

PENGARUH PENAMBAHAN LANGKAH KERJA TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR BAKAR

Chandra Gunawan

Mahasiswa S2
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
cgunawan05@gmail.com

Eko Siswanto

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
eko_s112@ub.ac.id

Lilis Yuliati

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
lilis_y@ub.ac.id

The duration of fuel-air diffusion in the 4 stroke combustion engine is relatively short, which is 0.02 seconds at 3000 rpm so that at high rotation the level of homogeneity of the fuel-air mixture becomes low. The addition of steps in a 4 stroke combustion engine to a 6 stroke combustion engine is expected to increase the duration of mass diffusion and temperature in the air-fuel mixture. So that the homogeneity of the air-fuel mixture increase and more expansion power of the combustion results. Engine performance testing by reducing the engine speed of 400 rpm at the initial condition of the throttle valve opening by 30% then the results of the performance of the two motors will be compared. The test results show an increase in power and torque in a 6 stroke combustion engine compared to a 4 stroke combustion engine at the same rotation conditions of 15%. As for the value of the specific fuel consumption effective (SFCe), thermal efficiency, and exhaust gas emissions of Hydrocarbon (HC) 4 stroke fuel is still better.

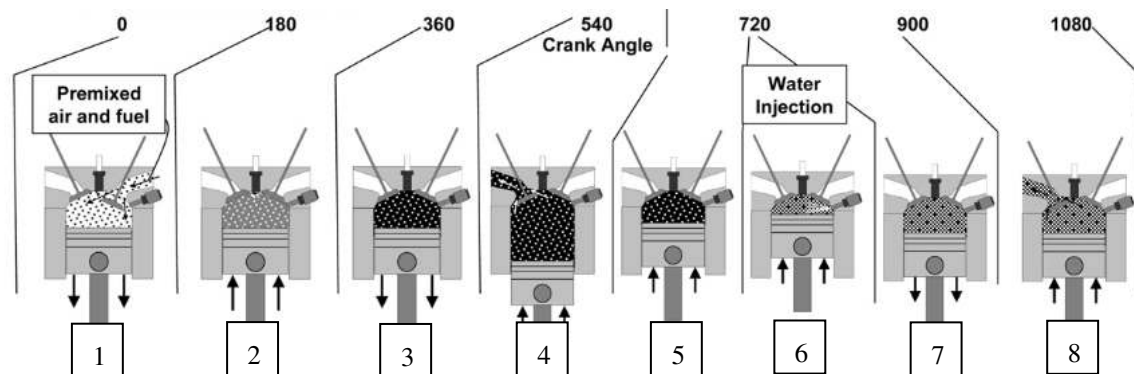
Keywords: Diffusion, Homogeneity, Combustion Engine, Four Stroke, Six Stroke

1. PENDAHULUAN

Motor bakar empat langkah paling banyak digunakan sampai saat ini. Karena lebih hemat konsumsi bahan bakar jika dibandingkan motor bakar dua langkah. Emisi gas buang motor bakar empat langkah juga lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan motor bakar dua langkah. Kelemahan motor bakar empat langkah terletak pada akselerasi yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan motor dua langkah. Motor bakar dua langkah dan empat langkah memiliki persamaan kelemahan yaitu waktu yang diperlukan untuk proses difusi bahan bakar dan udara relatif kurang, meskipun performen motor bakar empat langkah lebih baik jika dibandingkan motor bakar dua langkah. Difusi bahan bakar dan udara memerlukan waktu yang tepat sehingga akan meningkatkan homogenitas campuran bahan bakar [1]. Proses pembakaran sempurna akan menghasilkan daya yang lebih besar dan emisis gas buang ramah lingkungan. Hal ini yang mendasari dengan penambahan jumlah langkah pada motor bakar empat langkah menjadi motor bakar enam langkah dengan harapan dapat memperbaiki kualitas pembakaran pada motor bakar tersebut sehingga akan menurunkan tingkat konsumsi bahan bakar serta gas buang yang dihasilkan. Di sisi lain sudah banyak dilakukan penelitian dan pengembangan yang bertujuan untuk meningkatkan unjuk kerja dari motor bakar. Ebrahim, et al [2], dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa adanya peningkatan *power output* daaran *thermal efficiency* saat *volumetric efficiency* meningkat. Kunal, et al [3], menyatakan bahwa waktu pembakaran bahan bakar akan berkurang seiring dengan bertambahnya temperatur dari bahan bakar tersebut. Shanmukam, et al [4], menyatakan bahwa bahan bakar yang dipanaskan akan meningkatkan homogenitas campuran bahan bakar-udara sehingga kualitas pembakaran meningkat. Selain itu, Budiprasojo dan Irawan [5], menyatakan dari penelitiannya bahwa pemanasan bahan bakar dapat meningkatkan unjuk kerja motor bakar.

