

PENGARUH VARIASI SUDUT *BUTTERFLY VALVE* PADA PIPA GAS BUANG TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR BENSIN 4 LANGKAH

Oleh:

Avita Ayu Permanasari

Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang

E-mail: avitaayupermanasari@gmail.com

Abstrak. Motor bensin adalah mesin konversi energi yang banyak digunakan masyarakat luas sebagai alat transportasi. Sehingga para peneliti berusaha mencari cara untuk meningkatkan unjuk kerja dan efisiensi motor bensin. Salah satunya dengan penggunaan penghalang berupa *butterfly valve* pada *exhaust pipe* juga akan memberikan efek pada saat langkah kerja. Hal ini dikarenakan kenaikan tekanan dapat menahan mengalirnya laju aliran fluida kerja pada saat langkah kerja karena terbukanya katup buang sebelum TMB. Mengalirnya gas sebagai fluida kerja tersebut akan mengakibatkan menurunnya daya motor. Harapannya dengan penggunaan penghalang ini dapat mengurangi losses yang terjadi pada motor bensin. Pada penelitian variasi sudut *butterfly valve* kali ini variabel bebas yang digunakan adalah putaran. Sedangkan untuk variabel terikat berupa unjuk kerja motor bensin 4 langkah meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif. Dan hasil dari penelitian menunjukkan bahwa hasil unjuk kerja yang optimal dengan penggunaan penghalang jenis *butterfly valve* pada bukaan sudut 45° .

Kata Kunci: *butterfly valve*, unjuk kerja, motor bensin

Perkembangan teknologi otomotif dewasa ini demikian pesatnya sehingga menuntut kita berusaha untuk mendapatkan suatu mesin yang mempunyai unjuk kerja dan efisiensi tinggi. Tingkat unjuk suatu mesin tersebut berkaitan dengan daya yang dihasilkan oleh mesin, pemakaian konsumsi bahan bakar, serta efisiensi dari mesin tersebut. Pemakaian salah satu mesin penggerak mula yaitu motor bakar torak masih sangat dominan, dimana dihasilkan daya yang sampai saat ini masih dirasa mempunyai unjuk kerja yang cukup baik. Dalam proses pembakaran pada motor bakar torak dihasilkan gas buang yang dikeluarkan melalui pipa gas buang.

Gas buang yang dihasilkan tersebut masih dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan unjuk kerja dari mesin tersebut.

Proses pembuangan gas buang pada motor bakar torak sangat membantu meningkatkan unjuk kerja dari mesin. Pembuangan gas buang terjadi pada waktu katup buang membuka, dimana terjadi bagian tekanan rendah pada pipa gas buang, sehingga gas yang telah terbakar seolah-olah diisap oleh selisih tekanan antara ruang bakar dan *exhaust* selain akibat adanya dorongan torak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA). Kelancaran pembuangan gas buang dipengaruhi oleh saluran gas buang, tetapi

bukan berarti kelancaran tersebut akan membantu meningkatkan unjuk kerja dari mesin. Proses pembakaran pada motor bakar torak pada kenyataannya tidak pernah terjadi pembakaran yang sempurna, tetapi pada proses pembuangannya telah terjadi efek penghisapan sehingga menimbulkan penurunan tekanan yang lebih cepat yang menyebabkan gas buang lebih cepat keluar dari ruang bakar. Sebagai akibatnya dari pembakaran bahan bakar yang belum sempurna tersebut ikut terbawa keluar bersama gas buang. Hal ini menyebabkan campuran baru/ segar akan masuk lebih banyak yang tentunya akan menurunkan efisiensi dan unjuk kerja dari mesin.

Selain itu, perbedaan tekanan ini akan mengakibatkan kerugian yang besar akibat adanya mekanisme katup yang menyebabkan katup tidak dapat terbuka dan tertutup tepat pada saat torak berada pada TMA atau TMB, yaitu saat katup isap dan katup buang sama-sama dalam keadaan terbuka yang disebut *valve overlap*. Kondisi ini menyebabkan mengalirnya fluida kerja yang seharusnya digunakan untuk menghasilkan kerja, sehingga campuran udara & bahan bakar segar dari proses pemasukan akan mempunyai lintasan yang singkat untuk terbang ke saluran buang sebelum digunakan pada proses pembakaran untuk menghasilkan kerja. Untuk mengurangi kerugian yang terjadi di sisi buang tersebut diperlukan usaha untuk menaikkan tekanan di pipa gas buang yaitu dengan mengurangi kelancaran pembuangan gas buang. Alternatif untuk mengurangi kelancaran tersebut yaitu deng-

an pemasangan *valve* pada pipa gas buang. *Valve* ini diletakkan pada *exhaust pipe* pada jarak tertentu setelah katup buang yang terbuat dari logam dan mempunyai poros yang berfungsi untuk menggerakkan *valve* ini agar gas buang sedikit terhambat. Dari penjelasan di atas, membuat penulis ingin mengembangkan lagi penelitian tentang penggunaan *valve* pada *exhaust pipe* ini untuk mengetahui pengaruh penambahan *valve* jenis *butterfly valve* pada motor bensin merk Datsun dengan melihat beberapa parameter unjuk kerja pada motor bensin 4 langkah.

