

PENGEMBANGAN MODEL MIXER DENGAN VENTURI VARIABEL UNTUK KENDARAAN BERBAHAN BAKAR LPG DAN APLIKASINYA PADA BERBAGAI JENIS VAPORIZER

Muji Setiyo¹⁾, Budi Waluyo²⁾, Andjar Prasetyo³⁾

^{1,2}Program Studi Mesin Otomotif Universitas Muhammadiyah Magelang
Jl. Mayjend Bambang Sugeng Km. 05 Mertoyudan Magelang, Telepon (0293) 326945
e-mail : setiyo.muji@gmail.com

³Kantor Penelitian Pengembangan dan Statistik Pemerintah Kota Magelang
Jl. Jenderal Sudirman No.46 Magelang

Jakarta, 7 - 8 November 2013

ABSTRAK

Proses pembentukan campuran LPG-udara pada converter kits konvensional dilakukan pada komponen mixer. Sebuah mixer dituntut memiliki venturi yang tepat untuk menjaga efisiensi volumetrik dan memberikan sinyal vakum yang tepat ke vaporizer pada setiap kondisi kerja mesin. Inovasi bentuk dan ukuran venturi mixer yang sudah ada memberikan campuran yang tepat namun hanya pada kondisi parsial dan bersifat spesifik untuk melayani suatu jenis mesin dan suatu jenis vaporizer saja. Ukuran mixer yang bersifat tetap tidak dapat memberikan keleluasaan untuk diaplikasikan pada berbagai kondisi mesin dan berbagai jenis vaporizer, akibatnya terjadi penurunan output daya mesin. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model mixer dengan luasan venturi yang dapat diatur dan bagian penyambung ke mulut karburator/throttle body yang dapat disesuaikan. Ukuran venturi dapat diatur atau diubah sesuai dengan kebutuhan mesin dan jenis vaporizer yang digunakan. Mixer yang dikembangkan terdiri dari bagian rumah mixer dan venturi variabel dengan tiga level ukuran diameter yaitu 30 mm, 35 mm, dan 40 mm. Ketiga ukuran venturi tersebut dikombinasikan dengan tiga jenis vaporizer yaitu Hansung C-081, Tesla A-100, dan Stefanelli 150HP yang diaplikasikan pada mesin Toyota 4A-FE 1500 cc. Pengujian daya dilakukan pada unit chassis dynamometer dengan metode full factorial design. Hasil uji pada chassis dynamometer menunjukkan kebutuhan diameter venturi yang berbeda pada setiap penggunaan vaporizer untuk menghasilkan output mesin yang optimal. Hasil terbaik adalah kombinasi vaporizer jenis Stefanelli 150HP dengan mixer berdiameter venturi 40 mm yang menghasilkan output daya sebesar 82.2 hp/5578 rpm, sementara dengan mode operasi bensin menghasilkan output daya 81.6 hp/5550 rpm. Ini menunjukkan bahwa dengan sistem pengaturan diameter venturi mixer mampu meningkatkan daya mesin berbahan bakar LPG hingga setara dengan mode operasi bensin.

Kata Kunci : Kendaraan LPG, Mixer, Venturi variabel

I. PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Salah satu energi alternatif yang populer di dunia saat ini sebagai pengganti Bahan Bakar Minyak (BBM) untuk kendaraan adalah LPG/ Vi-Gas, di beberapa negara dikenal dengan istilah autogas. Hingga pertengahan tahun 2012, diperkirakan lebih dari 17,4 juta kendaraan dengan berbagai tipe dan merk beroperasi dengan LPG dan menghiasi jalan jalan di seluruh dunia sebagai kendaraan yang ramah lingkungan. Jumlah ini diimbangi dengan lebih dari 57.000 stasiun pengisian bahan bakar [1].

LPG memiliki sejarah yang panjang sampai digunakan sebagai bahan bakar kendaraan. Percobaan menggunakan LPG dimulai sekitar tahun 1910 hingga tahun 1920. Percobaan pertama diterapkan pada

kendaraan di California Amerika Serikat. Pada tahun 1950, *Chicago Transit Authority* memesan 1.000 unit bus dengan bahan bakar LPG, dan Milwaukee mengkonversi 270 unit taksi untuk beralih dari bahan bakar minyak ke LPG. Sejak saat itu, LPG menjadi salah satu bahan bakar alternatif yang sangat populer untuk kendaraan. Dari Amerika Serikat berkembang ke Eropa, Asia, dan hingga kini telah merambah ke seluruh benua [2].