Motor bakar enam langkah merupakan pengembangan desain yang berdasarkan dari siklus motor bakar empat langkah dan dua langkah. Bajulaz [6], mengembangkan motor bakar enam langkah dengan menambahkan ruang dengan volume tetap pada kepala silinder sebagai wadah untuk meningkatkan temperatur udara. Bahan bakar akan disemprotkan pada langkah kompresi kedua. Hayasaki, et al [7], menambahkan dua langkah kerja pada motor diesel injeksi langsung, yang terdiri dari satu langkah isap, dua langkah kompresi, dua langkah kerja, dan satu langkah buang. Pada akhir langkah kompresi yang kedua, diinjeksikan bahan bakar methanol dengan tujuan menurunkan kadar emisi NO dan menurunkan jumlah

konsumsi bahan bakar. Coklin dan Szybist [8], memanfaatkan panas pada gas buang hasil pembakaran yang pertama untuk memuaikan air, sehingga terjadi langkah ekspansi usaha yang kedua. Prinsip kerja motor bakar enam langkah yang dikembangkan oleh Coklin dan Szybist ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1: Siklus kerja motor bakar 6 langkah Coklin dan Szybist [8].

Gambar 1 menunjukkan urutan langkah kerja dari motor bakar enam langkah yang dikembangkan oleh Coklin dan Szybist, dimana urutan langkah kerjanya menyerupai motor bakar empat langkah yaitu terdapat langkah:

- 1) Langkah hisap,
- 2) Langkah kompresi,
- 3) Langkah kerja/ekspansi,
- 4) Langkah buang (akhir langkah buang terjadi proses injeksi air)
- 5) Langkah kerja/ekspansi 2
- 6) Langkah buang

Pada akhir langkah ekspansi piston (3) mencapai titik mati bawah, selanjutnya piston bergerak menuju titik mati atas sehingga gas buang hasil pembakaran akan terbuang dan sebelum akhir langkah buang katup buang akan tertutup sehingga gas buang terkompresi kembali / kompresi 2 (5). Pada akhir langkah kompresi kedua, air diinjeksikan ke ruang bakar (6) dengan gas buang didalamnya yang bertemperatur tinggi, mengakibatkan air menguap dan volumenya meningkat, sehingga terjadi langkah ekspansi yang kedua (7). Menurut Severiano et al. [9] kekurangan pada sistem injeksi air adalah terjadinya korosi pada komponen yang dialiri oleh air. Selain itu, perlu menjaga temperatur air saat kondisi mesin mati, karena temperatur air yang cenderung dingin akan mengakibatkan temperatur ruang bakar menjadi lebih dingin sehingga sulitnya start awal mesin.

