PENGARUH RASIO KOMPRESI TERHADAP KINERJA MESIN OTTO 4 LANGKAH SISTEM INJEKSI BERBAHAN BAKAR CNG

M. Hudha Ekojati, Mega Nur Sasongko, Agung Sugeng Widodo
Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: hudhajati@gmail.com

Abstrak

Masih terus digunakannya bahan bakar fosil yang sulit digantikan sampai sekarang akan terus berpengaruh terhadap lingkungan karena hasil gas buang yang dihasilkan dapat menurunkan kualitas udara. Oleh karenanya dibutuhkan sumber bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dan dapat terjamin ketersediaannya di masa depan. Salah satu sumber energi yang dapat dijadikan alternatif sebagai pengganti bahan bakar fosil pada motor otto adalah Compressed Natural Gas (CNG). CNG sendiri merupakan jenis bahan bakar yang terbentuk dari gas alam metana (CH_4) yang terkompresi pada tekanan penyimpanan 200 bar. Penelitian ini menggunakan mesin otto 4 langkah sistem injeksi satu silinder bervolume 124.8cc dengan ignition timing dan AFR pada kondisi standar. Rasio kompresi divariasikan 9.3 : 1, 10.6 : 1 dan 12.5 : 1 pada putaran mesin dengan variasi putaran 2500-7000 rpm dan interval 500 rpm. Nilai torsi maksimal 0.321 kg×m pada putaran 4500 rpm, daya efektif 3.134 Ps pada putaran 7000 rpm nilai efisiensi termal efektif 20.20 % pada putaran 4500 rpm dan nilai SFCe 0.262 kg×PS^{-1}×jam pada putaran 4500 rpm dengan menggunakan bahan bakar CNG pada rasio kompresi 12.5 : 1.

Kata Kunci: ***CNG, Rasio Kompresi, Mesin Otto 4 langkah, Kinerja.***

PENDAHULUAN

Gas alam saat ini dianggap sebagai bagian dari sebuah kemajuan teknologi dalam bidang otomotif karena dengan semakin menipisnya bahan bakar fosil, energi-energi terbarukan tidak dapat terelakkan lagi. Dan dalam prosesnya, gas alam cenderung semakin banyak digunakan dalam sedekade terakhir karena selain mudah di dapatkan juga lebih dari 70% gas yang terkandung di bumi ini merupakan gas alam. Selain itu faktor ramah lingkungan juga menjadi pertimbangan penting bagi dunia akan kesadaran tentang harus adanya terobosan baru dari segi energi yang dapat mengurangi polusi udara seperti saat ini.

Dalam prosesnya, gas alam cenderung semakin banyak digunakan dalam sedekade terakhir karena selain mudah di dapatkan juga lebih dari 70% gas yang terkandung di bumi ini merupakan gas alam. Selain itu faktor ramah lingkungan juga menjadi pertimbangan penting bagi dunia akan kesadaran tentang harus adanya terobosan baru dari segi energi yang dapat mengurangi polusi udara seperti saat ini. Jumlah dari seluruh dunia tentang kendaraan gas alam, dalam hal ini CNG meningkat karena tidak ada sumber yang konsisten lain selain dari gas alam yang lebih menjanjikan.

Pemimpin dunia dalam NGVs (*Natural Gas Vehicle*) untuk saat ini adalah Iran dengan 4.070.000 kendaraan berbahan bakar gas alam, lalu di belakang Iran ada Cina dengan 3.990.000 kendaraan dan dalam 10 tahun terakhir, di seluruh dunia populasi NGVs telah meningkat cepat pada tingkat tahunan dari 24% dengan kontribusi terbesar berasal dari Asia-Pasifik dan Latin America. Tren ini diproyeksikan untuk melanjutkan rata-rata pertumbuhan tahunan sebesar 3,7% sampai tahun 2030. Saat ini ada lebih dari 18 juta kendaraan gas alam didistribusikan melalui lebih dari 86 negara di dunia dengan konsentrasi utama di Iran, Cina, Pakistan, Argentina, India, Brazil, Italia dan Kolombia. Mayoritas (93%) dari kendaraan CNG ini adalah kendaraan komersial [1].

