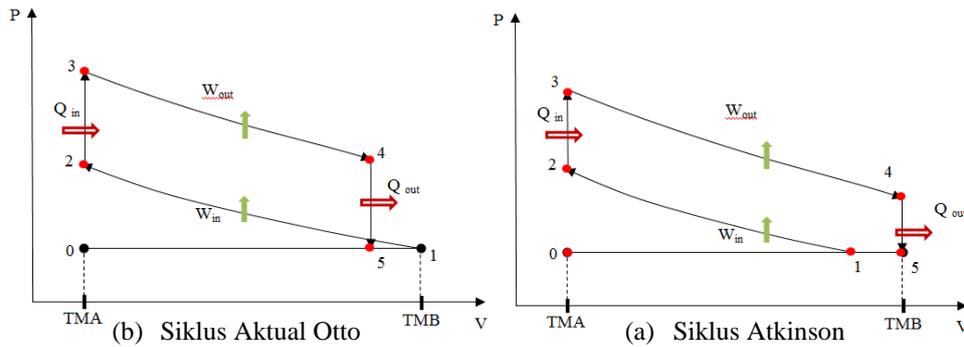
Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
denny\_w@ub.ac.id

## 1. PENDAHULUAN

Mobilitas masyarakat dalam alat transportasi dari tahun 2016 hingga 2018 semakin meningkat, penambahan jumlah sepeda motor mencapai hingga 11% hasil tersebut bisa dilihat dalam survey Badan pusat Statistik Indonesia tahun 2018 [1]. Jika ditinjau dari sudut pandang dalam ekosistem lingkungan dalam polusi udara sekitar hal tersebut memberi dampak polutan yang dihasilkan dari sisa pembakaran yang kurang sempurna pada kendaraan berupa nilai kandungan CO<sub>2</sub> yang berbahaya. Pencemaran udara yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor memiliki persentase tertinggi 70%, untuk sektor industry memiliki persentase sebesar 25%, dan sampah memiliki pencemaran terendah sebesar 5% [2].

Sebelumnya dalam teknologi transportasi kendaraan bermotor di era modern saat ini yang mengalami perkembangan, yang mana awal mula perkembangan bisa disebutkan dimulai dari teknologi motor bakar 2-langkah hingga terus di optimalkan menjadi motor bakar 4-langkah yang lebih unggul dalam nilai konsumsinya bahan bakarnya, emisi gas buang dan emisi suara yang lebih ramah dibandingkan dengan generasi sebelumnya motor bakar 2-langkah. Motor bakar 4-langkah yang memiliki keunggulan dibanding dengan generasi pertama ternyata masih mampu lebih di optimal menjadi motor bakar yang lebih efisien dan mempunyai daya yang tinggi.

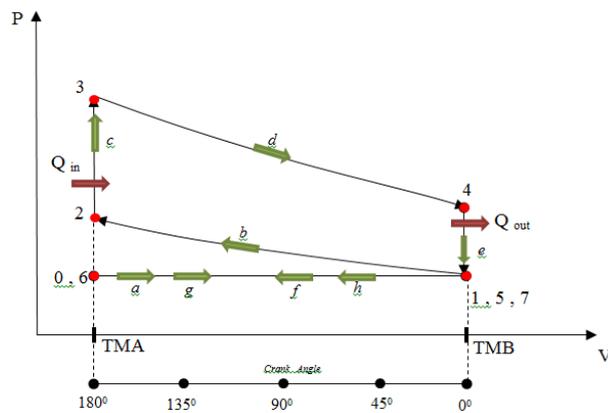
Di sisi lain motor bakar 4-langkah dengan siklus Otto secara aktual ternyata dianggap masih memiliki kelemahan pada efisiensi dan daya yang dihasilkan cukup terbatas. Salah satunya disebabkan karena kehilangan tekanan pada langkah ekspansi disebabkan *working-gas* yang tekanannya masih tinggi dibuang begitu saja karena terbukanya *exhaust valve* lebih dini sebelum piston mencapai titik mati bawah, yang sebenarnya masih dapat digunakan. Hal ini menyimpulkan siklus Otto aktual 4-langkah memiliki kompresi rasio yang lebih tinggi dibanding ekspansi rasionya bisa dilihat di Gambar 1, untuk peningkatan efisiensi tersebut James Atkinson mengusulkan siklus termodinamika dari analisa miliknya yang memiliki kompresi rasio yang lebih kecil terhadap ekspansi rasionya. Tetapi pada panjang langkah yang sama dengan siklus Otto, siklus Atkinson mempunyai efisiensi yang tinggi akan tetapi memiliki power output yang kecil. Siklus Atkinson bisa dilihat pada Gambar 1



**Gambar 1 :** (a) Siklus aktual otto 4 langkah dan (b) Siklus Atkinson 4-langkah

Kemudian untuk gambar siklus motor bakar 6-langkah bisa dilihat pada Gambar 2.

