

PERFORMA PADA MOTOR BAKAR 6-LANGKAH DENGAN LANGKAH POWER EKSPANSI SAMPAI TITIK MATI BAWAH

Riswan Sepriyatno

Mahasiswa S2
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
Email:
riswansepriyatno@gmail.com

Eko Siswanto

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
Email:
Eko_s112@ub.ac.id

Nurkholis Hamidi

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
Email:
hamidy@ub.ac.id

This study aims to observe the performance of a six-stroke combustion motor and to analyze the thermodynamics of a six-stroke combustion engine with a power expansion step to the bottom dead center. The fuel used in this observation is pertalite with a RON 90 value. The method used is a true experimental method, with independent variables, namely 35%, 40%, 45%, and 50% throttle openings with loading on the prony disc brake of 10 kg, 20kg, 30kg, 40kg, and 50kg. In the torque data, each throttle opening shows the highest number of 7.26 (Nm) with a load of 50kg and the lowest value of 2.01 (Nm) with a load of 10kg, for effective power the highest value is 8.47 (kW) at 50% throttle opening with load is 40kg and the lowest value is 2.49 (kW) at 35% throttle opening with a load of 10kg, while for the specific fuel consumption (SFC) the highest value is 4.28 (kg/Hp.h) at 40% throttle opening with a load of 10kg and the lowest value is 0.77 (kg/Hp.h) at 50% throttle openings with a load of 50kg, and for the thermal efficiency of the six-stroke motor, which means an average increase of 14.58% compared to the thermal efficiency of the conventional 4-stroke internal combustion engine.

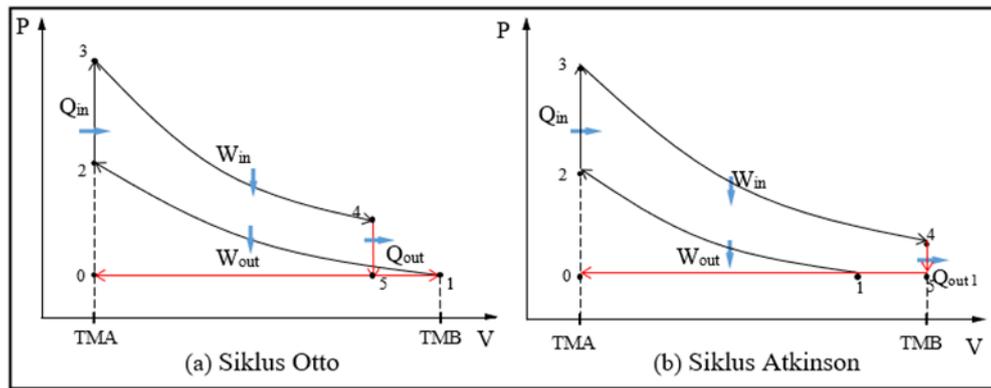
Keywords: *Thermodynamics, Expansion to TMB, Thermal Efficiency*

1. PENDAHULUAN

Teknologi transportasi kendaraan bermotor di era modern saat ini mengalami perkembangan, berdasarkan dari data survei Badan Pusat Statistik Indonesia yaitu jumlah kendaraan bermotor pertahun 2018 total semua mencapai 146.858.760 unit [1]. Pencemaran udara yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor transportasi memiliki presentase tertinggi mencapai 70%, untuk sektor industri memiliki persentase sebesar 25%, dan sampah memiliki pencemaran terendah sebesar 5% [2].