CNG berasal dari fraksi gas alam dan tersusun oleh gas metana (CH_4) sebagai komponen utamanya, selain gas metana terdapat berbagai jenis senyawa lain dengan jumlah yang berbeda-beda, seperti hidrogen, etilena, carbon monokida, carbon dioksida, nitrogen, oksigen dan hidrogen sulfida. Bahan bakar ini meskipun masih mengeluarkan CO_2 hasil dari pembakarannya, tetap dianggap lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar.

Penggunaan bahan bakar gas pada kendaraan sebenarnya memiliki beberapa kunggulan jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar minyak diantaranya : Nilai angka oktan yang tinggi sehingga lebih tahan terhadap *knocking*, dapat digunakan pada rasio kompresi yang lebih tinggi dengan efisiensi termal yang lebih

baik dibandingkan dengan bahan bakar minyak [2], hasil pembakaran yang lebih bersih, ketersediannya yang masih banyak dan harganya yang lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar minyak [3]. Berikut perbandingan karakteristik antara bensin dan CNG disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik *Gasoline* dan CNG [4]

Property	*Gasoline*	CNG
H/C ratio	1.9	4
Energy Content (MJ/kg)	44	50
Liquid Density (kg/*l*)	0.72-0.78	0.422
Liquid Energy Density (MJ/*l*)	33	21.13
Boiling Point (°C)	37-205	-161.6
Research Octane Number	92-98	120
Motor Octane Number	80-90	120
Cetane Number	0-5	0
Stoichiometric air-fuel ratio	14.7	17.2
Reid Vapor Pressure (psi)	8-15	2400

Namun penggunaan bahan bakar gas pada mesin *otto* dapat menurunkan performa dari motor, karena karakteristik sifat bahan bakar bensin berbeda dengan gas sehingga dapat menurunkan efisiensi volumetrik dari mesin tersebut. Sedangkan denga penelitian bahan bakar CNG melalui perubahan pengapian pada silinder tunggal dihasilkan bahwa tekanan di didalam silinder turun 20% dari *gasoline* dan laju perpindahan panasnya juga menurun 23% dibading *gasoline*. Hasil ini menjelaskan mengapa CNG menghasilkan tenaga 18,5% lebih rendah dibandingkan dengan cairan dari bahan bakar (*gasoline*)[5].

Simulasi menggunakan komputer untuk bahan bakar LPG pada mesin *otto* dengan silinder tunggal dengan mengubah rasio kompresi menunjukkan keuntungan baha torsi dapat meningkat sekitar 7-54% pada kecepatan rendah dan 7-57% pada kecepatan tinggi tetapi mengalami 6% pengurangan konsumsi bahan bakar spesifik dan 6% pada kecepatan tinggi [6].

Massa jenis bahan bakar CNG yang berbeda dengan bahan bakar cair menghasilkan daya yang leih rendah dimana fase gas memenuhi lebih banyak volume per energi jika dibandingkan dengan bahan bakar cair [7]. Faktor lain adalah kecepatan api yang rendah dari CNG yang membutuhkan percepatan *ignition timing* untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna [8].

Proses pembakaran secara teoritis bahan bakar bensin (isooktan) dapat dilihat pada reaksi :

$C_8H_{18} + 12{,}5(O_2 + 3.76\ N_2) \longrightarrow 8CO_2 + 9\ H_2O + 47\ N_2$

Sedangkan untuk proses pembakaran secara teoritis pada bahan bakar CNG (CH_4) dapat dilihat pada reaksi dibawah ini :

$CH_4 + 2(O_2 + 3.76\ N_2) \longrightarrow CO_2 + 2H_2O + 7.52\ N_2$

Semakin sempurna pembakaran maka semakin optimal pula kinerjanya. Maka dari itu kinerja mesin yang optimal sangat dipengaruhi. Bahan bakar gas dapat digunakan langsung untuk motor bakar karena CNG memiliki bilangan oktan kurang lebih 120, meskipun begitu bagi motor bakar yang dirancang untuk menggunakan bahan bakar bensin apabila bahan bakarnya langsung diganti oleh bahan bakar gas akan menyebabkan penurunan performa yang meliputi torsi dan daya pada motor bakar tersebut. Hal ini disebabkan karena adanya pebedaan karakteristik pembakaran antara bahan bakar bensin dan gas yang menyebabkan terjadi penurunan efisiensi volumetrik [9].

