

ANALISIS PENGARUH OVERSIZE SILINDER DENGAN VARIASI TINGKAT KECEPATAN TERHADAP UNJUK KERJA SEPEDA MOTOR SUPRA FIT

Joni^{1*}

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih, Kota Jayapura-Papua, Indonesia

*alamat e-mail : me.uncen@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh unjuk kerja motor Supra Fit 100 CC yang sebelum dan sesudah oversize dengan variasi tingkat kecepatan transmisi. Metode yang digunakan yaitu dengan membandingkan data hasil pengukuran dengan software VDAS pada kondisi sebelum dan sesudah oversize dengan memvariasikan tingkat kecepatan transmisinya, yang dimulai dari transmisi I sampai dengan transmisi IV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk mengkonsumsi bahan bakar 8 mL dengan waktu rata-rata 95,53 detik (gigi I); 97,00 detik (gigi II); 98,50 detik (gigi III) dan 99,62 detik (gigi IV). Untuk oversize, waktu rata-rata konsumsi bahan bakar 88,60 detik (gigi I); 89,30 detik (gigi II); 91,26 detik (gigi III) dan 93,40 detik (gigi IV).

Kata kunci: Oversize, Variasi Tingkat Transmisi, Konsumsi Bahan Bakar, Kecepatan Transmisi, Unjuk Kerja Motor.

ABSTRACT

This study aims to determine the effect of the performance of the Supra Fit 100 CC motor before and after being oversized with variations in transmission speed. The method used is to compare the measured data with the VDAS software in conditions before and after oversize by varying the transmission speed, starting from transmission I to transmission IV. The results showed that the time needed to consume 8 mL of fuel had an average time of 95.53 seconds (first gear); 97.00 seconds (second gear); 98.50 seconds (gear III); and 99.62 seconds (gear IV). For oversize vehicles, the average time of fuel consumption is 88.60 seconds (first gear); 89.30 seconds (gear II); 91.26 seconds (gear III); and 93.40 seconds (gear IV).

Keywords: Oversize, Variations In Transmission Rate, Fuel Consumption, Transmission Speed, Motor Performance

PENDAHULUAN

Desawa ini perkembangan di bidang industri otomotif mengalami perkembangan pesat, baik dari jenis kendaraan roda dua maupun kendaraan roda empat dengan berbagai merek dan tipenya. Khusus kendaraan roda dua (sepeda motor) setiap tahunnya mengalami peningkatan kuantitas dan kualitas seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan kebutuhan akan layanan mobilisasi transportasi yang lebih cepat. Dengan meningkatnya kualitas kendaraan yang ada saat ini, menyebabkan jenis kendaraan yang telah ada sebelumnya akan tertinggal jauh dibanding kendaraan keluaran terbaru. Hal ini

tentunya akan membuat sebagian orang akan terpacu untuk lebih mengoptimalkan kinerja kendaraan yang telah dimilikinya agar dapat bersaing dan lebih awet. (Mohamad & Kamel, 2020)

Modifikasi volume silinder adalah salah satu tren modifikasi mesin yang populer saat ini, terutama dalam upaya meningkatkan performa sepeda motor. Mesin sepeda motor bebek standar di Indonesia yang diproduksi pada tahun 2000-an umumnya memiliki kapasitas antara 100 cc hingga 125 cc. Namun, pemilik sepeda motor dengan produksi sebelum tahun 2000, yang rata-rata memiliki kapasitas mesin 100 cc, sering merasa kurang bertenaga,

terutama bagi generasi muda. Sebagai alternatif, mereka dapat memodifikasi kapasitas mesin dengan mengganti atau menggabungkan komponen dari sepeda motor bebek lain. Modifikasi volume silinder biasanya melibatkan perubahan pada diameter dan langkah piston. (Aziz, dkk, 2013).

Dalam modifikasi silinder motor Yamaha Jupiter 110 cc, variasi kepala torak dengan permukaan datar memiliki efisiensi tertinggi sebesar ($\approx 37,6\%$) dengan konsumsi bahan bakar sekitar $0,15 \text{ kg/jam/hp}$. Daya yang dihasilkan mencapai sekitar ($\approx 4,46 \text{ hp}$), lebih rendah daripada permukaan cembung ($\approx 4,56 \text{ hp}$) dan lebih tinggi daripada permukaan cekung ($\approx 4,4 \text{ hp}$). (Utomo, dkk, 2013).

