

Analisis Perubahan Diameter Base Circle Camshaft Terhadap Emisi Gas Buang Sepeda Motor

Yuniarto Agus Winoko¹, Muhammad Nanda Ridhoi²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

¹dhimazyuni@gmail.com, ²nandaridhoi@gmail.com

Abstrak

Camshaft adalah komponen untuk mengatur pembukaan dan penutupan poros katup sesuai urutan atau waktu yang telah ditentukan. Pada camshaft terdapat base circle yang merupakan titik terendah dari lobe. Base circle (lingkar dasar) adalah posisi pada saat katup dalam keadaan tertutup. Perubahan ukuran base circle mempengaruhi lift cam. Semakin kecil ukuran base circle memungkinkan lift cam lebih tinggi. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dan untuk analisis menggunakan two-way anova. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui selisih nilai hasil emisi gas buang antara standar dengan modifikasi, menganalisis perubahan emisi gas buang dan menentukan diameter base circle yang optimal. Pengujian emisi gas buang kendaraan menggunakan alat uji emisi standar, menggunakan bahan bakar oktan 90, memvariasikan ukuran diameter base circle camshaft 20.6 mm, 20.4 mm, 20.1 mm, dan 20 mm, serta putaran mesin mulai dari 1000 hingga 5000 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan yang paling efisien adalah camshaft modifikasi 4 dengan diameter 20 mm, efektif digunakan untuk pengoperasian pada ≤ 1000 rpm, dengan penurunan kadar HC 23.89%; penurunan kadar CO 14,02%; kenaikan kadar O₂ 3,97%; dan penurunan kadar CO₂ 13,30%. Oleh karena itu dapat disimpulkan emisi gas buang hasil proses pembakaran berkurang signifikan.

Kata-kata kunci : lift, emisi gas buang, base circle, dan camshaft

I. PENDAHULUAN

Camshaft adalah komponen motor bakar 4-langkah yang berfungsi menekan rocker arm yang selanjutnya mengatur gerakan katup yang mengatur sirkulasi campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar maupun mengatur gas hasil pembakaran dari ruang bakar. Pada motor 4-langkah terdapat dua jenis katup, yaitu katup hisap (intake valve) dan katup buang (exhaust valve). Katup hisap berfungsi untuk mengatur masuknya aliran campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam silinder motor, sedangkan katup buang berfungsi mengatur aliran keluar gas buang dari silinder motor. Terdapat tiga hal pokok pada rancangan camshaft yang mengontrol kurva tenaga dari mesin yaitu tinggi angkat katup (valve lift), durasi pembukaan katup (valve open duration), dan saat kerja katup (valve timing). Tinggi angkat katup (valve lift) diukur pada seperseribu inchi dan merupakan jarak maksimum katup terangkat dari dudukannya. Durasi pembukaan katup adalah lamanya waktu yang diukur dalam derajat pada putaran poros engkol selama katup terbuka (David Wizard, 1990:49). Saat kerja katup (valve timing) adalah saat membuka dan menutupnya katup. Lingkaran dasar (base circle) adalah bagian bulat lobus cam di mana penyesuaian katup dibuat. Sedikit titik tinggi pada lingkaran dasar disebut akhir lingkaran dasar.

Mengubah durasi camshaft dilakukan dengan cara menerapkan teknik menambah durasi dan menambah tinggi bukaan katup dapat meningkatkan tenaga pada putaran bawah tetapi tidak mengorbankan putaran atas. Pengaruh efektifitas dari proses pemasukan bahan bakar maupun pembuangan gas buang yang menentukan kualitas proses pembakaran (Kristianto, 2014). Perubahan durasi camshaft selain mempengaruhi daya dan torsi juga mempengaruhi emisi gas buang yang dihasilkan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Sebelumnya

Andrianto (2014) melakukan penelitian berjudul "Pengaruh Penggunaan Camshaft Standart Dan Camshaft Racing Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin Empat Langkah" dan menyimpulkan bahwa daya maksimal 14.11 hP pada 8000 rpm, torsi maksimal 18.72 Nm pada 6500 rpm. Pada camshaft racing menghasilkan daya maksimal 14.77 hP pada 8000 rpm dan torsi maksimal 19.05 Nm pada 7500 rpm.

