

## Studi Numerik: Efek Perubahan Komposisi LPG terhadap *Energy Delivery* pada *Spark Ignition* (S.I.) Engine

Muji Setiyo<sup>1\*</sup>, Budi Waluyo<sup>1</sup>, Bagiyo Condro P<sup>1</sup>, Suroto Munahar<sup>1</sup>, Indra Candra Setyawan<sup>2</sup>, Djoko Wahyu Karmiadji<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Mesin Otomotif, Universitas Muhammadiyah Magelang

<sup>2</sup>Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila Jakarta

<sup>3</sup>Badan Penerapan dan Pengkajian Teknologi, PUSPITEK Serpong

\*Email: [setiyo.muji@ummgl.ac.id](mailto:setiyo.muji@ummgl.ac.id)

### Abstrak

#### Keywords:

Kendaraan LPG,  
Komposisi LPG,  
Wobbe Index  
Energy Delivery

Artikel ini menyajikan sebuah analisis numerik perubahan komposisi LPG terhadap energy delivery pada kendaraan berbahan bakar LPG berpengerak Spark Ignition (S.I.). Perubahan komposisi LPG terhadap pengiriman energy content bahan bakar ke ruang bakar dinilai menggunakan Wobbe Index ( $I_w$ ). Perubahan  $I_w$  kurang dari 5% dianggap tidak berpengaruh terhadap stelan konverter kits, sedangkan perbedaan  $I_w$  lebih dari 5% memerlukan penyetelan konverter kits untuk mendapatkan AFR yang diinginkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kendaraan dengan konverter kits yang disetting untuk 100% propane sensitif terhadap perubahan komposisi LPG, penambahan fraksi massa butane pada fuel line lebih dari 50%, memerlukan penyetelan ulang terhadap konverter kits untuk penyesuaian AFR. Sedangkan untuk kendaraan dengan konverter kits yang disetting untuk 50% propane dan 50% butane mampu mengakomodasi seluruh perubahan komposisi LPG tanpa harus menyetel ulang konverter kits, kecuali dialihkan pada propane murni.

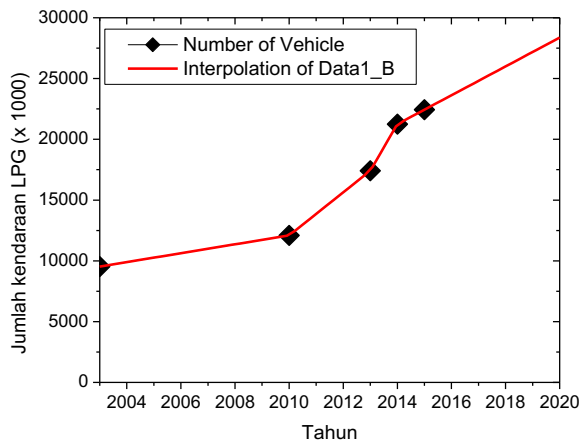
### 1. PENDAHULUAN

LPG telah menjadi kebijakan energi sektor transportasi di beberapa negara seperti Korea Selatan, Turki, Polandia, dan Thailand. Meskipun 60% LPG di duina ini merupakan produk refinery [1], LPG dipilih sebagai bahan bakar alternatif karena harga per satuan massa yang relatif stabil dan lebih rendah dari bahan bakar minyak [2]. Pertimbangan lain adalah bahwa LPG menghasilkan emisi yang lebih rendah dari bensin [3]. Konsumsi energi global untuk sektor transporasi pada tahun 2015 mencapai 21,28 juta ton, sedangkan pada tahun 2014 hanya 20,9 juta ton. Ini berarti meningkat 377.000 ton atau sekitar 1,8% [4], [5].

Jumlah kendaraan LPG di dunia juga terlihat semakin meningkat (**Gambar 1**). Dengan asumsi pertumbuhannya berlaku secara linier dari data tahun terakhir, pada tahun 2020 akan ada lebih

dari 28 juta. Jumlah tersebut diekstrapolasikan dari negara negara dengan jumlah kendaraan LPG terbesar dunia yang dilaporkan WLPGA [5]. Jika memperhitungkan diluar data WLPGA tersebut, diperkirakan pada tahun 2020 jumlahnya lebih dari 35 juta.

Namun demikian, karena LPG merupakan bahan bakar domestik, kandungan LPG di suatu negara akan berbeda dengan di negara lain. Di seluruh dunia, sekitar 60% LPG diperoleh dari minyak mentah dan ekstraksi gas alam, sementara sekitar 40% dihasilkan dari produksi kilang [6]. LPG komersial untuk kendaraan umumnya merupakan campuran propana ( $C_3H_8$ ) dan butana ( $C_4H_{10}$ ) [2]. Namun, di beberapa negara seperti Jerman dan Finlandia, LPG komersial hanya terdiri dari molekul propana saja.