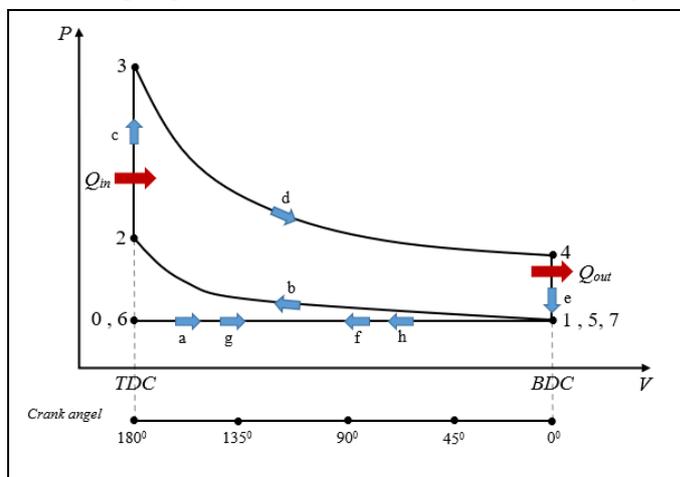
Jenis kendaraan bermotor saat ini yang banyak digunakan adalah jenis motor 2-langkah dan 4-langkah. Namun terdapat kerugian pada kendaraan bermotor jenis 2-langkah yaitu pada konsumsi bahan bakar yang tinggi yang mengakibatkan emisi gas buang meningkat serta suara yang bising, hal ini membuat produksi motor bakar 2-langkah tidak diproduksi lagi diberbagai sektor industri, berbanding balik dengan kendaraan bermotor jenis 4-langkah memiliki keunggulan yaitu konsumsi bahan bakar yang irit dan rendah emisi gas buang serta suara yang di hasilkan motor bakar 4-langkah halus [3,4].

Agar performa motor bakar menjadi lebih efisien serta memiliki daya tinggi maka penelitian terus dilakukan. Penelitian pada motor bakar 4 langkah yang menggunakan siklus Otto memiliki kelemahan efisiensi dan daya yang dihasilkan terbatas [5]. Salah satu penyebab terjadinya (*losses*) ialah terbukanya *exhaust valve* terlalu awal, sehingga tekanan *working-gas* yang masih tinggi dibuang sia-sia, yang sebenarnya masih dapat digunakan untuk memperpanjang langkah sampai TMB. Jadi dapat disimpulkan siklus Otto 4-langkah aktual memiliki ekspansi rasio yang lebih rendah daripada kompresi rasionya[6], seperti pada Gambar 1(a). Untuk meningkatkan efisiensi motor bakar 4-langkah tersebut, kemudian Atkinson mengusulkan sebuah siklus termodinamika yang memiliki ekspansi rasio yang lebih besar terhadap kompresi rasionya. Akan tetapi pada panjang *stroke* yang sama dengan Otto, siklus Atkinson meskipun memiliki efisiensi yang tinggi tetapi memiliki *power output* yang rendah [7]. Siklus Atkinson ditunjukkan pada Gambar 1(b). Kemudian siklus motor bakar 6-langkah tipe-5 menggunakan siklus MUB-5 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1: Siklus aktual (a) Siklus Otto 4-langkah, (b) Siklus Atkinson 4-langkah

Adapun proses dari siklus aktual motor bakar 6-langkah tipe-5 menggunakan siklus MUB-5 yaitu:



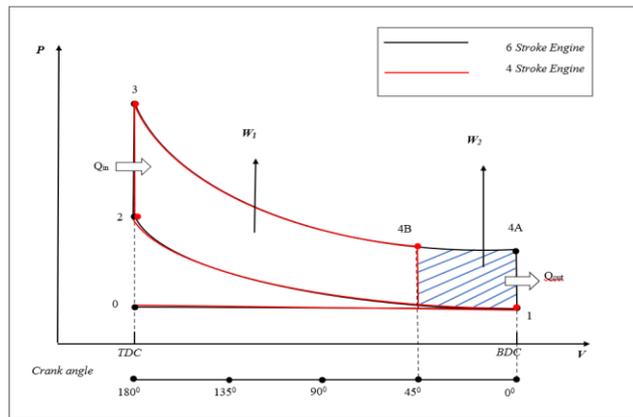
1. (0-1) *Intake (Isobaric)*
2. (1-2) *Compression (Isentropic)*
(2-3) *Heat input (Isochoric)*
3. (3-4) *Expansion (Isentropic)*
4. (4-5) *Exhaust (Isochoric)*
(5-6) *Pengurangan volume (Isobaric)*
5. (6-7) *Penambahan volume (Isobaric)*
6. (7-0) *Pengurangan volume (Isobaric)*

