

# MODUL PENGATURAN PENGAPIAN UNTUK KENDARAAN BI-FUEL LPG/BENSIN

Muji Setiyo<sup>1</sup>, Budi Waluyo<sup>2</sup>, Mohammad Husni<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Program Diploma Mesin Otomotif Universitas Muhammadiyah Magelang  
Jl. Mayjend Bambang Sugeng km.05, Mertoyudan, Magelang, Telepon (0293) 326945  
e-Mail : <sup>1)</sup> [setiyo.muji@gmail.com](mailto:setiyo.muji@gmail.com), <sup>2)</sup> [otobudy@yahoo.com](mailto:otobudy@yahoo.com)

<sup>3</sup> Departemen Ototronik, Vocational Education Development Center (VEDC) Malang  
Jl. Teluk Mandar Tromol Pos 5 , Telepon (0341) 491239 pesawat 265  
e-Mail : [husnivedc@yahoo.com](mailto:husnivedc@yahoo.com)

Bandung, 3 - 4 November 2015

## ABSTRAK

Masalah teknis muncul ketika kendaraan dioperasikan dengan sistem bi-fuel LPG/Bensin. Ada perbedaan yang signifikan terkait dengan kecepatan pembakaran LPG dan bensin. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan tenaga mesin terbaik di kedua mode operasi bahan bakar, bensin dan LPG. Metode yang ditepkan adalah dengan menerapkan sebuah rangkaian Simple Electronic Spark Advance Module (SESAM) untuk memanipulasi tegangan umpan balik dari Manifold Absolute Pressure Sensor (MAPS). Dalam kondisi standar (mode bensin, idling), tegangan umpan balik dari MAPS adalah 1,4 volt. Dalam penelitian ini, kurva pengapian standar dipertahankan untuk mode operasi bensin, sedangkan pada mode operasi LPG, tegangan umpan balik dari MAPS divariasikan pada 1,4; 1,2; 1,0; 0,8; dan 0,6 V saat idling melalui sirkuit. Mesin Toyota 5A-FE diuji pada chassis dinamometer untuk mengkonfirmasi kinerja sirkuit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan umpan balik dari MAPS sebesar 0,8 volt menghasilkan daya yang terbaik saat mesin beroperasi dalam mode LPG. Sementara performa mesin dalam mode operasi bensin tidak terganggu.

Kata Kunci : format penulisan, makalah, Iptek, Seminar Nasional

## I. PENDAHULUAN

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan bahan bakar alternatif yang berasal dari penyulingan minyak mentah atau gas alam. LPG terdiri dari propana dan butana atau campuran keduanya. Sejumlah kecil etana dan pentana juga terkandung dalam campuran. LPG merupakan bahan bakar yang memiliki hampir semua sifat utama yang diperlukan untuk mesin Spark Ignition (SI). LPG memiliki oktan rating tinggi (112 RON) daripada bensin, yang memungkinkan untuk diterapkan pada mesin dengan rasio kompresi yang lebih tinggi [1].

Sampai tahun 2014, ada hampir 25 juta kendaraan LPG digunakan di seluruh dunia, sebagai kendaraan pribadi atau angkutan umum seperti taksi dan bus. Jumlah tersebut umumnya sebagai kendaraan bi-fuel dan beberapa kendaraan telah memanfaatkan sebagai full dedicated. Namun demikian, penggunaan LPG masih terkonsentrasi di sejumlah kecil negara termasuk Korea, Turki, Rusia, Polandia dan Italia. Kelima negara bersama-sama menyumbang setengah dari konsumsi global

LPG pada tahun 2013. Di kawasan ASEAN, Thailand adalah negara yang sukses dengan kebijakan LPG sebagai bahan bakar kendaraan, baik dalam jumlah kendaraan dan konsumsi (Tabel 1). Thailand melampaui Malaysia, Singapura dan negara-negara ASEAN lainnya.