Pemanfaatan LPG sebagai bahan bakar kendaraan sudah menjadi kebijakan energi di beberapa negara seperti Turki, Polandia, Jepang, dan Korea Selatan. Konsumsi global dari LPG mencapai 22,9 juta ton pada tahun 2010, dan meningkat sangat cepat. Permintaan meningkat sebesar 8,5 Mt, atau 59%, antara tahun 2000 sampai dengan tahun 2010 [1].

LPG diperoleh dari hidrokarbon yang dihasilkan selama penyulingan minyak mentah dan dari komponen gas alam. Komponen LPG didominasi propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}). Selain propane dan butane, LPG juga mengandung hidrokarbon ringan lain dalam jumlah kecil, misalnya etana (C_2H_6) dan pentana (C_5H_{12}) [3].

Karakteristik kinerja dan operasional kendaraan LPG lebih menguntungkan dibandingkan dengan bahan bakar lainnya. LPG memiliki nilai oktan mencapai 112, lebih tinggi dari pertamax plus. Nilai oktan yang tinggi memungkinkan untuk diterapkan pada mesin mesin dengan rasio kompresi tinggi, yang dapat memberikan peningkatan efisiensi termal yang lebih baik, mengurangi konsumsi bahan bakar, dan mereduksi emisi gas buang [4].

Kandungan carbon yang lebih rendah dan nilai oktan yang lebih tinggi daripada bensin, juga menghasilkan suara mesin lebih halus. Hal ini dapat mengurangi keausan mesin dan biaya pemeliharaan, termasuk frekuensi penggantian busi dan minyak pelumas. LPG menghasilkan jelaga yang lebih rendah daripada penggunaan bensin [5].

Tekanan LPG dalam tangki antara 1,0 sampai 1,2 MPa, sedangkan CNG mencapai sekitar 20 MPa. Kandungan energi LPG sebesar 46.23 MJ/kg dan 26 MJ/l, sedangkan kandungan energi bensin sebesar 44.4 MJ/kg dan 34,8 MJ/l. Dibandingkan dengan bensin, LPG memiliki kandungan energi per satuan massa relatif tinggi, tetapi kandungan energi per satuan volumenya rendah. Ini menyebabkan volume LPG dalam bentuk cair lebih besar dari bensin sekitar 15 % sampai dengan 20% [6].

Beberapa penelitian tentang mobil LPG berkembang untuk menghasilkan performa mesin yang optimal, mulai dari pengembangan perangkat konversi dan penyesuaian perangkat mesin. Generasi terbaru dari teknologi *converter kits* hampir setara dengan teknologi *Electronic Fuel Injection* (EFI), bahkan telah mencapai teknologi setara *Gasoline Direct Injection* (GDI). LPG diinjeksikan pada fasa cair dan dikabutkan langsung oleh injector ke *intake manifold* atau langsung ke silinder. Suatu ECU diaplikasikan untuk mengatur dengan teliti jumlah LPG yang dimasukkan ke mesin. ECU LPG ini dapat berkomunikasi langsung dengan ECU mesin untuk menyesuaikan volume injeksi berdasarkan informasi dari sensor sensor. Sensor sensor ini mengirimkan signal umpan baik untuk mengontrol campuran LPG-udara hingga diperoleh AFR stoichiometri atau sesuai dengan kebutuhan dan beban mesin [2]. Namun demikian konsep ini lebih cocok diaplikasikan pada kendaraan produksi baru yang sudah mengakomodasi bahan bakar gas seperti yang dilakukan Ford dan General Motors yang memasarkan berbagai pilihan mobil LPG di Australia, seperti halnya Hyundai dan Kia di Korea Selatan. Jika model ini diaplikasikan pada kendaraan lama, kerugian muncul karena harus merusak sistem pemasukan untuk menempatkan injektor.