Gambar 2. Siklus aktual motor bakar 6-langkah tipe -5 menggunakan siklus MUB-5

Untuk itu penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi motor bakar 4-langkah ke 6-langkah dengan menggabungkan kedua siklus yaitu siklus Otto dan siklus Atkinson menjadi sebuah siklus yang akan diterapkan pada motor bakar 6-langkah tipe-5, yang kemudian disebut dengan siklus MUB-5. Siklus ini dapat meningkatkan *power* yang sama dengan siklus Otto dan efisiensinya sama dengan siklus Atkinson. Konsep terbaru yang dihadirkan dari penelitian ini yaitu dengan mengubah pergerakan piston hingga sampai TMB pada langkah buang sehingga menghasilkan *power* yang lebih maksimal. Perbandingan motor 4-langkah siklus Otto yang terbuka *exhaust-valve* nya sekitar 45° sebelum TMB dan motor bakar 6-langkah tipe-5 menggunakan siklus MUB-5 (*exhaust-valve* terbuka saat di TMB) dapat dilihat pada Gambar 3.

Motor bakar 6-langkah telah dikembangkan oleh Bajulaz Engine [8], dan the M4+2 Engine [9], Bazmi Engine [10]. 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 [11,12] 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 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. Perbandingan p-v diagram motor bakar 6-langkah tipe-5 dengan siklus MUB-5 (*exhaust-valve* terbuka di TMB) dan motor bakar 4-langkah dengan siklus Otto *actual* (*exhaust-valve* terbuka 45° sebelum TMB).

Kemudian pada tahun 2017 Siswanto et al [13] 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. 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.

Berdasarkan uraian diatas, dapat diambil hipotesis yaitu jika motor bakar 6-langkah tipe-5 menggunakan siklus MUB-5 (atau, awal kompresi sama dengan Otto tetapi langkah ekspansi-*power* sampai TMB), maka akan didapatkan power yang lebih tinggi daripada motor Atkinson dan efisiensi yang lebih tinggi dari motor Otto *actual*.

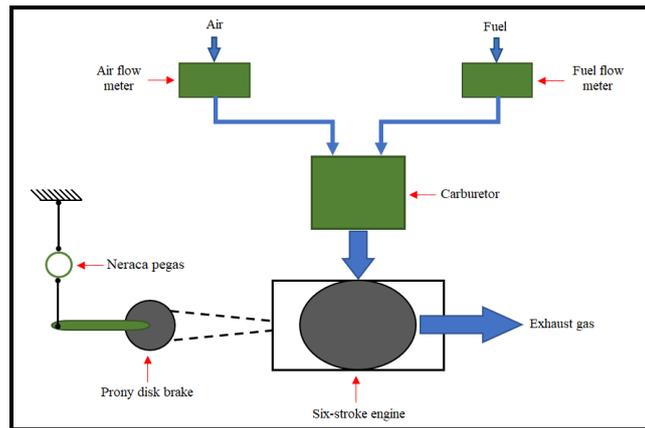
2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini menggunakan motor bakar 4-langkah yang telah modifikasi sedemikian rupa sehingga menjadi motor bakar 6-langkah. Pengaturan modifikasi pada penelitian ini dilakukan dengan cara memberikan gigi reduksi dan penambahan rantai kamrat di antara putaran *camshaft* dengan putaran *crankshaft*. Dengan demikian putaran *crankshaft* terjadi tiga kali sedangkan putaran *camshaft* terjadi satu kali. Selain itu ada perubahan pada bentuk model *camshaft*, yang nantinya mengatur pada saat katup hisap membuka pada posisi piston berada di TMA dan menutup pada posisi piston di TMB untuk katup buang akan terbuka dimana posisi piston berada di TMB dan menutup sampai durasi nok *camshaft* habis atau 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 tipe-5 menggunakan siklus MUB-5 dengan langkah *power* sampai TMB menggunakan bahan bakar minyak Peralite/RON 90.

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 Peralite dengan nilai RON 90, 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 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. Keunggulan Pertalite versi pertamina antara lain Pertalite dinilai lebih bersih daripada Premium karena memiliki *Research Octant Number* (RON) di atas 88 yang terkandung dalam Premium [14].