METODE

Penelitian ini menggunakan motor bensin, dengan spesifikasi mesin yang diuji adalah sebagai berikut :

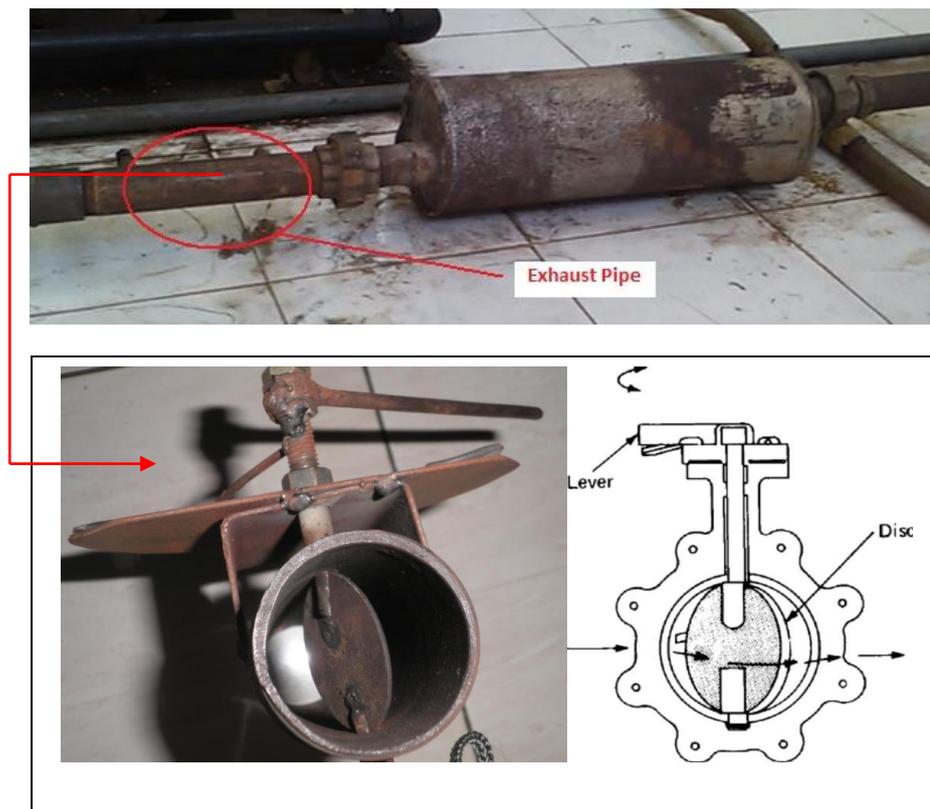
Merk, Buatan	: Datsun, Tokyometer Co. Ltd
Model	: GWE-80-100 hs.av
Volume Langkah Torak	: 1567 cc
Diameter Silinder	: 78 mm
Panjang Langkah Torak	: 82 mm
Perbandingan Kompresi	: 9 : 1
Daya Maksimum/putaran	: 80 Hp/ 5000 rpm
Bahan Bakar	: Premium



