

Analisis Pengaruh Penambahan Durasi Camshaft terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang pada Engine Sinjai 650 cc

Firman Iffah Darmawangsa dan Bambang Sudarmanta

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: sudarmanta@me.its.ac.id

Abstrak—Pengembangan industri otomotif mengarah pada jaminan kenyamanan saat dikendarai dengan menghasilkan unjuk kerja yang tinggi, konsumsi bahan bakar rendah, getaran dan emisi gas buang yang rendah. Salah satu parameter yang mempengaruhi adalah besarnya pasokan udara pembakaran kedalam ruang bakar. Dimana hal ini diatur oleh mekanisme *camshaft* melalui buka-tutup katup pemasukan dan katup pembuangan. Penelitian ini ingin mengetahui pengaruh penambahan durasi *camshaft* terhadap unjuk kerja *engine* utamanya pada putaran tinggi. Penelitian ini dilakukan pada engine 4 langkah 2 silinder SINJAI 650cc *Single Overhead Camshaft* (SOHC) sistem *Port Injection* dengan fokus pengoperasian pada putaran tinggi. Variasi durasi akan dilakukan pada kedua *cam*, yakni *cam* katup masuk dan *cam* katup buang. Dimana variasi durasi akan dibagi menjadi 248° (standar), 254°, 260°, 266°, 272° dan 278°. Penambahan durasi dilakukan secara simetris 3° poros engkol sebelum katup membuka dan setelah katup menutup sehingga tidak ada perubahan pada *Lobe Separation Angel* (LSA). Metode penelitian ini menggunakan dua tahapan, metode simulasi kemudian metode eksperimen. Untuk mengetahui pengaruh dari variasi durasi *camshaft* terhadap unjuk kerja *engine*, terlebih dahulu akan dilakukan simulasi menggunakan software *LOTUS Engine Simulation* (LES). Dari hasil simulasi menggunakan *LOTUS Engine Simulation* pada engine SINJAI 650 cc SOHC *port injection*, diperoleh durasi *camshaft* terbaik 260° pada putaran tinggi. Dengan peningkatan torsi 0.908%, daya 0.908%, bmep 0.908%, efisiensi thermal 0.626%, efisiensi volumetris 1.003% dan penurunan bsfc 0.252%, dari *camshaft* standar 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%, serta emisi HC 7.578%.

Kata kunci—durasi *camshaft*, putaran tinggi, *lotus engine simulation*, *sinjai*, *sohc*.

I. PENDAHULUAN

EFISIENSI thermal pada *engine* saat ini telah diketahui berkisar antara 32% hingga 35% [1]. Kerugian panas diantaranya kerugian pembakaran nyata (panas spesifik dan disosiasi), kerugian *blow-by*, kerugian pendinginan (kerugian panas langsung), kerugian pertukaran gas (pembakaran tidak sempurna), kerugian gesekan dan kerugian lainnya [2]. Faktor yang juga mempengaruhi unjuk kerja *engine* dan mengurangi emisi gas buang adalah kualitas pembakaran bahan bakar didalam ruang bakar [3]. Salah satu parameter yang

mempengaruhi adalah besarnya pasokan udara pembakaran kedalam ruang bakar. Dimana pasokan ini diatur oleh mekanisme *camshaft* melalui buka-tutup katup pemasukan dan katup pembuangan.

Peran dari *camshaft* sangatlah penting, diantaranya sebagai menentukan waktu pembukaan katup, mengatur lamanya durasi pembukaan katup, menentukan lamanya durasi overlap katup masuk dan katup buang, serta merupakan komponen utama dari mekanisme *valve-train*. Penelitian ini ingin mengetahui pengaruh penambahan durasi *camshaft* terhadap unjuk kerja *engine* utamanya pada putaran tinggi.

Mendesain ulang *camshaft* standar diharapkan mampu meningkatkan efisiensi volumetris udara yang masuk ke ruang bakar dan meningkatkan tekanan kompresi di ruang bakar sehingga dapat memperbaiki kualitas pembakaran didalam ruang bakar. Kualitas pembakaran yang lebih baik dapat meningkatkan unjuk kerja dan emisi gas buang menurun. Desain *camshaft* yang sesuai dengan spesifikasi *engine*, menghasilkan unjuk kerja yang terbaik dari *engine* tersebut.