Tabel 1. Konsumsi LPG terbesar dunia, 2013

Negara	Konsumsi Kendaraan (ribu ton)	Stasiun (ribu) pengisian	
Korea	3987	2410	1994
Russia	2850	3000	4400
Turkey	2727	3935	10089
Thailand	1775	1020	1090
Poland	1575	2750	5520
Italy	1520	1930	3250
Japan	980	234	1517
Ukraine	821	1500	2750
Australia	813	490	3703
China	730	141	310
Negara lainnya	8024	7501	35749
Total	25802	24911	70372

Sumber : WLPGA/Argus (2014)

Alasan utama pemerintah di banyak negara secara aktif mendorong penggunaan LPG dan bahan bakar alternatif lainnya adalah alasan lingkungan [2]. Kandungan emisi gas buang dari mesin berbahan bakar LPG dibandingkan dengan bensin telah dipelajari oleh banyak peneliti. Beberapa dari mereka menyimpulkan bahwa emisi dari mesin LPG lebih rendah dari mesin bensin, termasuk Mockus [3] dan Shankar [4]. Namun demikian, LPG volume LPG cair meningkat 15-20% lebih besar daripada bensin dalam kandungan energi yang sama. Disisi lain, penurunan output daya mesin umumnya sebesar 5-10% [5].

Untuk mengoperasikan kendaraan dengan LPG, baik sebagai *full dedicated* atau *bi-fuel* (bensin dan LPG bergantian dioperasikan), hanya diperlukan sedikit modifikasi pada sistem bahan bakar [6]. Sampai saat ini, converter kit telah dikembangkan mengikuti teknologi mobil sistem bahan bakar. Ada empat jenis utama dari sistem bahan bakar LPG yang biasa digunakan [2].

**Converter and Mixer** – Sistem ini juga dikenal sebagai sistem venturi atau "*single point system*". Ini adalah sistem tertua, ada sejak tahun 1940-an, dan masih banyak digunakan hingga saat ini. Sistem ini menggunakan konverter untuk mengubah bahan bakar cair dari tangki menjadi uap, yang kemudian diumpungkan ke mixer dimana LPG akan bercampur dengan udara masuk pada *intake manifold*.

**Vapour Phase Injection (VPI)** - Sistem ini menggunakan konverter seperti sistem konverter dan mixer, tapi gas keluar konverter pada tekanan yang diatur. Gas tersebut kemudian disuntikkan ke dalam *intake manifold* melalui serangkaian injektor yang dikendalikan secara elektrik. Sistem ini memungkinkan untuk memasukkan bahan bakar yang lebih akurat, meningkatkan ekonomi bahan bakar, meningkatkan kekuatan dan mengurangi emisi.

**Liquid Phase Injection (LPI)** – Sistem ini tidak menggunakan converter, melainkan memberikan LPG cair langsung ke rel bahan bakar seperti sistem injeksi bensin. Karena LPG diuapkan di *intake manifold*, akan memberikan efek pendinginan udara pada *intake*. Hal ini akan meningkatkan densitas udara masuk dan berpotensi meningkatkan output daya mesin. Sistem LPI masih dalam pengembangan teknologi, tetapi memiliki potensi peningkatan performa mesin yang lebih baik dari sistem sebelumnya.

**Liquid Phase Direct Injection (LPDI)** - Sistem ini adalah yang paling canggih, LPDI menggunakan pompa tekanan tinggi yang diletakkan dalam tanki dan injektor untuk menyuntikkan LPG cair langsung ke ruang bakar. Teknologinya sama dengan *Gasoline Direct Injection* (GDI).

Dari empat sistem yang ada, converter dan mixer adalah yang paling sederhana dan dapat diterapkan untuk hampir semua teknologi kendaraan yang ada. Sementara itu, model LPI dan LPDI menggunakan kontrol elektronik yang kompleks. Model ini rumit dan tidak kompatibel untuk aplikasi pada kendaraan model lama.

Seiring dengan permintaan pasar, produsen otomotif telah menambahkan sistem bahan bakar LPG pada produk yang dipasarkan di negara-negara yang telah tersedia infrastuktur. Namun, bagi sebuah negara yang sedang mengembangkan infrastruktur untuk sistem bahan bakar gas seperti Indonesia, sistem konverter dan mixer adalah yang paling dapat diterima. Hal ini karena hampir semua kendaraan yang ada tidak dilengkapi dengan sistem bahan bakar LPG ketika diproduksi. Sistem bi-fuel juga pilihan sehingga mobil dapat dioperasikan dengan dua bahan bakar secara bergantian. Pertimbangannya, jumlah stasiun pengisian masih terbatas.