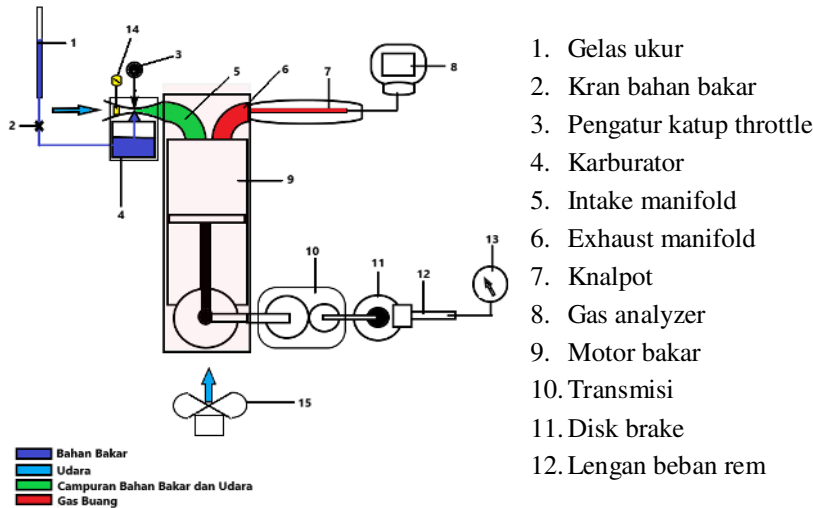
Berbeda konsep dengan motor bakar 6 langkah yang dikembangkan oleh Coklin dan Szybist, Siswanto [10,11], mengawali pengembangan motor bakar dengan konsep baru yaitu motor bakar siklus 6 langkah berbasis penambahan durasi difusi massa campuran udara-bahan bakar dan durasi difusi termal dari dinding silinder dan piston ke campuran udara-bahan bakar. Durasi difusi bahan bakar-udara pada motor bakar 4 langkah relatif singkat yaitu 0,02 detik pada putaran 3000 rpm (Kovakh [12]) sehingga pada putaran tinggi tingkat homogenitas campuran bahan bakar-udara menjadi rendah (Liakos, et al [13]), dan proses pembakaran menjadi tidak sempurna, karena pembakaran dikatakan sempurna jika semua campuran bahan bakar-udara terbakar habis [14]. Penelitian yang dilakukan Rahman, et al [15], mengenai simulasi pembakaran menggunakan bahan bakar hidrogen berbasis CFD menegaskan masih adanya lokal area yang menunjukkan bahan bakar-udara tidak bercampur. Pada konsep yang dikembangkan dilakukan penambahan dua langkah terhadap siklus Otto 4 langkah pada umumnya sehingga dengan penambahan langkah motor bakar akan memiliki 2 langkah kompresi dan 2 langkah ekspansi dalam satu siklus.

Penambahan langkah pada motor bakar diharapkan meningkatkan durasi difusi massa serta temperatur pada campuran udara-bahan bakar. Peningkatan temperatur campuran udara-bahan bakar karena proses difusi termal dengan dinding silinder dan piston akan mempercepat proses difusi massa. Homogenitas campuran udara-bahan bakar bertambah dan daya ekspansi hasil pembakaran akan meningkat. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan langkah terhadap unjuk kerja motor bakar. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk pengembangan berikutnya.

2. METODE DAN BAHAN

Penelitian ini menggunakan motor bakar 4 langkah yang sudah dilakukan pengaturan ulang mejadi motor bakar 6 langkah. Pengaturan tersebut dilakukan dengan cara memberikan gigi reduksi antara putaran *camshaft* dengan putaran *crankshaft*. Untuk setiap tiga putaran *crankshaft* terjadi satu putaran *camshaft*. Selain itu ada perubahan pada bentuk *camshaft*, dimana katup hisap dan buang hanya akan terbuka pada puncak nok pergerakan *camshaft*. Untuk *advancer* pengapian masih menggunakan dari sistem pengapian motor bakar 4 langkah, sehingga akan mempengaruhi besarnya sudut pengapian saat putaran mesin bertambah dan meningkatkan resiko terjadinya *misfire*.

2.1 Instalasi penelitian



Gambar 2: Instalasi penelitian

Pengujian dilakukan pada instalasi penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Besarnya torsi diperoleh dari pengukuran gaya pengereman dengan menggunakan *prony brake*, dimana kaliper rem akan dihubungkan dengan neraca pegas sehingga saat terjadi pengereman, besar beban akan terbaca. Pengujian dilakukan pada bukaan katup *throttle* sebesar 30%. Pada awal pengujian, mesin dioperasikan pada kondisi tanpa beban. Kemudian mesin dioperasikan pada berbagai putaran, dengan mengatur beban pengereman hingga mencapai putaran yang diinginkan sesuai pembacaan pada tachometer. Pengujian dilakukan dari putaran tinggi ke putaran rendah. Pengamatan pada putaran mesin 1800 – 5000 rpm untuk motor bakar 4 langkah dan 3000 – 5800 rpm untuk motor bakar 6 langkah dengan interval pengurangan putaran sebesar 400 rpm. Pada setiap putaran yang diamati, dilakukan pembacaan besar gaya pengereman, waktu yang diperlukan untuk membakar bahan bakar sebanyak **1 ml** dengan menggunakan *stopwatch*, dan jumlah udara yang masuk dengan menggunakan *anemometer*. Pengujian ini dilakukan pada setiap motor bakar yaitu motor bakar 4 langkah dan motor bakar 6 langkah. Data hasil pengujian akan menjadi dasar perbandingan unjuk kerja dari kedua motor bakar. Unjuk kerja yang dilakukan perbandingan adalah torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal, dan konsentrasi emisi gas buang HC.