Berdasarkan uraian diatas, maka akan dilakukan analisis variasi durasi *camshaft* terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang saat putaran tinggi pada *engine* 4 langkah 2 silinder SINJAI 650cc SOHC sistem *Port Injection*. Variasi durasi dibagi menjadi 248° (standar), 254°, 260°, 266°, 272° dan 278°. Penambahan durasi dilakukan secara simetris 3° poros engkol sebelum katup membuka dan setelah katup menutup. Untuk penelitian ini tidak ada perubahan pada LSA. Terlebih dahulu akan dilakukan simulasi menggunakan software *LOTUS Engine Simulation*. Parameter unjuk kerja yang diukur dan dibandingkan yaitu daya, torsi, konsumsi bahan bakar, debit udara masuk, serta temperatur operasional.

Variasi durasi *camshaft* yang menunjukkan hasil unjuk kerja terbaik akan difabrikasi dan diaplikasikan pada *engine* SINJAI 650cc SOHC *port injection*, selanjutnya pengujian eksperimental untuk membandingkan hasil unjuk kerja *camshaft* standar dengan *camshaft* terbaik hasil dari simulasi software *LOTUS Engine Simulation*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Cara Kerja Camshaft

Waktu pembukaan katup pada siklus ideal yaitu pada saat dimana piston di titik mati atas ataupun bawah, namun beberapa halangan menyebabkan mereka tidak mungkin membuka pada saat-saat tersebut, namun harus dibuka atau

ditutup sebelum dan sesudah titik mati. Ada dua faktor utama yang menyebabkan yaitu mekanikal dan dinamik [2].

Faktor mekanikal, katup-katup dibuka dan ditutup oleh mekanisme *cam* yang mana disana terdapat celah antara *cam*, *tappet* dan katup yang harus diangkat secara perlahan untuk menghindarkan keausan dan suara berisik, dengan alas an yang sama katup tidak boleh ditutup secara mendadak, atau akan terjadi *bouncing*, sehingga bentuk dari kontur harus sedemikian rupa sehingga tidak terjadi *bouncing*. Terbuka dan tertutupnya katup membutuhkan derajat engkol yang lebih lama dari yang disediakan 90°, yaitu sekian derajat sebelum dan sekian derajat sesudah titik mati. Ini berlaku baik untuk katup masuk maupun katup buang.

Faktor dinamik, selain masalah mekanikal untuk membuka dan menutup katup maka yang diperhatikan disini adalah akibat aliran dinamik gas yang terjadi pada katup.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Engine yang Digunakan

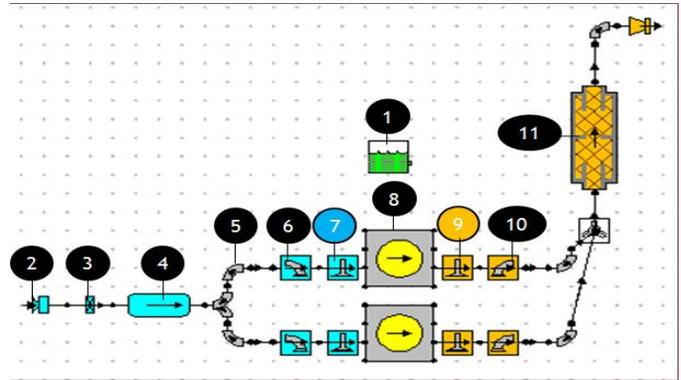
Berikut spesifikasi dasar engine SINJAI 650 cc yang akan menjadi acuan dalam proses penelitian:

Tabel.1
Spesifikasi Engine SINJAI 650 cc

Model	SINJAI 650 cc
Tipe Kepala Silinder	SOHC 2 valve
Sistem Pemasukan BB	Port Injection (for SOHC)
Jumlah Silinder	2 Silinder, Segaris
Pendingin Engine	Pendingin Cairan
Diameter x Langkah	76 x 71 mm
Rasio Kompresi	9,0 : 1 (for SOHC)
Daya Maksimum SOHC	28 kW/5000 rpm
Torsi Maksimum SOHC	49 N.m/3300 rpm
Putaran Idle	900 ± 50 rpm
Katup Masuk Membuka	25° sebelum TMA
Katup Masuk Menutup	43° setelah TMB
Katup Buang Membuka	53° sebelum TMB
Katup Buang Menutup	15° setelah TMA

B. Pengujian dengan Metode Simulasi

Pada pemodelan dengan LOTUS Engine Simulation, yang pertama kali dilakukan adalah dengan memasukkan sejumlah komponen engine, diantaranya *fuel*, *inlet/outlet*, *bend & straight pipe*, *intake & exhaust valve port*, *valve mechanism* dan *cylinder* kedalam *main windows*. Komponen-komponen tersebut disusun secara seri dan berurutan mulai dari *inlet* hingga *outlet*, serta tidak lupa menginputkan dimensi yang telah diukur sebelumnya. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pemodelan pada LOTUS Engine Simulation

1. Memilih komponen bahan bakar pada *main windows* LOTUS Engine Simulation, kemudian untuk merubah *data input* dari bahan bakar dipilih *fuel type*, *user defined*. Masukkan *data input* bahan bakar seperti *calorific value* (kJ/kg), *density* (kg/litre) dan *H/C ratio fuel* (molar).