Mulyono dkk (2005) melakukan penelitian dengan memodifikasi camshaft kendaraan Shogun 125 SP untuk mengetahui perbedaan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Durasi standard camshaft untuk katup hisap membuka pada 17° sebelum TMA dan menutup pada 66° sebelum TMB. Durasi katup hisap menjadi

$17^\circ + 180^\circ + 66^\circ = 263^\circ$. Durasi *standard camshaft* katup buang membuka pada 63° sebelum TMB dan menutup 34° setelah TMA, durasi katup buang menjadi $63^\circ + 180^\circ + 34^\circ = 277^\circ$. Setelah *camshaft* dirubah, durasi katup hisap dan buangnya dibuat sama menjadi 255° . Hasil dari penelitian tersebut ialah terjadi peningkatan konsumsi bahan bakar 110 ml untuk jarak tempuh 100 km, peningkatan emisi gas buang CO 4,187%, peningkatan emisi gas buang HC 2479,663 ppm.

Yoshia F. (2012) melakukan penelitian dengan judul "Analisa Pengaruh Perubahan Tinggi Buka-an Katup Terhadap Kinerja Motor Bakar Otto". Menyimpulkan bahwa penggunaan *camshaft* kondisi satu dimana *camshaft* dengan nilai angka *intake lift* 4 mm dan *exhaust lift* 3,95 mm, efektif digunakan untuk motor bakar pada putaran mesin < 5000 RPM, dengan penurunan kadar CO 42.07%, kenaikan kadar 5 CO_2 5.58%, penurunan kadar HC 21.63%, kenaikan kadar O_2 3.54%, penurunan daya yang kecil yaitu 1.92%, dan penurunan konsumsi bahan bakar 9.95%.

Penelitian Darmawangsa dan Sudarmanta (2016) yang berjudul "Analisis Pengaruh Penambahan Durasi *Camshaft* terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang pada Engine Sinjai 650 cc". Variasi durasi akan dilakukan pada kedua *cam*, yang dibagi menjadi 248° (*standard*), 254° , 260° , 266° , 272° , dan 278° . Penambahan durasi dilakukan secara simetris 3° pada poros engkol sebelum katup membuka dan setelah katup menutup sehingga tidak ada perubahan pada *Lobe Separation Angle (LSA)*. Metode penelitian ini menggunakan dua tahapan, yaitu metode simulasi menggunakan LOTUS *Engine Simulation* pada engine SINJAI 650 cc *SOHC Port Injection*, diperoleh durasi *camshaft* terbaik yaitu 260° pada putaran tinggi dengan peningkatan torsi 0,908%, efisiensi volumetris 1,003% dan penurunan *bsfc* 0,252 dari *cam shaft* standard 248° pada putaran tinggi. Menurut hasil eksperimen, perbandingan unjuk kerja dari durasi *camshaft* 248% dan 260%, terjadi peningkatan torsi 5,53%, daya 5,53%, *bmep* 5,53%, efisiensi *thermal* 14,58%, efisiensi volumetris 2,04% dan penurunan *bsfc* 17,905%, emisi CO 5,183%, dan emisi HC 7,578%.

B. Motor Bakar

Motor bakar adalah salah satu mesin kalor yang bekerja mengubah energi *thermal* menjadi energi mekanik. Energi *thermal* ini diperoleh dari hasil pembakaran antara bahan bakar dan udara didalam ruang bakar. Gas hasil proses pembakaran ini kemudian digunakan untuk mendorong piston yang dihubungkan dengan poros engkol melalui perantara sebuah batang penghubung (*connecting rod*), sehingga gerak translasi dari piston diubah menjadi gerak rotasi pada poros engkol.

C. Motor Bensin

Motor bensin merupakan suatu motor yang menghasilkan tenaga dari proses pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar. Karena pembakaran ini berlangsung di dalam ruang bakar maka motor ini di

kategorikan pesawat kalor dengan pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*).

Motor bensin di lengkapi dengan busi dan karburator. Karburator dalam motor bensin merupakan suatu tempat pencampuran bahan bakar dan udara agar terjadi campuran berbentuk gas supaya dapat terbakar oleh percikan bunga api busi dalam ruang bakar. Setelah pencampuran udara dan bahan bakar berbentuk gas kemudian campuran tersebut dari karburator di hisap ke dalam ruang bakar melalui katup masuk. Di dalam ruang bakar loncatan bunga api listrik dari busi menjelang akhir langkah kompresi membakar campuran tersebut sehingga terjadilah pembakaran yang kemudian menghasilkan daya motor.