1. (0-1) (a) - *Intake (Isobaric)*
2. (1-2) (b) - *Compression (Isentropic)*  
(2-3) (c) - *Heat input (Isochoric)*
3. (3-4) (d) - *Expansion (Isentropic)*
4. (4-5) (e) - *Exhaust (Isochoric)*  
(5-6) (f) - *Pengurangan volume (Isobaric)*
5. (6-7) (g) - *Penambahan volume (Isobaric)*
6. (7-0) (h) - *Pengurangan volume (Isobaric)*



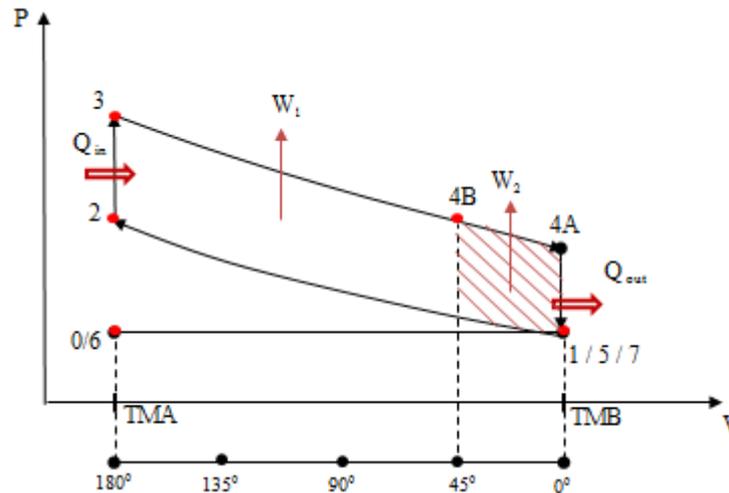
**Gambar 2 :** Siklus motor bakar 6-langkah tipe-5 dengan siklus power-ekspansi sampai titik mati bawah

Penelitian ini bertujuan melakukan pengembangan secara optimal teknologi motor bakar 4-langkah ke 6-langkah dengan mengkombinasikan kedua siklus dari siklus Otto dan siklus Atkinson menjadi satu siklus yang akan diaplikasikan pada motor bakar 6-langkah. Siklus ini dapat menambah *power* yang sama dengan siklus Otto serta efisiensinya sama dengan siklus Atkinson. Sistem yang diaplikasikan pada penelitian ini yaitu dengan memodifikasi pergerakan piston hingga sampai titik mati bawah pada langkah buang sehingga didapatkan *power* yang lebih maksimal. Sistem perbandingan yang ada pada teknologi motor 4-langkah siklus Otto yang terbuka *exhaust-valve* nya sekitar  $45^{\circ}$  sebelum titik mati bawah (TMB) dan teknologi motor bakar 6-langkah tipe-5 menerapkan *exhaust-valve* terbuka  $180^{\circ}$  saat di TMB dapat dilihat pada Gambar 3.

Motor bakar 6-langkah telah dikembangkan oleh *Bajulaz Engine* [3], dan *Arabaci dan Yakup Engine* [4], *Bazmi Engine* [5]. Masing-masing memiliki konstruksi dan mekanisme yang berbeda tetapi dengan tujuan yang sama yaitu untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi gas buang.

Siswanto et al [6,7] melakukan penelitian motor bakar 6-langkah dari mesin motor 4-langkah buatan Honda berkapasitas 125cc yang mana telah diubah konstruksinya sehingga menjadi motor

bakar 6-langkah tipe-1 menggunakan siklus Mesin Universitas Brawijaya – 1 (MUB-1). Penambahan 2-langkah pada motor bakar 6-langkah ini yaitu langkah ekspansi *mixing* dan langkah kompresi *mixing*. Penelitian ini dipengaruhi pada diameter venturi yaitu 18 (mm) dan 20 (mm) yang diaplikasikan untuk mesin 4-langkah dan 6-langkah. Pada motor bakar 6-langkah tipe 1 menggunakan siklus MUB-1, dengan alasan jika dibandingkan dengan motor bakar 4-langkah, motor bakar 6-langkah menghasilkan bahan bakar yang lebih irit dan mengurangi emisi gas buang. *Engine* ini memiliki tambahan dua langkah *mixing* pada setiap siklus sebelum terjadi proses pembakaran / *ignition* untuk menjadikan campuran antara bahan bakar dan udara semakin homogen.



**Gambar 3.** P-V diagram (4A) motor bakar 6-langkah (*exhaust-valve* terbuka di TMB) dan (4B) motor bakar 4-langkah dengan siklus Otto *actual* (*exhaust-valve* terbuka 45° sebelum TMB).

Kemudian pada tahun 2017 Siswanto et al [8] telah mengembangkan motor bakar 6-langkah tipe-2 menggunakan siklus MUB-2 dimana penelitian ini membandingkan ICE (*Internal Combustion Engine*) motor bakar 4-langkah dengan motor bakar 6-langkah tipe 2 menggunakan siklus MUB-2 (Mesin Universitas Brawijaya – 2). Konsep motor bakar 6-langkah ini mempunyai penambahan langkah ekspansi dan langkah kompresi disertai proses pembakaran lanjut setelah proses pembakaran yang pertama.

Kompresi kedua merekompresi kembali (*combustible species*) yang belum terbakar saat pembakaran pertama, kemudian membakar kembali sehingga didapatkan kalor tambahan ( $Q_{in}$ ). Kedua generasi tersebut menghasilkan tenaga yang lebih besar dan emisi gas buang yang sedikit. Dapat disimpulkan bahwa konsep motor bakar 6-langkah tersebut memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan sebagai suatu alternatif baru teknologi motor bakar dimasa depan yang ramah lingkungan.