2.2 Perhitungan Torsi dan Daya Efektif

Untuk mengetahui besarnya daya efektif, besar torsi yang diperlukan adalah torsi *crankshaft*. Torsi *crankshaft* dapat dihitung dari nilai torsi *disk brake* (T_d). Torsi *disk brake* (T_d) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$T_d = (FxL)x(fl) \quad (\text{kg.m}) \quad (1)$$

Dimana F adalah besar gaya pengereman (kg), L adalah panjang lengan beban torsi dari titik pusat *disk brake* (m), f adalah berat dari *disk brake* (kg), dan l adalah jari – jari *disk brake* (m). Sehingga besar torsi *crankshaft* diperoleh dari :

$$T_c = T_d / i_n \quad (2)$$

Dimana i_n adalah rasio dari gear transmisi.

Daya efektif dari motor bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Ne = \frac{T_c \cdot n}{716.5} \quad (3)$$

T_c merupakan besar nilai torsi pada *cranshaft* dan n adalah kecepatan putaran dari *crankshaft*.

2.3 Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif dan Efisiensi Termal Efektif

Konsumsi bahan bakar (FC) merupakan massa dari bahan bakar (kg) yang dikonsumsi oleh mesin dalam satuan waktu (jam). Pada penelitian ini dilakukan pencatatan waktu lamanya konsumsi bahan bakar oleh mesin dengan volume bahan bakar sebesar 1 mL. Jumlah konsumsi bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$FC = \frac{b}{t} \cdot \rho \cdot \frac{3600}{1000} \quad (4)$$

b merupakan volume konsumsi bahan bakar sebanyak 1 ml, t adalah lamanya waktu konsumsi bahan bakar, dan ρ adalah massa jenis bahan bakar (gr/ml). Sehingga besarnya nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFC_e) dapat dihitung dengan persamaan :

$$SFC_e = \frac{Fc}{Ne} \quad (5)$$

FC merupakan jumlah konsumsi bahan bakar dari motor bakar (kg/jam) dan Ne merupakan besar daya efektif yang dihasilkan oleh motor bakar (HP).

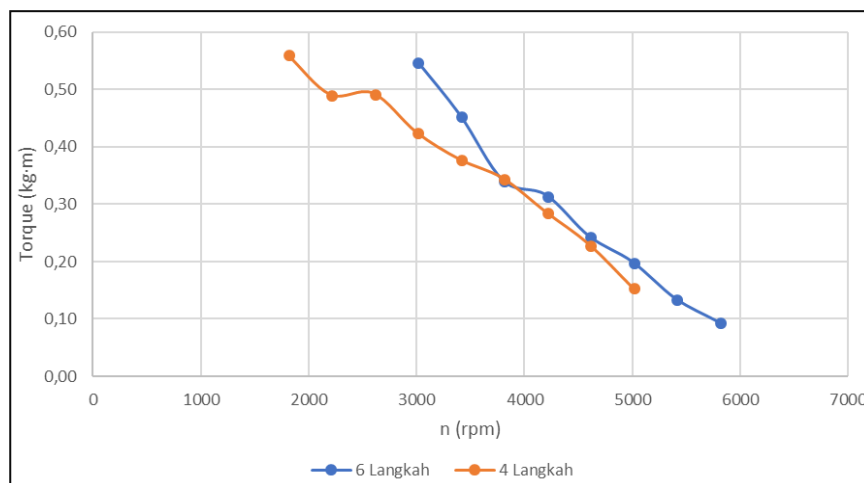
Perhitungan besar nilai efisiensi termal berdasarkan persamaan berikut :

$$\eta_{te} = \frac{632}{SFC_e \cdot LHV_{bb}} \times 100\% \quad (6)$$

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hubungan Putaran Mesin dengan Torsi dan Daya Efektif

Gambar 3 menggambarkan hubungan antara putaran mesin dengan torsi, terlihat bahwa semakin tinggi putaran *crankshaft* maka torsi yang dihasilkan akan semakin menurun. Dapat dijelaskan karena besar nilai dari f berat disk brake, l jari – jari disk brake, dan L panjang lengan beban torsi adalah tetap, sehingga besarnya nilai torsi *disk brake* bergantung dari besar beban F yang diberikan.