Gambar 1. Trend kendaraan LPG di dunia

Di Indonesia, komposisi LPG dari masing masing kilang dan depo juga bervariasi, seperti yang dilaporkan oleh Rosmayati pada tahun 2012 [7]. Komposisi LPG juga bervariasi antara musim panas dan musim dingin, dengan persentase molekul propana yang lebih tinggi pada musim dingin. Kebijakan penambahan propana pada musim dingin diambil untuk mencegah dari pembekuan [8].

Seperti diketahui, LPG komersial yang tersedia untuk pasar otomotif harus sesuai dengan standar properti bahan bakar, namun tidak diatur komposisinya secara pasti [9]. Sedangkan, kandungan energi (*Heat Heating Value*, HHV) propana dan butana adalah berbeda, yaitu 50,33 MJ/kg untuk propana dan 49,15 MJ/kg untuk butane [10]. Untuk itu, terkait dengan perubahan komposisi LPG karena penyesuaian cuaca atau kebijakan produksi suatu kilang dan berdasar pada perbedaan HHV propana dan butane, artikel ini menyajikan sebuah analisis numerik perubahan komposisi LPG terhadap *energy delivery* pada mesin *Spark Ignition* (SI).

## 2. METODE

Dalam penelitian ini, *perubahan energy content* dianalisis menggunakan metode *Wobbe Index* ( $I_w$ ) yang dihitung dengan **Persamaan (1)** [8]. *Wobbe index* adalah sebuah indikator untuk mengetahui pengaruh perubahan komposisi LPG terhadap energi yang dikirim ke ruang bakar.

$$I_w = \frac{HHV}{\sqrt{SG}} \quad (1)$$

Dimana,  $I_w$  adalah *wobbe index*, HHV adalah nilai kalor bahan bakar, dan SG adalah berat spesifik.  $I_w$  kurang dari 5% menunjukkan

bahwa perubahan dalam komposisi LPG tidak berpengaruh signifikan pada pembakaran [11], [12].

Untuk menilai sensitifitas perubahan komposisi LPG terhadap performa mesin, LPG divariasikan dalam 11 campuran dari 100% propane dan 0% butane sampai 100% butane dan 0% propane pada interval 10% untuk tiap tiap campuran. Nilai densitas propane dan butane sebagai dasar untuk menghitung SG diperoleh dari REFPROP NIST.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Perhitungan *Specific Gravity* (SG)

*Specific Gravity* (SG) diperoleh dengan membandingkan densitas LPG cair (pada variasi campuran propane: butana adalah 100:0 sampai 0:100) terhadap densitas cairan referensi, dalam hal ini adalah air [13]; Secara ekuivalen, itu adalah rasio massa LPG terhadap massa air untuk volume yang sama. Data densitas LPG campuran LPG yang diperoleh dari REFPROP NIST pada temperatur 25 °C dan 8 bar (kondisi rata rata dalam tangki LPG) diberikan dalam **Tabel 1** sebagai berikut.

**Tabel 1.** Densitas dan *Specific Gravity* (SG) campuran propane dan butane pada 25 °C dan 8 bar gauge (densitas air = 1000 kg/m<sup>3</sup>)

Mass Frac. (butane)	Mass Frac. (propane)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	SG
0%	100%	493.68	0.494
10%	90%	500.45	0.500
20%	80%	508.67	0.509
30%	70%	516.87	0.517
40%	60%	525.06	0.525
50%	50%	533.24	0.533
60%	40%	541.42	0.541
70%	30%	549.59	0.550
80%	20%	557.74	0.558
90%	10%	565.88	0.566
100%	0%	573.97	0.574

### 3.2. Perhitungan *Wobbe Index* ( $I_w$ )

Menggunakan **Persamaan (1)**, nilai  $I_w$  untuk tiap tiap campuran LPG dapat dihitung. Namun sebelumnya, harus diketahui nilai HHV dari tiap tiap campuran. Dengan data HHV untuk propane dan butane yang diberikan oleh Damirel [10], nilai HHV untuk seluruh campuran yang diteliti diberikan pada **Tabel 2** sebagai berikut.

