

PENGARUH LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR CNG PADA PERFORMA MESIN KENDARAAN BERMOTOR

THE INFLUENCE OF CNG FUEL FLOW RATE ON VEHICLE ENGINE PERFORMANCE

Ridwan Arief Subekti

Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik - LIPI
Komplek LIPI, Jl. Cisitu No.21, Bandung, Indonesia
Email: ridwanarief_rais@yahoo.com

Diterima: 6 September 2016 Direvisi: 27 Oktober 2016 Disetujui: 10 November 2016

ABSTRAK

Makalah ini membahas tentang pengaruh laju aliran bahan bakar CNG (compressed natural gas) terhadap performa kendaraan roda empat jenis minibus. Pengaturan dan pengujian dilakukan untuk mencari setelan laju aliran CNG yang terbaik agar performa kendaraan optimal. Tahap pertama dari penelitian ini adalah pemasangan peralatan *kit konverter tipe injeksi sequensial* pada kendaraan. Selanjutnya dilakukan pengujian performa kendaraan menggunakan dyno test atau sasis dyno. Pada awalnya, bahan bakar yang digunakan adalah Pertamina RON (research octane number) 92 yang kemudian diganti dengan CNG. Dari pengujian dua bahan bakar tersebut diketahui bahwa terjadi penurunan daya dan torsi kendaraan bila menggunakan CNG. Tahap berikutnya adalah melakukan pengaturan laju aliran CNG dengan cara mengatur durasi penyemprotan injektor. Hasil uji yang ditampilkan dalam bentuk grafik putaran terhadap daya dan putaran terhadap torsi memperlihatkan bahwa performa kendaraan berbahan bakar CNG dengan pengaturan laju aliran gas meningkat sekitar 3%. Sedangkan bila penggunaan CNG dibandingkan dengan Pertamina RON 92, terjadi penurunan daya dan torsi pada kendaraan sebesar 12,4% dan 23,7%.

Kata kunci : ratio laju udara, CNG, kit konverter, laju aliran gas, mesin bensin

ABSTRACT

This paper discusses the influence of CNG flow rate on the performance of the minibus four-wheel vehicle. Tuning and testing were done to look for the best CNG flow rate to get optimal vehicle performance. The first phase from this study is installation of sequential injection converter kit in the vehicle. Furthermore, examination at dynotest is then conducted to obtain vehicle performance. In the beginning, fuel used is Pertamina RON 92, which was then replaced with CNG. The test of two fuels indicated that the power and torque of vehicles decreased when using CNG. The next phase was CNG flow rate setting by adjusting the duration of injector spraying. The test results were presented the form of graphs "rpm vs. power" and "rpm vs. torque". The performance of CNG-fueled vehicles increased by 3% by adjusting the flow rate of gas. Meanwhile, when the use of CNG as compared to Pertamina RON 92, the power and torque of vehicles decreased by 12.4% and 23.7%.

Keywords: air flow ratio, CNG, converter kit, gas flow rate, gasoline engine

PENDAHULUAN

Isu kelangkaan bahan bakar minyak (BBM), kenaikan harga BBM, dan subsidi yang terus meningkat, semakin akrab didengar akhir-akhir ini. Transportasi merupakan sektor terbesar yang berkontribusi pada konsumsi BBM di Indonesia yaitu sekitar 60% [1]. Kenaikan harga BBM yang terjadi beberapa kali dalam

waktu satu tahun terakhir ini dirasa cukup memberatkan masyarakat umum. Padahal selain BBM, sebenarnya ada beberapa bahan bakar alternatif yang dapat digunakan pada kendaraan seperti bio etanol, *liquified petroleum gas* (LPG), hidrogen, biogas, dan CNG [2]. Dari beberapa jenis bahan bakar alternatif yang ada, CNG merupakan bahan bakar alternatif yang potensial dikembangkan di Indonesia

karena memiliki beberapa keunggulan seperti cadangan gas alam di Indonesia yang besar, diproduksi di dalam negeri, dan harganya lebih murah bila dibandingkan BBM [3, 4]. Selain itu CNG adalah bahan bakar yang ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang rendah. Bila dibandingkan dengan bensin, pemakaian CNG pada kendaraan menghasilkan emisi NOx, CO, dan CO₂ lebih rendah 42%, 70-90%, dan 20-30% [5, 6, 7, 8].

Namun demikian, pemakaian CNG pada kendaraan juga memiliki beberapa kekurangan seperti bobot kendaraan meningkat yang diakibatkan bobot tabung CNG yang cukup berat, akselerasi kendaraan turun, serta daya dan torsi kendaraan lebih rendah bila dibandingkan dengan berbahan bakar bensin [9, 10]. Secara umum, mesin dengan bahan bakar CNG menghasilkan daya 4,26% lebih rendah bila dibandingkan dengan bensin [11]. Pada penelitiannya, Yousufuddin dkk., (2012) menyatakan bahwa pemakaian gas alam sebagai bahan bakar menyebabkan penurunan MBT (*maximum break torque*) sebesar 20,1% bila dibandingkan menggunakan bensin [12].