Efek negatif pencemaran udara yang berasal dari bahan bakar bensin untuk kendaraan bermotor serta kelangkaan bahan bakar bensin menjadi sebuah masalah tersendiri bagi kehidupan di masa mendatang bagi Negara. Hal ini memunculkan pertimbangan kebijakan pemerintah mengatur usaha untuk menggali potensi energi nasional dan dalam instruksi presiden republik Indonesia nomor 1 tahun 2006 tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar, yang salah satunya bersumber dari bahan nabati menjadi etanol sebagai bahan bakar alternatif [9]. Etanol merupakan bahan bakar terbarukan karena dapat diproduksi dari bahan nabati yang sebagiannya juga berdasarkan penelitian etanol mampu dibuat dari biomassa *lignoselulosa* seperti limbah hasil pertanian, perkebunan dan kehutanan [10,11]. Etanol sebagai bahan bakar untuk motor bakar mempunyai keunggulan dibandingkan menggunakan bahan bakar bensin, adapun keunggulan tersebut etanol mempunyai nilai oktan yang lebih tinggi yang menyebabkan bahan bakar etanol anti *knocking*. Dalam artian mampu beroperasi pada mesin dengan ratio kompresi tinggi dengan termal efisiensinya yang lebih baik. Akan tetapi angka persentase penggunaannya masih sedikit dibanding motor bakar bensin dalam motor bakar. Ini disebabkan karena etanol serta bensin memiliki nilai kalor yang berbeda, nilai kalor LHV (*low heating value*) pertalite lebih tinggi sebesar 44,260 kJ/Kg dibandingkan etanol sebesar 26,295 kJ/Kg yang akhirnya sebagai catatan membuat fase energi pembakaran pada motor bakar menjadi rendah. Akibatnya bahan bakar etanol akan sulit dihidupkan ketika suhu pada mesin rendah ketika awal mesin dihidupkan karena tingkat kemampuan bahan bakar etanol untuk cepat menguap rendah dibandingkan bensin.

Etanol memiliki unsur senyawa hidrokarbon yang kecil sehingga polusi yang dihasilkan lebih kecil. Selain itu *ethanol* memiliki perbedaan dengan Pertalite (*gasoline*), dimana *ethanol* termasuk dalam *oxygenated*

*fuel* yang didalam setiap senyawanya memiliki kandungan oksigen dan keunggulannya saat dijadikan bahan bakar adalah dapat mereduksi emisi gas buang. Kerja motor bakar pada etanol cenderung akan lebih tinggi daripada pertalite jika dilihat tingkat nilai masing-masing AFR teoritisnya sebesar 15 pada pertalite sementara AFR (Air Fuel Ratio) teoritis etanol sebesar 8,9 terhadap *combustible* speciesnya. Namun penggunaan etanol sangat dipengaruhi oleh keadaan kendaraan tersebut yang umumnya dirancang untuk bahan bakar bensin (pertalite), maka untuk menyesuaikan bahan bakar tersebut dilakukan penelitian

Berdasarkan uraian diatas, maka diambil sebuah hipotesis pengaruh perbandingan kinerja berdasarkan daftar propertis bahan bakar dari pertalite dan juga etanol (99,7%) yang meliputi hasil kinerja (torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar,  $\eta_c$ ,  $\eta_f$  dan  $\eta_t$ ) dan Emisi gas buang (HC, CO, H<sub>2</sub>, dan O<sub>2</sub>) dalam kapasitas motor bakar 6-langkah dengan power-eskansi sampai TMB.

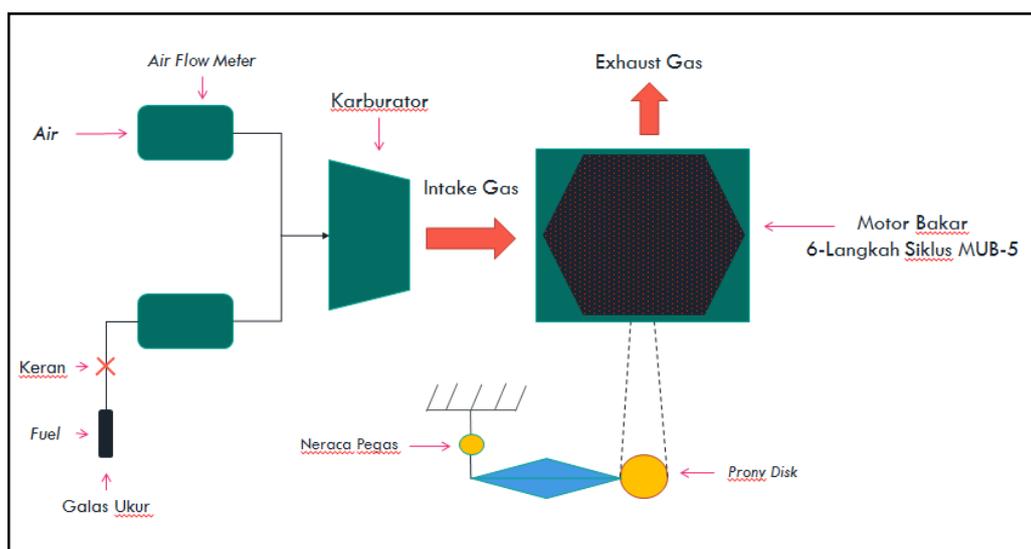
## 2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini menggunakan bahan bakar pertalite dan etanol (99,7%) pada motor bakar 4-langkah yang telah di modifikasi menjadi motor bakar 6-langkah. Modifikasi pada motor bakar ini dilakukan dengan cara menambah gigi reduksi dan rantai kamrat di antara rasio putaran *camshaft* dengan putaran *crankshaft*. Dengan demikian rasio putaran *crankshaft* memiliki tiga kali putaran dalam satu kali putaran *camshaft*. Perubahan selanjutnya pada bentuk model *camshaft*, yang mengatur saat katup hisap terbuka pada posisi piston saat berada di titik mati atas (TMA) dan akan menutup pada posisi piston berada di TMB serta kemudian pada katup buang akan terbuka ketika dimana posisi piston berada di TMB dan akan menutup sampai durasi putaran *camshaft* berada posisi piston berada di TMA.