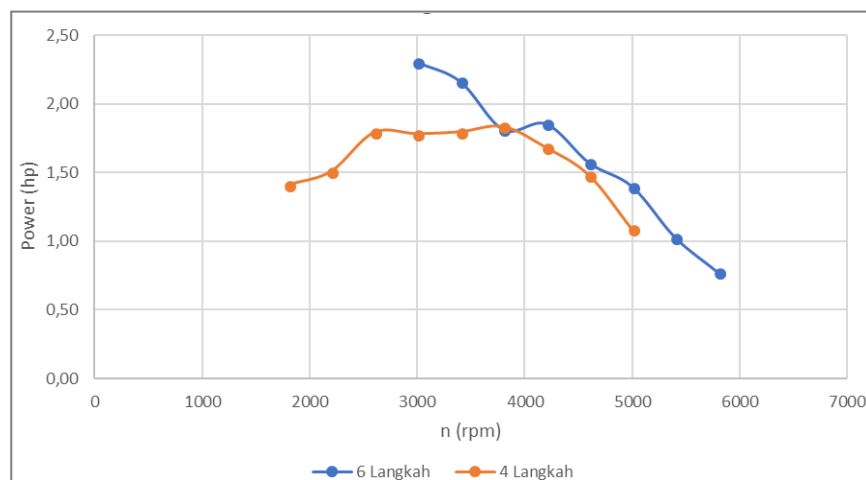


Gambar 3: Hubungan antara putaran mesin dengan besar torsi

Saat putaran tinggi pergerakan katup akan semakin cepat, yang menyebabkan waktu saat katup tertutup

menjadi semakin singkat. Waktu pembakaran campuran bahan bakar – udara juga relatif singkat, padahal semakin tinggi putaran massa campuran bahan bakar – udara yang masuk juga bertambah. Karena hal tersebut tekanan efektif hasil pembakaran menjadi kecil dan torsi yang dihasilkan menjadi berkurang. Torsi tertinggi didapatkan pada motor bakar empat langkah sebesar 0,56 kgm pada putaran 1800 rpm dan torsi terendah sebesar 0.16 pada putaran 5000 rpm. Sedangkan torsi tertinggi pada motor bakar enam langkah adalah sebesar 0,55 kgm pada putaran 3000 rpm dan torsi terendah terjadi pada putaran 5800 rpm sebesar 0,1 kgm. Nilai torsi pada motor bakar empat langkah dan enam langkah ketika bertambahnya putaran mesin cenderung turun dikarenakan putaran mesin menjadi turun sesuai dengan penambahan beban pengereman pada poros hingga putaran mesin yang diinginkan.

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif yang dihasilkan oleh motor bakar. Grafik daya efektif cenderung menurun dengan semakin meningkatnya putaran mesin. Daya efektif yang dihasilkan oleh motor bakar enam langkah dibandingkan dengan motor bakar empat langkah pada putaran yang sama mendapatkan nilai daya dengan rata-rata yang lebih tinggi. Hal ini dapat diasumsikan karena durasi difusi massa relatif lebih lama sehingga homogenitas campuran bahan bakar-udara juga menjadi lebih baik. Disamping itu penambahan durasi difusi termal akan mampu menaikkan temperatur campuran bahan bakar motor bakar enam langkah dan daya hasil proses pembakaran cenderung lebih baik.