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* (T_d). Torsi *disc brake* (T_d) dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$T_d = [(F \times L) + (f \times I)] \times 9,8 \text{ (N.m)} \quad (1)$$

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.

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

T_c merupakan besar nilai torsi pada *crankshaft* dan N adalah kecepatan putaran dari *crankshaft*. Konsumsi bahan bakar (FC) merupakan massa dari bahan bakar (kg) yang dikonsumsi oleh mesin dalam satuan waktu (jam) persamaan 4.

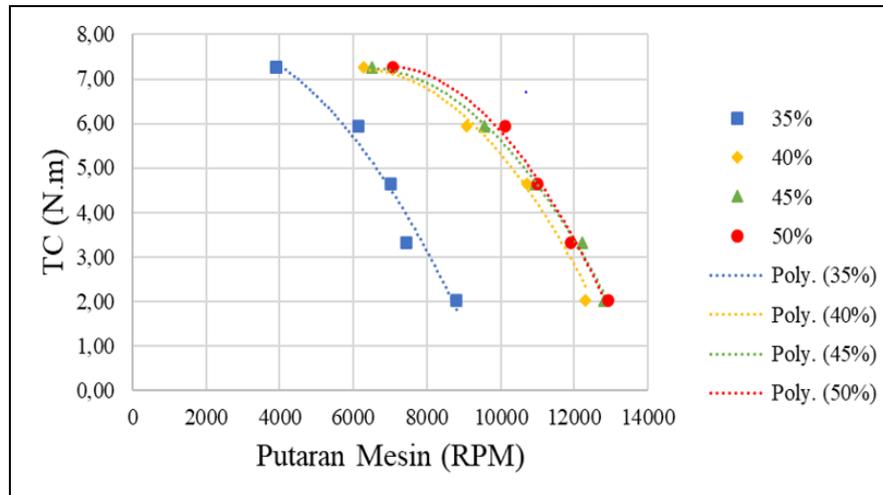
$$SFC_e = \frac{FC}{N_e} \text{ (kg/kW.h)} \quad (4)$$

FC merupakan jumlah konsumsi bahan bakar dari motor bakar (kg/jam) dan N_e merupakan besar daya efektif yang dihasilkan oleh motor bakar (kW). Efisiensi termal dihitung menggunakan persamaan 5.

$$\eta_t = \left[\frac{Q_{out} - Q_{in}}{Q_{in}} \right] \times 100\% \quad (5)$$

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) dengan bukaan *throttle* sebesar 35%, 40%, 45%, dan 50%, dengan pembebanan 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg, dan 50 kg.

Semakin besar bukaan *throttle* maka semakin tinggi torsi yang diperoleh namun rpm semakin menurun (Gambar 5). Dikarenakan pada saat pengujian dimulai dari putaran tertinggi setiap bukaan *throttle* lalu diturunkan dengan penambahan beban pengereman pada poros. Sehingga menyebabkan putaran mesin (rpm) menurun namun torsi yang dihasilkan meningkat (grafik dilihat dari rpm tertinggi/dari sebelah kanan). Menurunnya putaran mesin (rpm) tidak mempengaruhi torsi yang dihasilkan melainkan torsi yang didapatkan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan langkah ekspansi pada motor bakar 6-langkah tipe-5 yang diubah mencapai TMB sehingga menyebabkan bahan bakar terkompresi cukup tinggi yang dapat menimbulkan ledakan bahan bakar dan udara mendekati sempurna, dan menghasilkan gaya dorong yang lebih besar pada piston yang menyebabkan torsi yang dihasilkan menjadi lebih besar. Pada bukaan *throttle* 35% rpm relatif menurun secara konstan hal ini didapati rpm pada bukaan *throttle* 35% memiliki putaran mesin sebesar 8.000 rpm yang kemudian diberikan beban sehingga menurun lebih konstan dari pada bukaan *throttle* 40%, 45%, dan 50% yang diawal putaran mesinnya sudah mencapai 1.200 rpm.