Masalah teknis muncul ketika angkutan umum dioperasikan dengan sistem bi-fuel LPG/Bensin. Ada perbedaan yang signifikan terkait dengan kecepatan pembakaran LPG dan bensin. LPG memiliki kecepatan pembakaran yang lebih rendah daripada bensin. Robert Bosch [7] merekomendasikan waktu pengapian untuk mode LPG harus maju hingga 15 derajat engkol, dalam rangka untuk mendapatkan *Maximum Brake Torque*. Jika referensi awal untuk mode bensin adalah 10 °BTDC, mode LPG menjadi 25 °BTDC.

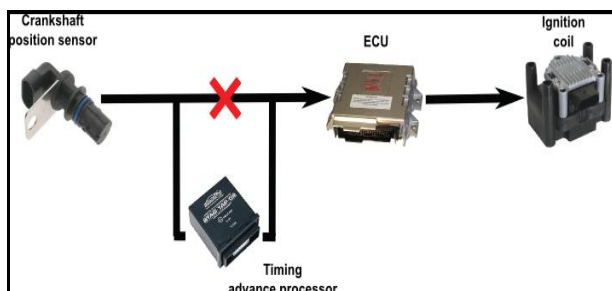
Studi yang terkait dengan pengajuan waktu pengapian untuk kendaraan berbahan bakar LPG diantaranya dilaporkan oleh *Southwest Research Institute* [8]. Pengujian dilakukan dengan propana cair HD-5 pada mesin Stock Ford Taurus 3.5 L V6 EcoBoost. Penelitian ini melaporkan bahwa waktu pengapian bisa maju sampai 20 derajat pada beban penuh dan tidak dijumpai gejala detonasi disepanjang pengujian. Efisiensi termal yang lebih baik ditunjukkan dengan waktu pengapian optimal. Sebelumnya, Lawankar [9] juga telah mengidentifikasi secara rinci tentang kinerja mesin berbahan bakar LPG pada rasio kompresi yang berbeda dan waktu pengapian yang berbeda pula.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa waktu pengapian memiliki pengaruh pada efisiensi termal. Efisiensi terbaik ditemukan pada 20 °BTDC untuk bensin dan pada 30 °BTDC untuk LPG pada semua rasio kompresi yang diteliti.

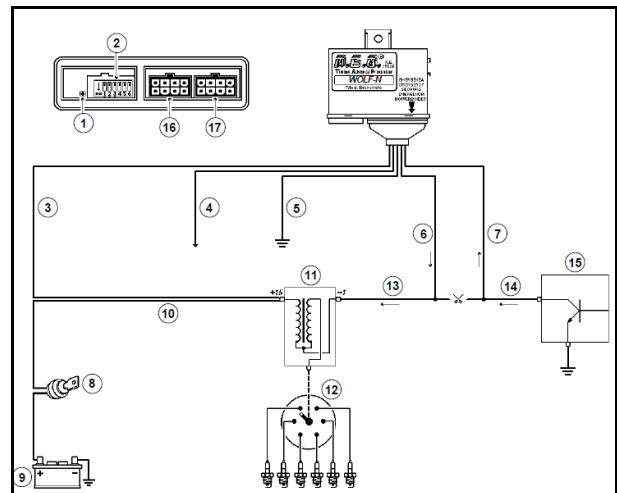
Mengacu pada penelitian sebelumnya [7-9], informasi penting diperoleh bahwa mesin bi-fuel memerlukan dua kurva pengapian. Jika hanya tersedia satu kurva pengapian untuk mode bensin akan menyebabkan penurunan daya yang signifikan ketika dioperasikan dalam mode LPG. Sebaliknya, jika kurva pengapian mengacu pada mode LPG, akan terjadi *knocking* bila menggunakan bensin. Untuk mencapai hasil yang maksimal dalam kedua mode bahan bakar, kurva pengapian harus diubah mengikuti operasi bahan bakar. Kurva pengapian harus mampu bergeser maju atau mundur secara otomatis ketika operasi bahan bakar berubah, terutama ketika mesin melakukan akselerasi.