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mencari titik optimal penggunaan CNG pada kendaraan. Javaheri dkk., (2014) melakukan pengujian untuk mengetahui daya mesin pada kondisi beban penuh dan putaran konstan 2000 rpm dengan variasi perbandingan bahan bakar dan udara mulai dari 0,8 sampai 1,25 [13]. Hasil analisis menunjukkan bahwa daya terbesar didapat pada kondisi campuran bahan bakar dan udara mendekati stoikiometri.

Aljamali dkk., (2014) pada penelitiannya membandingkan performa penggunaan CNG pada mesin bensin empat silinder dengan berbagai variasi posisi *throttle* [14]. Mesin beroperasi dengan bukaan *throttle* 50% dan 100% pada variasi putaran 1000 sampai 6000 rpm. Hasil pengujian menunjukan *breake power* mesin dengan bahan bakar CNG dengan bukaan *throttle* 50% dan 100% hampir sama. Namun pada putaran 4500 rpm keatas, *breake power* CNG dengan bukaan *throttle* 50% sedikit lebih besar bila dibandingkan dengan saat bukaan *throttle* 100%. Torsi mesin lebih besar dihasilkan pada putaran rendah dan putaran tinggi dengan bukaan *throttle* 50%.

Penelitian untuk meningkatkan performa mesin berbahan bakar gas alam juga dilakukan oleh Kapadani dkk., (2014) dengan menambahkan hidrogen sebanyak 5% pada gas alam murni [15]. Gas alam dengan penambahan hidrogen tersebut menghasilkan efisiensi termal yang lebih baik sekitar 22% sehingga ideal untuk diaplikasikan pada beban tinggi.

Pada tulisan ini akan dibahas tentang pengaruh laju aliran CNG pada performa mesin kendaraan bermotor. Pengujian dilakukan pada kendaraan dengan sistem *bi-fuel* yaitu kendaraan dengan dua jenis bahan bakar (Pertamax RON 92 dan CNG) yang dapat dipilih bergantian menggunakan tombol pengatur [16]. Pengaturan laju aliran CNG yang masuk ke dalam ruang bakar dilakukan untuk mengetahui titik setelan yang tepat agar diperoleh performa kendaraan yang optimal.

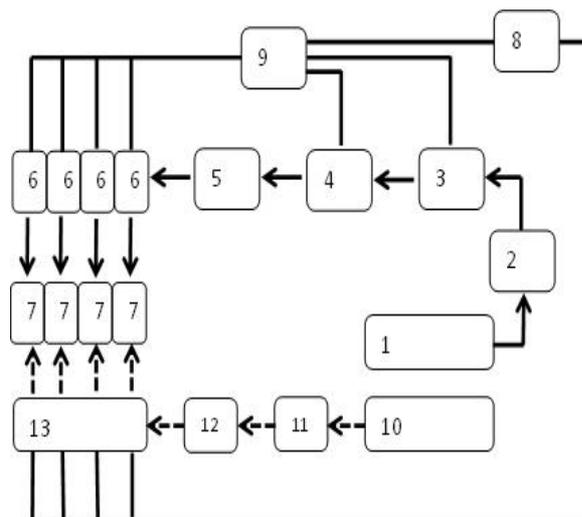
BAHAN DAN METODE

Instalasi Kit Konverter pada Kendaraan Bermesin Bensin

Kit Konverter adalah komponen peralatan tambahan yang dipasang pada kendaraan agar dapat menggunakan gas sebagai bahan bakarnya. Jenis kit konverter yang digunakan disesuaikan dengan tipe dan spesifikasi mesin kendaraan yang akan dikonversi. Pada penelitian ini, kit konverter yang digunakan adalah tipe injeksi *sequensial*. Kendaraan yang akan dikonversi adalah mobil tipe minibus bermesin bensin berkapasitas 1.500 cc dengan spesifikasi mesin seperti yang terdapat pada Tabel 1. Skema rangkaian kit konverter seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Kendaraan Uji [17]

Parameter	Nilai
Tipe mesin	G15A
Isi silinder	1.493 CC
Jumlah katup	16
Jumlah silinder	4
Diameter x langkah	75 x 84,5 mm
Perbandingan kompresi	9,5 : 1
Daya maksimum	68,376 kW /6.000 rpm
Momem puntir maksimum	126 Nm /3.000 rpm
Sistem bahan bakar	<i>Multipoint Injection</i>



