

## Optimasi Spark Timing Motor Bakar SI dengan Menggunakan Elpiji Sebagai Bahan Bakar

Asnawi, Adi Setiawan dan Jufrizal Ismail  
Jurusan Teknik Mesin, Universitas Malikussaleh  
Corresponding Author: [asn\\_awy@yahoo.com](mailto:asn_awy@yahoo.com)

**Abstrak** – Pengalihan sumber energi menjadi topik utama di dunia transportasi agar dapat menggunakan bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan sebagai sumber energi pada motor bakar. Salah satu jenis bahan bakar yang digunakan sebagai sumber energi pada motor bakar adalah bahan bakar elpiji. Penggunaan elpiji pada motor bakar dapat berpengaruh terhadap unjuk kerja motor bakar, hal ini disebutkan pada pembahasan karakteristik bahan bakar yang digunakan. Penelitian ini dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan elpiji sebagai sumber energi pada motor bakar, sehingga proses konversi energi yang terjadi dapat dihasilkan secara optimal, optimasi dilakukan dengan cara memvariasikan sudut percikan api dan pengujian unjuk kerja dioperasikan pada berbagai kecepatan putaran mesin. Pengujian juga dilakukan dengan menggunakan bahan bakar bensin pada sudut pengapian standar  $10^\circ$  sebelum TMA, yaitu untuk menjadi data acuan dalam penelitian ini. Hasil pengujian menggunakan elpiji menunjukkan terjadinya penurunan daya rata-rata sebesar 11,25% pada sudut percikan api  $16^\circ$  sebelum titik mati atas. Penurunan daya dan torsi yang dihasilkan pada motor bakar disebabkan oleh rendahnya energi input, yaitu jumlah  $O_2$  dan bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar terjadi penurunan. Dampak positif penggunaan elpiji pada motor bakar adalah dapat meningkatkan efisiensi serta menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik, hal ini menunjukkan penggunaan elpiji lebih menguntungkan dibandingkan dengan bahan bakar bensin. Copyright © 2016 Department of Mechanical Engineering. All rights reserved.

**Keywords:** Torsi, daya, spesifik fuel consumption, efisiensi, premium dan elpiji.

### 1 Pendahuluan

Akhir-akhir ini penggunaan bahan bakar alternatif telah menjadi topik utama dalam upaya mengurangi emisi yang dihasilkan oleh motor bakar khususnya di sektor transportasi. Penggunaan bahan bakar gas alam menjadi salah satu bahan bakar alternatif untuk menghambat terbentuknya gas rumah kaca yang berimbas pada pemanasan global. Salah satu bahan bakar alternatif pengganti BBM untuk motor bakar di sektor transportasi di dunia adalah *Liquefied petroleum gas* (elpiji/elpiji) yang telah menjadi pilihan jangka menengah dalam masa transisi ke bahan bakar yang berkelanjutan [1].

Komposisi utama elpiji adalah *propane* ( $C_3H_8$ ) dan *butane* ( $C_4H_{10}$ ), juga mengandung beberapa hidrokarbon lain seperti *ethane* ( $C_2H_6$ ) dan *pentane* ( $C_5H_{12}$ ) dalam fraksi kecil [2, 3]. Komposisi elpiji untuk bahan bakar kendaraan bermotor sangat bervariasi di setiap Negara,

seperti Austria, Prance, Italy, Spain, Sweden, United Kingdom, Germany, dan Australia menggunakan campuran antara propane dan butane sangat bervariasi dari 25% hingga 100% propane [4]. Sedangkan elpiji di Indonesia komposisinya juga bervariasi dengan kandungan propane dari 18,59% hingga 61,55% [2].

Kandungan energi bahan bakar elpiji lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar bensin yaitu 43,5 MJ/kg, sedangkan *propane* 46,34 MJ/kg dan *butane* 45,56 MJ/kg [5, 6]. Selain itu, lebih tingginya nilai oktan, temperatur *auto ignition*, *flame velocity* dan *flammability limits* yang dimiliki oleh elpiji sangat memungkinkan dan sangat baik digunakan sebagai bahan bahan bakar alternatif pada motor bakar *spark ignition* (SI) pengganti bahan bakar bensin.