Cara terbaik untuk memastikan saat pengapian optimal untuk kedua bahan bakar adalah dengan membuat sistem pengapian dengan kurva ganda. Saat pengapian akan beralih secara otomatis ke pengaturan LPG atau bensin ketika saklar bahan bakar diaktifkan [10].

Upaya untuk menyesuaikan kurva pengapian di LPG/CNG dan bensin telah dilakukan oleh Tomov [11]. Sebuah *Timing Advance Processor* (TAP) diaplikasikan untuk memanipulasi sinyal dari koil pengapian (Gambar 1). Sinyal diproses lebih lanjut melalui perangkat ini sebelum diumpankan kembali ke ECU. *Spark Advance Processor* juga diselidiki oleh Edsan [12], diuji pada mesin berbahan bakar CNG. Perangkat lain untuk mengendalikan kurva pengapian disebut *Electronic Spark Advance Variators* (ESAV) [13]. Baik TAP dan ESAV bekerja berdasarkan sinyal dari koil pengapian. Kelemahannya, saat akselerasi dan berat beban, belum sepenuhnya diakomodasi.



Gambar 1. *Timing Advance Proccesor*



Gambar 2. *Electronic Spark Advance Variators*

Berbeda dari TAP dan ESAV, artikel ini menyajikan sebuah metode untuk mengubah kurva pengapian berdasarkan informasi dari *Manifold Absolute Pressure Sensor* (MAPS) untuk diterapkan dalam mesin bi-fuel yang masih menggunakan model converter dan mixer. Perangkat ini disebut *Simple Electronic Spark Advance Module* (SESAM). MAPS mengirimkan umpan balik bervariasi dari 4,5 volt pada 101 kPa (kontak "ON", mesin tidak berjalan, dan di permukaan laut) dan 0,5 volt pada 20,1 kPa. Pada kecepatan idling, tegangan output berkisar 1,4-1,5 volt. Tegangan output dari MAPS ini linear dengan tekanan manifold. Namun, tekanan manifold tidak linear dengan putaran mesin. Studi Massi [14] menunjukkan bahwa tekanan manifold cenderung membentuk kurva parabola. Ini berarti bahwa kurva pengapian yang terjadi tidak akan membentuk garis lurus.

Untuk memajukan saat pengapian, tegangan umpan balik dari MAPS diturunkan beberapa volt sebelum dipasok ke ECU. Perbedaan tegangan dapat diatur sesuai yang diinginkan dengan menyetel variabel resistor. Dengan metode ini, ECU menerima informasi seolah-olah mesin berjalan lebih cepat sehingga pengapian yang bergeser ke depan. Ketika kembali ke mode bensin, tegangan umpan balik dari sensor MAP tidak melewati sirkuit dan kembali ke kurva pengapian normal.

## II. METODE

### a. Mesin yang diuji

Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah Toyota 5A-FE yang dimodifikasi menjadi sistem bi-fuel. Converter kits yang digunakan adalah Stefanelli 150 HP. Spesifikasi mesin dan converter disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 3 secara berurutan.

Tabel 2. Spesifikasi Mesin

Engine manufacturer	: Toyota
Engine code	: 5A-FE
Cylinders	: Straight 4
Capacity	: 1498 cc
Bore × Stroke	: 78.7 × 77 mm
Valve mechanism	: DOHC, 4 valves per cylinder, 16 valves in total
Maximum power output	: 77 kw @ 6000 rpm
Maximum torque	: 135 Nm @ 4800 rpm
Compression ratio	: 9.8:1
Fuel system	: EFI