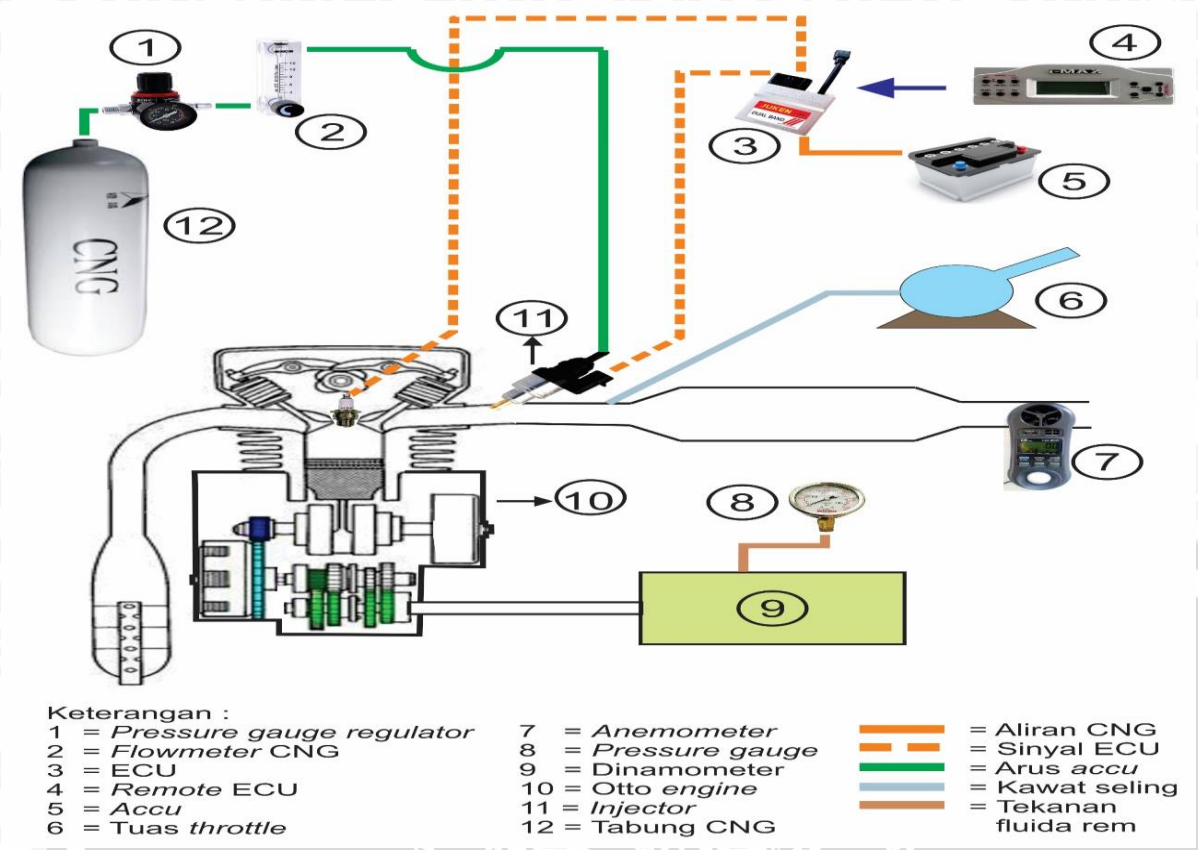
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode penelitian eksperimental dimana penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengujian langsung dengan rasio kompresi 9.3 : 1, 10.7 : 1 dan 12.7 : 1 dan pada putaran 2500-7000 rpm dengan interval 500 tiap putarannya. Torsi, daya efektif, *specific fuel consumption* efektif, dan efisiensi termal efektif merupakan hasil dari penelitian dengan tekanan CNG 0.8 bar dan tekanan rem 1.4 bar serta transmisi mesin dikondisikan pada *gear* 2.