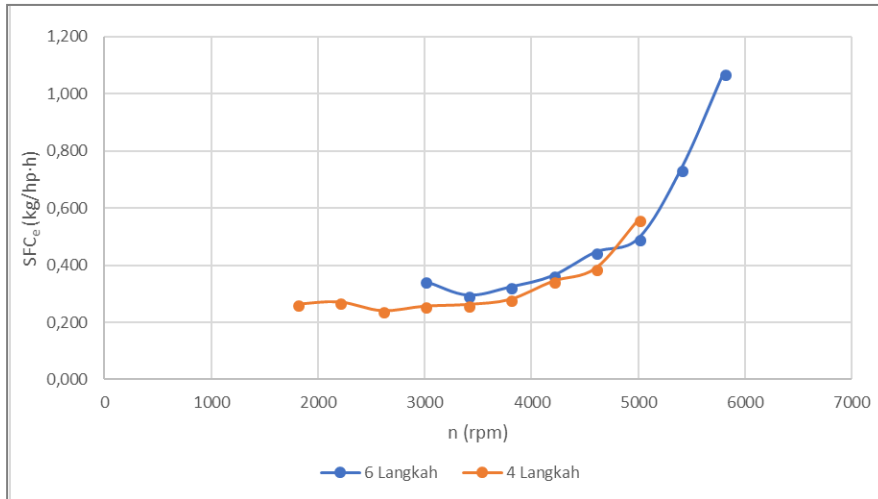


Gambar 4: Hubungan antara putaran mesin dengan besar daya

Pada putaran rendah motor bakar enam langkah mempunyai nilai daya yang terbesar hal ini dapat disebabkan rendahnya nilai AFR yang berdampak campuran bahan bakar – udara terlalu kaya, selain itu diperkuat tingginya konsentrasi gas buang HC yang dihasilkan. Daya terbesar yang dapat dicapai motor bakar enam langkah terjadi pada putaran 3000 rpm sebesar 2,73 (hp) dan daya terendah diperoleh pada putaran 6200 rpm sebesar 0,6 (hp). Untuk motor bakar empat langkah daya terbesar dicapai pada putaran 3800 sebesar 2,25 (hp) dan daya terendah diperoleh pada putaran 5000 rpm sebesar 0.69 (hp). Besar daya motor bakar empat langkah sesuai grafik diatas akan meningkat sesuai dengan bertambahnya putaran mesin dan akan kembali turun. Jumlah campuran udara dan bahan bakar yang masuk kedalam silinder akan meningkat sesuai dengan bertambahnya putaran mesin sehingga pada putaran tinggi kualitas campuran bahan bakar udara akan turun serta banyak campuran bahan bakar udara yang tidak terbakar dengan sempurna sehingga energi yang dihasilkan akan menurun.

3.2 Hubungan Putaran Mesin dengan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif dan Efisiensi Termal Efektif

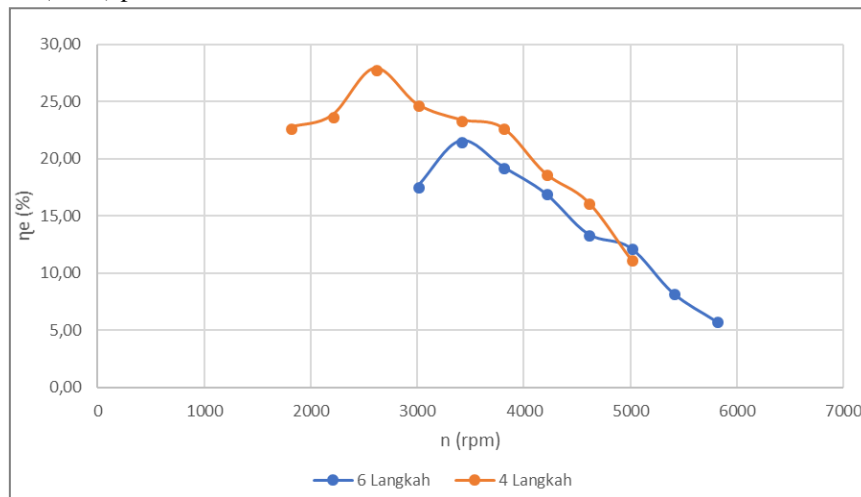
Konsumsi bahan bakar spesifik efektif merupakan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya efektif sebesar 1 hp selama 1 jam. SFCE berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar (F_c) dan berbanding terbalik dengan daya efektif (N_e), semakin besar daya efektif maka SFCE yang dibutuhkan semakin kecil. Gambar 5 menunjukkan hubungan antara putaran mesin dengan jumlah konsumsi bahan bakar spesifik efektif. Semakin tinggi putaran mesin nilai dari konsumsi bahan bakar spesifik akan juga naik. Saat putaran tinggi jumlah frekuensi pembakaran meningkat, sehingga peningkatan frekuensi pembakaran menyebabkan konsumsi bahan bakar akan bertambah.