Proses oversize dengan kekasaran standar menghasilkan peningkatan daya dan torsi sebesar $0,38\%$, namun BMEP turun $1,73\%$ dan efisiensi turun $9,61\%$. Sementara itu, proses oversize dengan kekasaran halus menghasilkan peningkatan daya dan torsi sebesar $4,3\%$, BMEP naik $0,52\%$, tetapi efisiensi turun $7,68\%$. Proses oversize dengan kekasaran kasar mengakibatkan penurunan daya dan torsi sebesar $7,24\%$, BMEP turun $10,61\%$, dan efisiensi turun $21,5\%$ (Amdani, 2013).

Hasil simulasi menunjukkan pengaruh oversize sebesar $0,25 \text{ mm}$, $0,50 \text{ mm}$, $0,75 \text{ mm}$, dan 1 mm , serta penambahan diameter katup buang sebesar $0,2 \text{ mm}$, $0,4 \text{ mm}$, $0,6 \text{ mm}$, dan $0,8 \text{ mm}$ terhadap unjuk kerja mesin bensin 4 langkah satu silinder. Simulasi didasarkan pada data teknis motor supra X 125 standar dengan bahan bakar bensin (bilangan oktan 95). Proses oversize memiliki pengaruh terbesar sebesar $12,05\%$ pada putaran 9000 rpm dengan oversize 1 mm . Sedangkan penambahan diameter katup buang, efisiensi tertinggi adalah $24,19\%$ pada penambahan $0,6 \text{ mm}$ pada putaran 9000 rpm (Wuryantoro, 2013).

Penelitian ini akan dilakukan dengan meng-oversize silinder sepeda motor merek Honda tipe Supra Fit 100 cc pada batas toleransi yang diijinkan $0,03\text{--}0,05 \text{ mm}$ untuk melihat pengaruhnya terhadap perubahan unjuk kerja motor pada variasi tingkat kecepatan transmisi motor.

Modifikasi pada blok silinder yang menyatu dengan silinder liner dilakukan dengan menggunakan proses pengkorteran untuk memperbesar diameter lubang pada blok silinder. Jenis blok silinder ini umum digunakan oleh sepeda motor di Indonesia saat ini.

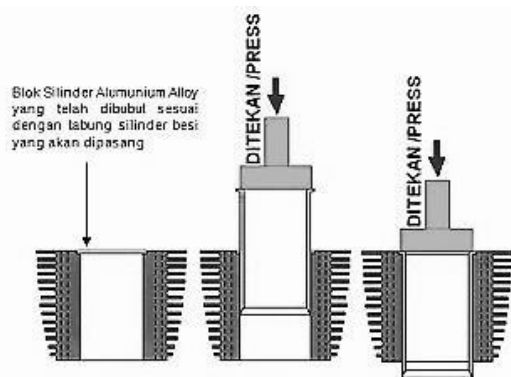
Kelebihan dari blok silinder yang memiliki silinder liner yang menyatu adalah penyebaran panas yang baik selama proses pendinginan, baik dengan pendinginan udara maupun air. Namun, ada batasan dalam pembesaran diameter lubang silinder karena silinder liner terbuat dari aluminium alloy. Batas maksimal pengurangan diameter lubang pada jenis blok silinder ini sekitar 2 mm . Jika pengkorteran dilakukan melebihi batas tersebut, dapat menyebabkan retak atau kerusakan pada dinding silinder. Tekanan dan suhu tinggi saat mesin bekerja pada putaran tinggi dalam waktu yang lama dapat menyebabkan kerusakan pada blok yang terbuat dari aluminium alloy (Heisler, 2021).