Gambar 1. Motor Bensin
Sumber: Laboratorium Motor Bakar

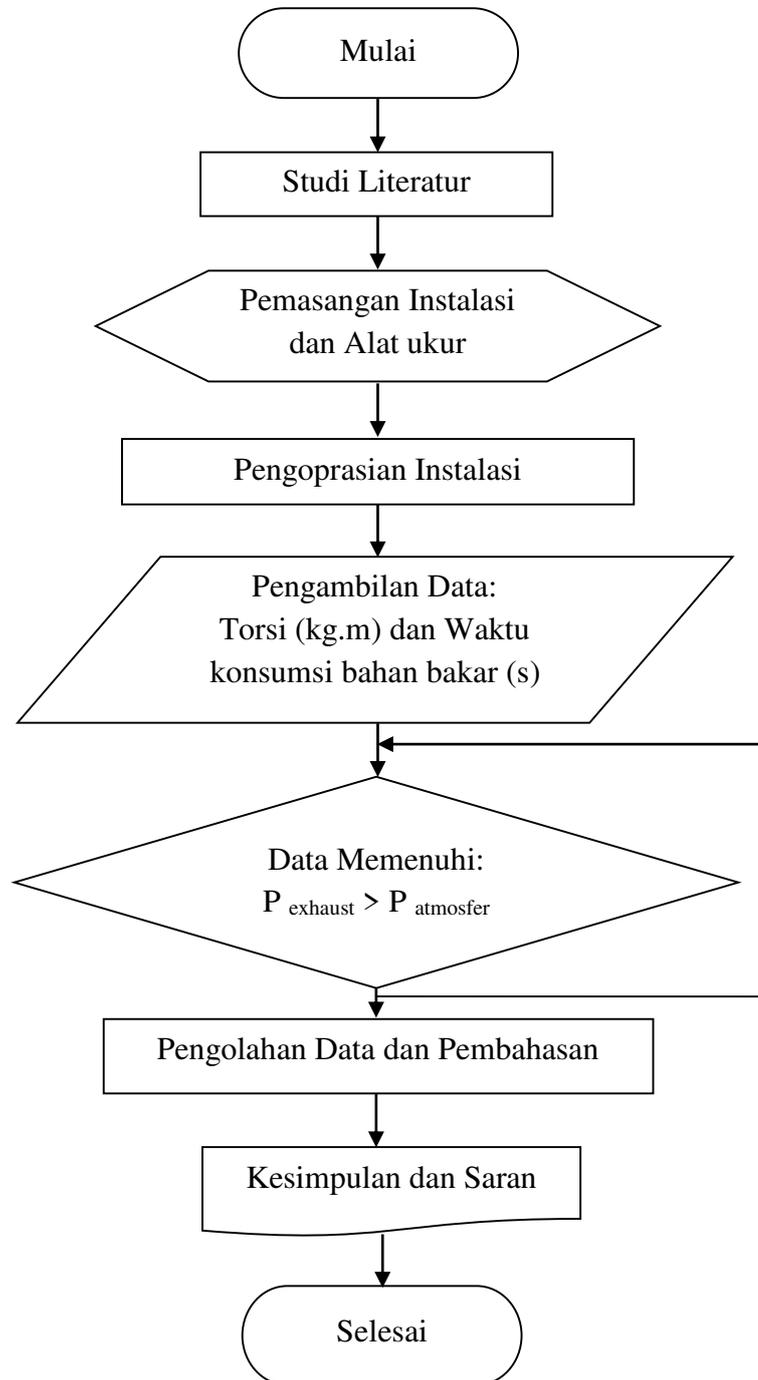
Penghalang yang digunakan dalam pengujian ini berupa *valve* jenis *butterfly valve* yang ditempatkan pada *exhaust pipe* (pipa saluran buangnya). *butterfly valve* ini bertujuan untuk mengembalikan sebagian gelombang tekan gas buang. Variasi sudut *butterfly valve* di saluran gas buang (gambar 2) berfungsi meningkatkan tekanan di saluran buang, terutama untuk meningkatkan tekanan aliran balik. Sehingga perbedaan tekanan gas buang saat berada di ruang silinder dan *exhaust pipe* menjadi lebih kecil.

Model rancangan penelitian dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui hubungan pengaruh variasi sudut pada *butterfly valve* pada pipa gas buang terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah agar hasil data yang diperoleh dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi. Rancangan penelitian ini (Tabel 1) merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian dan juga menentukan analisa yang tepat, sehingga didapat suatu analisa dan kesimpulan yang tepat.



Gambar 2. Penghalang Jenis *Butterfly Valve*

Secara umum langkah-langkah penelitian yang dilakukan seperti diagram alir yang terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1. Rancangan Penelitian

HASIL PENGOLAHAN DATA MESIN UJI DENGAN <i>BUTTERFLY VALVE</i> (45 ⁰ .60 ⁰ .75 ⁰) DAN TANPA PENGHALANG								
Bukaan throttle :			Suhu Udara :					
Kelembaban udara :			Tekanan atmosfer :					
No.	n (rpm)	F (kg)	t (detik)	Torsi (kg.m)	Ne (hp)	Pex (mmH ₂ O)	SFCE (kg/hp.jam)	η _e (%)
1								
2								
3								
4								
5								

HASIL DAN PEMBAHASAN

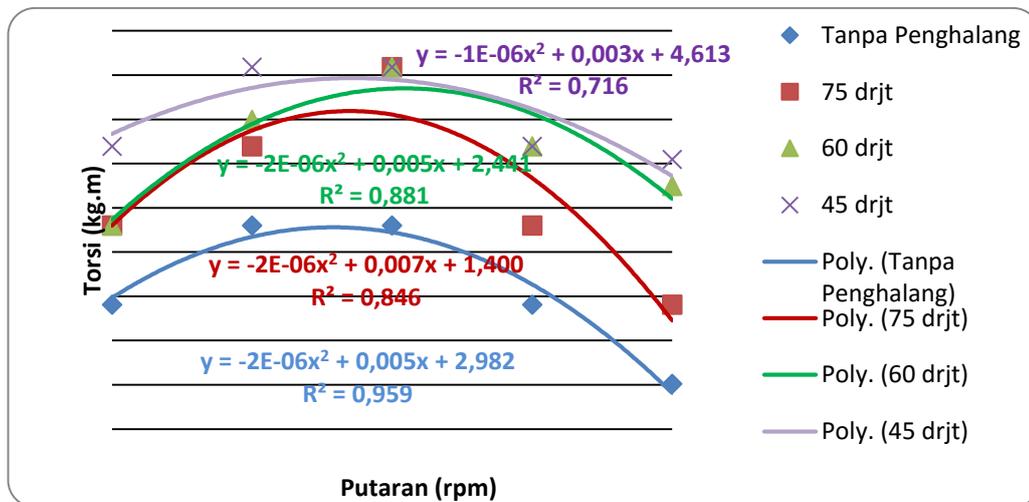
Pembahasan Grafik Hubungan antara Putaran dengan Torsi pada berbagai Variasi Sudut Butterfly Valve