Gambar 5: Hubungan antara putaran mesin dengan konsumsi bahan bakar spesifik efektif

Hasil pengujian menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar spesifik efektif terendah motor bakar enam langkah terjadi pada putaran rendah sebesar $0.296 \text{ (kg}\cdot\text{hp}^{-1}\cdot\text{jam}^{-1})$ yang terus meningkat hingga $1.073 \text{ (kg}\cdot\text{hp}^{-1}\cdot\text{jam}^{-1})$. Sementara motor bakar empat langkah diperoleh nilai SFCe terendah sebesar $0.24 \text{ (kg}\cdot\text{hp}^{-1}\cdot\text{jam}^{-1})$ dan terus meningkat hingga mencapai $0.56 \text{ (kg}\cdot\text{hp}^{-1}\cdot\text{jam}^{-1})$. Pada Gambar 5, nilai dari SFCe akan semakin meningkat karena semakin tingginya putaran maka jumlah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan semakin banyak dimana laju aliran bahan bakar semakin cepat sesuai dengan jumlah debit udara yang juga semakin banyak saat melewati venturi pada karburator atau dengan kata lain efisiensi volumetrik meningkat, namun jumlah bahan bakar yang terbakar relatif sedikit pada putaran tinggi sehingga energi yang dihasilkan akan menurun.

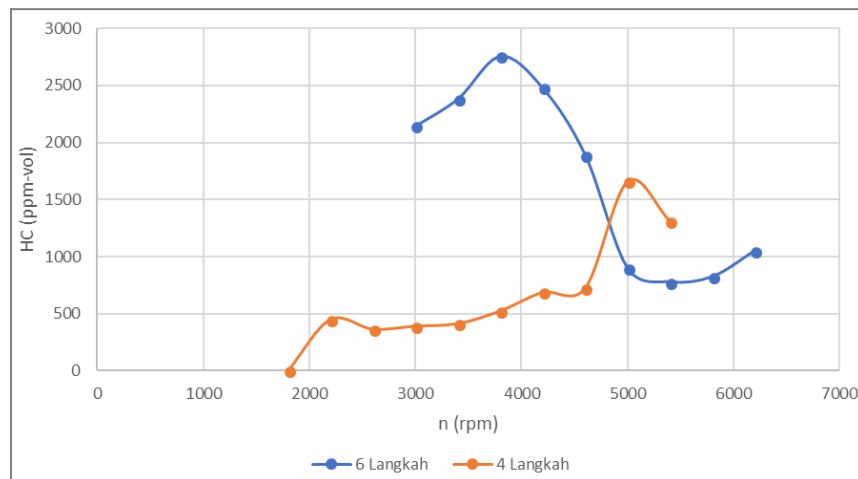
Gambar 6 menunjukkan hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif dan dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran motor maka efisiensi termal efektif yang dihasilkan akan cenderung menurun. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi termal efektif hanya dipengaruhi oleh nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif, semakin tinggi SFCe semakin rendah efisiensi termal efektif sedangkan nilai kalor rendah bahan bakar (LHV) pada kondisi bernilai konstan.



Gambar 6: Hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif

Nilai efisiensi termal dari motor bakar enam langkah secara rata-rata masih lebih kecil dibandingkan dengan motor bakar 4 langkah padahal jika dilihat dari jumlah konsumsi bahan bakar motor bakar enam langkah jauh lebih banyak. Hal ini dapat terjadi karena terjadinya *misfire* atau tidak tepatnya sudut pengapian pada saat putaran mesin bertambah. Sehingga daya efektif yang dihasilkan pada saat bertambahnya putaran tinggi menjadi berkurang. Efisiensi termal motor enam langkah terjadi pada putaran mesin 3400 rpm sebesar 21,6% dan terendah pada putaran mesin 5800 rpm sebesar 5,85%, sedangkan efisiensi termal pada motor bakar empat langkah pada putaran 2600 rpm sebesar 27,91% dan terendah pada putaran 5000rpm sebesar 11,24%.

3.3 Hubungan putaran mesin dengan gas buang HC



Gambar 7: Hubungan antara putaran mesin dengan gas buang HC

Gambar 7 gas buang HC pada motor enam dan motor empat langkah mempunyai kecenderungan yang sama. Pada putaran rendah gas HC akan cenderung tinggi hingga putaran tertentu gas buang HC akan mengalami penurunan, namun semakin tinggi putaran konsentrasi gas HC juga akan semakin meningkat. Hal ini terjadi pada saat putaran dengan beban rendah *air fuel ratio (AFR)* cenderung kaya begitu juga pada saat putaran yang tinggi sehingga kurang baiknya pencampuran bahan bakar dengan udara yang mengakibatkan bahan bakar tidak terbakar. Konsentrasi tertinggi gas HC pada motor enam langkah terjadi pada putaran 3800 rpm dan terendah pada putaran 5400 rpm, sedangkan pada motor empat langkah konsentrasi gas HC tertinggi terjadi pada putaran 5000 rpm dan terendah pada putaran 2600 rpm. Pada motor bakar enam langkah setelah putaran 3800 rpm konsentrasi gas HC terus menurun sampai puncak titik terendah pada putaran 5400 rpm, hal ini kemungkinan terjadi karena nilai dari AFR mendekati stokiometri dan penambahan langkah kerja pada motor bakar yang bertujuan untuk meningkatkan durasi difusi massa dan termal pada campuran, mampu meningkatkan homogenitas campuran bahan bakar – udara atau dengan kata lain jumlah bahan bakar yang bereaksi dengan oksigen meningkat.