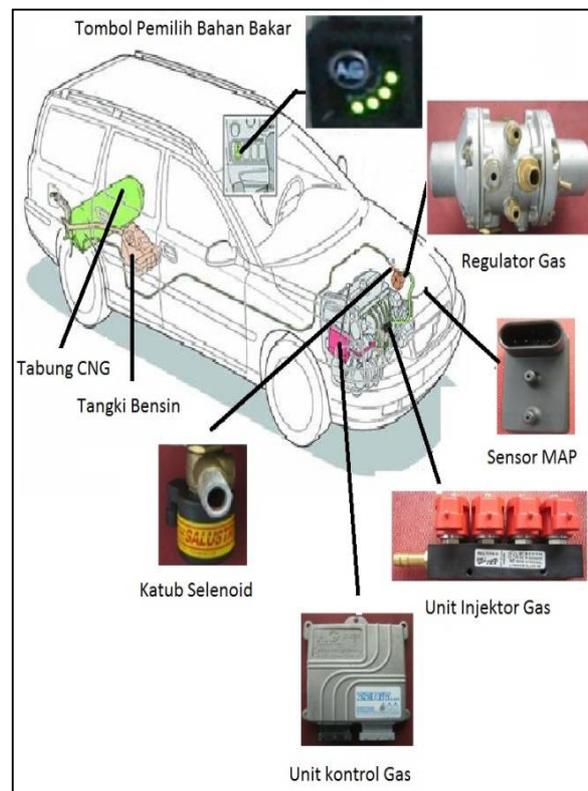
- | | |
|------------------------------|---------------------|
| 1. Tabung CNG | 9. Unit kontrol gas |
| 2. Sistem pengisian gas | 10. Tangki bensin |
| 3. Katup gas | 11. Pompa bensin |
| 4. Reduser gas | 12. Filter bensin |
| 5. Filter gas | 13. Injektor bensin |
| 6. Injektor gas | → jalur gas |
| 7. Saluran masuk bahan bakar | ---> jalur bensin |
| 8. ECU original | — jalur elektronik |

Gambar 1. Rangkaian Instalasi Kit Konverter Tipe Injeksi *Sequential*

Kit Konverter terdiri dari komponen utama yaitu *pressure regulator/gas reduser*, *electronic control unit (ECU)*, *injector set*, dan tabung CNG. Selain itu juga terdapat asesoris berupa pipa tekanan tinggi, selang tekanan rendah, *switch*, sensor, selenoid, katup manual, katup pengisian, katup satu dan dua arah, katup pengaman, *filter*, *pressure meter*, indikator dan lainnya.

Tahap awal instalasi kit konverter adalah dengan memasang komponen bertekanan tinggi seperti komponen gas reduser/regulator pada tempat yang aman dan mudah dijangkau dan dilanjutkan dengan memasang sistem kontrol unit beserta *gas valve*. Empat buah kabel pada injektor original dipotong dan disambung dengan kontrol unit kit konverter yang diletakan di bagian bawah *dashboard*. Gas CNG disalurkan ke dalam *intake manifold* (sistem pemasukan) dengan jalan melubangi *intake*. Selanjutnya adalah memasang pipa fleksibel pada *gas valve*, gas reduser, *pressure actuator*, dan *filling system* pada tempat yang aman dan mudah dijangkau. Tabung CNG diletakan di bagasi kendaraan yang

diikat dengan pegangan agar aman dari guncangan. Sketsa pemasangan beberapa komponen kit konverter pada kendaraan seperti yang terdapat pada Gambar 2.

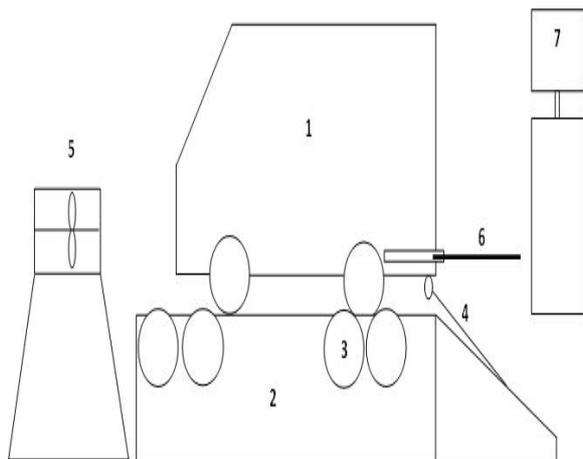


Gambar 2. Sketsa Penempatan Beberapa Komponen Kit Konverter pada Kendaraan [18].

Pengujian Kendaraan Berbahan Bakar Bensin dan CNG

Sketsa pengujian kendaraan pada *dyno test* disajikan pada Gambar 3. Setelah seluruh komponen kit konverter terpasang dengan baik dan tidak terdapat kebocoran, selanjutnya dilakukan pengujian performa kendaraan (1) pada sebuah *chassis dyno* atau biasa disebut *dyno test* (2). Sketsa pengujian disajikan pada Gambar 3. Mobil yang akan diuji berjenis penggerak roda belakang sehingga roda belakanglah yang diletakan di atas *roller dyno tes* (3). Mobil diikat dengan sebuah mekanisme yang dilengkapi stabiliser (4) agar roda belakang menekan sempurna. Selain itu, mekanisme pengikat roda belakang juga berfungsi agar mobil tetap aman sekalipun sedang melaju sangat kencang di atas *dyno test*. Di depan mobil diletakan sebuah blower (5) yang meniupkan angin dengan kencang yang berfungsi sebagai simulasi

hembusan angin saat berjalan di jalan raya. Selain itu blower juga berfungsi mencegah agar mesin tidak *overheat* atau kepanasan saat dilakukan pengujian. Pada bagian knalpot dipasang sebuah sensor (6) untuk mengukur perbandingan campuran udara dan bahan bakar yang dikonsumsi oleh kendaraan secara *real time*. Hasil pengujian performa kendaraan akan ditampilkan pada sebuah layar monitor *dyno test* (7).