### 2.1. Instalasi Penelitian

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode eksperimental nyata, dimana penelitian dilakukan secara langsung terhadap objek yang akan diuji. Pengamatan dilakukan secara langsung untuk mengetahui bagaimana performa torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik (SFCe), dan efisiensi termal, pada motor bakar 6-langkah dengan power-eskansi sampai TMB (titik mati bawah) dengan langkah *power* sampai TMB menggunakan bahan bakar minyak Pertalite dan Etanol (99,7%).

Variabel penelitian ini terdiri dari variabel bebas yaitu: bukaan *Throttle* sebesar 35%, 40%, 45%, 50%. Dan pembebanan pada *Prony Disc Brake* sebesar 10kg, 20kg, 30kg, 40kg, 50kg. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu: torsi, daya efektif (Ne), konsumsi bahan bakar (FC), efisiensi termal. Variabel terkontrol pada penelitian ini antara lain: bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar cair Pertalite dengan nilai dan Etanol (99,7%) dengan nilai, pengujian menggunakan karburator jenis PE 28, motor bakar 6-langkah tipe-5 dengan kapasitas mesin 125 cc yang diteliti pada kondisi modifikasi dari motor bakar 4-langkah, dan rasio kompresi mesin sebesar 9 : 1.



Gambar 4. Instalasi alat penelitian.

Prosedur pengambilan data dari penelitian ini diantaranya mempersiapkan instalasi mesin kemudian memasukkan bahan bakar Pertalite ke dalam tangki bahan bakar dilanjutkan menyalakan mesin menggunakan *starter* dan biarkan mesin beroperasi pada kondisi *idle* untuk beberapa saat hingga kondisi mesin stabil dan menyalakan *blower* sebagai pembantu media pendinginan mesin.

Cara pengambilan data yang perlu dilakukan sebagai berikut: (1) Atur bukaan *throttle* yang pertama pada bukaan 35%. (2) Lakukan pengereman dimulai dari berat beban 10kg, 20kg, 30kg, 40kg, 50kg, dan diamkan beberapa saat hingga kondisi mesin stabil. (3) Diamkan selama beberapa saat pada setiap variasi beban pengereman untuk menstabilkan mesin. (4) Lakukan pengambilan data (beban pada *prony disc brake*, waktu konsumsi bahan bakar, rpm). (5) Ulangi langkah 1–4 untuk variasi bukaan *throttle* pada bukaan 40%, 45%, dan 50% hingga putaran mesin pada *crankshaft* terendah 2400 rpm sampai tertinggi 21600 rpm.

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan bahan bakar Pertalite RON 90 dan Etanol (99,7%) RON 111. Etanol (99,7%) dengan nilai RON 111 dinilai memiliki kandungan karbon dan hydrogen yang lebih rendah maka kandungan Oksigen (O<sub>2</sub>) akan semakin tinggi. Etanol memiliki pembakaran lebih sempurna daripada bensin, sehingga nilai emisi kandungan CO, HC dan CO<sub>2</sub> akan cenderung turun.

## 2.2. Perhitungan Torsi, Daya efektif, Konsumsi bahan bakar spesifik dan Efisiensi termal

Untuk mengetahui besarnya daya efektif, perlu di ketahui besar torsi *crankshaft* terlebih dahulu. Torsi dapat di hitung dari nilai torsi *disc brake* (Td). Torsi *disc brake* (Td) dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$T_d = [(F \times L) + (f \times I)] \times 9,8 \quad (1)$$

(N.m)

Dimana F adalah beban pengereman (kg), L adalah panjang lengan beban (m), f adalah berat dari *disc brake* (kg), I adalah jarak kaliper pengereman menuju titik pusat *disc brake* (m). Sehingga besar torsi *crankshaft* diperoleh dari persamaan 2.

$$T_c = \frac{T_d}{i_n} \text{ (N.m)} \quad (2)$$

Dimana  $i_n$  adalah rasio dari gear transmisi. Daya efektif dari motor bakar 6-langkah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.

$$N_e = \frac{2\pi \times T_c \times N}{60 \times 1000} \text{ (kW)} \quad (3)$$

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

Untuk menghitung besarnya kerja siklus, efisiesnsi thermal, efisiesnsi pembakaran dan efisiensi bahan bakar maka pertama tama kita harus mencari rerata combustible species hasil pengujian dengan gas analyser yang dicantumkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 dibawah ini.