Untuk memodifikasi atau memperbesar diameter silinder pada blok silinder, prosedur yang digunakan sama seperti pada blok silinder dengan silinder liner besi, yaitu dengan proses pengkorteran dan penghalusan (honing). Jika batas pengkorteran sudah mencapai batas maksimal, opsi terbaik adalah mengganti blok silinder dengan yang baru. Tabung silinder berbahan besi yang akan dipasang pada blok silinder harus sesuai dengan diameter dalam piston dan ringnya, serta diameter luar tabung dan diameter blok harus terpasang dengan kuat dan tidak ada celah antara keduanya. Sebelum dimasukkan ke dalam blok silinder, tabung silinder baru harus melalui proses heat treatment untuk meningkatkan kekuatan terhadap gesekan, tekanan, dan suhu tinggi saat mesin bekerja.

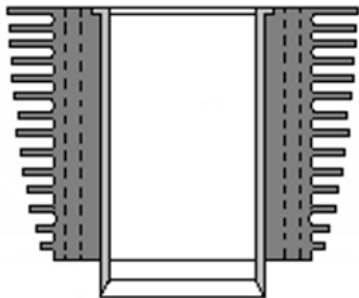
Proses modifikasi liner pada blok silinder berbahan aluminium alloy serupa dengan proses perubahan diameter pada blok silinder yang menggunakan silinder liner besi. Gambar 1 menunjukkan proses penggantian atau pemasangan tabung silinder besi ke dalam blok silinder yang tidak dapat diperbesar lagi. Setelah lubang silinder diperbesar sesuai dengan diameter luar tabung silinder besi yang akan dipasang, tabung silinder tersebut ditekan ke dalam blok silinder menggunakan mesin press manual atau hidrolik.

Tabung silinder dan lubang pada blok silinder dipasang dengan sambungan press fit, di mana kedua permukaan yang bertemu tidak memiliki celah atau lubang yang mengandung udara (Gambar 2). Adanya celah dan udara pada sambungan tersebut dapat menyebabkan perubahan dimensi saat mesin bekerja dan dapat mempengaruhi transfer panas pada dinding silinder. Selain itu, udara yang masuk dapat menyebabkan korosi pada pertemuan kedua bagian tersebut.

Modifikasi silinder dari aluminium menjadi besi merupakan pilihan yang tepat untuk memperbesar kapasitas atau diameter silinder secara ekstrim, terutama untuk sepeda motor yang digunakan dalam arena *drag race free for all*. Namun, untuk sepeda motor yang digunakan dalam road race, penggantian tabung silinder dengan bahan besi harus dilakukan dengan hati-hati agar transfer panas dapat berfungsi dengan baik saat mesin bekerja pada putaran tinggi dan dalam jangka waktu yang lama.



Gambar 1. Pemasangan tabung silinder besi pada blok aluminium alloy (Kian Santang, 2013)



Gambar 2. Penggantian silinder liner aluminium dengan tabung silinder besi (Kian Santang, 2013)

METODE PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian bahan dan peralatan yang digunakan, yaitu silinder motor Supra Fit, mesin bubut dan instalasi *Versatile Data Acquisition System* (VDAS) (Gambar 3). Adapun spesifikasi sepeda motor yang menjadi obyek penelitian, sebagai berikut:

Tipe	Mesin OHC, 4 langkah, pendinginan udara
Susunan silinder	Satu silinder, kemiringan 80° dari vertikal
Diameter x langkah	50 x 49.5 mm
Volume langkah	97.1 cc

Perbandingan kompresi	8.8 : 1
Daya maksimum	7.5 DK/8000 rpm (JIS)
Momen puntir maksimum	0.77 kg-m/6000 rpm
Kapasitas minyak pelumas	0.75 pada pergantian periodik 0.90 pada pembongkaran mesin
Sistem pelumasan	Pompa pelumas digunakan untuk menggerakkan sirkulasi minyak pelumas, sedangkan bak mesin berfungsi sebagai tempat penyimpanan minyak pelumas
Penggerak katup	Poros bubungan digerakkan rantai mesin
Sistem penegangan rantai	Bekerja secara otomatis
Klep masuk	Buka 2° sebelum TMA Tutup 25° sebelum TMB
Klep buang	Buka 33° sebelum TMB Tutup 0° sebelum TMA
Renggang klep	Masuk 0.05 mm Buang 0.05 mm
Kecepatan stasioner	1.400 ÷ 100 rpm
Berat mesin	22.7 kg