- 1 Kendaraan uji
- 2 *Dyno test* unit
- 3 *Roller dyno test*
- 4 Mekanisme pengikat kendaraan
- 5 Blower
- 6 Sensor AFR
- 7 Layar monitor hasil pengujian

Gambar 3. Sketsa Pengujian Kendaraan pada *Dyno Test*

Pegujian kendaraan pada *dyno test* dilakukan untuk mengetahui performa kendaraan berbahan bakar Pertamina dengan nilai RON 92 (*Research Octane Number, 92*) [19]. Dari pengujian ini akan diperoleh grafik daya, torsi, dan AFR (*air to fuel ratio*) yaitu perbandingan udara dan bahan bakar. Pengujian tahap selanjutnya adalah menguji kendaraan dengan menggunakan bahan bakar CNG dengan nilai RON 120 [20]. Seluruh prosedur dan alat yang digunakan pada pengujian kendaraan berbahan bakar CNG sama dengan saat pengujian kendaraan berbahan bakar Pertamina RON 92. Dari dua pengujian ini akan diketahui perbedaan daya dan torsi yang dihasilkan oleh kendaraan dengan dua bahan bakar yang berbeda tersebut.

Pengaturan Laju Aliran Bahan Bakar CNG

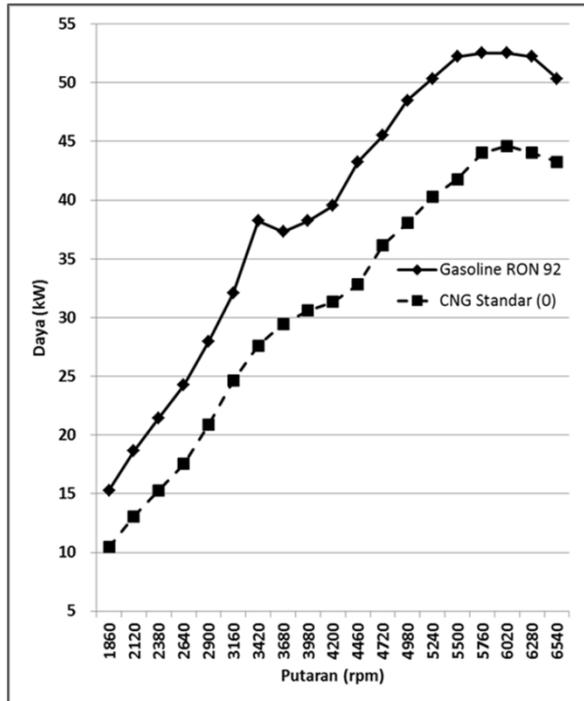
Dari beberapa penelitian yang dilakukan sebelumnya, penggunaan CNG sebagai bahan bakar kendaraan akan menurunkan daya dan torsi kendaraan. Namun demikian, untuk mendapatkan hasil yang optimal saat penggunaan CNG sebagai bahan bakar pada kendaraan, maka dilakukan pengaturan laju aliran CNG ke mesin. Pengaturan dilakukan melalui perangkat lunak dari produsen kit konverter yang terinstal pada *notebook*. Volume gas CNG yang masuk ke dalam ruang bakar diatur dengan cara mengatur panjang durasi penyemprotan gas. Setiap perubahan pengaturan akan diuji besarnya tenaga dan torsi yang dihasilkan. Pengaturan ini dilakukan sampai diperoleh setelan yang ideal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

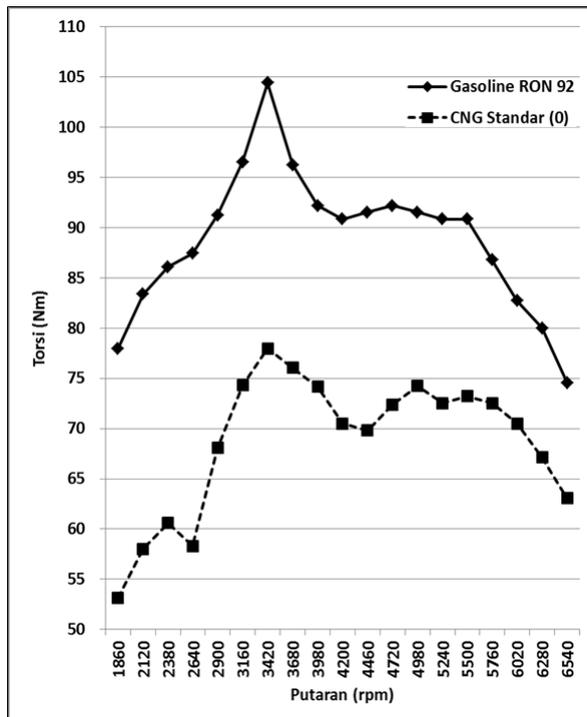
Perbandingan Performa Kendaraan Berbahan Bakar Bensin dan CNG

Pada pengujian ini, *dyno test* yang digunakan adalah merek DynoDynamic yang dapat menguji mobil berpenggerak 2 roda maupun 4 roda. Kemampuan roda memutar roller *dyno test* diukur dan dikalkulasi oleh komputer sehingga menghasilkan angka dalam satuan WHP (*wheel horse power*). Pada pengujian pertama, bahan bakar yang digunakan adalah Pertamina RON 92. Dari pengujian ini akan didapat besarnya daya dan torsi yang dihasilkan oleh kendaraan. Selanjutnya pengujian dilanjutkan dengan mengganti Pertamina dengan CNG. Hasil pengujian berupa grafik putaran berbanding daya dan grafik putaran berbanding torsi seperti disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