Gambar 4 menunjukkan bahwa pada kondisi pengujian dengan *butterfly valve* pada sudut 45⁰, 60⁰, 75⁰ dan tanpa penghalang rata-rata torsi mengalami kenaikan sampai pada putaran 1700 rpm. Naiknya grafik menyatakan hubungan bahwa semakin besar putaran semakin besar torsi yang dihasilkannya karena besarnya torsi yang terjadi pada poros terjadi karena semakin meningkatnya konsumsi bahan bakar maka daya indikatornya pun akan meningkat, dimana daya indikator merupakan daya gas hasil pembakaran yang memiliki temperatur dan tekanan tinggi yang akan menggerakkan torak dari TMA ke TMB pada saat langkah ekspansi,

sehingga daya efektif yang merupakan daya yang dihasilkan oleh poros engkol akan semakin meningkat pula. Dengan demikian semakin meningkatnya daya efektif maka torsi yang dihasilkan akan meningkat pula. Pada putaran 1600 rpm, nilai torsi yang terjadi semakin menurun, karena semakin tinggi suatu putaran maka gesekan antara torak dan dinding silinder semakin banyak, sehingga kerugian mekanis akibat gesekan semakin besar. Semakin tinggi putaran poros mesin, gerakan buka tutup katup hisap pada langkah isap juga semakin cepat, hal ini menyebabkan campuran udara dan bahan bakar yang masuk kedalam ruang silinder semakin kecil, sehingga tekanan akhir kompresi akan menjadi kecil yang menyebabkan gaya dorong pada torak menjadi kecil, sehingga torsi yang dihasilkan kecil. Pemasangan penghalang berupa *butterfly*

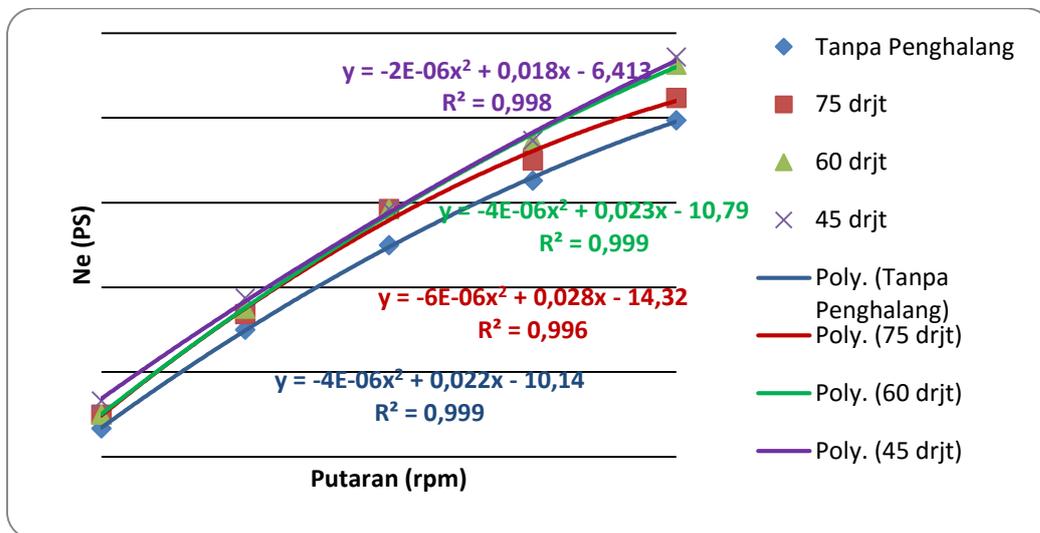
valve dengan bukaan sudut 45⁰ pada *exhaust pipe* memiliki nilai torsi yang paling besar diikuti oleh mesin dengan bukaan variasi sudut 60⁰, 75⁰, dan tanpa pemasangan penghalang. Hal ini dikarenakan dengan pemasangan penghalang berupa *butterfly valve* pada *exhaust pipe*, kerugian dari dalam silinder akibat keluarnya fluida kerja gas hasil pembakaran pada proses *blowdown* dapat dikurangi dengan terjadinya kenaikan tekanan gas buang pada *exhaust*, karena gas hasil pembakaran tersebut seharusnya digunakan untuk mendorong torak menuju titik mati bawah (TMB) untuk menyelesaikan

langkah kerja, sehingga torsi yang dihasilkan lebih besar pada kondisi mesin dengan pemasangan penghalang. Selain itu dengan pemasangan penghalang dapat menahan campuran bahan bakar dengan udara yang keluar ke atmosfer sata *valve overlap*, dimana karena adanya kenaikan tekanan pada *exhaust*, fluida kerja tersebut tidak keluar terlalu banyak dan akhirnya dapat digunakan pembakaran di ruang silinder yang nantinya akan menyebabkan gaya dorong pada torak menjadi lebih besar sehingga torsi menjadi lebih kecil.



Gambar 4. Grafik hubungan antara putaran dengan torsi pada berbagai variasi sudut *butterfly valve*

1. Pembahasan Grafik Hubungan antara Putaran dengan Daya Efektif pada berbagai Variasi Sudut Butterfly Valve



Gambar 5. Grafik hubungan antara putaran dengan daya efektif pada berbagai variasi sudut butterfly valve

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran maka daya efektifnya yang dihasilkan juga semakin besar karena adanya daya indikasi yang dihasilkan dari daya gas hasil pembakaran bahan bakar yang makin besar akibat putaran yang semakin tinggi yang akan menggerakkan torak dari TMA ke TMB pada saat langkah ekspansi.