Motor bensin dibedakan menjadi 2 jenis yaitu motor bensin 4-langkah dan motor bensin 2-langkah. Motor bensin 2-langkah adalah motor bensin yang memerlukan 2 kali langkah torak atau 1 kali putaran poros engkol untuk menghasilkan 1 kali pembakaran dan 1 kali langkah kerja. Motor bensin 4-langkah adalah motor bensin yang memerlukan 4 kali langkah torak atau 2 kali putaran poros engkol untuk menghasilkan 1 pembakaran dan 1 langkah kerja. Siklus kerja 4-langkah ini dipertemukan pertama kali oleh seorang ilmuwan Jerman bernama *Nicholas August Otto* pada tahun 1876.

D. Kepala Silinder Mesin Empat Langkah

Kepala silinder mesin empat langkah bentuknya lebih besar bila dibandingkan dengan kepala silinder mesin dua langkah, yang mana pada konstruksi kepala silinder mesin empat langkah terdapat komponen-komponen sebagai berikut:

1. Katup (*Valve*)
2. *Camshaft*
3. Sirip Pendingin (*Fin*)
4. Ruang Bakar (*Combustion Chamber*)
5. Dudukan Busi
6. *Inlet Port* dan *Exhaust Port*

E. *Camshaft*

Fungsi dari *camshaft* ini adalah sebagai pengatur waktu pembukaan dan penutupan katup masuk/hisap dan katup buang.

Menurut *Des Hammill (How To Choose Camshaft And Time Them For Maximum Power, 1998)*, ada beberapa bagian *lobe* pada individu *camshaft* yang harus jelas dibedakan antara satu dengan yang lain, karena *lobe* dibagi menjadi masing-masing bidang yang berbeda, yaitu: *heel* (tumit), *nose* (hidung), *base circle* (lingkaran dasar), *opening and closing ramps* (titik waktu buka dan tutup) dan *flanks* (sayap).

F. Bahan Bakar

Pertalite merupakan Bahan bakar minyak (BBM) yang memiliki kadar *Research Octan Number (RON)* 90. RON 90 membuat pembakaran pada mesin kendaraan dengan teknologi terkini lebih baik dibandingkan dengan premium yang memiliki RON 88.

Untuk membuat pertalite komposisi bahannya adalah nafta yang memiliki RON 65-70, agar bisa

menjadi RON 90 maka dicampurkan *HOMC* (*High Octane Mogas Component*), *HOMC* bisa juga disebut *Pertamax*, percampuran *HOMC* yang memiliki RON 92-95, selain itu juga ditambahkan zat aditif *EcoSAVE*. Zat aditif *EcoSAVE* ini bukan untuk meningkatkan RON tetapi agar mesin menjadi bertambah halus, bersih, dan irit. Zat aditif yang diberikan pada pertalite membuat kualitasnya ada di atas premium dan bersaing dengan *pertamax*. *Pertalite*, tidak berwarna sebagai dampak pencampuran bahan premium dengan *pertamax*. (Jannah, 2015)

G. Emisi Gas Buang

Emisi adalah zat, energi atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk atau dimasukkannya ke dalam udara yang mempunyai atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar.

Gas buang adalah hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin pembakaran yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin. Sisa hasil pembakaran berupa air (H₂O), gas CO atau disebut juga Karbon Monoksida yang beracun, CO₂ atau disebut juga Karbon Dioksida yang merupakan gas rumah kaca, NO_x atau Nitrogen Monoksida yaitu senyawa nitrogen oksida, Senyawa timah hitam (Pb) dan HC berupa senyawa Hidrat arang sebagai akibat ketidak sempurnaan proses pembakaran serta partikel lepas. Pada negara-negara yang memiliki standar emisi gas buang kendaraan yang ketat, ada 5 unsur dalam gas buang kendaraan yang akan diukur yaitu senyawa HC, CO, CO₂, O₂ dan senyawa NO_x. Pada negara-negara yang standar emisinya tidak terlalu ketat, hanya mengukur 4 unsur dalam gas buang yaitu senyawa HC, CO, CO₂ dan O₂. Dalam mendukung usaha pelestarian lingkungan hidup, negara-negara di dunia mulai menyadari bahwa gas buang kendaraan merupakan salah satu polutan atau sumber pencemaran udara terbesar, oleh karena itu gas buang kendaraan harus dibuat “sebersih” mungkin agar tidak mencemari udara. Gas buang kendaraan yang dimaksud disini adalah gas hasil proses pembakaran yang dibuang ke udara bebas melalui saluran buang kendaraan.