Persamaan-persamaan yang digunakan untuk menampilkan beberapa variabel unjuk kerja motor pada tampilan *software* VDAS adalah sebagai berikut: (Heywood, 2021)

Konsumsi bahan bakar (kg/s)

$$\dot{m}_{bb} = \frac{V_{gelas} \times \rho_{bb}}{t} \quad (1)$$

dimana, V_{gelas} = Volume gelas ukur (m^3); t = Waktu (s); dan ρ = Massa jenis bahan bakar (kg/m^3)

Kalor pembakaran (Watt)

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m} \times HHV_{bb} \quad (2)$$

dimana, HHV_{bb} = Nilai kalor atas bahan bakar (MJ/kg); dan Laju aliran massa udara (kg/s)

$$\dot{m}_{ud} = (0.6 \times \pi \times ((D_{ori})^2) / 4) \times \frac{\sqrt{2 \times p_o \times |\Delta p|}}{R \times (T_o)} \quad (3)$$

dimana, D_{ori} = Diameter orifice (m); p_o = Tekanan udara luar (Pa); T_o = Temperatur udara luar (K); dan Δp = Perbedaan tekanan Airbox (Pa)

Enthalpi udara masuk (watt)

$$H_{in} = \dot{m}_{ud} \times T_o \quad (5)$$

dimana, $\dot{m}_{ud}$ = Laju aliran massa udara (kg/s);
dan T_o = Temperatur udara luar (K).

Rasio udara – bahan bakar (AFR)

$$AFR = \frac{\dot{m}_{ud}}{\dot{m}_{bb}} \quad (6)$$

dimana, $\dot{m}_{ud}$ = Laju aliran massa udara (kg/s);
dan $\dot{m}_{bb}$ = Laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC)

$$SFC = \frac{\dot{m}_{bb}}{P} \quad (7)$$

dimana, $\dot{m}_{bb}$ = Laju aliran massa bahan bakar (kg/s); dan P = Daya motor (Watt).

Efisiensi thermal (η_{th})

$$\eta_{th} = \frac{P}{Q_{in}} \times 100\% \quad (8)$$

dimana, Q_{in} = Kalor yang dibutuhkan (Watt);
dan P = Daya motor (Watt).

Efisiensi volumetris (η_{vol})

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}_{ud} \times R \times T_o / p_o}{(V_s \times n) / z} \times 100\% \quad (9)$$

dimana, $\dot{m}_{ud}$ = Laju aliran massa udara (kg/s);
 V_s = Volume silinder (cc); n = Putaran motor (rpm); z = Jumlah siklus; p_o = Tekanan udara luar (mbar); dan T_o = Temperatur udara luar (°C)

Tekanan efektif rata-rata (BMEP)

$$BMEP = \frac{P \times z}{n \times V_s} \quad (10)$$

dimana, P = Daya motor (Watt); V_s = Volume silinder (m^3); n = Putaran motor (rpm); dan z = Jumlah siklus.



Gambar 3. Skema instalasi Versatile Data Acquisition System (VDAS)

HASIL DAN PEMBAHASAN

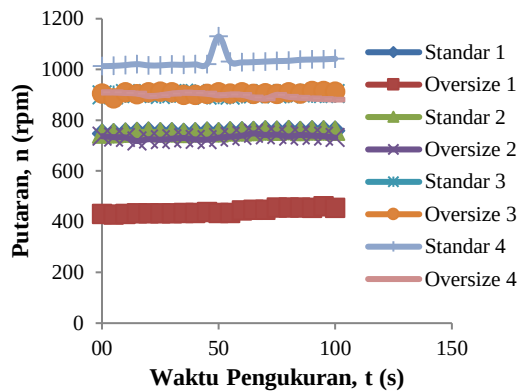
Dari hasil pengujian pada kondisi standar dan *oversize* dengan selang waktu pengukuran 10 detik hingga 100 detik diperoleh putaran yang bervariasi dengan tingkat kecepatan yang bervariasi seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Putaran motor rata-rata pada kondisi setelah *oversize* mengalami penurunan dibandingkan kondisi standarnya dengan penurunan sebesar 11,61% (492 rpm menjadi 441 rpm) untuk tingkat kecepatan gigi I, penurunan 2,90% (754 rpm menjadi 733 rpm) untuk tingkat kecepatan gigi II, kemudian naik menjadi 0,35% (903 rpm menjadi 906 rpm) untuk tingkat kecepatan gigi III, lalu putaran rata-rata motor turun sebesar 5,06% (1031 rpm menjadi 981 rpm) untuk tingkat kecepatan gigi IV.