Dari grafik hubungan antara putaran dengan daya efektif dapat dilihat bahwa mesin dengan pemasangan penghalang dengan variasi bukaan sudut butterfly valve 45⁰ mempunyai daya efektif yang lebih tinggi daripada dengan bukaan sudut 60⁰, 75⁰, dan tanpa pemasangan penghalang. Daya optimum yang dicapai pada pemasangan penghalang berupa butterfly valve dengan variasi sudut 45⁰ yaitu dengan

daya maksimum 21,43151 PS pada putaran 2100 rpm. Kemudian diikuti oleh kondisi mesin dengan variasi sudut 60⁰ sebesar 21,25656 PS, variasi sudut 75⁰ sebesar 20,46928 PS, dan tanpa pemasangan penghalang dengan daya maksimum 19,4443 PS pada putaran 2100 rpm. Hal ini disebabkan karena penghalang dapat berfungsi dengan baik untuk menahan campuran bahan bakar dan udara yang keluar atmosfir pada saat valve overlap, dimana fluida kerja tersebut tidak keluar terlalu banyak dan akhirnya dapat digunakan untuk pembakaran di ruang silinder yang nantinya akan menyebabkan gaya dorong pada torak mejadi lebih besar sehingga daya efektifnya pun juga meningkat. Semakin besar putaran diperkirakan gas buang yang dihasilkan pun juga

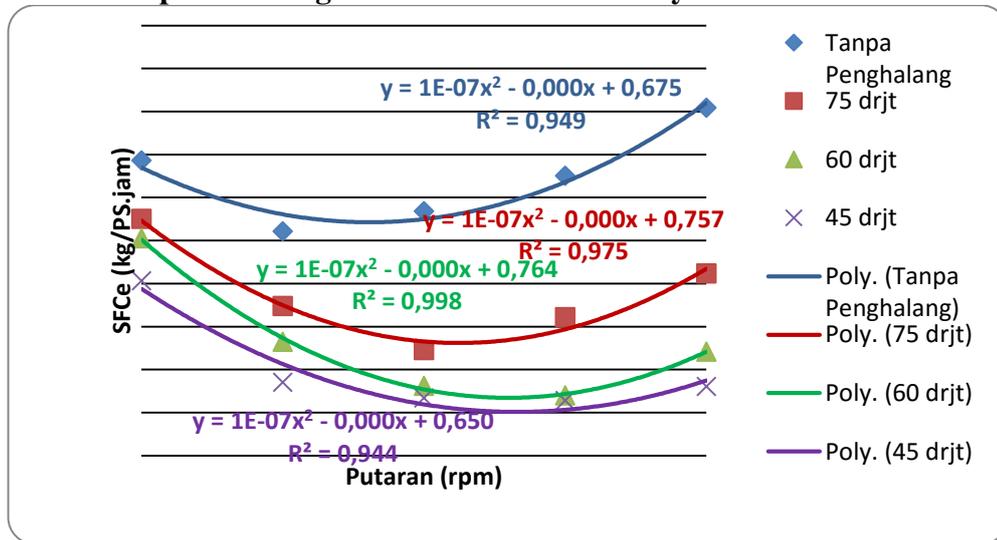
besar sehingga daya yang digunakan untuk menggerakkan poros engkol meningkat.

Peningkatan daya efektif yang terjadi tersebut disebabkan oleh kenaikan tekanan dan penurunan kecepatan aliran gas buang akibat dari pemasangan *butterfly valve* pada *exhaust pipe*. Kenaikan tekanan ini dapat menahan laju aliran fluida kerja pada langkah kerja, karena terbukanya katup buang sebelum TMB. Dengan naiknya tekanan pada *exhaust* dapat mencegah kehilangan kalor pada langkah kerja sehingga kerja yang dihasilkan meningkat. Kenaikan tekanan tersebut juga menaikkan kerja untuk mengeluarkan gas buang pada langkah buang. Bila kenaikan tekanan di *exhaust* dapat

menahan kerja yang hilang pada langkah kerja lebih besar dari kerja yang diberikan untuk mengeluarkan gas buang pada langkah buang maka daya yang dihasilkan lebih besar.

Selain itu meningkatnya daya efektif dikarenakan dengan pemasangan penghalang pada *exhaust*, pembakaran yang terjadi di dalam ruang silinder terjadi merupakan pembakaran yang sempurna. Hal ini ditunjukkan pada gambar grafik 4.5 dan 4.6, dengan menurunnya kandungan gas CO dan HC. Gas CO dan HC merupakan beberapa kandungan gas buang akibat dari pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna.