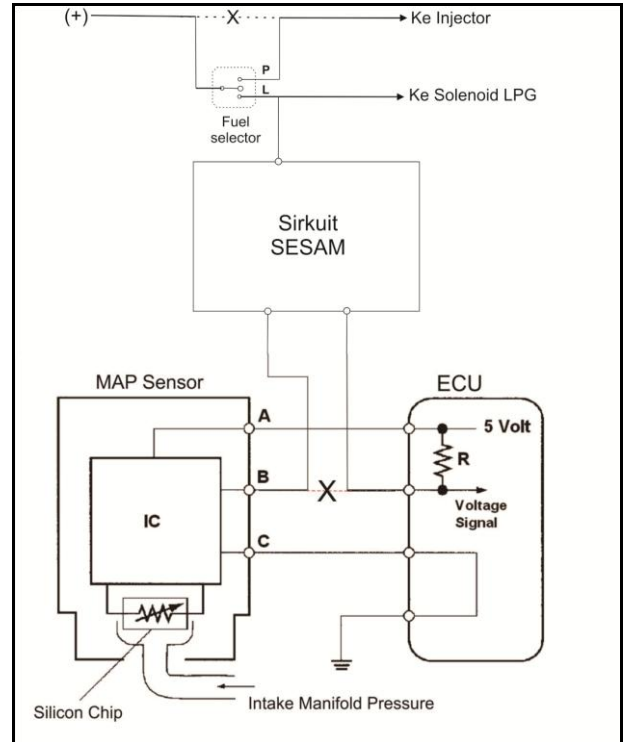


Gambar 3. Converter Stefanelli 150 HP

### b. Prototipe yang dikembangkan

Tegangan referensi pada kecepatan idling adalah sekitar 1,4 volt. Ketika pemilih bahan bakar digeser ke "LPG", sebuah relay dalam sirkuit aktif sehingga tegangan dari sensor MAP akan diproses melalui sirkuit. Ketika mode operasi digeser ke "Bensin", Relay menjadi non-aktif, tegangan dari sensor MAP akan disuplai langsung ke ECU.

Melalui sirkuit ini, tegangan output dari SESAM ditetapkan pada 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; dan 1,4 volt. Pengumpulan data dilakukan setiap tiga kali dan diambil yang terbaik. Torsi dan tenaga mesin dicatat sepanjang puratan 1500-6000 rpm.



Gambar 4. Instalasi SESAM pada *wiring harness*

### c. Pengujian Daya

Dalam studi ini, Chassis dynamometer merk Hofmann dynatest® pro - 260 kW digunakan dalam menu "Program P-Max". Mobil dilakukan percepatan dari berhenti sampai kecepatan maksimum dengan mengubah gigi kecepatan secara halus tapi dengan cepat. Setelah daya maksimum telah terlampaui, kopling dilepas dan mobil dibiarkan untuk deselerasi secara natural. Setelah sampai pada kecepatan idle dan rolling dynamometer berbenti, torsi dan daya mesin akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