**Tabel 1** : Rerata Fraksi *Combustible Species*

Bahan Bakar	CO (% vol)	HC (% vol)	H2 (% vol)
Pertalite	3,457	666,3	2,395
Etanol	0,694	791,6	0,347

**Tabel 2** : QHV

Senyawa	QHVi
CO	282802 kJ/kmol
HC	572023 kJ/kmol
H2	240000 kJ/kmol

Pengujian untuk mencari perbandingan kinerja motor bakar 6-langkah dengan power-eskpanasi sampai TMB dengan bahan bakar pertalite dan etanol menggunakan beberapa kondisi awal dan beberapa asumsi yang bisa dilihat di Tabel 3 dibawah ini :

**Tabel 3** : Kondisi Awal

<b>Kondisi awal oprasi</b>	
Tekanan Awal, $P_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	101,3
Temperatur awal , $T_0$ (K)	300
<i>Specific gas constan</i> , R (kJ/kg K)	0,284
<i>Specific heat</i> untuk volume konstan, cv (kJ/kg K)	0,946
Rasio kalor spesifik, $\gamma$	1,3
<b>Kondisi saat beroperasi</b>	
Rerata masa udara persiklus, $m_a$ Pertalite	0,00001463= 0,0000000086 kmol
Rerata masa bahan bakar persiklus, $m_f$ (kg)	0,00000599 kg = 0,0000000279 kmol
<i>Air Fuel Ratio</i> (AFR) Pertalite	15,3
Rerata masa udara persiklus, $m_a$ Etanol	0,00001369 kg = 0,000000332 kmol
Rerata masa bahan bakar persiklus, $m_f$ (kg)	0,00001655 kg = 0,000000259 kmol
<i>Air Fuel Ratio</i> (AFR) Etanol	8,9

Untuk menghitung kerja siklus dan efisiesnsi maka perlu ana termodinamika siklus otto dan siklus MUB-2. Dapat dilihat pada persamaan (6) dibawah ini:

$$W_{net} = Q_{in} - Q_{out} \tag{4}$$

Dimana  $W_{net}$  adalah kerja siklus (kJ),  $Q_{in}$  adalah panas yang masuk system (kJ) dan  $Q_{out}$  adalah panas yang keluar system. [7] Untuk menghitung besarnya efisiensi thermal diperlukan rumus seperti pada persamaan(5) dibawah ini:

$$\eta_t = \frac{W}{Q_{in}} = \left[ \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \right]. \tag{5}$$

Dimana  $\eta_t$  adalah efisiensi thermal.[8]Untuk mengetahui besarnya efisiensi pembakaran yang terjadi pada siklus motor bakar maka perlu perhitungan dengan menggunakan persamaan(9) dibawah ini:

$$1 - \eta_s = \frac{\sum y_i \cdot Q_{HVi}}{\left[ \frac{M_f}{M_f + M_a} \right] \cdot Q_{HVf}} \tag{6}$$

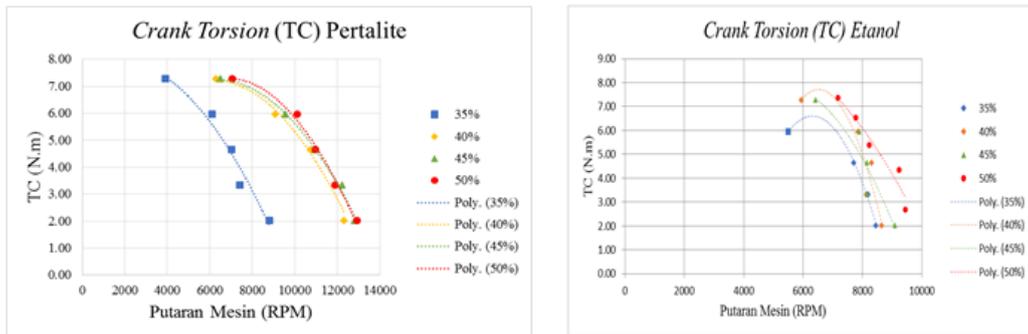
Dimana  $\eta_c$  adalah efisiensi pembakran, m adalah masa dari bahan bakar (kg) dan QHV adalah heating value pada bahan bakar (kJ/kg). [10] Untuk mengetahui seberapa efisiensi penggunaan bahan bakar maka harus menghitung efisiensi bahan bakar yang dapat dilihat pada persamaan(11) di bawah ini:

$$\eta_f = \frac{W_{net}}{m \cdot Q_{HV}} \tag{7}$$

Dimana  $\eta_f$  adalah efisiensi bahan bakar,  $W_{net}$  adalah kerja siklus (kJ). [12]

### 3. HASIL DAN DISKUSI

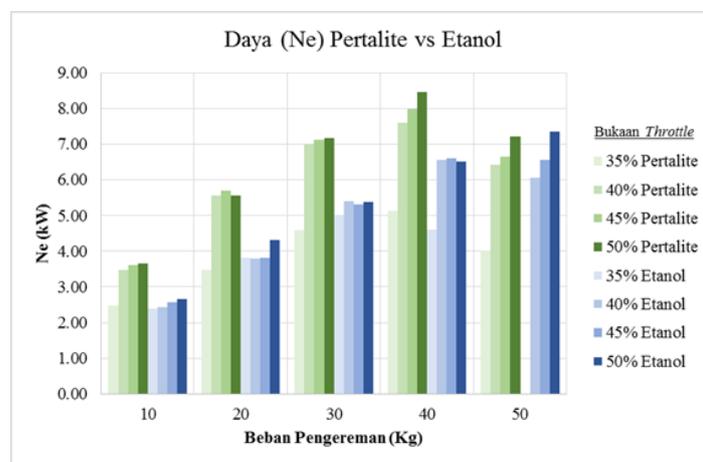
#### 3.1. Hubungan antara Putaran Mesin yang diberi Pembebanan dengan Torsi (TC) pada Motor Bakar 6-Langkah Tipe-5.