**Tabel 2.** HHV LPG campuran

Mass Frac.		HHV (MJ/kg)
(butane)	(propane)	
0%	100%	50.330
10%	90%	50.212
20%	80%	50.094
30%	70%	49.976
40%	60%	49.858
50%	50%	49.740
60%	40%	49.622
70%	30%	49.504
80%	20%	49.386
90%	10%	49.268
100%	0%	49.150

Selanjutnya, dengan data pada **Tabel 2** dan **Tabel 1** yang dimasukkan pada **Persamaan (1)**, nilai  $I_W$  untuk seluruh campuran yang diteliti diberikan pada **Tabel 3** sebagai berikut.

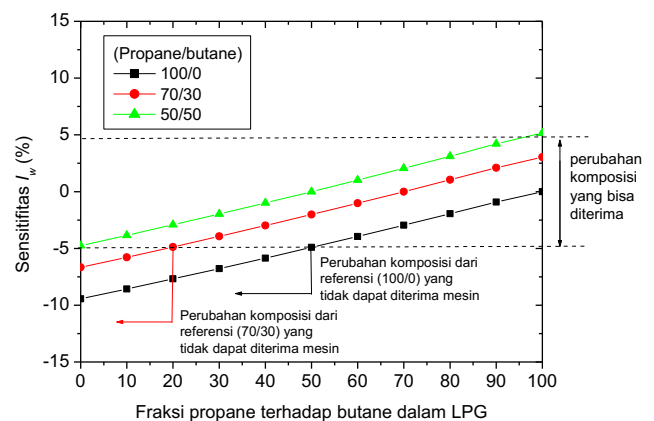
**Tabel 3.** Nilai  $I_W$  LPG campuran

Mass Frac.		HHV (MJ/kg)	SG	$I_W$
(butane)	(propane)			
0%	100%	50.330	0.494	71.632
10%	90%	50.212	0.500	70.979
20%	80%	50.094	0.509	70.237
30%	70%	49.976	0.517	69.514
40%	60%	49.858	0.525	68.807
50%	50%	49.74	0.533	68.115
60%	40%	49.622	0.541	67.438
70%	30%	49.504	0.550	66.776
80%	20%	49.386	0.558	66.128
90%	10%	49.268	0.566	65.494
100%	0%	49.150	0.574	64.875

### 3.3. Pengaruh perubahan $I_W$ terhadap performa mesin

Sebagaimana diketahui bahwa komposisi LPG dapat diubah-ubah oleh produsen sesuai dengan cuaca dan kondisi lingkungan, sementara komponen konverter kits pada mobil berbahan bakar LPG disetting pada suatu campuran tertentu, perubahan komposisi akan berpengaruh pada performa mesin apabila komposisi LPG berubah. **Gambar 2** berikut menyajikan data sensitifitas perubahan nilai  $I_W$  untuk berbagai campuran terhadap  $I_W$  referensi (data disajikan

dalam **Tabel 4**).  $I_W$  referensi yang digunakan dalam studi ini adalah campuran propane/butane dengan komposisi yang paling umum dipakai di dunia yaitu 100/0; 70/30 dan 50/50. Perubahan  $I_W$  dibawah 5% terhadap referensi adalah nilai yang diperbolehkan [11], [12], sedangkan perbedaan  $I_W$  diatas 5% dari  $I_W$  referensi akan berpengaruh terhadap performa mesin sehingga perlu melakukan penyetelan ulang pada konverter kits untuk memperoleh AFR yang diinginkan. Perubahan setelan mungkin saja hanya pada pengaturan katup akselerasi (pada tipe CM atau pengaturan injection duration pada tipe VPI, LPI, dan LPDI). Perbedaan jenis konverter kits VPI, LPI, dan LPDI telah dijelaskan dalam *WLPGA Autogas Incentive Policies* [4].



**Gambar 2.** Sensitivitas perubahan nilai  $I_W$  terhadap  $I_W$  referensi

**Tabel 4.** Perubahan nilai  $I_W$  LPG campuran terhadap  $I_W$  referensi

Mass Frac. (propane)	Perubahan $I_W$ terhadap referensi (%)		
	100/0	70/30	50/50
100%	0.000	3.047	5.162
90%	-0.912	2.107	4.204
80%	-1.946	1.041	3.115
70%	-2.956	0.000	2.053
60%	-3.944	-1.017	1.015
50%	-4.909	-2.012	0.000
40%	-5.854	-2.986	-0.994
30%	-6.778	-3.938	-1.966
20%	-7.683	-4.870	-2.917
10%	-8.568	-5.782	-3.848
0%	-9.432	-6.673	-4.757

Dari **Tabel 4**, tiga informasi utama dapat diperoleh. Pertama, untuk kendaraan yang disetting pada LPG 100% propane, komponen konverter kits mampu mengakomodasi

perubahan komposisi LPG dari 100% propane sampai 50% propane dan 50% butane,  $I_W$  71.632 ke  $I_W$  68.115. Selanjutnya, jika fraksi massa butane dalam *fuel line* lebih dari 50%, akan memerlukan penyetelan ulang pada komponen konverter kits untuk mencapai AFR yang sesuai karena perbedaan nilai  $I_W$  lebih dari 5%.