Hasil pengujian kendaraan berbahan bakar Pertamina RON 92 menghasilkan daya maksimal sebesar 52,5 kW pada putaran mesin 5890 rpm (Gambar 4). Di atas putaran tersebut, daya yang dihasilkan kembali turun. Peningkatan daya terjadi seiring meningkatnya putaran mesin. Namun demikian daya kendaraan sempat turun pada putaran 3500 rpm dan mulai naik kembali pada putaran 3680 rpm. Torsi maksimal yang dapat dicapai adalah 104,4 Nm pada putaran 3300 rpm (Gambar 5). Kondisi ini sesuai dengan karakter mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) dimana pada putaran tinggi, puncak kecepatanlah (*top speed*) yang ingin dituju oleh kendaraan.



Gambar 4. Perbandingan Daya Hasil Pengujian Kendaraan Berbahan Bakar Pertamax RON 92 dan CNG



Gambar 5. Perbandingan Torsi Hasil Pengujian Kendaraan Berbahan Bakar Pertamax RON 92 dan CNG

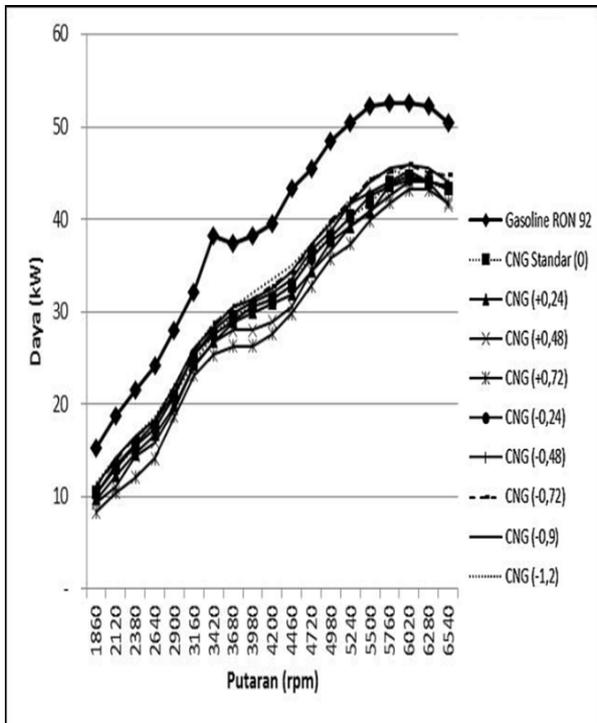
Bila dibandingkan dengan Pertamax RON 92, daya yang dihasilkan oleh kendaraan berbahan bakar CNG lebih kecil 7,9 kW atau sekitar 15,1% (Gambar 4). Sama halnya seperti daya kendaraan, terjadi pula penurunan torsi kendaraan saat menggunakan CNG, dimana penurunan tersebut mencapai 26,4 Nm atau sekitar 25,3% (Gambar 5). Pada setiap putaran mesin, daya dan torsi kendaraan berbahan bakar CNG lebih rendah bila dibandingkan dengan Pertamax RON 92. Ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya, dimana penurunan daya terjadi karena massa jenis CNG lebih kecil dibandingkan dengan bensin sehingga CNG menempati volume yang lebih besar per unit energinya [21, 9, 10]. Hasil penelitian yang agak berbeda pernah disampaikan oleh Putrasari *dkk.*, (2013) dimana daya yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar CNG cenderung lebih tinggi bila dibandingkan menggunakan bahan bensin khususnya pada putaran 1000 dan 1500 rpm. Hal ini kemungkinan dapat terjadi karena pada putaran mesin yang rendah, masih ada sisa bensin yang masuk ke dalam ruang bakar [22].

Peningkatan Performa Kendaraan Berbahan Bakar CNG melalui Pengaturan Laju Aliran Gas