H. Alat Penganalisis Gas Buang

Saat ingin mengetahui mengenai kandungan apa saja yang terdapat pada gas buang mesin kendaraan kita, maka dibutuhkan alat uji emisi gas buang atau biasa yang disebut *exhaust gas analyzer*. Alat tersebut sangat penting dalam perkembangan dunia otomotif, selain sebagai pembaca kadar emisi gas buang suatu mesin kendaraan, dapat juga dijadikan salah satu acuan mengenai kondisi dari mesin kendaraan tersebut, apakah dalam kondisi baik atau tidak baik.

III. METODOLOGI PENELITIAN

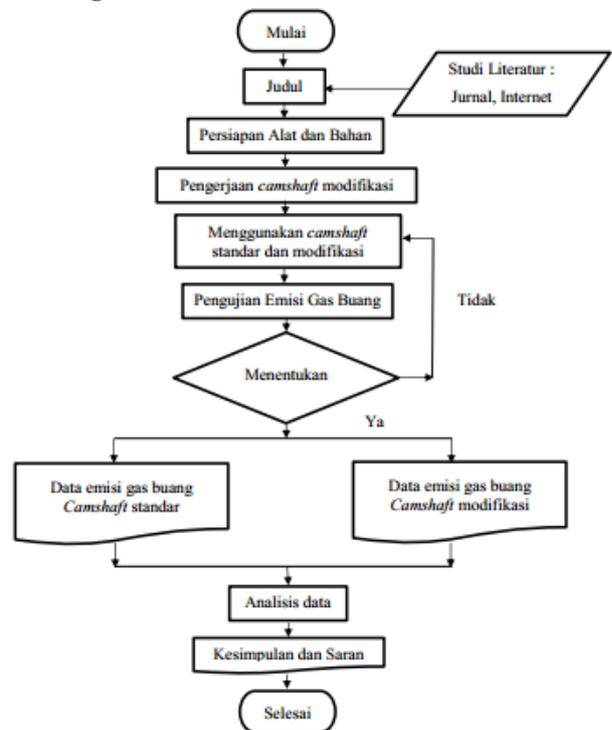
I. Engine yang Digunakan

Berikut spesifikasi *engine* sepeda motor karburator dengan silinder 113.7 CC yang menjadi acuan dalam penelitian:

Tabel 1. Spesifikasi Engine

Tipe Mesin	: 4 Langkah, SOHC 2-Klep Pendingin Udara AIS (Air Induction System) EURO 2 Ready
Diameter x Langkah	: 50.0 x 57.9 mm
Volume Silinder	: 113.7 cc
Susunan Silinder	: Tunggal
Perbandingan Kompresi	: 8.8 : 1
Power Max	: 6.54 Km (8.9 ps) / 8,000 rpm
Torsi Max	: 7.84 Nm (0.88 kgf.m) / 7,000 rpm
Sistem Pelumasan	: Wet Sump
Oli Mesin	: 0.9 Liter
Karburator	: NCV24x1 (Keihin)
Transmisi	: V-Belt Otomatis
Kopling	: Kering, Sentrifugal Otomatis
Caster / Trail	: 26.5 derajat/ 100 mm
Rasio Gigi	: 2.399 - 0.829
Sistem Starter	: Kick & Electric

J. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir

Dalam penelitian ini akan dilakukan pengambilan data sesuai dengan variabel bebas modifikasi diameter base circle camshaft yaitu: Standar, 20.6 mm, 20.4 mm, 20.1 mm, dan 20 mm. Variabel terikatnya yaitu: kadar emisi gas buang HC, CO, CO₂, dan O₂. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah putaran mesin 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, dan 5000 rpm.

K. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

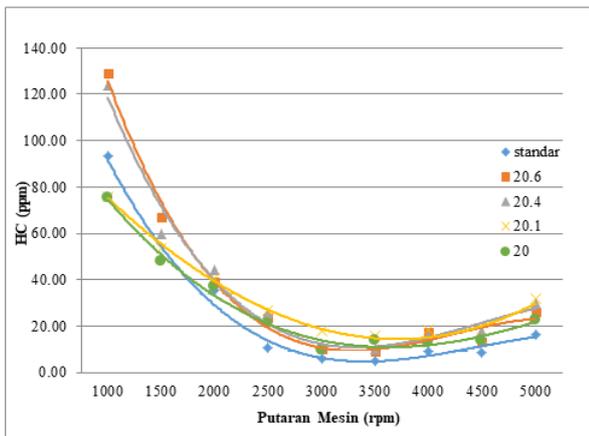
- Alat
 1. Mesin Bubut
 2. Busur Derajat

3. Dial Indikator
4. Toolbox
5. Laptop
6. Printer
7. Gas Analyzer
8. Tachometer

- Bahan
 1. Camshaft Standar
 2. Camshaft Modifikasi
 3. Peralite
 4. Engine Sepeda Motor 113.7 cc

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

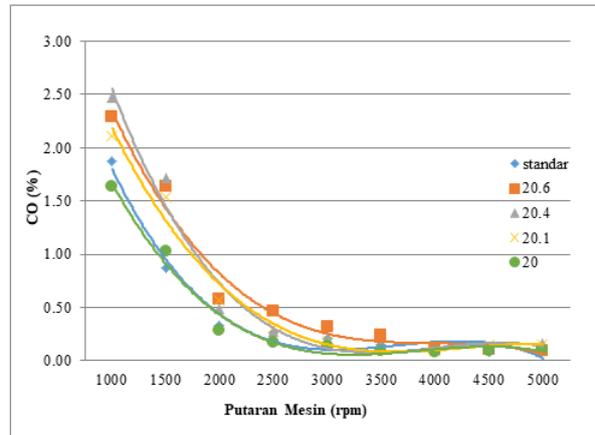
L. Analisa Grafik HC vs Putaran



Gambar 2. Grafik hasil uji emisi HC vs Putaran

Grafik di atas menunjukkan adanya perubahan gas Hidrokarbon pada rpm 1000-1500, dimana gas HC terdapat banyak perbedaan dari pada rpm yang lainnya. Modifikasi 20.1 mm dan 20 mm menghasilkan HC yang lebih sedikit di rpm rendah karena terjadinya pembakaran bahan bakar yg lebih baik dari pada camshaft yang lainnya. Modifikasi 20.6 mm dan 20.4 mm menghasilkan HC lebih banyak di rpm rendah karena bahan bakar belum terbakar sempurna dan terjadinya penguapan. Jadi *camshaft* yang paling efisien untuk gas HC adalah modifikasi 20 mm karena mengandung kadar HC yang paling sedikit dari *camshaft* modifikasi yang lainnya.

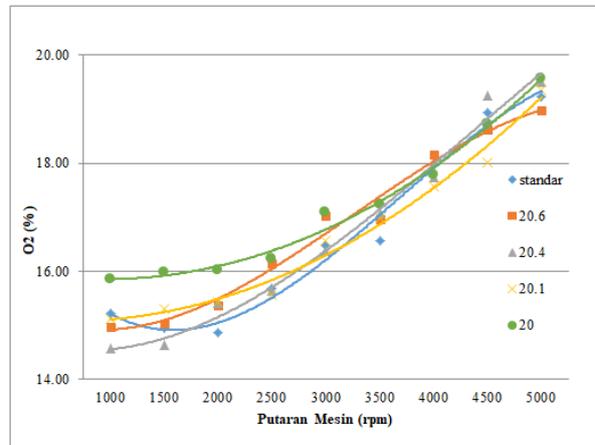
M. Analisa Grafik CO vs Putaran



Gambar 3. Grafik hasil uji emisi CO vs Putaran

Grafik di atas menunjukkan adanya perubahan gas CO pada rpm 1000-1500, dimana gas CO terdapat banyak perbedaan dari pada rpm yang lain. Camshaft modifikasi 20 mm menghasilkan CO paling rendah pada rpm 1000 (idle) karena campuran bahan bakar dan udara yang ideal dan terbakar mendekati sempurna. Jadi *camshaft* yang paling efisien untuk kadar gas CO adalah modifikasi 20 mm karena mengandung kadar CO paling sedikit dari *camshaft* yang lain.