Instalasi Penelitian

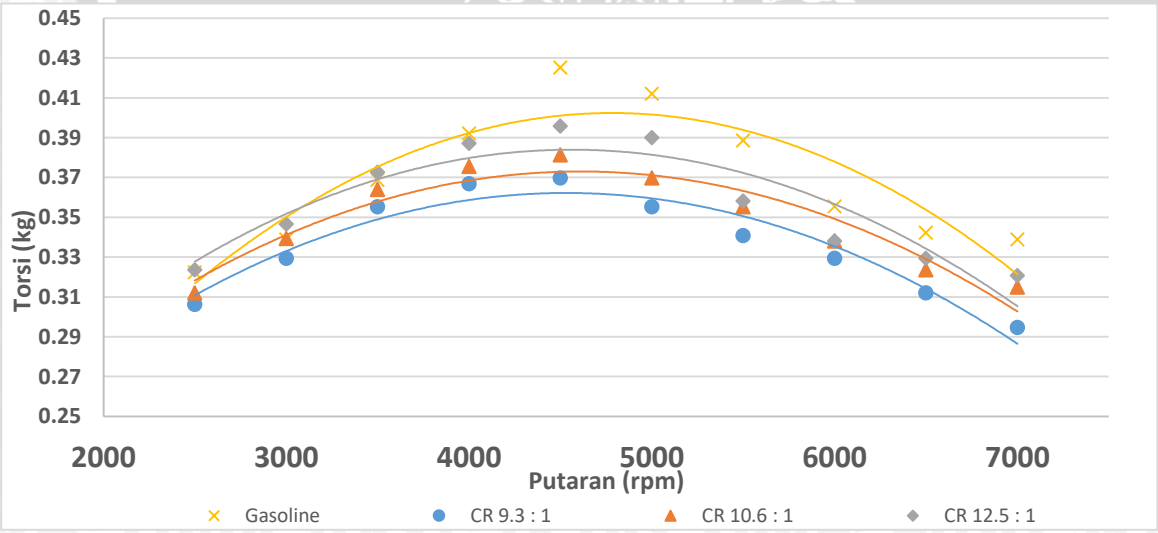
Penelitian ini menggunakan motor bakar 4 langkah satu sislinder dengan sistem injeksi berbahan bakar CNG dengan volume 124.8 cc. Bahan bakar CNG dari tabung akan dialirkan melalui injektor pada alat uji dengan menggunakan selang pneumatik dengan tekanan dijaga konstan 0.8 bar menggunakan *Pressure Gauge Regulator* dan untuk mengukur debit bahan bakar menggunakan *flowmeter*. Sedangkan massa alir udara yang masuk melalui intake manifold akan diketahui kecepatan aliran udaranya menggunakan anemometer. Untuk pembacaan nilai putaran mesin digunakan *remote* ECU yang tersambung pada ECU *programmable*. Perubahan rasio kompresi dilakukan sebelum pengujian dilakukan dengan membubut nat 2mm pada volume ruang bakar dan

menambahkan 1mm paking untuk variasi rasio kompresinya. Sedangkan untuk pembacaan gaya pembebanan digunakan neraca pegas pada dinamometer.



Gambar 1. Instalasi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN



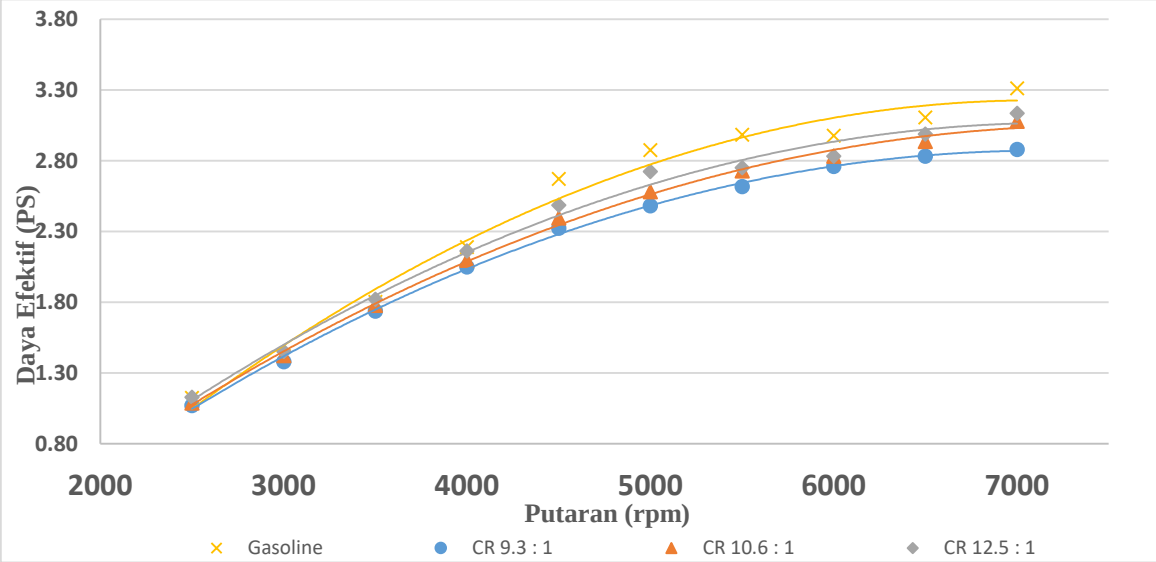
Gambar 2. Grafik hubungan torsi terhadap putaran