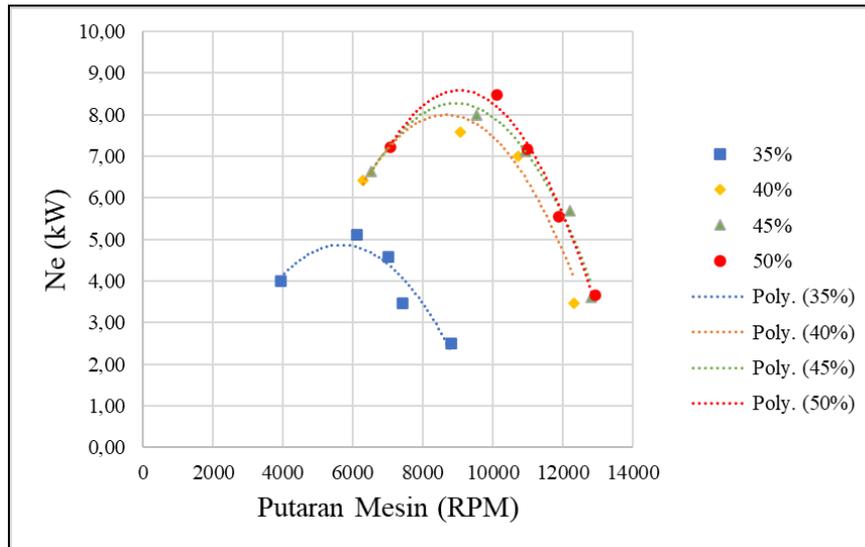
Gambar 5 menunjukkan grafik *crank torsion* (Tc) pada bukaan *throttle* 35%, 40%, 45%, dan 45%. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa torsi terendah sebesar 2,01 N.m dengan putaran mesin sebesar 12.927 rpm pada bukaan *throttle* 50% dengan pembebanan 10kg, dan torsi tertinggi sebesar 7,26 N.m dengan putaran mesin sebesar 3.927 rpm. Dengan menurunnya putaran mesin (rpm) namun pada motor bakar 6-langkah tipe-5 torsi yang didapatkan meningkat, meningkatnya torsi pada motor bakar 6-langkah tipe-5 karena langkah ekspansi pada piston diubah sampai TMB.

3.1 Hubungan antara Putaran Mesin yang diberi Pembebanan Dengan Daya Efektif (Ne) Motor Bakar 6-Langkah Tipe-5

Pada grafik dijelaskan semakin besar beban yang diberikan pada putaran mesin (rpm) daya efektif yang didapatkan meningkat (Gambar 6). Namun pada setiap bukaan *throttle* dengan pembebanan 50% daya efektif cenderung menurun. Pada gambar 6 dapat disimpulkan bahwa daya efektif terendah yaitu 2,49 kW pada bukaan *throttle* 35% dengan pembebanan 10 kg dan daya efektif tertinggi yaitu 8,47 kW pada bukaan *throttle* 50% dengan pembebanan 40kg.

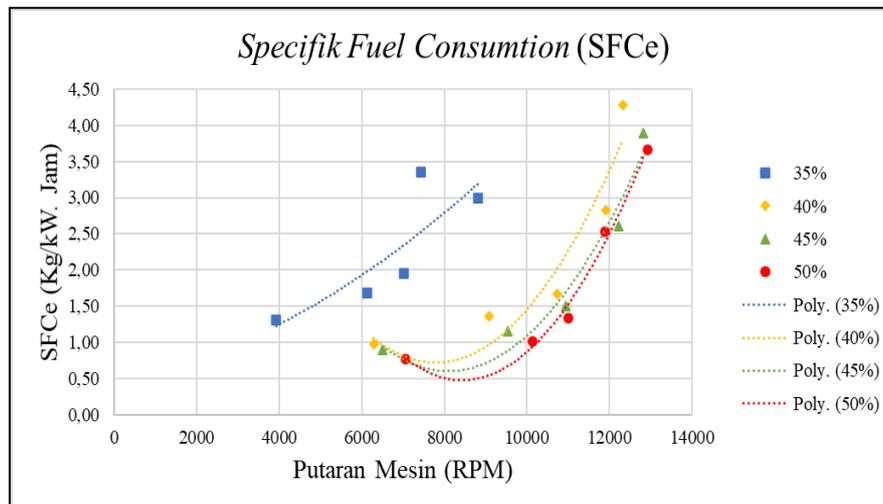
Daya efektif yang dihasilkan mengalami kenaikan seiring dengan bukaan *throttle* yang semakin besar hal ini dikarenakan campuran udara dan bahan bakar dalam ruang bakar masih dalam fase dimana reaksi pembakaran optimal sehingga masih memungkinkan piston melakukan langkah usaha, seiring dengan kenaikan 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 lah yang menyebabkan daya efektif mengalami penurunan pada titik tertentu.