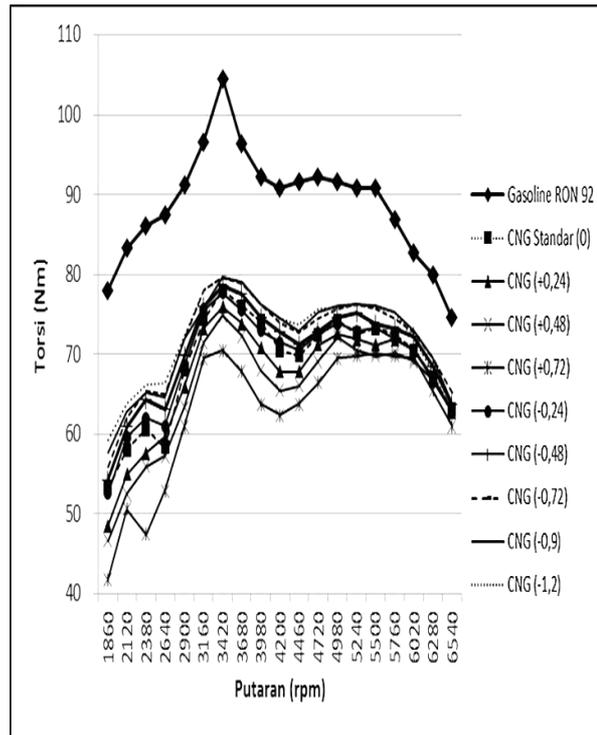
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa penggunaan CNG sebagai bahan bakar kendaraan, menghasilkan daya dan torsi yang lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan Pertamax RON 92. Untuk mengurangi penurunan daya dan torsi tersebut, maka dilakukan pengaturan laju aliran gas yang masuk ke dalam ruang bakar. Pada penelitian ini, volume gas yang disemprotkan oleh injektor diatur dengan menambah dan mengurangi durasi penyemprotannya dalam hitungan millisecond (ms). 1 millisecond adalah 10^{-3} atau seperseribu second (detik). Penambahan maupun penurunan durasi penyemprotan injektor memiliki interval 0,24 ms dimana angka interval tersebut merupakan standar dari produsen *pressure regulator*. Setiap perubahan pengaturan laju aliran CNG diuji performanya pada *dyno test*. Hasil pengujian performa kendaraan ditampilkan dalam bentuk grafik seperti yang terdapat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Dari grafik daya dan torsi seperti yang terdapat pada Gambar 6 dan Gambar 7 dapat diketahui bahwa penggunaan Pertamina RON 92 sebagai bahan bakar kendaraan tetap menghasilkan daya dan torsi yang lebih besar bila dibandingkan CNG meskipun telah dilakukan pengaturan pada laju aliran gas. Untuk mempermudah pembacaan daya dan torsi kendaraan, maka hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk grafik kolom seperti yang terdapat pada Gambar 8.

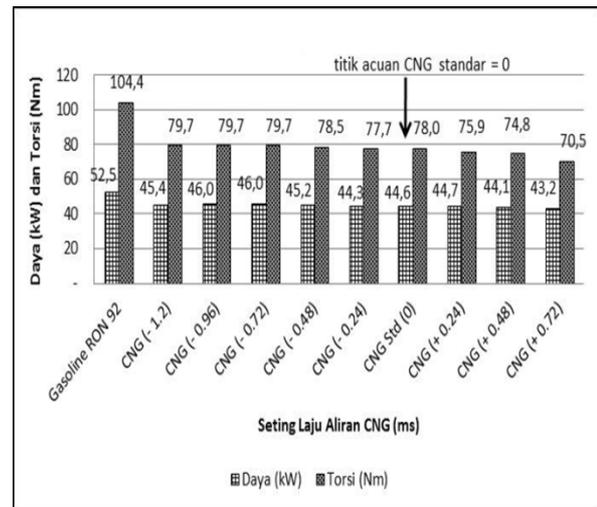
Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa saat volume CNG ditambah dengan cara menambah durasi penyemprotan injektor (angka bernilai positif), maka daya dan torsi yang dihasilkan oleh kendaraan cenderung turun. Sedangkan bila durasi penyemprotan injektor dikurangi (angka bernilai negatif) maka daya dan torsi cenderung naik. Daya terbesar didapat saat pengaturan laju aliran CNG pada posisi $-0,72$ ms dan $-0,96$ ms yaitu sebesar $46,0$ kW. Namun saat aliran CNG makin dikurangi yaitu pada pengaturan $-1,2$ ms, maka daya kendaraan kembali turun. Torsi kendaraan terbesar didapat saat pengaturan laju aliran CNG $-0,72$ ms, $-0,96$ ms, dan $-1,2$ ms yaitu sebesar $79,7$ Nm.



Gambar 6. Perbandingan Daya Kendaraan dengan Berbagai Pengaturan CNG



Gambar 7. Perbandingan Torsi Kendaraan dengan Berbagai Pengaturan CNG



Gambar 8. Perbandingan Daya dan Torsi dengan Berbagai Pengaturan CNG

Bila dibandingkan dengan setelan standar injektor CNG, terjadi peningkatan daya $1,4$ kW atau sekitar $3,1\%$ dan torsi meningkat $1,7$ Nm atau sekitar $2,2\%$. Meningkatnya performa tersebut terjadi karena pengaturan laju aliran gas yang tepat yang mengacu pada nilai perbandingan udara dan bahan bakar atau

air to flow ratio (AFR). Secara teoritis, untuk menciptakan pembakaran sempurna gasoline/bensin, nilai AFR adalah 14,2:1 [23, 24]. Pada kecepatan tinggi atau saat beban kendaraan full, perbandingan AFR adalah 12 - 13:1. Saat kecepatan full, terdapat penambahan konsumsi bahan bakar sekitar 15%. Untuk bahan bakar CNG, AFR Stoikiometrinya adalah sekitar 15,49 - 17,2:1 [13, 25, 26]. Apabila terdapat penambahan 15% konsumsi CNG pada kecepatan tinggi, maka nilai AFR CNG menjadi 13,9:1. Kendaraan berbahan bakar CNG dengan pengaturan laju aliran gas pada posisi - 0,72 ms dan - 0,96 ms memiliki nilai AFR 13,8-14:1. Dengan demikian pada pengaturan tersebut kendaraan menghasilkan daya yang optimum.