Penggunaan *converter kits* konvensional lebih diterima dan diaplikasikan pada kendaraan yang belum didesain untuk bahan bakar gas pada saat produksi. Dengan *converter kits* konvensional, LPG dimasukkan kedalam mesin dalam fasa gas melalui sebuah mixer. Upaya yang sudah dilakukan untuk meningkatkan performa mesin antara lain dengan penyesuaian busi dan perangkat pengapian, termasuk penyesuaian saat pengapian [5]. Kaitannya dengan upaya untuk mengurangi emisi gas buang, dilakukan dengan optimasi penyetyelan *vaporizer* dan saat pengapian. *Vaporizer* memiliki baut penyetyel kekerasan pegas lever untuk mengatur aliran LPG dan katup akselerasi untuk mengatur daya mesin melalui pengaturan kevakuman. Emisi gas buang dapat dikontrol dengan teliti melalui kombinasi penyetyelan baut pegas lever dan bukaan katup akselerasi [7]. Namun demikian, optimasi output daya selalu berkompromi dengan emisi dan penggunaan bahan bakar. Pemanfaatan LPG sebagai bahan bakar kendaraan pada umumnya memberikan efek positif terhadap emisi gas buang dan secara ekonomi, namun memberikan efek negatif terhadap performa mesin [8]. Penurunan daya yang terjadi pada umumnya berkisar antara 5-20% [9].

Untuk mendapatkan output torsi dan daya yang optimal, diperlukan efisiensi volumetris yang besar, saat penyalaan yang tepat, dan kualitas campuran LPG-udara yang baik. Pada *converter kits* konvensional, proses pembentukan campuran dilakukan pada komponen mixer. Produsen mixer melakukan inovasi sampai menghasilkan desain terbaik untuk setiap mobil. Hasilnya, sebagian besar adalah bahwa mixer memberikan campuran yang tepat hanya pada beban parsial dan campuran kurus pada beban penuh [10].

Selain sebagai tempat untuk mencampur LPG-udara, mixer berfungsi juga untuk memberikan sinyal kevakuman untuk *vaporizer*. Sinyal vakum harus merepresentasikan jumlah udara yang melewati venturi mixer. Untuk mencapai kondisi ini, mixer harus dirancang secara teliti. Salah satu komponen yang paling penting adalah venturi.

Desain mixer yang baik tidak hanya pada bentuknya, tetapi juga ukuran venturi. Semakin kecil diameter venturi, semakin tinggi sinyal vakum untuk *vaporizer* dan semakin akurat aliran LPG. Kerugiannya adalah efisiensi volumetrik mesin akan menurun karena diameter kecil. Ini seperti seolah-olah mesin hanya dapat bekerja setengah *throttle* dan kemungkinan besar akan mengalami kerugian daya hingga 20 %. Ukuran ideal untuk venturi harus minimal 75 % dari ukuran venturi karburator atau *throttle body* (jika mesin EFI). Lebih spesifik, ukuran venturi harus berkisar 7.5 mm² dan jika mungkin 10 mm² untuk setiap *Horse power* (hp) daya mesin [10].

Kenyataan bahwa suatu model mixer yang ada hanya cocok untuk kebutuhan parsial saja, sementara kondisi mesin (volume, dimensi, dan daya) dan jenis *vaporizer* sangat bervariasi akan sulit mendapatkan karakteristik performa mesin yang optimal dengan

mixer yang memiliki ukuran venturi bersifat tetap (*fixed venturi*). Melihat fenomena tersebut, dibutuhkan suatu model mixer dengan ukuran venturi yang dapat diatur luasannya sehingga memungkinkan untuk diplikasikan pada rentang kondisi mesin dan jenis *vaporizer* yang lebih beragam.

b. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model mixer dengan luasan venturi yang dapat diatur. Ukuran venturi dapat diatur atau diubah sesuai dengan kebutuhan mesin dan jenis *vaporizer* yang digunakan. Diharapkan model mixer variabel ini dapat melayani berbagai variasi kondisi mesin dan berbagai jenis *vaporizer*.

II. METODE

Penelitian ini mencakup dua tahapan kegiatan, yaitu tahap pembuatan prototipe mixer variabel dan tahap pengujian pada dynamometer.