Gambar 2. Simbol bahan bakar pada LES

2. Memasukkan komponen *default inlet* dan *exit* kedalam *main windows* LOTUS Engine Simulation, pilih *boundary data* kemudian memasukkan *data input* seperti nilai tekanan dan *temperature ambient* pada setiap putaran engine.



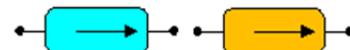
Gambar 3. Simbol default inlet dan exit pada LES

3. Memasukkan komponen *intake throttle* kedalam *main windows* LOTUS Engine Simulation, kemudian memilih *throttle type* yang akan disimulasikan, dalam hal ini digunakan *type butterfly*, kemudian memasukkan *data input* seperti *throttle diameter* (mm), *closed angle* (deg), *throttle angle* (deg) dan *pindle diameter* (mm).



Gambar 4. Simbol intake throttle pada LES

4. Memasukkan komponen *intake* dan *exhaust plenum* kedalam *main windows* LOTUS Engine Simulation, kemudian memasukkan *data input* seperti volume (litres), *surface area* (mm²) dan *wall temperature* (°C).



Gambar 5. Simbol intake dan exhaust plenum pada LES

5. Memasukkan komponen *bend pipe* kedalam *main windows* LOTUS Engine Simulation, kemudian memasukkan *data input* seperti *total length* (mm), *start diameter* (mm), *end diameter* (mm), *bend angle* (deg) dan *bend radius* (deg).



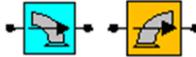
Gambar 6. Simbol bend pipe pada LES

- Memasukkan komponen *straight pipe* kedalam *main windows* LOTUS Engine Simulation, kemudian memasukkan data input seperti total length (mm), start diameter (mm), *end diameter* (mm) dan *wall material*.



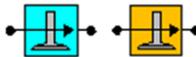
Gambar 7. Simbol *straight pipe* pada LES

- Memasukkan komponen *intake* dan *exhaust port* kedalam *main windows* LOTUS Engine Simulation, kemudian memasukkan data input seperti *throat diameter* (mm).



Gambar 8. Simbol *intake* dan *exhaust port* pada LES

- Memasukkan komponen *intake* dan *exhaust valve* kedalam *main windows* LOTUS Engine Simulation, kemudian memasukkan data input seperti *valve open* (deg), *valve close* (deg), *dwell at max* (deg) dan *max lift* (mm).



Gambar 9. Simbol *intake* dan *exhaust valve* pada LES

- Memasukkan komponen *cylinder* kedalam *main windows* LOTUS Engine Simulation, kemudian memasukkan data input seperti *bore* (mm), *stroke* (mm), *con-rod length* (mm), *pin off-set* (mm), *compression ratio* dan *combustion model*.



Gambar 10. Simbol *cylinder* pada LES

- Untuk memilih data *steady state* maka dipilih data, *test conditions*, *steady state create wizard*. Kemudian memasukkan data inputan seperti *ambient air pressure* (bar abs), *ambient air temperature* (°C), *inlet pressure* (bar abs), *inlet temperature* (°C), *exit pressure* (bar abs) dan *specific humidity* (kg/kg).

C. Pengujian dengan Metode Eksperimen

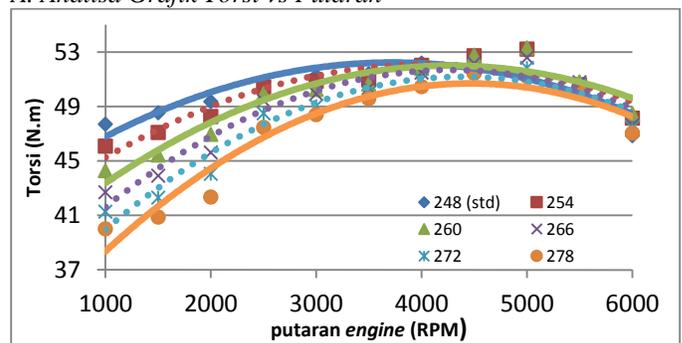
Percobaan akan dilakukan pada putaran *engine* yang bervariasi mulai dari 1000 rpm hingga 5000 rpm. Pengaturan putaran mesin dilakukan melalui pembebanan listrik yang telah dikopel dengan poros mesin SINJAI dengan menggunakan prinsip *eddy current*. Berikut adalah langkah-langkah yang akan dilakukan:

- Menghidupkan mesin pada putaran idle (± 950 rpm) selama 10 menit untuk mencapai kondisi *steady state* atau stasioner.
- Blower dihidupkan.
- Membuka katup kupu-kupu hingga terbuka penuh (*full open throttle*). Pada kondisi ini putaran mesin sebesar 5000 rpm dan merupakan putaran maksimum dari mesin. Selama putaran maksimum, tidak dilakukan pembebanan pada *eddy current dynamometer*.

- Pembebanan *eddy current dynamometer* sehingga putaran mesin berada pada 1000 rpm untuk kemudian dilakukan pengambilan data untuk tiap kelipatan 500 rpm.
- Jika putaran mesin sudah stabil maka pencatatan data dapat dilakukan meliputi data putaran mesin (rpm), torsi (Lbf.ft), waktu konsumsi 25 ml bahan bakar premium (sekon), selisih ketinggian pada manometer U, emisi CO (% volume), emisi CO₂ (% volume), emisi HC (ppm volume), temperatur gas buang (°C), temperatur head (°C), dan temperatur oli (°C).
- Pada setiap tahap kenaikan putaran mesin dilakukan pencatatan data seperti pada poin 5 (lima). Dan harus diingat bahwa pencatatan data dilakukan pada saat putaran mesin dalam kondisi stabil.
- Lakukan kegiatan *point 1* (satu) sampai 6 (enam) dengan menggunakan *camshaft* standar dan *camshaft* terbaik hasil simulasi.

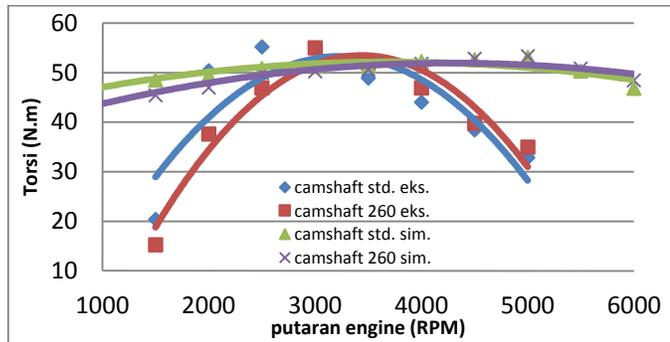
IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Grafik Torsi vs Putaran



Gambar 11. Grafik Torsi vs rpm hasil simulasi

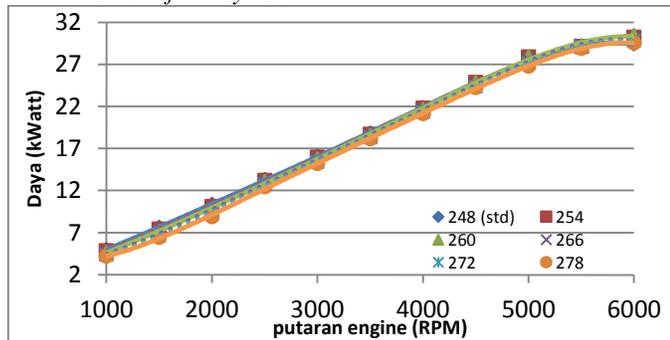
Dari Gambar 11 dapat dilihat *trendline* kenaikan torsi terjadi mulai dari putaran *engine* 1000 rpm. Torsi terjadi penurunan pada putaran 4500 rpm pada *camshaft* durasi 248° (standar). Sedangkan pada *camshaft* durasi 254°, 260°, 266°, 272°, dan 278° torsi terus meningkat hingga putaran *engine* mencapai 5000 rpm. Hal ini menyebabkan terjadinya perbedaan letak puncak torsi pada tiap durasi *camshaft*. Torsi terbesar pada putaran tinggi terjadi pada *camshaft* durasi 260° pada putaran 5000 rpm. Dengan *camshaft* durasi rendah durasi *overlap* yang kecil mengakibatkan udara masuk ke silinder dengan baik karena tidak banyak udara yang terbuang sia-sia sehingga menghasilkan pembakaran yang baik dan juga menghasilkan torsi besar. Saat putaran *engine* tinggi laju aliran udara bergerak cepat. Dengan *camshaft* durasi tinggi, durasi *overlap* yang besar mengakibatkan proses pembilasan gas sisa pembakaran terjadi dengan baik. Disamping itu proses penginduksian juga terjadi secara cepat dan udara yang masuk lebih banyak pada *camshaft* durasi tinggi, sehingga menghasilkan pembakaran yang baik dan juga menghasilkan torsi besar pada putaran tinggi.