**Gambar 5:** Grafik *crank torsion* (TC) bahan bakar pertalite dan etanol dengan bukaan *throttle* sebesar 35%, 40%, 45%, dan 50%, dengan pembebanan 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg, dan 50 kg.

Dari kedua grafik di atas punya kecenderungan yang tidak jauh berbeda karena semakin besar bukaan *throttle* maka semakin tinggi torsi yang dapat diperoleh namun putaran mesin (rpm) semakin menurun (Gambar 5). Hal ini disebabkan pada saat pengujian dimulai dari putaran tertinggi setiap bukaan *throttle* kemudian menjadi turun ketika diberi pembebanan pengereman pada poros. Sehingga putaran mesin menurun (rpm) akan tetapi torsi yang dihasilkan meningkat (grafik dilihat dari rpm tertinggi (dari sisi sebelah kanan)). Hal tersebut dikarenakan langkah pada ekspansi pada motor bakar 6-langkah dengan power-ekspansi sampai TMB sehingga menyebabkan bahan bakar tereksansi habis. Dalam hal tersebut bahan bakar pertalite mampu memberikan dorongan yang lebih besar dengan nilai rpm tertinggi pada 12927 rpm lebih besar daripada etanol yang mempunyai nilai rpm tertinggi pada 9450 rpm. Dikarenakan etanol memiliki kandungan senyawa oksigen yang dalam hal tersebut sulit bagi bahan bakar masih rendah titik temperatur ruang bakarnya daripada pertalite sehingga untuk mengekspansi piston butuh jumlah bahan bakar yang lebih kaya.

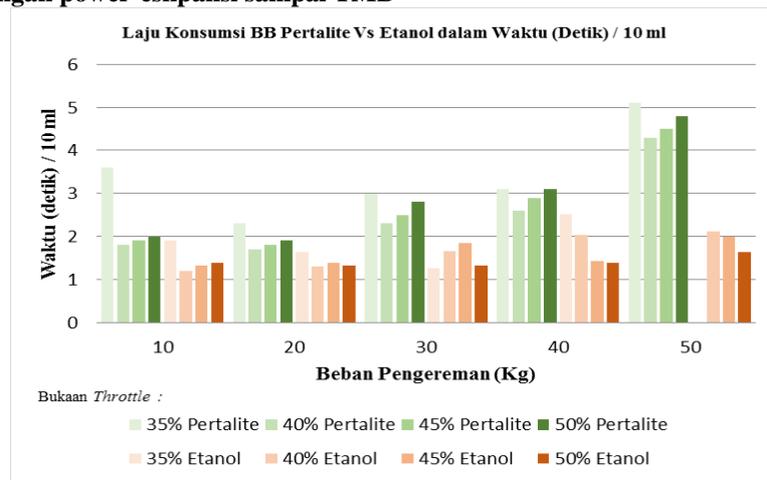
### 3.2 Hubungan antara Pembebanan Terhadap Daya Efektif ( $N_e$ ) dengan Bahan Bakar Pertalite dan Etanol Pada Motor Bakar 6-Langkah Tipe-5



**Gambar 6:** Grafik daya efektif ( $N_e$ ) bahan bakar pertalite dan etanol dengan bukaan *throttle* sebesar 35%, 40%, 45%, dan 50%, dengan pembebanan 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg, dan 50 kg.

Daya efektif yang dihasilkan mengalami kenaikan baik pada bahan bakar pertalite dan etanol seiring dengan bukaan *throttle* yang semakin besar hal ini dikarenakan campuran udara dan bahan bakar dalam ruang bakar masih dalam fase dimana reaksi pembakaran optimal sehingga masih memungkinkan piston melakukan langkah usaha, seiring dengan kenaikan daya efektif pada titik tertentu akan mengalami penurunan. Setelah melewati fase optimal daya efektif pada bukaan *throttle* 35%, 40%, 45% dan 50% dengan pembebanan 50kg daya efektif cenderung mengalami penurunan secara konstan karena pembebanan yang terlalu besar sehingga putaran mesin (rpm) menurun sangat signifikan menyebabkan mesin tidak stabil, tidak stabilnya putaran mesin kemungkinan pembakaran bahan bakar didalam ruang bakar tidak optimal menyebabkan pergerakan piston saat melakukan langkah usaha tidak maksimal, hal ini disebabkan karena etanol mempunyai nilai *heating value* yang lebih rendah sehingga etanol rendah dalam temperatur silinder yang dapat mengakibatkan *misfire* dan akhirnya menurunkan daya.

### 3.3. Hubungan Pembebanan terhadap Laju Konsumsi Bahan Bakar Peralite dan Etanol Motor Bakar 6-Langkah dengan power-eskpansi sampai TMB



**Gambar 7:** Grafik Laju Konsumsi Bahan Bakar Peralite dan Etanol (waktu/10ml) dengan bukaan throttle sebesar 35%, 40%, 45%, dan 50%, dengan pembebanan 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg, dan 50 kg.