2. Pembahasan Grafik Hubungan antara Putaran dengan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif pada berbagai Variasi Sudut Butterfly Valve



Gambar 6. Grafik hubungan antara putaran dengan konsumsi bahan bakar spesifik efektif pada berbagai variasi sudut *butterfly valve*

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe) adalah banyaknya bahan bakar

yang digunakan untuk menghasilkan daya efektif tiap jamnya sehingga konsumsi ba-

han bakar spesifik efektif ini dapat digunakan untuk mengukur tingkat keekonomisan dari mesin, semakin rendah nilai SFCE maka mesin tersebut semakin ekonomis.

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran maka SFCE mengalami penurunan, penurunan ini terjadi karena semakin besar putaran maka konsumsi bahan bakar (FC) meningkat. Namun karena peningkatan daya efektif lebih besar dibandingkan peningkatan konsumsi bahan bakar menyebabkan konsumsi bahan bakar spesifik efektifnya menurun. Karena semakin tinggi putaran siklus yang terjadi menjadi semakin banyak dan konsumsi bahan bakar (FC) menjadi semakin besar. Hubungan antara konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCE), konsumsi bahan bakar (FC), dan daya efektif (Ne) ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$SFCE = \frac{FC}{Ne} \quad \text{dan} \quad FC = \frac{b}{t} \cdot \gamma \cdot t \cdot \frac{3600}{1000}$$

dengan :

SFCE = konsumsi bahan bakar spesifik (kg/hp.jam)

FC = konsumsi bahan bakar (kg/jam)

Ne = daya efektif (hp)

b = volume bahan bakar selama t detik (ml)

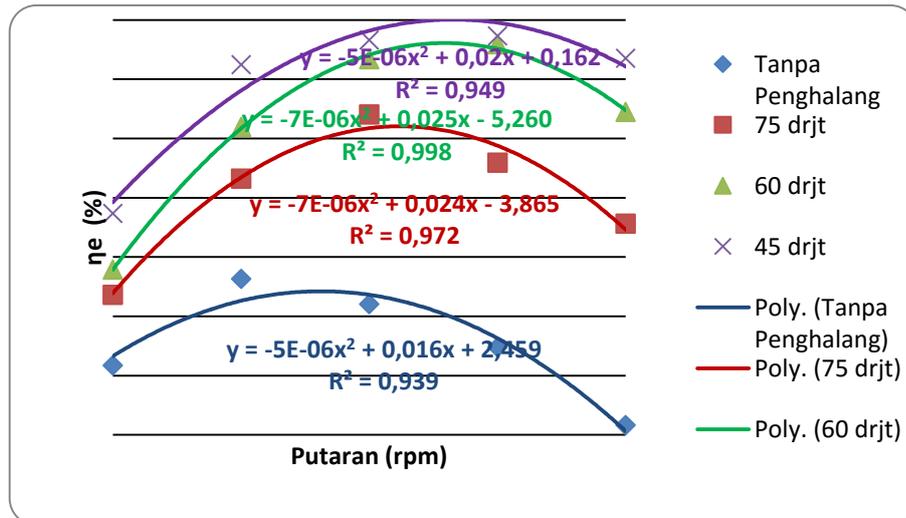
t = waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak b ml (detik)

γ = berat spesifik bahan bakar(kg/liter)

Dari grafik dapat dilihat bahwa penggunaan tanpa penghalang memiliki nilai SFCE paling besar diantara yang lain. Hal ini berarti bahwa dengan penggunaan tanpa penghalang berupa *butterfly valve* tidak ekonomis yang disebabkan daya yang dihasilkan lebih kecil daripada daya yang dihasilkan oleh penggunaan *butterfly valve* pada variasi sudut yang lain. Sedangkan penggunaan penghalang berupa *butterfly valve* dengan bukaan sudut 45° memiliki nilai SFCE yang paling kecil diantara jenis bahan bakar yang lain, hal ini menunjukkan bahwa dengan penggunaan penghalang berupa *butterfly valve* dengan bukaan sudut 45° memiliki nilai ekonomis yang paling tinggi, karena daya yang dihasilkan paling besar dengan konsumsi bahan bakar yang hampir sama dengan jenis variasi sudut yang lain.

Selain itu penggunaan penghalang memiliki nilai SFCE yang rendah karena pemakaian bahan bakar dalam proses pembakaran pada mesin dengan pemasangan penghalang lebih sedikit dibanding dengan konsumsi bahan bakar untuk mesin tanpa pemasangan penghalang dengan daya efektif yang lebih besar, sebagai akibat tertahannya *losses* dari dalam silinder pada saat *valve overlap* dan *exhaust blowdown*.

3. Pembahasan Grafik Hubungan antara Putaran dengan Efisiensi Termal Efektif pada berbagai Variasi Sudut Butterfly Valve



Gambar 7. Grafik hubungan antara putaran dengan efisiensi termal efektif pada berbagai variasi sudut butterfly valve

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya putaran maka efisiensi termal efektif yang dihasilkan meningkat sampai pada putaran tertentu kemudian mengalami penurunan, hal ini berlaku secara umum baik untuk penggunaan penghalang berupa butterfly valve dan tanpa penggunaan penghalang. Hal ini karena SFCe pada mesin dengan pemasangan penghalang lebih rendah atau daya yang dihasilkan lebih besar untuk konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit. Hubungan antara SFCe, daya efektif, dan konsumsi bahan bakar terhadap efisiensi termal efektif secara teoritis adalah:

$$\begin{aligned} \eta_e &= \frac{632 \cdot Ne}{FC \cdot Q_1} \cdot 100\% \\ &= \frac{632}{FC / Ne \cdot Q_1} \cdot 100\% \\ &= \frac{632}{SFCe \cdot Q_1} \cdot 100\% \end{aligned}$$