Bervariasinya putaran motor diakibatkan berbagai faktor, di antaranya getaran motor yang dapat membuat posisi bukaan gas tidak pada posisi yang tetap, di samping itu juga dipengaruhi laju aliran air pada torsi meter tidak stabil karena tinggi permukaan air dalam tangki yang berubah-ubah.

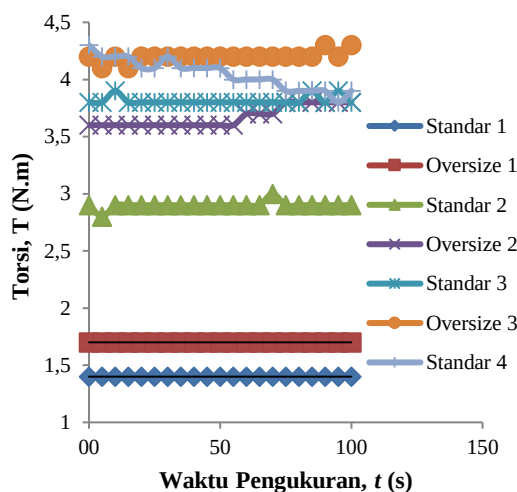
Torsi rata-rata yang terukur pada kondisi standar dan *oversize* dengan interval waktu pengukuran 100 detik dan kenaikan waktu setiap 10 detik, seperti ditunjukkan pada Gambar 5. dan tabel hasil perhitungan adalah bervariasi dimana pada tingkatan kecepatan gigi I, II, III dan IV terjadi kenaikan sebesar 10,11% hingga 33,29% (dari 1,4 N.m menjadi 1,7 N.m pada kecepatan gigi I dan 4,0 N.m

menjadi 5,4 N.m pada kecepatan gigi IV) setelah motor dioversize. Sedangkan jika ditinjau dari waktu pengukuran pada setiap pengujian dengan tingkat kecepatan yang bervariasi, menunjukkan kenaikan nilai torsi yang berubah mengikuti putaran motor, hal ini disebabkan kondisi motor yang telah dioversize membutuhkan torsi yang besar untuk mengatasi gesekan pada torak dan dinding silinder agar bisa saling menyesuaikan.

Daya motor merupakan fungsi dan torsi dan putaran motor, dimana nilainya tergantung pada kedua variabel tersebut. Gambar 6, menunjukkan kenaikan daya motor rata-rata setelah dioversize yang mencapai 9,22 Watt – 26,83-Watt pada setiap variasi tingkat kecepatan gigi *proseneling* motor.



Gambar 4. Hubungan waktu pengukuran (t) vs putaran motor (n)

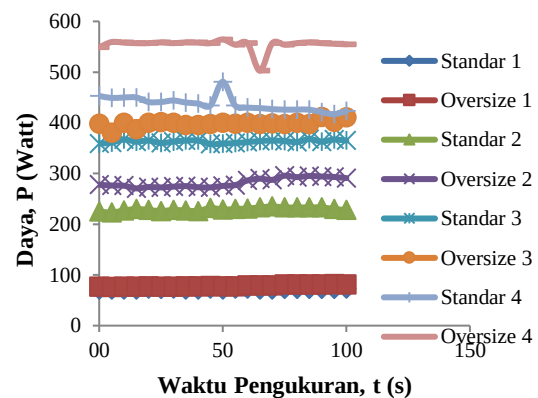


Gambar 5. Hubungan waktu pengukuran (t) vs torsi (T)