Pembuatan prototipe mixer variabel meliputi kegiatan desain dan kegiatan *machining*. Proses pembuatan prototipe dikerjakan secara *machining* dengan beberapa mesin untuk proses produksi, diantaranya mesin bubut, mesin *milling*, mesin *drilling*, dan peralatan tangan yang terkait. Mixer variabel dibuat dalam empat bagian utama yaitu bagian rumah mixer dan bagian venturi variabel. Venturi variabel masuk ke rumah mixer dan ditahan dengan cincin pengunci. Venturi variabel dibuat dalam tiga ukuran yaitu diameter 30 mm, 35 mm, dan 40 mm.

Prototipe mixer dengan tiga venturi variabel dipasang pada mesin. Tiga buah *vaporizer* (Hansung C-081, Tesla A-100, dan Stefanelli 150HP) diaplikasikan secara bergantian. Proses pengujian dilakukan pada unit *chassis dynamometer* dengan parameter yang diukur adalah output torsi dan daya pada roda roda penggerak.

a. Alat dan bahan

Alat dan bahan utama yang digunakan saat pengujian disajikan dalam Tabel 1 berikut :

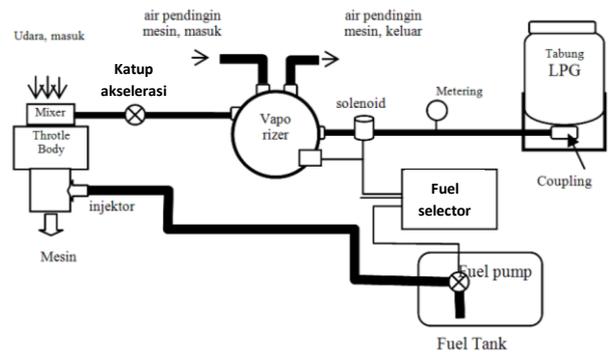
Tabel 1. Alat dan Bahan Penelitian

No	Alat dan bahan	Jumlah	Spesifikasi /merk
1	Kendaraan uji	2 unit	Toyota 4A-FE
2	<i>Chassis Dynamometer</i>	1 unit	HOFMANN Dynatest pro 260 kW
3	<i>Vaporizer</i>	3 unit	Hansung C-081, Tesla A-100, dan Stefanelli 150HP
4	<i>Gas analyzer</i>	1 unit	Q-Ro tech
5	LPG	4 pcs	Kemasan 12 kg
6	Mixer variabel	1 unit	(Ø venturi 30, 35, dan 40 mm)

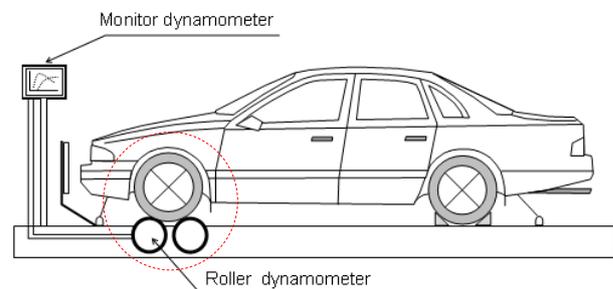
b. Instalasi komponen dan alat uji

Seperti halnya mixer pada umumnya, mixer variabel dipasang pada mulut *throttle body*. Selang output gas dari *vaporizer* dipasang pada saluran inlet mixer melewati sebuah katup akselerasi. Kondisi awal pengujian (*initial set up*) ditentukan pada nilai lambda (λ) 0,98 sampai 1,02 yang terbaca pada *engine gas analyzer*. Instalasi komponen dan pemasangan kendaraan pada *chassis dynamometer* disajikan dalam gambar 1 dan gambar 2 secara berurutan.

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menghasilkan data karakteristik torsi dan daya mesin kaitannya dengan variasi jenis *vaporizer* dan variasi ukuran venturi mixer.