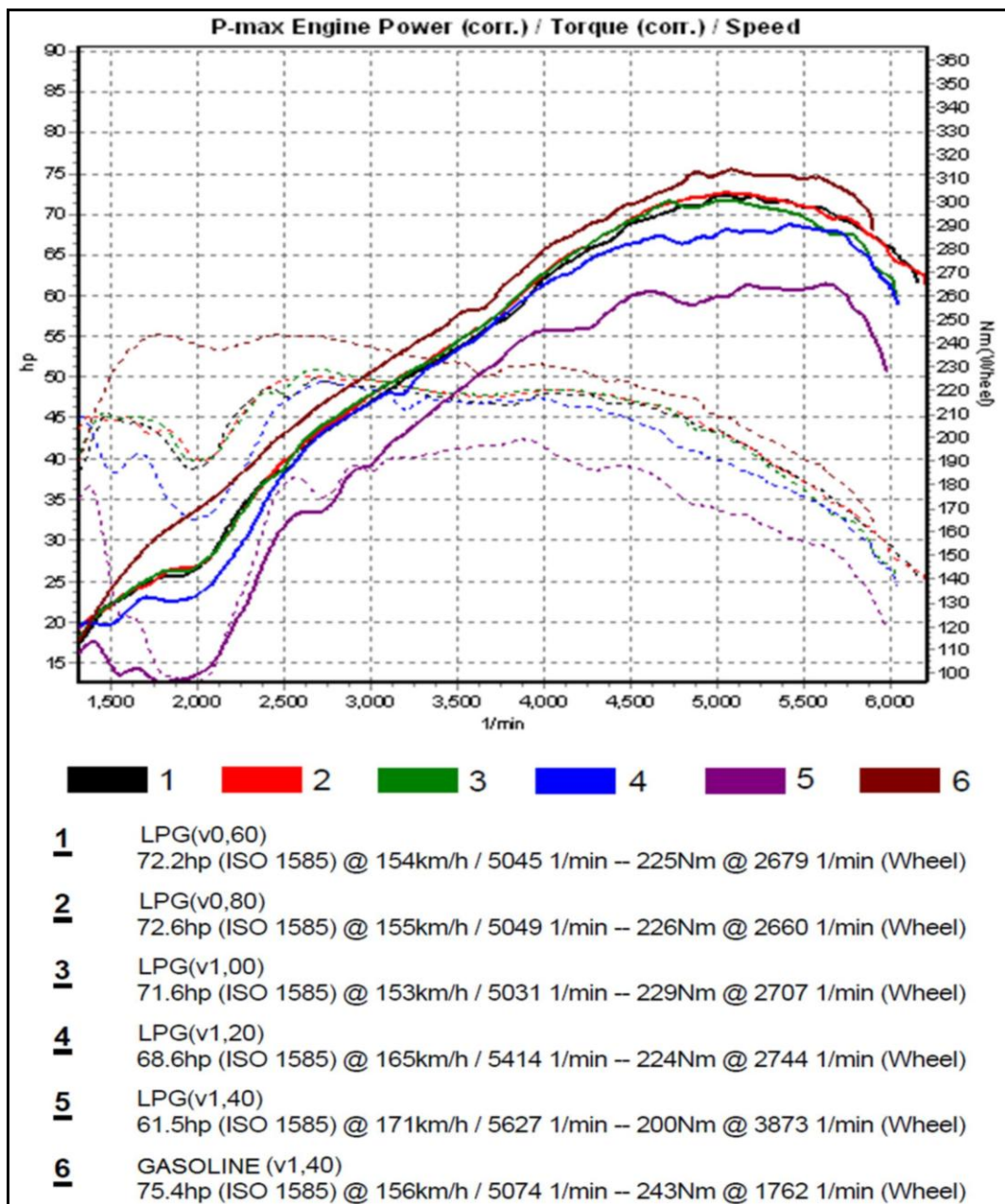


Gambar 4. *Set Up* Mesin pada dynamometer

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Serangkaian tes menunjukkan bahwa kontrol tegangan MAP sensor (yang berarti mengubah waktu pengapian) memiliki pengaruh besar pada output torsi dan tenaga mesin (gambar 5). Dalam mode operasi LPG, tanpa kontrol tegangan feedback dari MAPS (V: 1,4), output mesin sangat rendah (Curva 5). Hal ini jelas terlihat bahwa daya maksimum yang dihasilkan hanya 61,5 hp @ 5045 rpm, sementara mode bensin mampu menghasilkan 75,4 hp @ 5.049 rpm (Curva 6). Ada penurunan daya sekitar 14,5%. Selain itu, dalam kecepatan mesin di bawah 2.000 rpm, terjadi penurunan daya yang signifikan.

Jika umpan balik MAPS diturunkan menjadi 1,2 volt (kurva 4), tenaga mesin maksimum meningkat menjadi 68,6 hp @ 5.414 rpm, atau hanya berbeda 9% dari mode operasi bensin. Mesin menunjukkan kinerja yang baik pada rpm tinggi, tetapi masih kurang di rpm rendah. Hasil yang baik diperoleh pada tegangan umpan balik MAPS yang diatur pada V: 1,0 dan V: 0,8 (kurva 3 dan 2) dengan grafik daya yang hampir berhimpit, tapi V: 0,8 lebih baik dari V: 1,0. Meskipun daya maksimum belum bisa menyamai mesin bensin. Hasil ini sesuai dengan teori yang diberikan oleh Bosch [7]. Ketika tegangan umpan balik diturunkan lagi menjadi 0,6 Volt (Curva 1), daya maksimum justru menurun.