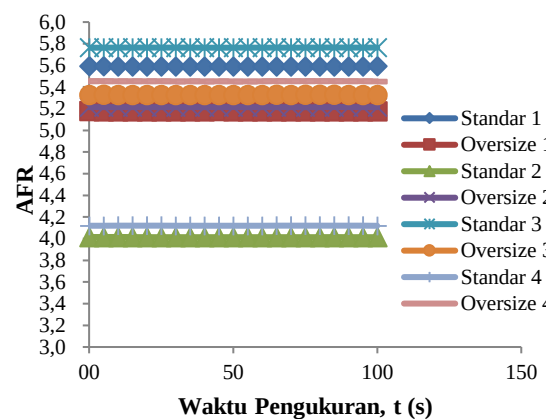
Terjadinya kenaikan nilai perbandingan udara dan bahan bakar (AFR) dari kondisi standar ke kondisi setelah motor dioversize, yaitu 7,39%

sampai dengan 32,37% (Gambar 7). Kenaikan ini dipengaruhi oleh bertambahnya kapasitas silinder motor setelah dioversize, sehingga laju aliran bahan bakar yang masuk akan bertambah pula. Hal ini terjadi pada masing-masing perlakuan tingkat kecepatan gigi transmisi motor. (Agus dkk, 2019)

Sedangkan jika ditinjau dari konsumsi bahan bakar spesifiknya (SFC) terlihat bahwa pada kondisi setelah motor dioversize mengalami penurunan rata-rata 1,25% hingga 18,97%. Penurunan ini disebabkan karena jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar lebih banyak dibandingkan udara segar yang dibutuhkan untuk dapat menghasilkan energi panas selama proses berlangsung, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



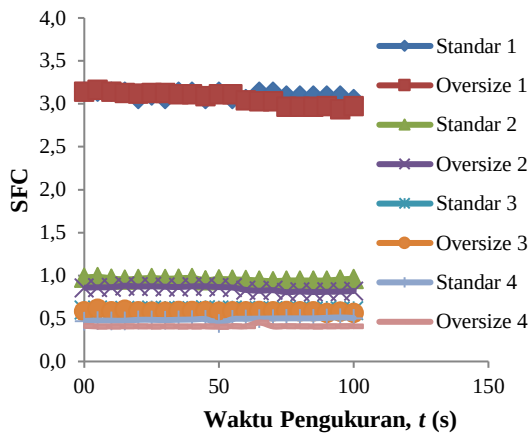
Gambar 6. Hubungan waktu pengukuran (t) vs daya motor (P)



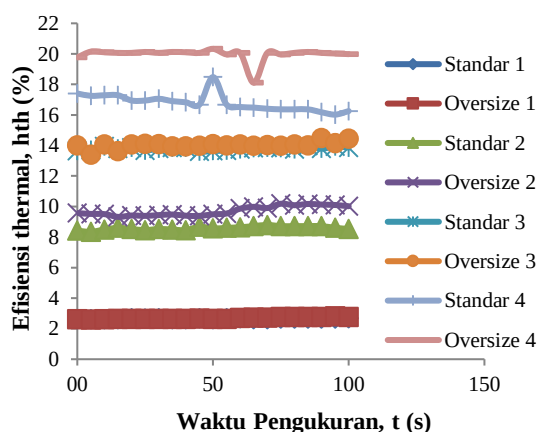
Gambar 7. Hubungan waktu pengukuran (t) vs AFR

Dengan menurunnya jumlah laju bahan bakar pada masing-masing tingkat kecepatan gigi transmisi I – IV pada setiap kondisi (Gambar 9), menunjukkan terjadinya kenaikan efisiensi thermal motor. Hal ini menyatakan bahwa seiring berkurangnya bahan bakar yang masuk

ke ruang bakar berarti udara segar yang dibutuhkan untuk membakar bahan bakar semakin banyak, sehingga campuran udara dan bahan bakar dapat terbakar lebih baik untuk menghasilkan panas dan daya motor. Untuk efisiensi volumetrisnya akan menurun mengikuti laju konsumsi bahan bakar ke dalam ruang bakar, hal ini berarti dengan bertambahnya tingkat kecepatan dari transmisi gigi pada motor, bahan bakar yang dibutuhkan akan berkurang (Rao dkk, 2015). Jika dibandingkan setelah motor di *oversize* terjadi peningkatan efisiensi volumetrisnya yang mencapai 10,47% hingga 33,99% yang berarti bahan bakar yang masuk setiap detiknya akan bertambah besar seiring dengan volume silinder motor yang telah diperbesar, ini ditunjukkan pada Gambar 10.