Gambar 1. Skema instalasi *converter kits*



Gambar 2. Skema pengujian torsi dan daya mesin

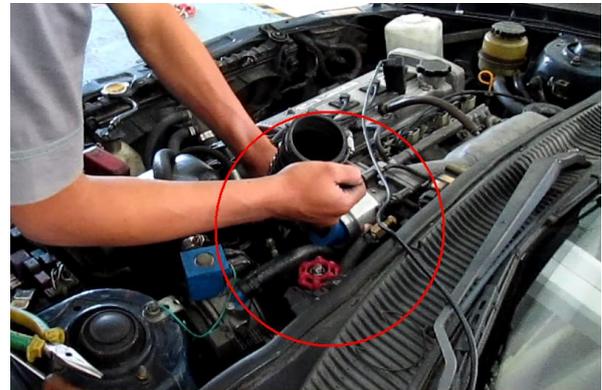
c. Rancangan percobaan

Kombinasi tiga jenis *vaporizer* dan tiga ukuran diameter venturi ini, diuji dengan metode uji *full factorial*. Masing masing ukuran diameter venturi mixer dipasangkan pada ketiga jenis *vaporizer*. Rancangan percobaan dan parameter ukurnya disajikan dalam tabel 2 berikut :

Tabel 2. Desain eksperimen

No uji	Jenis <i>vaporizer</i>	Ukuran venturi mixer (mm)	Parameter ukur	
			Torsi (N.m)	Daya (HP)
1	Tesla A-100	30		
2	Tesla A-100	35		
3	Tesla A-100	40		
4	Hansung C-081	30		
5	Hansung C-081	35		
6	Hansung C-081	40		
7	Stafanelli 150HP	30		
8	Stafanelli 150HP	35		
9	Stafanelli 150HP	40		
10	Mode operasi bensin			

injeksi). Proses penggantian venturi variabel dapat dilakukan dengan mudah tanpa harus melepas unit mixer dari mesin. Gambar 4 berikut memberikan ilustrasi penggantian venturi variabel pada mesin.

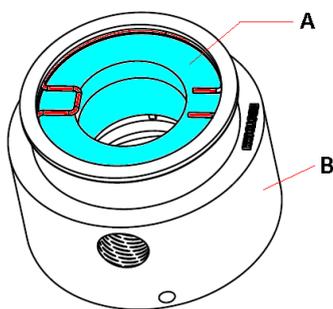


Gambar 4. Contoh penggantian venturi mixer

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Desain prototipe mixer variabel

Mixer yang dikembangkan melalui penelitian ini mencakup bagian venturi variabel (A) dan bagian rumah mixer (B). Ilustrasi dan detail dari mixer variabel yang dikembangkan disajikan pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Perspektif mixer variabel

Desain ini didasarkan pada kenyataan bahwa suatu mesin dengan jenis yang sama, memungkinkan untuk terjadi perbedaan kebutuhan karena faktor kondisi kerja dan pengaruh keausan yang mengakibatkan daya hisap yang berbeda pada bukaan *throttle valve* yang sama. Hal ini akan menuntut luasan venturi yang berbeda pula. Venturi variabel (A) tersedia dengan diameter dalam yang bervariasi. Tujuan dari konstruksi ini adalah untuk mengubah luasan venturi tanpa harus mengganti mixer secara keseluruhan. Konstruksi ini memberikan keleluasaan untuk diaplikasikan pada berbagai kondisi mesin dan berbagai jenis *vaporizer*.

Pada bagian belakang mixer yang berhubungan dengan karburator atau *throttle body*, dilengkapi dengan bagian penyesuai ukuran yang memiliki ketebalan yang beragam. Dengan konstruksi ini memungkinkan untuk dapat diterapkan pada berbagai ukuran mulut karburator dan mulut *throttle body* (jika mesinnya berteknologi

b. Hasil uji pada dynamometer

Pengujian dilakukan pada unit *chassis dynamometer* dengan masing masing tiga kali pengulangan. Data yang ditampilkan dalam tabel 3 berikut merupakan data tertinggi dari setiap pengujian.