Pada Gambar 2 menunjukkan hubungan torsi terhadap putaran dimana dari grafik dapat dilihat bahwa nilai putaran sangat mempengaruhi besarnya nilai torsi. Pada putaran rendah, torsi cenderung naik kemudian seiring bertambahnya putaran lalu torsi kemudian turun. Penurunan ini disebabkan karena dengan semakin tingginya

nilai suatu putaran mengakibatkan gerakan pada bukaan tutup katup isap pada langkah isap juga akan semakin cepat sehingga interval waktu campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar akan semakin sedikit, hal ini menyebabkan energi yang dihasilkan dari pembakaran untuk menggerakkan piston semakin kecil yang akhirnya menyebabkan torsi yang dihasilkan juga kecil.

Torsi yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar bensin berada diatas bahan bakar CNG pada semua variasi rasio kompresi. Hal ini disebabkan oleh penggantian bahan bakar dari bahan bakar cair menjadi gas pada mesin yang dirancang untuk menggunakan bahan bakar cair dapat menurunkan efisiensi volumetrik. Namun dengan adanya variasi rasio kompresi yang dilakukan dengan cara mengurangi volume ruang bakar akan membuat volume silinder menjadi semakin besar yang akhirnya akan meningkatkan tekanan kompresi di dalam ruang bakar yang membuat nilai torsi akan semakin meningkat pada nilai rasio kompresi yang semakin besar.

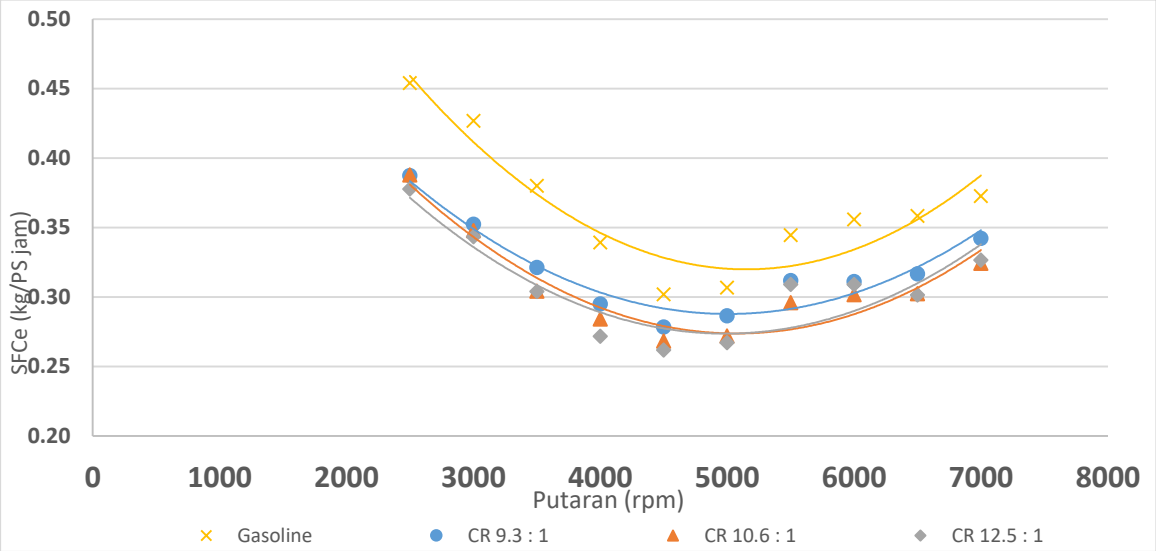
.