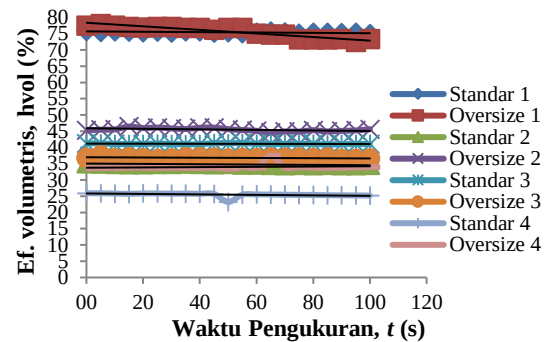
Gambar 8. Hubungan waktu pengukuran (t) vs SFC



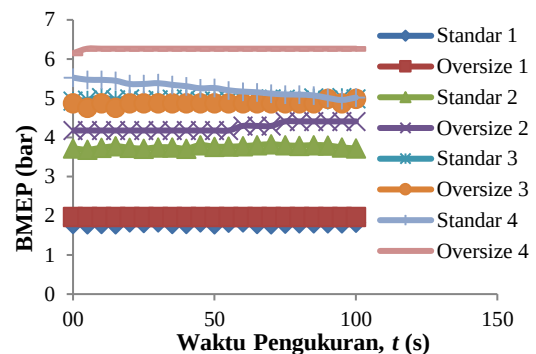
Gambar 9. Hubungan waktu pengukuran (t) vs efisiensi thermis (η_{th})

Dengan memperhatikan Gambar 11, kenaikan tekanan efektif rata-rata motor, baik pada kondisi yang sama maupun setelah motor

oversize. Peningkatan tekanan efektif rata-rata motor sebelum dan sesudah *oversize* berkisar antara 1,98% hingga 19,04%. Tekanan efektif rata-rata ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya kapasitas ruang bakar, maka energi panas yang dihasilkan juga meningkat yang memberikan tekanan gas untuk melaksanakan usaha (kerja) pada motor.



Gambar 10. Hubungan waktu pengukuran (t) vs efisiensi volumetris (η_{vol})



Gambar 11. Hubungan waktu pengukuran (t) vs BMEP

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pada kondisi standar, waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar 8 mL dengan waktu rata-rata 95,53 detik (gigi I); 97,00 detik (gigi II); 98,50 detik (gigi III) dan 99,62 detik (gigi IV). Untuk *oversize*, waktu rata-rata konsumsi bahan bakar 88,60 detik (gigi I); 89,30 detik (gigi II); 91,26 detik (gigi III) dan 93,40 detik (gigi IV). Pada kondisi standar, daya rata-rata (P) adalah 72 Watt (gigi I); 230 Watt (gigi II); 363 Watt (gigi III) dan 437 Watt (gigi IV). Ratio udara-bahan bakar (AFR) adalah 5,591 (gigi I); 4,014 (gigi II); 5,764 (gigi III) dan 4,120 (gigi IV). Pemakaian bahan bakar spesifik (SFC) adalah 3,105 kg/kWh (gigi I); 0,957 kg/kWh (gigi II); 0,596 kg/kWh (gigi III) dan 0,490 kg/kWh (gigi