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

3.3. Hubungan antara Putaran Mesin yang diberi Pembebanan dengan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFCe) Motor Bakar 6-Langkah Tipe-5



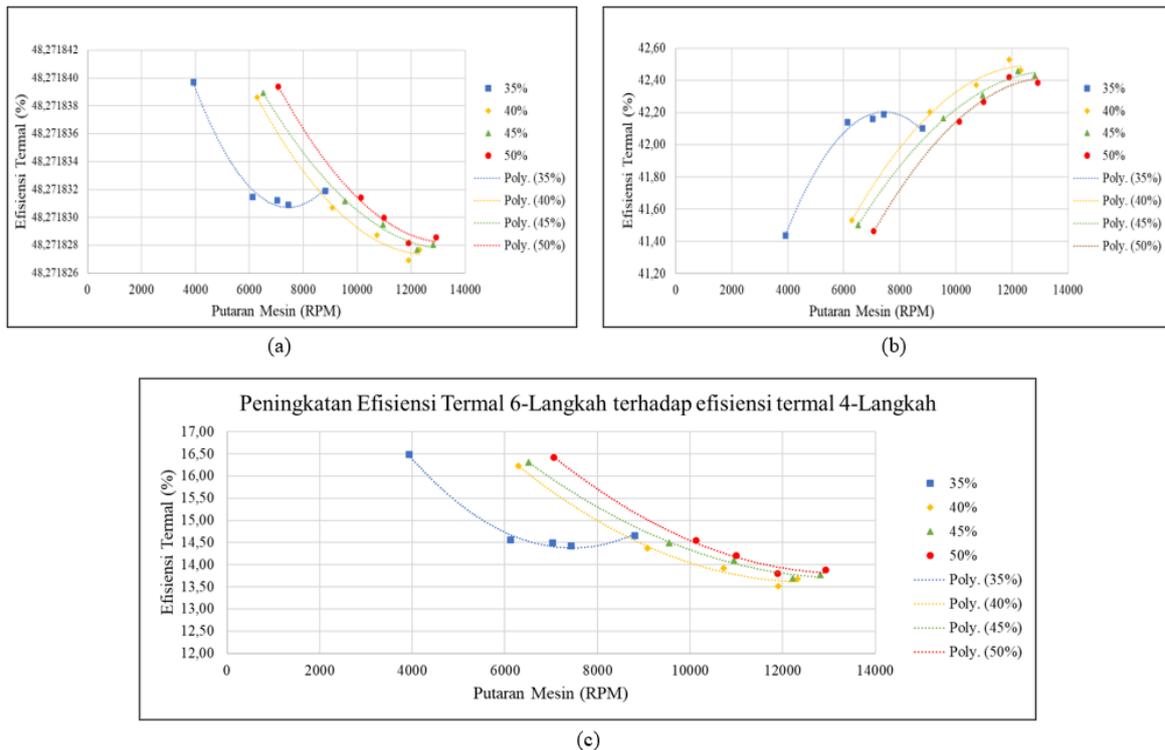
Gambar 7: Grafik Konsumsi bahan bakar spesifik SFCe (kg/kW.jam) dengan bukaan *throttle* sebesar 35%, 40%, 45%, dan 50%, dengan pembebanan 10 kg, 20 kg, 30 kg, 40 kg, dan 50 kg.