Gambar 5. Hasil Pengujian

#### IV. KESIMPULAN

Generasi terbaru dari konverter kit sudah sama dengan teknologi injeksi bensin dengan manajemen sistem bahan bakar dan sistem pengapian. Namun demikian, jenis konverter dan mixer yang merupakan generasi pertama masih banyak digunakan. Sebuah rangkaian sederhana untuk mengontrol waktu pengapian mesin bi-fuel mampu menghasilkan kinerja yang baik dalam dua mode bahan bakar, LPG dan bensin. Ketika mesin beroperasi dalam mode LPG, perubahan umpan balik MAPS dari 1.4V ke 1,0V memiliki pengaruh yang cukup besar, meskipun dalam kisaran 1.0 V ke 0.6 V menunjukkan hasil yang hampir sama. Informasi tambahan juga diperoleh bahwa dengan penambahan SESAM mampu mengurangi kerugian daya saat beroperasi dengan LPG. Hal ini cukup menjanjikan untuk diterapkan.

#### V. UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Republik Indonesia, melalui program INSINAS tahun 2015. Kegiatan penelitian ini dikelola oleh Divisi Penelitian Universitas Muhammadiyah Magelang. Untuk itu, para peneliti berterima kasih kepada kedua lembaga.

#### VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R.R. Saraf, S. a. (2009). Comparative Emission Analysis of Gasoline/LPG Automotive Bifuel Engine. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 3 (3), pp. 491-494.
- [2] World LP Gas Association. (2014). *Autogas Incentive Policies, A country-by-country analysis of why and how governments encourage Autogas and what works*.
- [3] Mockus, S., Sapragonas, J., Stonys, A., & Pukalskas, S. (2006). Analysis Of Exhaust Gas Composition Of Internal Combustion Engines Using Liquefied Petroleum Gas. *Journal Of Environmental Engineering And Landscape Management*, XIV (1), pp. 16-22.
- [4] Shankar & Monahan. (2011). MPFI Gasoline Engine Combustion, Performance And Emission Characteristics With LPG Injection. *International Journal Of Energy And Environment*, 2 (4), pp. 761-770.
- [5] Ceviz, M. A., & Yuksel, F. Cyclic variations on LPG and gasoline-fuelled lean burn SI engine. *Renewable Energy*, 31, pp. 1950–1960.
- [6] Werpy, M. R., Burnham, A., & Bertram, K. (2010). *Propane Vehicles: Status, Challenges, and Opportunities*. Illinois, USA: Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory.
- [7] Bosch, R. (2010). *LPG Spark Plugs*. Road Clayton: Robert Bosch (Australia) Pty Ltd.
- [8] Southwest Research Institute (2014), *How Propane Autogas Can Enable High Efficiency Engine*, From [http://www1.eere.energy.gov/cleancities/pdfs/patf14\\_ross.pdf](http://www1.eere.energy.gov/cleancities/pdfs/patf14_ross.pdf).
- [9] S.M.Lawankar and L.P.Dhamande (2012), “Comparative Study of Performance of LPG Fuelled Si Engine at Different Compression Ratio and Ignition Timing”, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 3(4), pp. 337-343.
- [10] Dimovski, Kathy. *General Information - Ignition timing for engines converted to run on LPG*. <http://www.acl.com.au/>. [Online] Automotive Components Limited. [Cited: 4 September 2015.] <http://www.acl.com.au/web/acl00056.nsf/0/359683e8a538a3e64a2566c0007bb33e?OpenDocument>.
- [11] Tomov, O. (2012). Timing Advance Processor for Internal Combustion Engine Running on LPG/CNG. *51* (3.2), pp. 184-187.
- [12] Md. Ehsan. (2006). Effect Of Spark Advance On A Gas Run Automotive Spark Ignition Engine. *Journal of Chemical Engineering*, 24 (1), pp. 42-49.
- [13] AEB. *Technical Manual for Spark Advance Variators*. Cavriago: A.E.B.s.r.l.
- [14] Masi, M. (2012). Experimental analysis on a spark ignition petrol engine fuelled with LPG (liquefied petroleum gas). *Energy*, 41, pp. 252-260.
- [15] Jeff Krummen. (2011). ECUs and Engine Calibration 201. Performance Electronics, Ltd. [www.pe-ltd.com](http://www.pe-ltd.com).