IV). Efisiensi termal (η_{th}) adalah 2,647% (gigi I); 8,586% (gigi II); 13,793% (gigi III) dan 16,795% (gigi IV). Efisiensi volumetris (η_{vol}) adalah 75,424% (gigi I); 34,786% (gigi II); 41,11% (gigi III) dan 25,483% (gigi IV). Tekanan efektif rata-rata (BMEP) adalah 1,805 bar (gigi I); 3,760 bar (gigi II); 4,971 bar (gigi III) dan 5,241 bar (gigi IV). Untuk oversize, daya rata-rata (P) adalah 78,5-Watt (gigi I); 281,9-Watt (gigi II); 398,5-Watt (gigi III) dan 554,4 Watt (gigi IV). Ratio udara-bahan bakar (AFR) adalah 5,178 (gigi I); 5,215 (gigi II); 5,328 (gigi III) dan 5,454 (gigi IV). Pemakaian bahan bakar spesifik (SFC) adalah 3,067 kg/kWh (gigi I); 0,847 kg/kWh (gigi II); 0,586 kg/kWh (gigi III) dan 0,412 kg/kWh (gigi IV). Efisiensi termal (η_{th}) adalah 2,682% (gigi I); 9,708% (gigi II); 14,023% (gigi III) dan 19,970% (gigi IV). Efisiensi volumetris (η_{vol}) adalah 75,617% (gigi I); 45,483% (gigi II); 36,806% (gigi III) dan 33,995% (gigi IV). Tekanan efektif rata-rata (BMEP) adalah 1,972 bar (gigi I); 4,259 bar (gigi II); 4,872 bar (gigi III) dan 6,259 bar (gigi IV).

Saran

Untuk oversize selanjutnya disarankan untuk memperhatikan ketebalan dinding silinder dan materialnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan banyak terima kasih kepada Pimpinan Fakultas Teknik Universitas Cenderawasih atas dukungan Dana Hibah Penelitian PNPB Tahun Anggaran 2021, sehingga tulisan ini dapat terbit.

REFERENSI

- Aziz, M.S.A., dkk. (2013). *Analisis Penggunaan Piston Kharisma Pada Motor Supra Fit Terhadap Peningkatan Kinerja Compression Cylinder / CC*, <http://www.e-journal.ups.web.id/index.php/eng/article/download/84/90> diakses tanggal 10 Mei 2013.
- Amdani, (2013). *Studi Eksperimental Pengaruh Proses Oversize 100 Dengan Berbagai Kekasaran Permukaan Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin Dua Langkah*. <http://digilib.its.ac.id/studi-eksperimental-pengaruh-proses-oversize-100-dengan-berbagai-kekasaran-permukaan-terhadap-unjuk-kerja-motor-bensin-dua-langkah-12736.html> diakses tanggal 10 Mei 2013
- Heisler, H. (2021). *Advanced Engine Technology*. SAE International.

- Heywood, J.B. (2021). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill Education
- Mohamad, A.S., Kamel, A.M. (2020) Optimization of cylinder liner macro-scale surface texturing in marine diesel engines based on teaching-learning-based optimization algorithm. *Journal of Engineering Tribology*, 235(2).
- Rao, K.S., Srinivas, K., Vinay, B., Aditya, D., Krishna, K.V.V., Krishna, K.S.R. (2015). Analysis Of Engine Cylinder Liners. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2(9).
- Santang, K. (2013). *Modifikasi Cylinder Liner Sepeda Motor Jenis Rigid*, <http://www.motoracetuner.com/2013/03/prinsip-kerja-karburator.html> diakses tanggal 24 Juni 2013
- Tjahjono, A., Andromeda, V., Tazani, A. (2019). Impact Analysis of Oversize Cylinder Liner on Piston Ring and Surging for Main Engine. *Advances in Engineering Research*. Proceedings of the 11th Asia Pacific Transportation and the Environment Conference (APTE 2018).
- Utomo, T.W., dkk. (2013). *Unjuk Kerja Motor Bakar 4 Langkah Satu Silinder Dengan Variasi Bentuk Permukaan Torak*. <http://www.unsa.ac.id/ejournal/index.php/mesin/article/view/810/524>, diakses tanggal 10 Mei 2013.
- Wuryantoro, M. (2013). *Pengaruh Perubahan Dimensi Silinder (Oversize) dan Dimensi Exhaust Valve Terhadap Unjuk Kerja Mesin Bensin 4 Tak 1 Silinder*. <http://digilib.its.ac.id/ITS-NonDegree-3100009035913/7413> diakses tanggal 23 Juni 2013