Gambar di atas menunjukkan durasi waktu konsumsi bahan bakar per 10 ml pada bukaan *throttle* 35%, 40%, 45%, dan 50% dengan pembebanan 10kg-50kg dengan interval 10 kg. Pada perbandingan bahan bakar peralite dan etanol menghasilkan data durasi waktu terlama pada laju konsumsi bahan bakar peralite pada bukaan *throttle* 30% dengan beban pengereman 10kg dengan waktu 3,6 detik dan durasi singkatnya pada di *throttle* 40% dengan beban pengereman 20kg dengan waktu 1,7 detik. Sementara untuk etanol durasi waktu terlama untuk laju konsumsi bahan bakarnya pada *throttle* 35% pada beban pengereman 30kg dengan waktu 2,51 detik dan durasi singkatnya pada bukaan *throttle* 40% di beban pengereman 10kg. Dari data yang didapat dapat diasumsikan bahwa irit konsumsi bahan bakar pada data bukaan *throttle* 30%, 35%, 40%, dan 50% cenderung lebih lambat durasi pada laju konsumsi bahan bakar peralite daripada etanol yang bisa dikategorikan lebih banyak konsumsi bahan bakar.

### 3.4. Hasil Perhitungan Efisiensi Termal, Efisiensi Pembakaran dan Efisiensi Bahan Bakar pada Motor Bakar 6-Langkah dengan power-eskpansi sampai TMB

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

**Tabel 4 :** Hasil Perhitungan dan Hasil Rerata Emisi

Parameter	Peralite	Etanol
$\eta_c$	0,997	0,994
$\eta_t$	48,7538	48,6118
$\eta_f$	0,50	0,48
CO (%Vol)	3,457	0,694
HC (ppm Vol)	668,35	813,7
CO <sub>2</sub> (%Vol)	5,198	7,895

Dari tabel 4 di atas dapat dilihat bahwa bahan bakar peralite dan etanol pada motor bakar 6-langkah dengan power-eskpansi sampai TMB memiliki nilai unjuk kerja dan emisi yang berbeda-beda. Untuk besarnya efisiensi pembakaran peralite lebih besar 0,3% daripada etanol. Hal tersebut diakibatkan karena nilai QHV dari etanol lebih rendah daripada peralite. Untuk besaran dari efisiensi termal pada motor bakar 6-langkah dengan power-eskpansi sampai TMB dengan bahan bakar etanol cenderung hampir sama senilai 0,29% lebih tinggi peralite dibandingkan etanol. Untuk besarnya efisiensi bahan bakar peralite senilai 4% lebih tinggi dibandingkan etanol. Hal tersebut terjadi disebabkan karena efisiensi bahan bakar sangat terpengaruh oleh

adanya kandungan oksigen dalam etanol juga mengakibatkan campuran menjadi miskin jika dibandingkan dengan pertalite sehingga pasokan bahan bakar dibuat lebih kaya untuk mendapat unjuk kerja yang di inginkan agar mampu memenuhi kebutuhan energi terhadap kinerja pada mesin.