Grafik konsumsi bahan bakar spesifik per 10 ml pada bukaan *throttle* 35%, 40%, 45% dan 50% dengan pembebanan 10kg - 50kg dengan interval 10kg. Pada grafik tersebut dilihat semakin besar beban yang di berikan menunjukkan grafik konsumsi bahan bakar spesifik (SFCe) menurun (gambar 7). setiap bukaan *throttle* yang dipengaruhi pembebanan membuat putaran mesin (rpm) juga semakin menurun, pada grafik menunjukkan semakin rendah putaran mesin (rpm) maka konsumsi bahan bakar spesifik (SFCe) yang dihasilkan juga semakin menurun. Namun Pada bukaan *throttle* 35% dengan beban yang diberikan sebesar 10kg memiliki putaran mesin 8.808 rpm dengan konsumsi bahan bakar sebesar 2,99 kg/Kw.jam lebih rendah dibandingkan pada bukaan *throttle* 35% beban yang diberikan sebesar 20kg memiliki putaran mesin 7.434 rpm dengan konsumsi bahan bakar sebesar 3,35 kg/kW.jam, dengan menurunnya putaran mesin (rpm) membuat durasi membuka dan menutupnya katup intake pelan hal ini lah yang membuat bahan bakar yang

masuk ke ruang bakar semakin kaya namun jika pada rpm tinggi bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar cukup. Cukupnya waktu proses difusi udara-bahan bakar akan mengikatkan homogenitas campuran sehingga proses pembakaran menjadi lebih baik, yang pada akhirnya akan menghasilkan kinerja yang lebih baik [15] bisa dikatakan konsumsi bahan bakar pada motor bakar 6-langkah pada rpm tinggi lebih irit.

Konsumsi bahan bakar spesifik paling rendah yaitu 0,77 kg/kW.jam pada bukaan throttle 50% saat putaran mesin 7.062 rpm dan konsumsi bahan bakar spesifik tertinggi yaitu 4,28 kg/kW.jam pada bukaan throttle 40% saat putaran 12.315 rpm. Konsumsi bahan bakar spesifik rata-rata mesin 6 langkah MUB-05 yaitu 2,09 (kg/kW.jam).

3.4. Efisiensi Termal Motor Bakar 4-Langkah dan Efisiensi Termal Dan Motor Bakar 6-Langkah Tipe-5 Menggunakan Siklus MUB-5



Gambar 8: Perbandingan efisiensi termal (a) motor bakar 6-langkah tipe-5 menggunakan siklus MUB-5, (b) motor bakar 4-langkah dan (c) selisih kenaikan efisiensi termal pada motor bakar 6-Langkah jika dibandingkan dengan efisiensi termal motor bakar 4-langkah.

Dari hasil perhitungan bahwa siklus MUB-5 pada motor bakar 6-langkah tipe-5 lebih tinggi dibandingkan efisiensi motor bakar 4-langkah hal ini disebabkan langkah ekspansi pada motor bakar 6-langkah tipe-5 ini sampai titik mati bawah. Dari motor bakar 6-langkah tipe-5 ini efisiensi termal mencapai 48,27% diambil dari rata-rata sedangkan pada motor bakar 4-langkah efisiensi termal mencapai 42,13% diambil dari rata-rata. efisiensi termal pada motor bakar 6-langkah mengalami peningkatan sebesar 14,58% diambil dari rata-rata. Perhitungan siklus motor bakar 6-langkah tipe-5 menggunakan siklus MUB-5 dan siklus motor bakar 4-langkah milik Otto dapat dilihat sebagai berikut.