Gambar 12. Grafik Torsi vs rpm hasil simulasi dan eksperimen

Dari Gambar 12 dapat dilihat bahwa terjadi selisih nilai torsi antara hasil eksperimen dengan simulasi. Grafik diatas menunjukkan bahwa simulasi rata-rata menghasilkan torsi yang lebih besar daripada eksperimen. Selain itu dengan memodifikasi *camshaft* menjadi 248° akan menghasilkan torsi yang lebih besar pada putaran rendah, namun torsi menurun pada putaran tinggi. Ini terjadi baik pada simulasi maupun eksperimen. Dengan menggunakan *camshaft* modifikasi terjadi pergeseran puncak torsi yaitu pada 3000 rpm. Selisih nilai torsi dari simulasi dan eksperimen disebabkan oleh beberapa faktor, baik dari faktor *software* simulasi, *engine*, alat ukur maupun pembacaan alat ukur. Dari faktor *software*, yaitu karena data *input* yang diberikan dianggap ideal seperti *combustion efficiency* 80%, *timing heat-phase* yang sempurna, *air fuel ratio* selalu stokiometri, temperatur dan udara luar yang selalu konstan, serta faktor-faktor lainnya. Sedangkan yang kedua dari faktor *engine*, dimana kondisi *engine* tersebut tidak 100% baik karena sudah digunakan untuk pengujian-pengujian sebelumnya serta sudah dilakukan proses bongkar-pasang dalam jumlah yang banyak. Kondisi tersebut dapat mempengaruhi hasil pengukuran unjuk kerja. Kesimpulan utama adalah, dengan menaikkan durasi *camshaft* akan menurunkan torsi secara rata-rata dari putaran rendah hingga putaran tinggi. Namun *camshaft* durasi tinggi akan efektif digunakan pada putaran tinggi karena dapat meningkatkan nilai torsi.

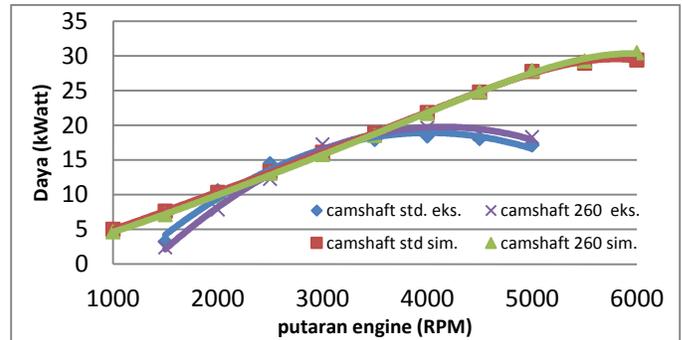
B. Analisa Grafik Daya vs Putaran



Gambar 13. Grafik Daya vs rpm hasil simulasi

Berdasarkan Gambar 13, semakin meningkatnya putaran *engine*, daya yang dihasilkan semakin meningkat. Karena daya merupakan fungsi torsi, maka daya juga akan mengalami penurunan pada putaran *engine* tertentu. Namun pada grafik, daya masih mampu melawan *mechanical friction* sehingga belum terlihat penurunannya hingga putaran 6000 rpm.

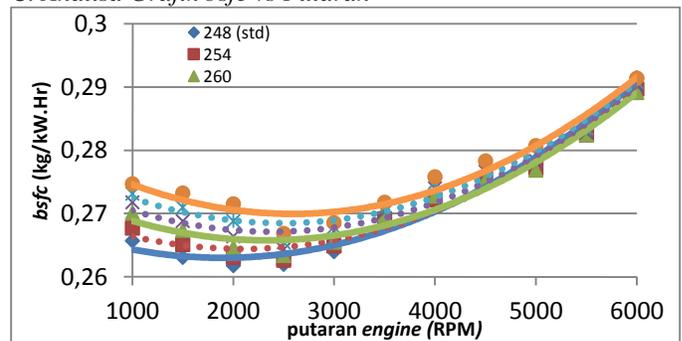
Trendline yang terbentuk dari masing-masing variasi durasi *camshaft* relatif sama, yaitu *trendline* terus meningkat dari putaran 1000 hingga 6000 rpm. Dari diatas, jika peningkatan daya dirata-rata maka *camshaft* dengan durasi 260° menghasilkan persentase kenaikan paling tinggi dari *camshaft* standar yang bernilai 248° pada rentang putaran tinggi mulai 4000-6000 rpm. Dimana persentase kenaikan yang terjadi adalah 1.173%. Maka dapat disimpulkan bahwa dengan menaikkan durasi *camshaft* menjadi 260° akan menghasilkan daya yang lebih baik dari daya yang dihasilkan oleh *camshaft* standar.