Dengan :

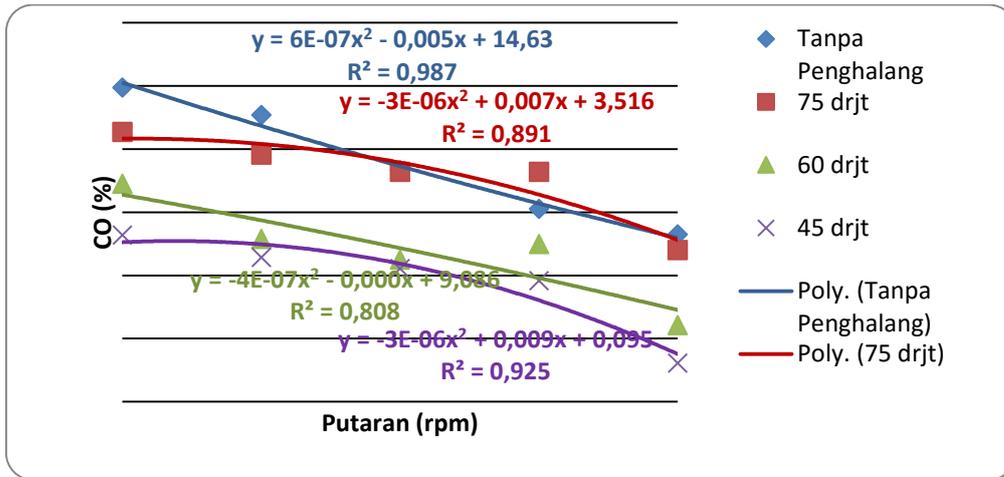
- η_e = efisiensi termal efektif (%)
- Q_1 = nilai kalor bawah bahan bakar (kcal/kg)

Selain itu meningkatnya efisiensi termal efektif disebabkan oleh berkurangnya kerugian mengalirnya campuran udara dan bahan bakar baru dari proses penghisapan akibat adanya valve overlap. Dimana campuran baru yang terbuang ke exhaust pada saat valve overlap dapat tertahan oleh peningkatan tekanan di exhaust, sehingga jumlah bahan bakar yang dapat dibakar pada proses pembakaran lebih banyak. Semakin tinggi putaran maka nilai efisiensi termal efektifnya menjadi semakin menurun hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran kerugian mekanis yang ditimbulkan oleh gesekan piston dan dinding piston semakin tinggi yang menyebabkan daya efektif yang dihasilkan juga semakin turun. Semakin tinggi putaran, campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam ruang silinder semakin kecil yang disebabkan mekanisme buka tutup katup masuk yang semakin cepat sehingga kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran semakin kecil dan daya efektifnya juga semakin kecil. Serta semakin tinggi

putaran pembakaran yang terjadi adalah pembakaran cepat sehingga energi yang dilepaskan dari pembakaran tidak optimal sehingga efisiensi termal semakin menurun.

Dari hasil pengujian diperoleh nilai efisiensi termal efektif yang optimal pada penggunaan penghalang berupa butterfly valve dengan sudut 45⁰ pada putaran 1900 rpm sebesar 18,36554%.

4. Pembahasan Grafik Hubungan antara Putaran dengan Emisi gas CO pada berbagai Variasi Sudut Butterfly Valve



Gambar 8. Grafik hubungan antara putaran dengan emisi gas CO pada berbagai variasi sudut butterfly valve

Dari gambar 8 menunjukkan hubungan putaran dengan emisi gas CO menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran, kadar emisi gas CO yang dihasilkan menurun. Hal ini disebabkan karena pada putaran yang relatif rendah, campuran udara dan bahan bakar yang terjadi cukup baik sehingga pembakaran yang terjadi lebih baik, sehingga emisi gas CO yang dihasilkan semakin menurun.