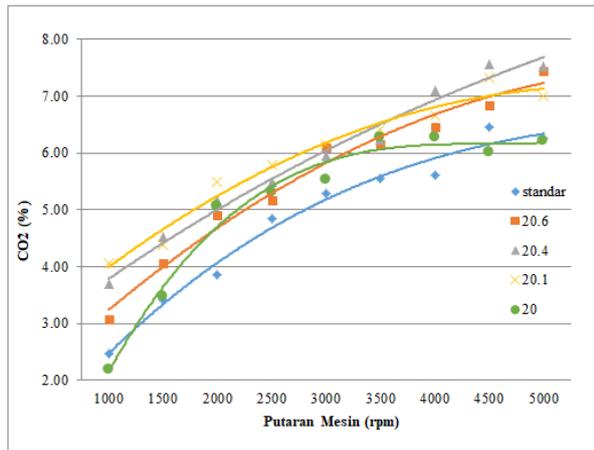
N. Analisa Grafik O₂ vs Putaran



Gambar 4. Grafik hasil uji emisi O₂ vs Putaran

Grafik di atas menunjukkan adanya perubahan signifikan emisi gas O₂ pada rpm 1000-3000, dimana gas O₂ terdapat banyak perbedaan dari pada rpm yang lain. Hal tersebut terjadi karena terjadinya campuran bahan bakar dan udara yang mendekati ideal. Jadi *camshaft* yang paling efisien untuk gas O₂ adalah modifikasi 20 mm karena memiliki kadar O₂ yang paling besar dan bisa diartikan campuran bahan bakar dan udaranya menjauhi campuran kaya (boros).

O. Analisa Grafik CO₂ vs Putaran



Gambar 5. Grafik hasil uji emisi CO₂ vs Putaran

Grafik di atas menunjukkan adanya perubahan gas CO₂ pada rpm 4500-5000, dimana gas CO₂ terdapat banyak perbedaan dari pada rpm yang lainnya, karena terjadinya proses pembakaran yang baik di ruang bakar. Jadi *camshaft* yang paling efisien untuk gas CO₂ adalah modifikasi 20 mm karena memiliki kadar CO₂ yang paling sedikit.

Dari seluruh grafik di atas menunjukkan adanya perubahan gas Hidrokarbon, Karbon Monoksida, Oksigen, dan Karbon Dioksida pada *camshaft* modifikasi, maka dapat disimpulkan yaitu:

- Dalam gambar 2. dapat diketahui perubahan variasi ukuran *base circle camshaft* dapat mempengaruhi emisi gas buang Hidrokarbon (HC), dimana pada putaran mesin rendah interval 1000 – 1500 rpm diketahui bahwa *camshaft* 20 lebih baik daripada standar, namun bila dibandingkan keseluruhan *camshaft* modifikasi memiliki emisi gas buang yang masih lebih tinggi dari standar, *camshaft* standar terendah dengan kadar HC rata-rata sebesar 25,95 ppm dan selisih terdekat adalah *camshaft* 20 mm dengan kadar HC rata-rata sebesar 28.22 ppm.
- Pada putaran stasioner atau *idle* kadar emisi gas Hidrokarbon (HC) dan kadar Karbon Monoksida (CO) tinggi pada semua *camshaft*, hal ini disebabkan campuran pembakaran yang kurang sempurna akibat kadar oksigen kurang, sehingga campuran pembakaran bisa dikatakan campuran kaya, sebaliknya pada putaran menengah kadar Hidrokarbon (HC) dan kadar Karbon Monoksida (CO) menurun untuk semua *camshaft*, hal ini disebabkan karena campuran bahan bakar dan kadar udara mendekati sempurna, tetapi belum bisa dikatakan sempurna.
- Semakin tinggi putaran mesin, maka nilai dari pembacaan gas O₂ dan CO₂ akan semakin tinggi.
- Semakin tinggi putaran mesin, maka nilai dari pembacaan kadar gas CO akan semakin rendah.