Gambar 14. Grafik Daya vs rpm hasil simulasi dan eksperimen

Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa terjadi selisih nilai daya antara hasil eksperimen dengan simulasi. Faktor penyebabnya pun diakibatkan oleh hal yang sama dengan penjelasan pada pembahasan torsi diatas. Grafik diatas menunjukkan bahwa simulasi menghasilkan daya yang lebih besar daripada eksperimen. Selain itu dengan memodifikasi *camshaft* menjadi 260° akan menghasilkan daya yang lebih besar pada putaran tinggi, namun daya menurun pada putaran rendah. Ini terjadi baik pada simulasi maupun eksperimen. Daya terbesar simulasi terjadi pada putaran 6000 rpm dengan *camshaft* 260° dan daya terbesar eksperimen terjadi pada putaran 4000 rpm dengan durasi *camshaft* 260°.

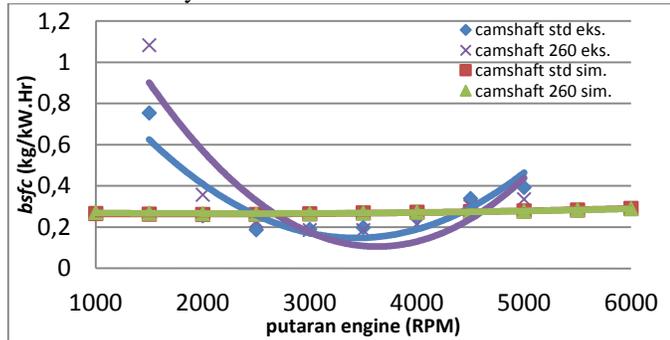
C. Analisa Grafik bsfc vs Putaran



Gambar 15. Grafik bsfc vs rpm hasil Simulasi

Dari Gambar 15 diatas, pada putaran 4000 – 6000 rpm penurunan *bsfc* dirata-rata maka *camshaft* dengan durasi 260° menghasilkan persentase penurunan paling besar dari *camshaft* standar yang bernilai 248°. Dimana persentase penurunan yang terjadi adalah 0.252 %. Secara umum konsumsi bahan bakar spesifik pada putaran rendah ke putaran tinggi akan mengalami penurunan hingga putaran tertentu akan meningkat kembali. Hal ini disebabkan karena *bsfc* merupakan fungsi dari daya dan torsi. Pada durasi 260°

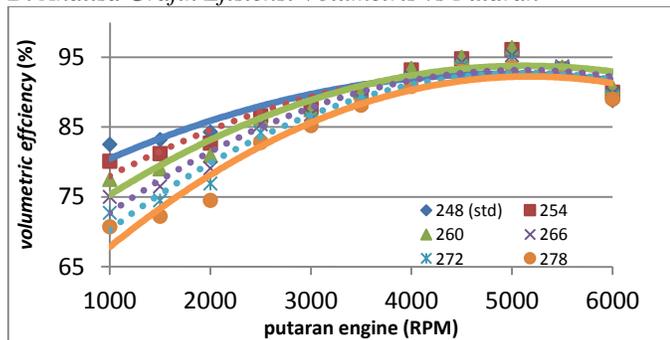
menghasilkan *bsfc* yang rendah karena pada putaran 5000 rpm, bahan bakar yang mengalir lebih sedikit dan daya yang dihasilkan juga relatif lebih besar, sehingga *bsfc* yang dihasilkan nilainya kecil.



Gambar 16. Grafik *bsfc* vs rpm hasil Simulasi dan eksperimen

Dari Gambar 16 dapat dilihat bahwa terjadi selisih nilai *bsfc* antara simulasi dengan eksperimen. Grafik diatas menunjukkan bahwa simulasi menghasilkan *bsfc* yang lebih besar daripada eksperimen. Karena *bsfc* merupakan fungsi daya, maka selisih nilai *bsfc* dari simulasi dan eksperimen disebabkan oleh hal yang sama dengan daya, yaitu disebabkan oleh beberapa faktor, baik dari faktor *software* simulasi maupun, *engine*, alat ukur maupun pembacaan alat ukur. Selain itu dengan memodifikasi *camshaft* menjadi 260° akan menghasilkan *bsfc* yang lebih tinggi pada putaran rendah, namun *bsfc* menurun pada putaran tinggi. Ini terjadi baik pada simulasi maupun eksperimen. Pada putaran tinggi, *bsfc* terendah simulasi pada 2000 rpm dengan *camshaft* 248° dan *bsfc* terendah eksperimen pada putaran 3000 rpm dengan *camshaft* 260°.