Kedua, untuk kendaraan yang disetting pada LPG campuran 70% propane dan 30% butane, komponen konverter kits mampu mengakomodasi perubahan komposisi LPG dari 70% propane dan 30% butane sampai 80% butane dan 20% butane. Umumnya, komposisi butane dalam LPG campuran maksimal 70%, sehingga basis LPG campuran 70% propane dan 30% butane mampu mengakomodasi perubahan komposisi LPG, kecuali jika kandungan butane lebih besar dari 80%.

Terakhir, untuk LPG campuran 50% propane dan 50% butane mampu mengakomodasi seluruh perubahan komposisi LPG tanpa perlu melakukan penyetelan ulang pada konverter kits. Di Indonesia, LPG untuk kendaraan atau yang biasa disebut Vi-gas atau LGV terdiri dari 51% propane dan 49% butane. Ini berarti kendaraan berbahan bakar Vi-gas mampu beradaptasi terhadap seluruh perubahan komposisi LPG.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil studi numerik pada LPG campuran propane dan butane untuk bahan bakar S.I. engine dengan parameter  $I_W$  menunjukkan bahwa kendaraan dengan konverter kits yang disetting untuk 100% propane sensitif terhadap perubahan komposisi LPG, penambahan fraksi massa butane pada *fuel line* lebih dari 50%, memerlukan penyetelan ulang terhadap konverter kits untuk penyesuaian AFR. Sedangkan untuk kendaraan dengan konverter kits yang disetting untuk 50% propane dan 50% butane mampu mengakomodasi seluruh perubahan komposisi LPG tanpa harus menyetel ulang konverter kits, kecuali pada penggunaan propane murni.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Artikel ini merupakan bagian dari proyek pengembangan kendaraan berbahan bakar LPG dan CNG di Laboratorium Otomotif Universitas Muhammadiyah Magelang. Oleh karena itu, diucapkan terimakasih kepada teknisi dan mahasiswa yang telah terlibat dalam proyek pengembangan ini.

#### REFERENSI

- [1] IEA, "World Energy Outlook 2014," Paris, 2014.
- [2] J. Adolf, C. Balzer, A. Joedicke, and U. Schabla, "Shell LPG Study," Hamburg, 2015.
- [3] M. Setiyo, B. Waluyo, M. Husni, and D. W. Karmiadji, "Characteristics of 1500 cc LPG fueled engine at various of mixer venturi area applied on tesla A-100 LPG vaporizer," *Jurnal Teknologi*, vol. 78, no. 10, pp. 43–49, 2016.
- [4] World LPG Association, "Autogas Incentive Policies, 2015 Update," Neuilly-sur-Seine, 2015.
- [5] World LPG Association, "Autogas Incentive Policies," Neuilly-sur-Seine, 2016.
- [6] ETSAP, "Automotive LPG and Natural Gas Engines," © IEA ETSAP - Technology Brief T03, no. April, pp. 1–5, 2010.
- [7] L. Rosmayati, "Hydrocarbon Composition and Physical-Chemical Properties Assessment of LPG for Household," *Publication Paper of Oil And Gas*, vol. 46, no. 2, pp. 69–77, 2012.
- [8] P. Price, S. Guo, and M. Hirschmann, "Performance of an evaporator for a LPG powered vehicle," *Applied Thermal Engineering*, vol. 24, no. 8–9, pp. 1179–1194, 2004.
- [9] European Committee for Standardization, "CEN - EN 589 - Automotive fuels - LPG - Requirements and test methods," *Engineering 360*, 2008. [Online]. Available: <http://standards.globalspec.com/std/1517884/cen-en-589>. [Accessed: 06-Jan-2017].
- [10] Y. Damirel, *Energy - Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling*. London: Springer-Verlag, 2012.
- [11] NREL, "Technical Evaluation and Assessment of CNG/LPG Bi-Fuel and Flex-Fuel Vehicle Viability," Colorado, 1994.
- [12] BP International Gas Union, *Guidebook to Gas Interchangeability and Gas Quality*, vol. 6. Oslo, 2011.
- [13] Propane Education and Research Council, *Converting Vehicles to Propane Autogas Part 1: Installing Fuel Tanks and Fuel Lines*. Washington, D.C.: Propane Education & Research Council, 2011.