KESIMPULAN

P. Kesimpulan

Setelah melakukan pembuatan, pengujian, dan analisis unjuk kerja alat, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Setelah memodifikasi *base circle camshaft*, emisi gas buang yang dihasilkan terjadi perubahan, yaitu:
 - untuk HC mengalami penurunan minimal 1,52% dan maksimal 23,89%
 - untuk CO mengalami penurunan minimal 7,14% dan maksimal 66,67%
 - untuk O₂ mengalami kenaikan minimal 0,47% dan maksimal 7,18%
 - untuk CO₂ mengalami penurunan minimal 0,63% dan maksimal 13,10%
- 2) Perubahan *base circle camshaft* tentunya berpengaruh terhadap emisi gas buang, dikarenakan terjadinya perubahan durasi pembukaan dan penutupan katup.
- 3) *Camshaft* yang paling optimal kadar emisi gas buangnya adalah modifikasi 20 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrianto, P.S., 2014. *Pengaruh Penggunaan Camshaft Standard dan Camshaft Racing Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin Empat Langkah*. Jurnal Teknik UMS. Hal. 3 – 5.
- Anonim. 1995. *New Step 1*. Buku Panduan tidak dipublikasikan. Jakarta: Toyota Astra Motor.
- Bell, A. Graham. 1998. *Performance Tuning in Theory & Practice*. England: Haynes Publishing Group.
- Boentarto. 2002. *Menghemat Bensin Sepeda Motor*. Semarang: Effhar.
- Darmawangsa, F.I., dan Sudarmanta, B. 2016. *Analisis Pengaruh Penambahan Durasi Camshaft Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang pada Engine Sinjai 650CC*. Jurnal Teknik ITS. Volume V. No 1. Hal. 24 – 29.
- Frayekti, Melly Chandra. 2013. *Makalah Kromatografi Gas*. PT Badak NGL LNG Academy.
- Hammill, D. 1998. *How To Choose Camshaft And Time Them For Maximum Power*. New Zealand: Veloce Publishing Limited.
- Hasan, M. Iqbal. 2003. *Pokok-pokok Materi Statistik 2 (Statistik Inferensial)*. Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- Jannah, K., M., 2015. *Pertalite Versus Premium*. Available from: URL: [http://economy.okzone.com/read/2015/04/24/19/1139532/pertalite-versus-premium].
- Kristianto, Dwi. 2014. *Pengaruh Perubahan Durasi Camshaft Terhadap Performance Mesin FD 110CC*. Jurnal Teknik Mesin UNISMA. Hal. 54.
- Kristanto, Philip. 2015. *Motor Bakar Torak (Teori & Aplikasinya)*. Yogyakarta: ANDI.
- Mahdiansah dkk. 2010. *Pengaruh Putaran Dan Pembukaan Katup Gas Terhadap Kinerja Variable Compression Ratio Petrol Engine (Vcrpe) Dengan Menggunakan Campuran Bahan*

- Bakar Premium-Pertamax (Premix)*. Jurnal Teknik Mesin Universitas Hasanuddin Makasar.
- Mulyono., Bugis, H., dan Rohman, N., 2013. *Analisis Pemotongan Ramp Poros Bubungan Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang Pada Suzuki Shogun 125 SP Tahun 2005*. Jurnal FKIP UNS. Volume I. No 03. Hal. 1 – 9.
- Satiadiwiria, M. Y., 1986. *Termodinamika*. Jakarta: Bina Aksara.
- Service Manual*. 2015. *QRO - 401*. Qrotech CO. LTD
- Thomas, Siby and Nishi Shahnaj Haider. 2013. *A Study on Basics of Gas Analyzer*. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. India.
- Winoko, Y. A. 2014. *Pengujian Daya dan Emisi Gas Buang*. Malang: Polinema Press.
- Kiyaku, Yaswaki dan DM. Murdhana. 1998. *Cara Praktis Merawat Sepeda Motor*. Bandung: Pustaka Setia.
- Yoshia, F. 2012. *Analisa Pengaruh Perubahan Tinggi Bukaannya Terhadap Kinerja Motor Bakar Otto*. Jurnal Fakultas Teknik UI. Hal. 62.