Gambar 3. Grafik hubungan daya efektif terhadap putaran

Pada Gambar 3 menunjukkan hubungan antara daya efektif dan putaran. Semakin tinggi putaran, daya efektif yang dihasilkan meningkat karena daya efektif dipengaruhi oleh nilai torsi dan putaran. Pada pembahasan hubungan antara nilai putaran dengan torsi di jelaskan bahwa pada putaran yang tinggi mengakibatkan nilai torsi turun disebabkan oleh dengan semakin besarnya nilai putaran maka gerakan buka tutup pada katup isap didalam langkah isap juga semakin cepat sehingga campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar akan semakin sedikit yang menyebabkan energi yang dihasilkan juga akan berkurang. Penurunan torsi ini yang menyebabkan nilai daya efektif juga akhirnya menurun meskipun turunnya nilai torsi dan daya efektif berada pada nilai putaran yang berbeda. Nilai torsi akan mulai turun pada nilai putaran yang lebih rendah dibandingkan nilai putaran ketika daya mulai turun. Hal ini dikarenakan nilai daya efektif dipengaruhi oleh hasil perkalian nilai putaran dengan nilai torsi. Meskipun torsi cenderung turun, daya efektif akan terus meningkat karena putaran yang terus meningkat. Daya terus meningkat selama presentase kenaikan putaran masih melebihi presentase kehilangan torsi. Ketika keuntungan dan kerugian berada pada titik yang sama, maka akan tercapai puncak daya. Selanjutnya setiap pertambahan putaran hanya akan menghasilkan penurunan daya.

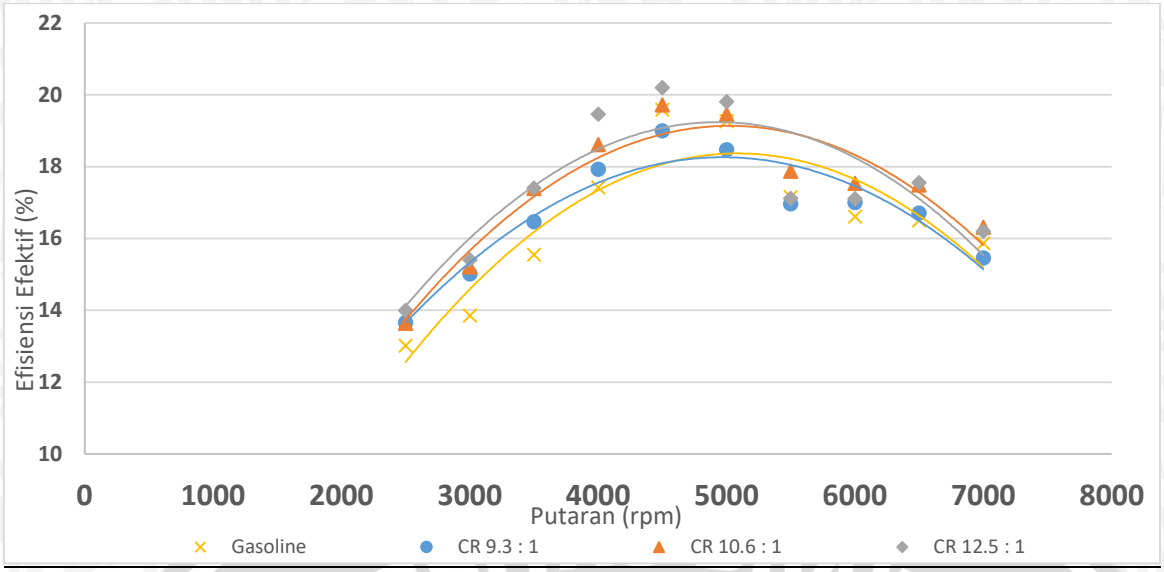
Dan dari semua variasi rasio kompresi yang telah di uji coba, nilai daya efektif tertinggi didapatkan pada rasio kompresi 9.3 : 1 dengan bahan bakar *gasoline*. Hal ini disebabkan karena penggantian bahan bakar dari bahan bakar cair menjadi gas pada mesin yang dirancang untuk menggunakan bahan bakar cair dapat menurunkan efisiensi volumetrik, efisiensi volumetrik sendiri adalah perbandingan antara udara yang masuk kedalam ruang bakar dengan volume dari ruang bakar itu sendiri. Bahan bakar gas yang memiliki massa jenis yang lebih rendah dari pada udara akan lebih mudah terhisap menuju ruang bakar.