Tabel 3 Hasil Uji Pada Dynamometer

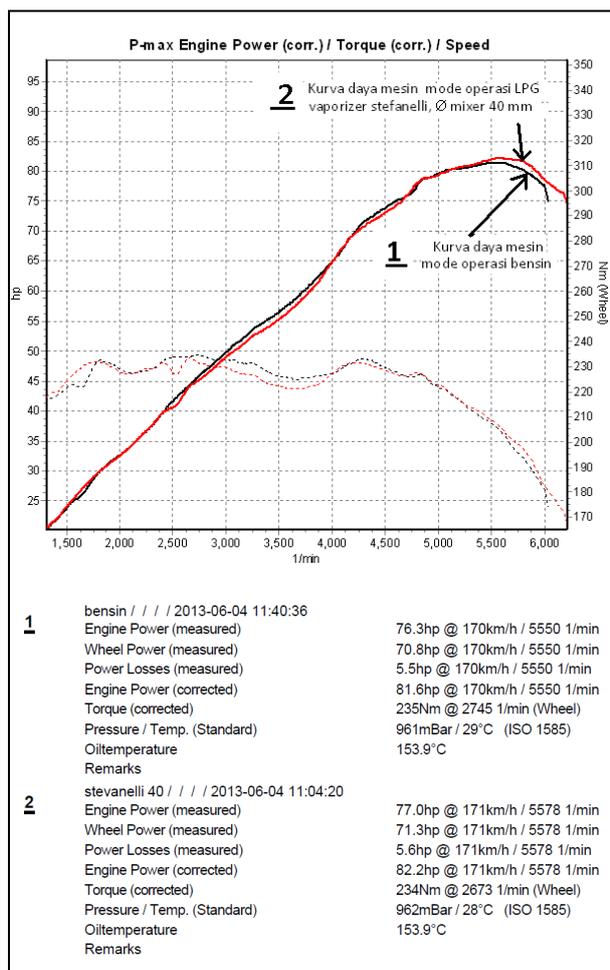
No uji	Jenis <i>vaporizer</i>	Ø venturi (mm)	Parameter ukur			
			Torsi (N.m)	Rpm	Daya (hp)	Rpm
1	Tesla A-100	30	212	4172	76.3	5584
2	Tesla A-100	35	222	4305	80.3	5550
3	Tesla A-100	40	228	1767	77.0	5686
4	Hansung C-081	30	226	4244	78.5	5523
5	Hansung C-081	35	235	1838	77.3	5746
6	Hansung C-081	40	211	1505	51.8	4762
7	Stafanelli	30	195	4159	64.3	5128
8	Stafanelli	35	225	4208	77.3	5746
9	Stafanelli	40	234	2673	82.2	5578
10	Mode operasi bensin		235	2745	81.6	5550

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *vaporizer* jenis Tesla A 100 pada mesin 1500 cc injeksi menghasilkan daya (hp) optimal jika dikombinasikan dengan mixer berdiameter venturi 35 mm, namun jika diinginkan torsi (N.m) yang besar maka dipilih mixer dengan diameter venturi 40 mm. Penggunaan *vaporizer* Hansung C-081 menghasilkan daya yang optimal jika dikombinasikan dengan mixer berdiameter venturi 30 mm. Fenomena yang berlawanan terjadi pada penggunaan *vaporizer* jenis Stafanelli 150HP. Pada model ini, penggunaan mixer berdiameter venturi 40 mm menghasilkan daya dan torsi yang besar.

Pada prinsipnya, setiap jenis *vaporizer* memiliki dimensi yang berbeda dan setiap jenis mesin memiliki tingkat kevakuman yang berbeda. Inilah yang menuntut suatu model mixer yang dapat diatur diameter venturinya sehingga memiliki fleksibilitas untuk digunakan pada berbagai volume mesin dan jenis *vaporizer* yang digunakan.

Dari tabel 3 diatas dapat dilihat bahwa dengan memvariasikan jenis *vaporizer* dan berbagai ukuran mixer akan mempengaruhi output torsi dan daya mesin. Dari hasil uji pada *chassis dynamometer*, penggunaan *vaporizer* Stefanelli 150HP dengan penggunaan mixer berdiameter 40 mm mampu menghasilkan daya mesin yang paling baik (82.2 hp /5578 rpm) sementara dengan mode operasi bensin menghasilkan output daya 81.6 hp /5550 rpm. Hasil pengujian ini juga menunjukkan bahwa ternyata dengan konfigurasi yang tepat, mesin LPG menghasilkan daya yang lebih besar daripada mesin bensin.