Secara keseluruhan, bila dibandingkan antara penggunaan CNG pada pengaturan optimum dengan Pertamina RON 92, terjadi penurunan daya kendaraan 6,5 kW atau sekitar 12,4% dan penurunan torsi 24,7 Nm atau sekitar 23,7%. Penurunan performa kendaraan saat menggunakan CNG disebabkan karena tidak adanya pengatur waktu pengapian atau lebih dikenal dengan istilah *timing advancer* pada kit konverter. *Timing advancer* adalah suatu sistem yang dapat memajukan maupun memundurkan waktu pengapian menyesuaikan nilai oktan bahan bakar yang digunakan.

Pada kendaraan. Ketiadaan *timing advancer* menyebabkan pengaturan pengapian tidak dapat dilakukan. Seperti diketahui bahwa nilai oktan CNG lebih tinggi bila dibandingkan dengan Pertamina RON 92 sehingga bila kendaraan menggunakan CNG sebagai bahan bakarnya, maka waktu pengapian seharusnya dimajukan dari standarnya. Semakin tinggi nilai oktan suatu bahan bakar maka bahan bakar tersebut semakin lambat terbakar karena titik bakarnya lebih tinggi. Hal ini seperti yang diutarakan oleh Sera dkk., (2013) [20] bahwa kecepatan nyala gas alam lebih rendah dibandingkan dengan bensin sehingga daya kendaraan menjadi lebih rendah. Dibutuhkan waktu pengapian yang lebih maju agar terjadi pembakaran yang sempurna. Pembakaran yang terjadi terlalu lambat menyebabkan piston tidak mendapatkan dorongan sempurna ketika akan kembali ke TMB (titik mati bawah) sehingga efeknya tenaga mesin menjadi kurang [3].

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pengaruh laju aliran bahan bakar CNG terhadap performa kendaraan jenis minibus telah disajikan pada makalah ini. Dari hasil pengujian kendaraan pada *dyno test* diketahui bahwa terjadi penurunan daya dan torsi sebesar 15,1% dan 25,3% bila dibandingkan menggunakan Pertamina RON 92. Setelah dilakukan pengaturan laju aliran CNG, daya dan torsi meningkat sekitar 3,1% dan 2,2% bila dibandingkan dengan tanpa pengaturan. Performa kendaraan berbahan bakar CNG lebih rendah dari Pertamina RON 92 karena kit konverter yang digunakan tidak memiliki *timing advancer*. Waktu pengapian tidak dapat dimajukan padahal nilai oktan CNG yang lebih tinggi membutuhkan waktu pengapian yang lebih maju.

Saran

Perlu dilakukan pengujian lanjutan penggunaan bahan bakar CNG pada kendaraan yang memiliki sistem *timing advancer*. Pada kendaraan dengan sistem *timing advancer*, waktu pengapian dapat maju maupun mundur secara otomatis menyesuaikan jenis bahan bakar yang digunakan pada kendaraan tersebut. Dengan mengkombinasikan pengaturan durasi penyemprotan CNG dan waktu pengapian yang tepat, diharapkan dapat diperoleh performa kendaraan yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Inovasi LIPI yang telah mendanai kegiatan penelitian ini dalam program kegiatan 'Pra-Inkubasi Teknologi Implementasi Teknopolis LIPI'. Terima kasih juga kepada Puslit Telimek LIPI yang telah memfasilitasi dan kepada seluruh team yang telah mendukung kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Subekti, R. A., Sudibyo, H., Susanti, V., Saputra, H. M., & Hartanto, A., *Peluang dan Tantangan Pengembangan Mobil Listrik Nasional*. Jakarta, Indonesia: LIPI Press, 2014.