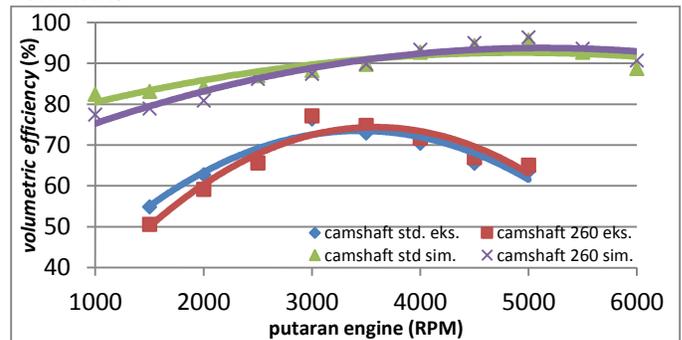
D. Analisa Grafik Efisiensi Volumetris vs Putaran



Gambar 17. Grafik Efisiensi Volumetris vs rpm hasil Simulasi

Dari Gambar 17 dapat dilihat *trendline* kenaikan efisiensi volumetris terjadi mulai dari putaran *engine* 1500 rpm. Grafik diatas menunjukkan bahwa dengan menggunakan *camshaft* durasi rendah menghasilkan efisiensi volumetris yang lebih besar pada putaran rendah dan dengan menggunakan *camshaft* durasi tinggi menghasilkan efisiensi volumetris yang lebih besar pada putaran tinggi. Pada putaran 5000 rpm, nilai tertinggi dari efisiensi volumetris terjadi pada *camshaft* durasi 260° dibandingkan dengan *camshaft* durasi 248°. Faktor ini disebabkan oleh aliran dinamik fluida yang masuk kedalam silinder, durasi *overlap*, dan tekanan kompresi dinamis yang terjadi di setiap putaran mesin. Dengan durasi *camshaft* yang bertambah besar dari standar, dengan *lobe*

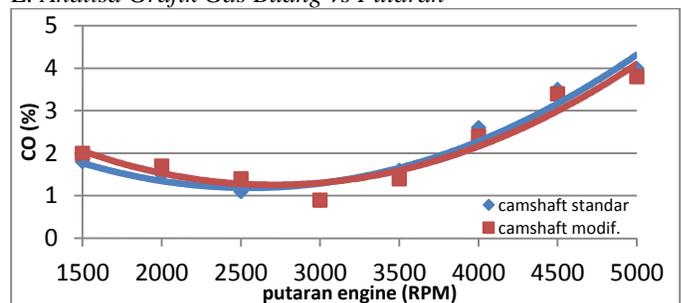
separation angel (LSA) dan *lobe lift* yang sama menyebabkan perbedaan durasi *overlapping*. Bertambahnya *overlapping* menyebabkan waktu interaksi antar *intake port* dan *exhaust port* berlangsung lebih lama, hal ini mempengaruhi suhu udara yang masuk kedalam ruang bakar. Terjadi kenaikan suhu pada udara yang kemudian berpengaruh pada *flowrate* udara yang masuk mengakibatkan terjadi perubahan pada efisiensi volumetris. Pada putaran tinggi hal ini tidak banyak berpengaruh karena kecepatan udara bertambah tinggi berbanding terbalik dengan durasi siklus pembakaran dan *overlapping*. Dengan durasi yang bertambah, pengaruh pada putaran tinggi yaitu menambah pasokan udara yang masuk kedalam silinder mengakibatkan bertambahnya efisiensi volumetris.



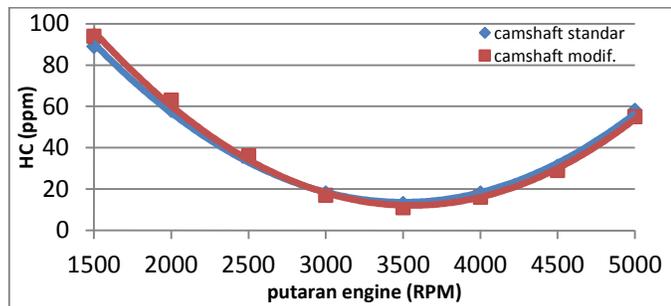
Gambar 18. Grafik Efisiensi Volumetris vs rpm hasil Simulasi dan Eksperimen