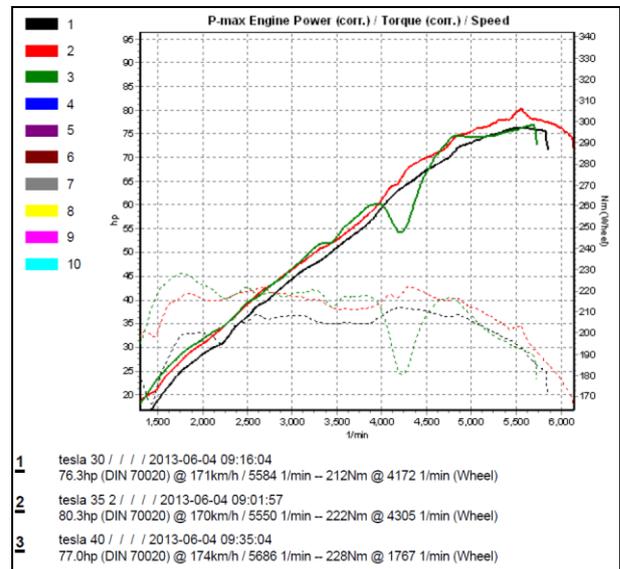
Perbandingan kurva torsi dan daya mesin pada mode operasi bensin dan mode operasi LPG dengan kombinasi *vaporizer* Stefanelli 150HP dan ukuran mixer berdiameter venturi 40 mm disajikan dalam gambar 5 berikut.



Gambar 5. Kurva daya mode operasi bensin dan LPG

c. Karakteristik daya dan torsi setiap ukuran venturi pada tiap vaporizer.

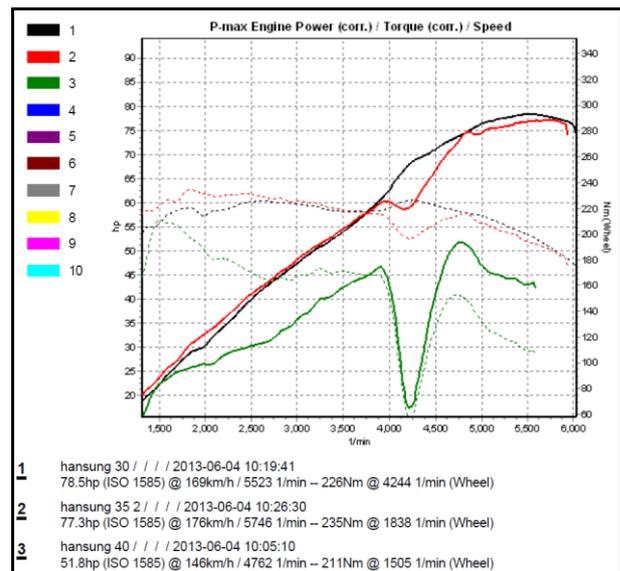
1. Pengujian dengan *vaporizer* Tesla A-100



Gambar 4. Karakteristik torsi dan daya mesin dengan *vaporizer* Tesla A-100 pada berbagai ukuran venturi

Penggunaan mixer dengan venturi berdiameter 30 mm dan 35 mm pada *vaporizer* tesla A-100 menghasilkan karakteristik kurva torsi dan daya yang hampir sama. Namun, fenomena yang berbeda terjadi saat penggunaan mixer berdiameter 40 mm. Kurva torsi dan daya yang dihasilkan membentuk palung (*power losses*) pada ± 4000 rpm sampai ± 4600 rpm.

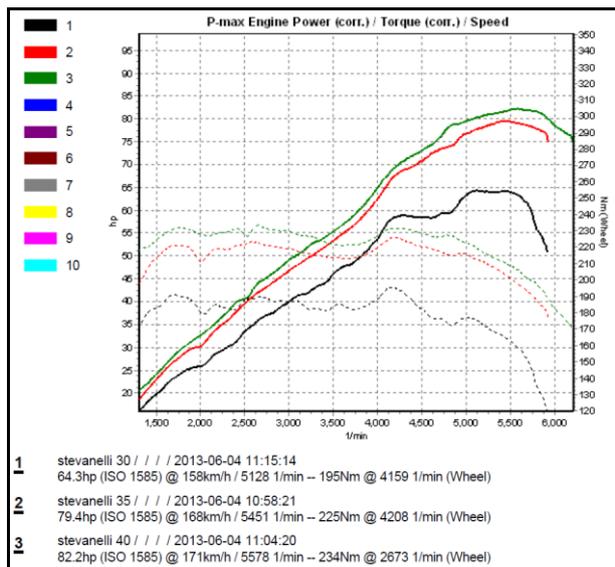
2. Pengujian dengan *vaporizer* Hansung C-081