- [2] Susanti, V., Hartanto, A., Subekti, R. A., & Saputra, H. M., *Kebijakan Nasional Program Konversi dari BBM ke BBG untuk Kendaraan*. Jakarta, Indonesia: LIPI Press, 2011.
- [3] Subekti, R. A., Hartanto, A., Saputra, H. M., & Susanti, V., *Kebijakan Teknis Konversi BBM ke BBG untuk Kendaraan*. Jakarta, Indonesia: LIPI Press, 2011.
- [4] Susanti, V., Hartanto, A., & Subekti, R. A., Juli, *Releasing Dependences Subsidy for Fuel Oil Through Conversion Program of Gas Fuel on a Vehicle Toward the Nation Energy Security*. Journal of S&T Policy and R&D Managemant, 11(1), 32-48, 2013.
- [5] Saputra, H. M., Hartanto, A., Subekti, R. A., & Susanti, V., *Kajian Standardisasi, Pengujian, Monitoring, dan Evaluasi Konversi BBM ke BBG untuk Kendaraan*. Jakarta, Indonesia: LIPI Press, 2011.
- [6] Kakaee, A. H., & Paykani, A., *Research and Development of Natural-Gas Fueled Engines in Iran*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 26, 805-821.
- [7] Engerer, H., & Horn, M., *Natural Gas Vehicles: An Option for Europe*. Energy Policy, 38, 1017-1029, 2010.
- [8] Patil, M. M., & Arakerimath, R., *Analysis of Exhaust Emission, and Performance Characteristics of Single Cylinder CI Engine Fuelled With Palm Oil and CNG*. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 4(1), 18556-18562, 2015.
- [9] Ameri, M., Kiaahmadi, F., & Khanaki, M., *Comparative Analysis of The Performance of A Dual-Fuel Internal Combustion Engine for CNG and Gasoline Fuels*. Power Technologies, 92(4), 214-226, 2012.
- [10] Jahirul, M. I., Masjuki, H. H., Saidur, R., Kalam, M. A., Jayed, M. H., & Wazed, M. A., *Comparative Engine Performance and Emission Analysis of CNG and Gasoline in a Retrofitted Car Engine*. Applied Thermal Engineering, 2010, 30(14-15), 2219-2226.
- [11] Kalam, M., & Masjuki, H., *An experimental Investigation of High Performance Natural Gas Engine with Direct Injection*. Energy, 36, 3563-3571, 2011.
- [12] Yousufuddin, S., Venkateswarlu, K., & Khan, N., *Effect of Ignition Timing and Equivalence Ratio on the Performance of an Engine Running at Various Speeds Fuelled with Gasoline and Natural Gas*. International Journal of Advanced Science and Technology, 43, 67-80, 2012.
- [13] Javaheri, A., Esfahanian, V., Salavati-Zadeh, A., & Darzi, M., *Energetic and Exergetic Analyses of A Variable Compression Ratio Spark Ignition Gas Engine*. Energy Conversion and Management, 88, 739-748, 2014.
- [14] Aljamali, S., Mahmood, W. M., Abdullah, S., & Ali, Y., *Comparison of Performance and Emission of a Gasoline Engine Fuelled by Gasoline and CNG under Various Throttle Position*. Journal of Applied Sciences, 14(4), 386-390, 2014.
- [15] Kapadani, K., & Navale, S., *Investigation of Performance of SI Engine with Fuels - Gasoline, Natural Gas and H-CNG5 Gas*. International Journal of Research in Engineering and Technology, 03(04), 351-359, 2014.
- [16] Nat G CNG Solutions., *Bi-Fuel, Dual-Fuel, Dedicated?* Retrieved, 2016, from <http://www.nat-g.com/why-cng/bi-fuel-dual-fuel-dedicated>, 2016.
- [17] Suzuki Indonesia, 2014, Retrieved 03 27, 2015, from APV Specification Brochure:http://www.suzuki.co.id/automobile_type/apv-ga-ge.
- [18] LPG North East., *How does LPG work?* Retrieved Desember 07, 2016, from <http://www.lpgnortheast.co.uk/information-about-lpg.php>, 2016.
- [19] Pertamina., Retrieved Maret 31, 2015, from Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) : 2012. <http://www.pertamina.com/our-business/hilir/pemasaran-dan-niaga/produk-dan-layanan/produk-konsumen/spbu/>
- [20] Pertamina Envogas., 2012, Retrieved Maret 27, 2015, from Gas Untuk Kendaraan:<http://www.pertamina.com/our-business/hilir/pemasaran-danniaga/produk-dan-layanan/produk-konsumen/gas-untuk-kendaraan/>
- [21] Sera, M. A., Bakar, R. A., & Leong, S. K., 2013, *Effect of Fuel Density on The Performancof A CNG Fuelled Engine*. Retrieved 4 1, from NGV, 2015.

- [22] Community Library (Non-Commercial Distribution Only) : http://ngvcommunity.com/documents/133_effect%20of%20fuel%20density%20for%20cng%20engine.pdf
- [23] Putrasari, Y., Pratijanto, A., Nur, A., Dimyani, A., & Pratama, M., *Studi Pendahuluan Performa dan Emisi Mesin Bensin dengan Bahan Bakar CNG Menggunakan Konverter Kit Komersial*. Seminar Nasional Rekayasa Energi, Mekatronik, dan Teknik Kendaraan, (pp. 311-318). Bandung, 2013.
- [24] Tambari, S., Benjamin, I., Daso, D., Sorbari, K., & John, A., *Evaluation of Comparative Analysis in the Use of Petrol and Compressed Natural Gas (CNG) As Vehicular Fuel*. Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 11(4 Ver. VI), 46-54, 2014.
- [25] Darade, P. M., & Dalu, R. S., *Investigation of Performance and Emissions of CNG Fuelled VCR Engine*. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 3(1), 77-83, 2013.
- [26] Subramanian, K., Mathad, V. C., Vijay, V., & Subbarao, P., *Comparative Evaluation of Emission and Fuel Economy of an Automotive Spark Ignition Vehicle Fuelled with Methane Enriched Biogas and CNG Using Chassis Dynamometer*. Applied Energy, 105, 17-29, 2013.
- [27] Mathai, R., Malhotra, R., Subramanian, K., & Das, L., *Comparative Evaluation of Performance, Emission, Lubricant and Deposit Characteristics of Spark Ignition Engine Fueled with CNG and 18% Hydrogen-CNG*. International Journal Hydrogen Energy, 37, 6893-900, 2012.