Dari Gambar 18 dapat dilihat bahwa terjadi selisih nilai efisiensi volumetris antara hasil simulasi dengan eksperimen. Grafik diatas menunjukkan bahwa simulasi menghasilkan efisiensi volumetris yang lebih besar daripada eksperimen. Selain itu dengan memodifikasi *camshaft* menjadi 260° akan menghasilkan efisiensi volumetris yang lebih tinggi pada putaran tinggi, namun efisiensi volumetris menurun pada putaran rendah. Ini terjadi baik pada simulasi maupun eksperimen. Efisiensi volumetris tertinggi simulasi pada 5000 rpm dengan *camshaft* 260° dan efisiensi volumetris terbesar eksperimen pada 3000 rpm dengan *camshaft* 260°.

E. Analisa Grafik Gas Buang vs Putaran



Gambar 19. Grafik CO vs rpm Durasi Camshaft Standar dan Modifikasi hasil Eksperimen



Gambar 20. Grafik HC vs rpm Durasi Camshaft Standar dan Modifikasi hasil Eksperimen

Gambar 20 dan 21 menunjukkan grafik gas buang HC dan CO, dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa *camshaft* standar memiliki kadar HC dan CO yang lebih tinggi dari *camshaft* modifikasi pada putaran 3000 – 5000 rpm. Kondisi grafik diatas memiliki *trendline* yang serupa, yaitu dengan *camshaft* standar dan modifikasi membentuk grafik parabolik terbuka kebawah seiring naiknya putaran *engine*. Nilai HC tertinggi pada 1500 rpm dengan *camshaft* modifikasi, dan CO tertinggi pada 2000 rpm dengan *camshaft* standar.

Pada temperatur *engine* yang semakin tinggi, proses *atomizing* menjadi lebih baik. Hal ini ditunjukkan dengan menurunnya kandungan HC pada *camshaft* modifikasi hingga putaran 3500 rpm, hal ini karena *camshaft* modifikasi menghasilkan temperatur *engine* yang rendah, kemudian mengalami kenaikan hingga putaran 5000 rpm. Emisi CO cenderung timbul pada temperatur pembakaran yang tinggi. Jumlah oksigen dalam campuran juga sangat menentukan besar CO yang dihasilkan, mengingat kurangnya oksigen dalam campuran akan mengakibatkan karbon bereaksi tidak sempurna dengan oksigen (sehingga terbentuk CO).

V. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang bisa diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dari seluruh penelitian menggunakan metode simulasi dan metode eksperimen terhadap durasi *camshaft*, dapat diketahui bahwa *camshaft* durasi rendah menghasilkan unjuk kerja yang lebih besar pada putaran rendah namun buruk pada putaran tinggi, dan sebaliknya *camshaft* durasi tinggi menghasilkan unjuk kerja yang baik pada putaran tinggi namun buruk pada putaran rendah.
2. Hasil simulasi perbandingan unjuk kerja *engine* SINJAI 650 cc SOHC *port fuel injection* yang terbaik menggunakan durasi *camshaft* 260°, dengan peningkatan torsi 0.908%, daya 0.908%, *bmep* 0.908%, efisiensi thermal 0.626%, efisiensi volumetris 1.003% dan penurunan *bsfc* 0.252% dari *camshaft* standar pada putaran tinggi rentang 4000-6000 RPM.
3. Hasil eksperimen perbandingan unjuk kerja *engine* SINJAI 650 cc SOHC *port fuel injection* menggunakan *camshaft* 260°, dengan peningkatan torsi 5.53%, daya 5.53%, *bmep* 5.53%, efisiensi thermal 14.58%, efisiensi volumetris 2.04% dan penurunan *bsfc* 17.905% dari *camshaft* standar pada putaran tinggi rentang 3000-5000 RPM.

4. Hasil perbandingan simulasi *engine* SINJAI 650 cc SOHC *port injection* menghasilkan unjuk kerja lebih baik dari hasil eksperimen pada durasi *camshaft* standar, dengan selisih torsi 17%, daya 17%, *bmep* 17%, efisiensi thermal 12.3%, efisiensi volumetris 33% dan *bsfc* 17.91% dari hasil eksperimen pada putaran tinggi rentang 3000-5000 RPM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sungkono Kawano, D. 2011. *Motor Bakar Torak (Diesel)*. Surabaya: ITS Press.
- [2] Sungkono Kawano, D. 2011. *Motor Bakar Torak (Bensin)*. Surabaya: ITS Press
- [3] Graham Bell, A. 1981. *Four Stroke Performance Tuning in Theory and Practice*. England: Haynes Publishing Group