Gambar 4. Grafik hubungan SFCe terhadap putaran

Pada gambar diatas bisa dilihat bahwa seiring bertambahnya putaran maka nilai SFCe akan semakin turun tetapi pada rpm tertentu nilai SFCe cenderung naik. Nilai SFCe yang tinggi pada saat awal putaran disebabkan karena adanya kerugian panas yang hilang menuju ke dinding silinder dan efisiensi pembakaran yang buruk yang menghasilkan besarnya konsumsi bahan bakar terhadap daya efektif yang dihasilkan. Sedangkan nilai SFCe yang tinggi pada pada saat putaran tinggi disebabkan oleh semakin tinggi putaran maka akan berpengaruh pada bertambahnya nilai *fuel consumption* yang dihasilkan meskipun dengan daya efektif yang sama yang mengakibatkan meningkatnya nilai SFCe.

Apabila dibandingkan antara nilai SFCe dengan menggunakan bahan bakar *gasoline* dan menggunakan bahan bakar CNG pada rasio kompresi yang sama yaitu 9.3 : 1, nilai SFCe CNG masih lebih rendah. Hal ini dikarenakan perbedaan nilai FC saat menggunakan bahan bakar *gasoline* sebesar 1.233 kg/jam sedangkan nilai FC untuk penggunaan bahan bakar CNG adalah sebesar 0.985 kg/jam. Untuk nilai FC sendiri dipengaruhi oleh nilai massa jenis, dimana massa jenis dari *gasoline* yang memiliki nilai lebih besar dibandingkan CNG menyebabkan ketika 1 ml *gasoline* dengan 1 ml CNG memiliki nilai FC yang berbeda. Nilai kalor dari CNG juga berpengaruh yang mana nilainya lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai kalor *gasoline*, dengan demikian sejumlah kalor spesifik dapat dilepaskan dengan jumlah bahan bakar yang lebih sedikit.



Gambar 5. Grafik hubungan efisiensi termal terhadap putaran

Pada grafik diatas dapat dilihat hubungan antara efisiensi termal efektif terhadap putaran pada tiap variasi rasio kompresi adalah ketika pada putaran yang rendah efisiensi termal efektif cenderung naik tetapi seiring dengan bertambahnya putaran, nilai efisiensi termal efektifnya cenderung turun. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi termal efektif sendiri dipengaruhi oleh nilai daya efektif, konsumsi bahan bakar, dan nilai kalor bahan bakar. Sesuai pembahasan pada grafik perbandingan putaran dengan daya efektif bahwa ketika rpm rendah nilai daya efektif awalnya naik sampai pada nilai tertentu kemudian nilai daya efektif kemudian turun.

Ketika nilai daya efektif dan nilai kalor bahan bakar tetap maka nilai konsumsi bahan bakar sangat berpengaruh pada nilai efisiensi termal efektif. Ketika semakin kecil nilai konsumsi bahan bakar maka nilai efisiensi termal efektif akan meningkat. Oleh karena itu pada nilai rpm rendah yang memiliki nilai konsumsi bahan bakar cenderung naik, nilai efisiensi termal efektif akan menurun dan pada nilai rpm tinggi yang nilai konsumsi bahan bakar terus naik, nilai efisiensi termal efektifnya juga cenderung akan menurun. Persamaan di atas memperlihatkan bahwa nilai efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai SFCe dan besar atau kecilnya efisiensi termal tergantung pada nilai SFCe.