Gambar 5. Karakteristik torsi dan daya mesin dengan *vaporizer* Tesla A-100 pada berbagai ukuran venturi

Kurva torsi dan daya mesin yang dihasilkan oleh *vaporizer* Hansung C-081 menunjukkan bahwa *vaporizer* ini sensitif terhadap pembesaran luasan venturi. Kurva normal dihasilkan dengan mixer berdiameter 30 mm. Penggunaan mixer berdiameter venturi 35 mm dan 40 mm menimbulkan *power losses* berupa palung pada putaran ± 4000 rpm sampai ± 4700 rpm dengan. Bahkan, dengan diameter venturi 40 mm terjadi penurunan torsi dan daya yang sangat signifikan.

3. Pengujian dengan *vaporizer* Stefanelli 150HP



Gambar 6. Karakteristik torsi dan daya mesin dengan *vaporizer* Stefanelli 150HP pada berbagai ukuran venturi

Karakteristik kurva torsi dan daya pada *vaporizer* Stefanelli 150HP berlawanan dengan karakteristik kurva pada *vaporizer* Tesla A-100 dan Hansung C-081. Ketiga ukuran diameter venturi mixer menghasilkan kurva yang normal. Performa mesin terbaik diperoleh pada penggunaan venturi 40 mm. Ketiga hasil uji tersebut memberikan informasi bahwa semakin kecil luasan venturi maka semakin rendah pula performa yang dihasilkan.

IV. KESIMPULAN

1. Setiap jenis *vaporizer* membutuhkan luasan venturi yang berbeda untuk menghasilkan output daya yang optimal.
2. *Vaporizer* jenis Hansung C 081 menghasilkan output daya yang optimal pada mixer berdiameter venturi 30 mm, sementara *vaporizer* Tesla A 100 menghasilkan daya optimal pada mixer dengan diameter venturi 35 mm.
3. Kombinasi *vaporizer* jenis Stefanelli 150HP dan *mixer* dengan diameter venturi 40 mm menghasilkan output daya yang paling optimal, yaitu sebesar 82.2 hp /5578 rpm, sementara dengan mode operasi bensin menghasilkan output daya 81.6 hp /5550 rpm.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] World Liquefied Petroleum Gas Association (2012), Autogas Incentive Policies, Neuilly-sur-Seine.
- [2] M. Rood Werpy, A. Burnham, and K. Bertram, (2010), Propane Vehicles: Status, Challenges, and Opportunities, Center for Transportation Research Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, Illinois.
- [3] Brenda Brevitt, (2002), Alternative Vehicle Fuels, Science Environment Section, House of Commons Library, Research Paper 02/11.
- [4] R.R. Saraf, S.S. Thipse and P.K. Saxena, (2009), Comparative Emission Analysis of Gasoline/LPG Automotive Bifuel Engine, International Journal of Civil and Environmental Engineering 1:4 2009.
- [5] Bosch. (2010). LPG Spark Plugs. Road Claiton Vic: Robert Bosch (Australia) Pty Ltd.
- [6] ETSAP, (2010), Automotive LPG and Natural Gas Engines, Technology Brief T03 – April 2010.
- [7] Muji Setiyo dan Prawoto, (2012), Optimasi Prestasi Mesin Bensin 1500 cc Dengan Bahan Bakar LPG Melalui Penyetelan Converter Kits dan Penyesuaian Saat Pengapian, Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin VII, UK Petra, Surabaya.
- [8] Mandloi, R. (2010). Long Term Continuous Use Of Auto- LPG Causes Thermal Pitting In Automotive S. I. Engine Parts. International Journal of Engineering Science and Technology , 2(10), 5907-5911.
- [9] M.A. Ceviz, F. Yuksel, 2005, Cyclic variations on LPG and gasoline-fuelled lean burn SI engine, Renewable Energi 31 (2006) 1950–1960.
- [10] Osch, H. V. (2013). Technique-LPG-Instalatie. Dipetik April 10, 2013, dari <http://www.chaosboyz.nl/rubriek/techniek/techlpg.htm>.