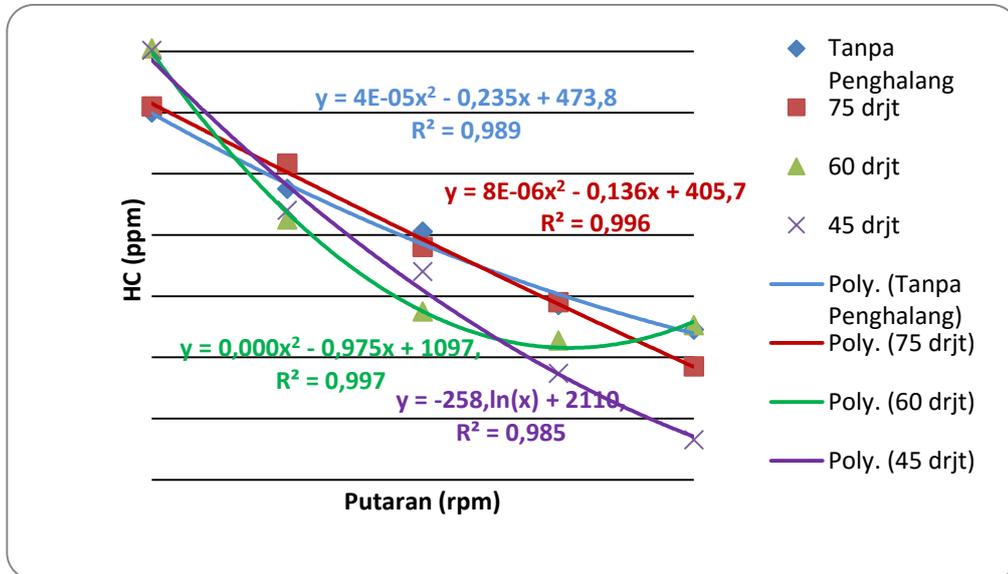
Pada pengujian emisi gas CO tertinggi adalah tanpa penggunaan penghalang pada putaran 2100 rpm sebesar 8,8975%. Hal ini disebabkan karena pada saat valve overlap dan exhaust blowdown,

banyak campuran udara dan bahan bakar yang keluar atmosfer karena tekanan di exhaust yang rendah sehingga pembakaran tidak dapat berlangsung secara sempurna dan menghasilkan emisi gas CO.

Sedangkan dengan penggunaan butterfly valve dengan variasi sudut 75⁰, 60⁰, dan 45⁰ memiliki emisi gas CO yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa penghalang karena dengan penggunaan penghalang maka tertahannya losses yang terjadi pada saat valve overlap dan exhaust blowdown. Sedangkan pada putaran yang relatif rendah campuran yang terjadi adalah campuran miskin (excess air), sehingga

emisi gas yang paling banyak dihasilkan yaitu gas CO₂.

5. Pembahasan Grafik Hubungan antara Putaran dengan Emisi gas HC pada berbagai Variasi Sudut Butterfly Valve



Gambar 9. Grafik hubungan antara putaran dengan emisi gas HC pada berbagai variasi sudut butterfly valve

Dari gambar 9 hubungan putaran dengan emisi gas HC menunjukkan kecenderungan bahwa semakin tinggi putaran maka emisi gas HC mengalami penurunan sampai pada putaran tertentu kemudian mengalami kenaikan seiring bertambahnya putaran. Hal ini dikarenakan pada saat putaran rendah campuran bahan bakar dan udara cukup baik, sehingga pembakaran yang terjadi lebih baik. Oleh karena itu emisi gas HC yang dihasilkan semakin menurun. Akan tetapi setelah melewati putaran tertentu emisi gas HC naik lagi pada penggunaan variasi sudut 60°. Hal ini disebabkan semakin tinggi putaran pada range putaran yang relatif tinggi, menghasilkan campuran kaya akan bahan bakar sehingga banyak bahan bakar

yang tidak terbakar dan menghasilkan emisi gas HC yang keluar melalui saluran pembuangan.

Sedangkan penggunaan beberapa variasi sudut yaitu 75°, 60°, dan 45° memiliki kadar emisi gas HC yang rendah jika dibandingkan dengan penggunaan tanpa penghalang. Hal ini dikarenakan adanya peningkatan tekanan pada exhaust sehingga losses yang terjadi pada saat valve overlap dan exhaust blowdown dapat tertahan. Meskipun pada saat variasi sudut 60° pada saat putaran tinggi meningkat tetapi rata-rata nilai kandungan emisi gas HC masih di bawah penggunaan tanpa penghalang.

KESIMPULAN

Penggunaan penghalang berupa *butterfly valve* pada pipa gas buang mempunyai pengaruh yang nyata terhadap unjuk kerja motor bensin empat langkah yang meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan emisi gas buang berupa CO dan HC. Pada putaran antara 1300 – 2100 rpm dengan variasi sudut *butterfly valve* yang optimal untuk unjuk kerja adalah dengan

variasi sudut *butterfly valve* sebesar 45° . Hal ini dikarenakan dengan pemasangan penghalang kerugian dari dalam silinder akibat keluarnya fluida kerja gas hasil pembakaran pada proses *exhaust blowdown* dan berkurangnya kerugian campuran udara dan bahan bakar baru dari proses penghisapan akibat adanya *valve overlap* dapat dikurangi dengan terjadinya kenaikan tekanan gas buang pada *exhaust*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 1996. *Petunjuk Praktikum Motor Bakar*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Arismunandar, W. 1985. *Motor Diesel Putaran Tinggi*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Arismunandar, W.. 1994. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Bandung: Penerbit ITB.
- Crouse, William H.. 1959. *Automotive Engines*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Maleev, V. L.. 1973. *Internal Combustion Engines*. Singapore: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Milton, Brian E.. 1995. *Thermodynamics, Combustion and Engines*. Madras: Chapman and Hall.
- Pulkrabek, Willard W.. 1997. *Engineering Fundamentals of The Internal Combustion Engine*. New Jersey: Prentice Hall International, Inc.,
- Soenarta, N.. 1985. *Motor Serba Guna*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.