Untuk emisi besaran nilai CO pertalite 80% cenderung memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan etanol, dari hasil hubungan etanol mengapa lebih rendah kadar CO nya dikarenakan kandungan oksigen yang ada pada setiap molekul etanol memiliki (*Partially Oxidized Hydrocarbon*) yang akan memiliki peluang untuk C berikatan dengan oksigen untuk membentuk CO<sub>2</sub> sehingga CO menjadi turun. Besaran nilai HC 21,7% lebih tinggi pada etanol disebabkan *Compression ratio* nya masih sebesar 9:1 sementara nilai RON pada etanol sangat tinggi sebesar 111(*Research Octan Number*) karena sebab tersebut bahan bakar sulit terbakar yang menyebabkan temperature di (*combustion chamber*) rendah akibatnya pembakaran menjadi tidak bisa sempurna. Untuk besarnya kadar CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi di dominasi oleh 51,8% etanol daripada pertalite, dikarenakan tercukupinya kandungan oksigen sehingga pembakaran dapat terjadi dengan sempurna. Bertambahnya kandungan CO<sub>2</sub> pada hasil emisi gas buang disebabkan semakin banyaknya kandungan oksigen yang terkandung dalam etanol sehingga C cenderung berikatan dengan O<sub>2</sub> untuk membentuk CO<sub>2</sub>. Hal ini sesuai juga dengan pernyataan bahwa terjadi hubungan antara CO dan CO<sub>2</sub>. Jika CO yang dihasilkan rendah maka CO<sub>2</sub> yang akan dihasilkan akan naik.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengambilan data menggunakan metode eksperimental yang mana pada motor bakar 6-langkah menggunakan siklus dengan power-eskpanasi sampai TMB langkah ekspansi sampai TMB berbahan bakar pertalite dan etanol disimpulkan kecenderungan kinerja bahan bakar pertalite lebih tinggi daripada etanol terhadap motor bakar 6-langkah dengan power-eskpanasi sampai TMB. Hal ini dapat dilihat dari kinerja besarnya daya efektif etanol lebih kecil senilai 17,5% dibandingkan pertalite. Besaran laju konsumsi bahan bakar etanol 1,61 detik/10ml lebih rendah dibandingkan pertalite sebesar 2,9 detik/10ml hal ini menyimpulkan bahwa penggunaan konsumsi bahan bakar pertalite lebih irit daripada etanol. Untuk besarnya efisiensi pembakaran (*Combustion Efficiency*) pertalite lebih besar 0,3% daripada etanol, diakibatkan karena nilai QHV dari etanol lebih rendah daripada pertalite. Untuk besaran dari efisiensi termal pada motor bakar 6-langkah dengan power-eskpanasi sampai TMB dengan bahan bakar etanol cenderung hampir sama senilai 0,29% lebih besar pertalite dibandingkan etanol. Untuk besarnya efisiensi bahan bakar pertalite senilai 4% lebih tinggi dibandingkan etanol hal tersebut terjadi disebabkan karena efisiensi bahan bakar sangat terpengaruh oleh adanya kandungan oksigen dalam etanol juga mengakibatkan campuran menjadi miskin jika dibandingkan dengan pertalite sehingga pasokan bahan bakar dibuat lebih kaya untuk mendapat unjuk kerja yang di inginkan agar mampu memenuhi kebutuhan energi terhadap kinerja pada mesin. Kemudian terhadap Emisi motor bakar 6-langkah dengan power-eskpanasi sampai TMB menggunakan bahan bakar pertalite dan juga etanol. Untuk besaran nilai CO pertalite 80% cenderung memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan etanol dikarenakan kandungan oksigen yang ada pada setiap molekul etanol memiliki (*Partially Oxidized Hydrocarbon*) yang akan memiliki peluang untuk C berikatan dengan oksigen untuk membentuk CO<sub>2</sub> sehingga CO menjadi turun. Besaran nilai HC 21,7% lebih tinggi pada etanol daripada pertalite disebabkan *Compression ratio* nya masih sebesar 9:1 sementara nilai RON pada etanol sangat tinggi sebesar 111(*Research Octan Number*) karena sebab tersebut bahan bakar yang tidak terbakar, menyebabkan temperature di (*combustion chamber*) rendah akibatnya pembakaran menjadi tidak bisa sempurna. Untuk besarnya kadar CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi di dominasi oleh 51,8% etanol daripada pertalite dikarenakan tercukupinya kandungan oksigen sehingga pembakaran dapat terjadi dengan sempurna.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] BADAN PUSAT STATISTIK, “*Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis*”. Jakarta: BPS. <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133>. Diakses: 21 Februari 2019.
- [2] SOEDOMO, M., SURIHANTO, I., MAXDONI & H. TOKKONG., “*Pengukuran Emisi Pencemaran Udara Bersumber dari Lalu Lintas Perkotaan, Inventarisasi dan Identifikasi*”. Laporan Penelitian. Bandung: ITB., 1983.
- [3] BAJULAZ, ROGER., “*Internal Combustion Engine*”, United State Patent Office, Patent No. 4,809,511., Maret 1989.
- [4] EMRE ARABACI, YAKUP ICINGUR, HAMIT SOLMAZ, AHMET UYUMAZ, EMRE YILMAZ (2015) *Experimental investigation of effect of direct water injection parameters on engine performance in six-stroke engine, Energy Conversion and Management, V. 98.*
- [5] ZIABAZMI, A., “*Six Stroke Engine With Intake – Exhaust Valves*”, United State Patent Office, Patent No. US 6,789,513 B2, september 2014.
- [6] SISWANTO, E., WIDODO, A.S., HAMIDY, N., WIDHIYANURIYAWAN, D., NOOR, G.R.F., “*Effect Of Venturi Diameter Of Carburetor On Performance Of Six-Stroke 125 Cc Combustion Engine*”, *Journal*

- of Environmental Engineering & Sustainable Technology*, v. 03, n. 02, pp. 16-22. 2016.
- [7] SISWANTO, E. “Metode Operasi Motor Pembakaran Dalam Siklus Enam Langkah”. IDP000040589. 2016.
- [8] SISWANTO, E., WIDHIYANURIYAWAN, D., WIDODO, A.S., HAMIDI, N., DARMADI, D.B., and SUDJITO., “On The Performance Of Six-Stroke Single-Power Combustion Engine”, *JP Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 14, n. 2, pp. 201-218, 2017.
- [9] NINGRAT, A.A.W.K., KUSUMA, I.G.B.W., , ADNYANA, I.W.B., “Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Pertalite Terhadap Akselerasi Dan Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor Bertransmisi Otomatis”, *Jurnal Mettek*, v. 2, n. 1, pp. 59-67, 2016.
- [10] 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
- [11] 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.
- [12] ARISMUNANDAR., W., “*Penggerak Mula : Motor Bakar Torak*”, ITB, 2005.
- [13] HEYWOOD, JOHN., “Ideal models of engine cycle”, in: Duffy, A., Morriss, J.M., (eds), *Internal Combustion Engine Fundamentals*, 1 st., chapter 5, New York, McGraw-Hill Book, 1988.
- [14] BOUNDY, B., W.DIEGELI, S., WRIGHT, L. & C.DAVIS, S., *Biomass Energy Data Book*. 4 ed. Tennessee: U.SDepartment of Energy, 2011.
- [15] RAZI, M., SISWANTO, E., WIJAYANTI, W., “Pengaruh derajat pengapian terhadap kinerja motor bakar 6 langkah berbahan bakar etanol”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 10, n. 3, pp. 299-308. 2019.