Hasil analisis perhitungan efisiensi termal pada bukaan *throttle* 35% dengan pembebanan 10kg. Untuk luasan efisiensi thermal pada motor bakar 6-langkah tipe -5 menggunakan siklus MUB-5 sebagai berikut:

$$(\eta_{\tau}) = \frac{w}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{134,1093 J}{259,29 J} = 48,27 \%$$

Untuk perhitungan luasan efisiensi termal pada motor bakar 4 langkah sebagai berikut:

$$(\eta_{\tau}) = \frac{w}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{150,109 J}{259,29 J} = 42,10\%$$

Perhitungan hasil selisih luasan antara efisiensi termal 6-langkah dan 4-langkah sebagai berikut:

$$\frac{\eta_t(6 \text{ langkah}) - \eta_t(4 \text{ langkah})}{\eta_t(4 \text{ langkah})} \times 100\%$$

$$\frac{48,27 - 42,10}{42,10} \times 100\% = 14,66 \%$$

Hasil selisih perbandingan antara luasan efisiensi termal motor bakar 6-langkah tipe-5 menggunakan siklus MUB-5 dan 4-langkah terjadi kenaikan efisiensi termal pada motor bakar 6-langkah tipe-5 menggunakan siklus MUB-5 sebesar 14,66% diambil dari sampel bukaan *throttle* 35% dengan pembebanan sebesar 10 kg.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengambilan data menggunakan metode eksperimental yang mana pada motor bakar 6-langkah tipe-5 menggunakan siklus MUB-5 langkah ekspansi sampai TMB diperoleh hasil torsi (TC) yang meningkat meskipun putaran mesin menurun sehingga daya efektif (Ne) yang dihasilkan juga meningkat pada setiap pembebanan namun pada titik tertentu mengalami penurunan yang disebabkan beban yang diberikan pada putaran mesin melampaui batas maksimal. Kemudian terdapat nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFCe) terendah pada variasi bukaan *throttle* 50% dengan pembebanan 50 kg, hasil nilai konsumsi bahan bakar tersebut diperoleh nilai sebesar 0,77 kg/kW.jam, sehingga dapat diasumsikan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan lebih irit dibandingkan dengan variasi bukaan *throttle* dan pembebanan yang lainnya. Hasil analisis termodinamika pada motor bakar 6-langkah tipe-5 menggunakan siklus MUB-5 dibandingkan dengan motor bakar 4-langkah mengalami kenaikan efisiensi termal rata-rata sebesar 14,58%.

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] SAEPUDIN, A., ADMONO, T., “Kajian Pencemaran Udara Akibat Emisi Kendaraan Bermotor di DKI Jakarta”, *Jurnal Teknologi Indonesia*, v. 28, n.2, pp. 29-39, 2005.
- [4] MIQDAD, RAZAN., “Pengaruh Campuran Bahan Bakar Gasoline-Ethanol (Gasohol) Terhadap Emisi Gas Buang Motor Bakar Otto 6 langkah”. *Skripsi*, Tidak Dipublikasikan, Malang: Universitas Brawijaya, 2018.
- [5] NURAMAL, A., PUSPAWAN, A., RESWANTO., “Analisa Pengaruh Variasi Profil Camshaft Standar Dan Modifikasi Pada Gerakan Penutupan Katup Masukterhadap Torsi, Daya Dan Spesifik Konsumsi Bahan Bakar Mesin Siklus Otto Dengan Pendekatan Siklus Atkinson”, *Jurnal Ilmiah Bidang Sains Teknologi Murni Disiplin dan Antar Disiplin*, v. 2, n.14., pp. 57-66, 2014.
- [6] ARISMUNANDAR., W., “Penggerak Mula : Motor Bakar Torak”, ITB, 2005.
- [7] 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.
- [8] BAJULAZ, ROGER., “Internal Combustion Engine”, United State Patent Office, Patent No. 4,809,511., Maret 1989.
- [9] CIESIOLKIEWICZ, A., MEZYK, P., “Double Pistons Internal Combustion Engine”. *Journal of KONES Internal Combustion Engines*, no. 1-2, ISSN 1231-4005, Patent No. 350472. Warsaw, Poland: RP Patent Office, november 2001.
- [10] ZIABAZMI, A., “Six Stroke Engine With Intake – Exhaust Valves”, United State Patent Office, Patent No. US 6,789,513 B2, september 2014.
- [11] 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.
- [12] SISWANTO, E. “Metode Operasi Motor Pembakaran Dalam Siklus Enam Langkah”. IDP000040589. 2016.

- [13] 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.
- [14] 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.
- [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.