4. KESIMPULAN

Dari pembahasan hasil penelitian mengenai pengaruh penambahan langkah kerja terhadap unjuk kerja motor bakar dapat disimpulkan bahwa penambahan langkah kerja pada motor bakar dapat meningkatkan unjuk kerja dari motor bakar dalam hal torsi, daya dan kecepatan putar *crankshaft*. Dalam perhitungan rata - rata torsi dan daya mengalami peningkatan sebesar 15%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] SOETIARI, T.J., *Bahan Bakar dan Proses-Proses Kimia Pembakaran*, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang, 1990.
- [2] EBRAHIMI, R., GHANBARIAN, D., TAYADON, M.R., "Performance of an otto engine with volumetric efficiency", *Journal of American Science*, v. 6, n. 3, pp. 27-31. 2010.
- [3] AHUJA, K., HARISH, A., RAGHAVAN, V., "Experimental study of initial fuel temperature on the burning rates of kerosene pools in cold environment", *International Journal of Engineering Research*, v. 4, n. 1, pp. 36-39, Jan. 2015.
- [4] SHANMUKAM, A., KUMAR, K.S., PRABHU, T.M., "Pre-heating fuel for charge homogeneity to improve combustion", *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering*, v. 2, n. 1, pp. 87-92. 2013.
- [5] BUDIPRASOJO, A., IRAWAN, A., "Engine combustion efficiency and performance of exhaust pipe fuel preheating system", *Jurnal Rekayasa Mesin*, v. 9, n. 1, pp.1-7. 2018.
- [6] BAJULAZ, R., *Internal combustion engine*, United State Patent No. US 4809511A, 1989.

- [7] HAYASAKI, T., OKAMOTO, Y., AMAGAI, K., ARAI, M., "A six stroke DI diesel engine under dual fuel operation", SAE Paper No. 1999-01-1500, International Fuels and Lubricants Meeting and Exposition, 1999.
- [8] CONKLIN, J. C., SZYBIST, J. P., "A highly efficient six stroke internal combustion engine cycle with water injection for in cylinder exhaust heat recovery", *Journal Energy Elsevier* 35, pp. 1658-1664. 2010.
- [9] SEVERINO, J. A., SILVA, A. S., SUSSUSHI, E. M., SANT'ANNA, M. V. S., CUNHA, M. A., BERGMANN, C. P., GRIZA, S., "Corrosion damages of flow regulation valves for water injection in oil fields", *Journal Engineering Failure Analysis Elsevier* 96, pp. 362-373. 2018.
- [10] SISWANTO, E., WIDHIYANURIYAWAN, D., WIDODO, A.S., HAMIDI, N., DARMADI, D.B., SUDJITO, "On the performance of six-stroke Single-power combustion engine", *JP Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 14, n. 2. 2017.
- [11] SISWANTO, E. *Operational method of internal combustion engine using six stroke cycle*, Indonesian Patent No. P00201304429, 2013.
- [12] KOVAKH, M., *Motor Vehicle Engine*, MIR Publisher, Moscow, 1979.
- [13] LIAKOS, H.H., FOUNTI, M. A., MARKATOS, N.C., "Modeling of Stretched Natural Gas Diffusion Flames." *Applied Mathematical Modelling*, pp. 419-435, May. 2000.
- [14] PULKRABREK, WILLARD W., *Engineering Fundamental of The Internal Combustion Engine*, New Jersey: Prentice Hall International Inc, 2004.
- [15] RAHMAN, M.M., KHALAF I. HAMADA, MOHAMMED K. MOHAMMED, ROSLI A. BAKAR, M.M. NOOR, & K. KADIRGAMA. 2009. "Numerical Investigation of the In-cylinder Flow Characteristic of Hydrogen Fueled Internal Combustion Engine." *International Advanced of Technology Congress (ATCi)*. Pahang: PWTC. 1-7.