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai efisiensi termal efektif dengan menggunakan bahan bakar CNG dengan rasio kompresi tertinggi masih lebih besar dibandingkan dengan efisiensi termal efektif menggunakan bahan bakar *gasoline*. Hal ini dikarenakan meskipun nilai daya efektif yang dihasilkan oleh bahan bakar *gasoline* lebih besar tetapi nilai konsumsi bahan bakar *gasoline* dengan rasio kompresi 9.3 : 1 masih lebih besar yaitu sebesar 1.233 Kg/jam dibandingkan konsumsi bahan bakar CNG pada rasio kompresi 9.3 : 1 dan 10.6 : 1 yaitu sebesar 0.985 dan 0.998 Kg/jam, karena selisih konsumsi bahan bakar lebih besar dari pada selisih daya efektif dan nilai kalor menyebabkan nilai efisiensi termal efektif bahan bakar CNG masih lebih besar dari pada bahan bakar *gasoline*.

KESIMPULAN

1. Dengan variasi rasio kompresi dapat memberikan pengaruh pada kinerja mesin *otto* 4 langkah dengan sistem injeksi berbahan bakar CNG dimana nilai torsi maksimal didapatkan sebesar 0.321 kg·m pada putaran 4500 rpm, daya efektif sebesar 3.134 Ps pada putaran 7000 rpm, nilai SFCe 0.262 kg/Ps·jam pada putaran 4500 rpm dan nilai efisiensi termal sebesar 20.20 % pada putaran 4500 rpm dengan variasi rasio kompresi 12.5 : 1.
2. Dengan variasi rasio kompresi yang sama, torsi dan daya yang dihasilkan menggunakan bahan bakar CNG lebih rendah dibandingkan menggunakan bahan bakar bensin namun dengan variasi rasio kompresi 10.6 : 1 dan 12.5 : 1 didapatkan nilai SFCe dan efisiensi termal efektifnya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Muhammad Imran Khan, Tabassum Yasmin, Abdul Shakoor, 2015. *Technical Overview Of Compressed Natural Gas (CNG) as a Transportation Fuel*, Mechanical Engineering Department,

University Of Engineering & Technology Peshawar, Pakistan.

[2] Korakianitis. T, A.M. Namasivayam, R.J. Crookes, 2011. *Natural-gas fueled spark-ignition (SI) and compression-ignition (CI) engine performance and emissions*, Progress in Energy and Combustion Science 37, 89-112 School of Engineering and Materials Science, Queen Mary University of London, United Kingdom.

[3] Abu Bakar Rosli, Mardani Ali Sera, 2001. *The Realization Of Optimum CNG Engine:It's Implication On Engine Design*, Advances in Malaysian Energy Research, Malaysia.

[4] Faiz A, Christopher S. Weaver, Michael P. Walsh, 1996. *Air Pollution from Motor Vehicle*, Washington.

[5] Musthafah Mohd, Tahir, M.S. Ali, M.A. Salim, Rosli A. Bakar, A.M. Fudhail, M.Z. Hassan, Abdul Muhaimin M.S. ,2015. *Engine Using Compressed Natural Gas (CNG) as Fuel*, Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Hang Tuah Jaya, 76100 Durian Tunggal Melaka, Malaysia.

[6] Hakan Ozcan, Jehad A.A Yamin, 2007. *Performance and Emission Characteristics of LPG Powered Four Stroke SI Engine Under Variable Stroke Length and Compression Ratio*, Department of Mechanical Engineering, Ondokuz Mayis University, 55162 Samsun, Turkey.

[7] Tahir. Musthafah Mohd, M. S. Ali, M.A. Salim, Rosli A. Bakar, A. M. Fudhail, M.Z. Hassan, Abdul Muhaimin M. S, 2015. *Performance analysis of a spark ignition engine using compressed natural gas (CNG) as fuel*, Energy Procedia 68, 355–362, Faculty of Mechanical Engineering, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Malaysia.

[8] Ali Sera Mardani, Rosli Abu Bakar dan Sin Kwan Leon, 2011. *Effect Of Fuel Density On The Performance Of a CNG Fuelled Engine*, NGV Community Library, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal Universiti Teknologi Malaysia Skudai Johor Darul Ta'zim Malaysia.

[9] Aris Munandar, Wiranto, 2005. *Penggerak mula Motor Bakar Torak cetakan kedua*, ITB, Bandung.