Bilangan oktan merupakan parameter dari kualitas bahan bakar [3]. Tingginya nilai oktan yang digunakan dapat menghindari terjadinya detonasi yang dapat

menyebabkan kerusakan komponen utama motor bakar, dan mesin dapat dioperasikan dengan rasio kompresi tinggi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi mesin [7, 8]. Salah satu variabel lain yang dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan berdampak pada meningkatnya efisiensi mesin adalah *flame velocity* atau sering disebut *burning speed* yang memiliki nilai yang berbeda untuk setiap bahan bakar. Variabel ini akan mempengaruhi propagasi nyala api didalam silinder yang merupakan faktor penting untuk efisiensi pembakaran [5], serta sangat sangat mempengaruhi durasi pembakaran [9-11]. *Burning speed* juga dipengaruhi oleh *fuel-air equivalence ratio*, jumlah gas sisa yang terperangkap didalam silinder dari siklus sebelumnya, dan *spark timing* atau sudut percikan api [8]. Hasil pengujian bahan bakar gas alam pada 0,6-1,4 *fuel-air equivalence ratio*, *burning speed* maksimum diperoleh mendekati stoikiometri [12]. Tingginya *burning speed* dapat meningkatkan propagasi nyala api sehingga dapat menstabilkan proses pembakaran mempersingkat durasi pembakaran [13]. Hal ini dapat meningkatkan tekanan puncak yang dihasilkan dan menurunkan kehilangan energi panas melalui dinding silinder ke media pendingin selama proses pembakaran [14], selain itu motor bakar dapat dioperasikan pada *fuel-air equivalence ratio* yang lebih rendah sehingga dapat menurunkan formasi  $\text{NO}_x$  yang dihasilkan [15], dan juga merupakan salah satu metoda untuk meningkatkan efisiensi termal, menurunkan emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar [16].

Untuk memperoleh *maximum brake torque* (MBT), pembakaran harus berlangsung pada kondisi dimana 50% massa silinder telah terbakar ketika sudut poros engkol berada sekitar  $10^\circ$  setelah titik mati atas [7]. Penerapan waktu penyalaan terlalu awal akan memerlukan kerja yang sangat besar untuk melakukan langkah kompresi, dan ketika waktu penyalaan terlambat maka tekanan puncak yang dihasilkan berkurang, sehingga kerja ekspansi dari siklus menurun [7]. Oleh karena komposisi elpiji bervariasi yang sangat tergantung dari sumber dan proses pencairannya, maka kajian lebih lanjut sangat diperlukan untuk mengoptimalkan waktu dimulainya percikan api pada motor bakar SI dengan menggunakan bahan bakar elpiji serta *fuel-air equivalence ratio* terhadap unjuk kerja dan emisi yang dihasilkan. Sehingga dapat mengoptimalkan penggunaan bahan bakar elpiji yang menghasilkan unjuk kerja optimum sebuah motor bakar dengan peningkatan efisiensi termal dari proses pembakaran.

## 2 Dasar Teori

Jenis bahan bakar yang digunakan pada motor bakar merupakan bahan bakar hidrokarbon jenis alkana yang

dihasilkan dari proses penyulingan minyak bumi. Salah satu bahan bakar yang digunakan adalah bensin, yang merupakan campuran *i-octane* ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ ) dan *n-heptane* ( $\text{C}_7\text{H}_{16}$ ), yang berada dalam fasa cair pada tekanan lingkungan. Sedangkan elpiji memiliki karakteristik sangat berbeda, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1, selain jumlah energi dan bilangan oktan lebih tinggi yang dimilikinya, pada kondisi tekanan dan temperatur lingkungan elpiji berada dalam fasa gas.

Tabel 1. Perbandingan karakteristik bahan bakar [6]

Karakteristik	Bensin	Propane	Butane
<i>Specific gravity</i> ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	765	509	585
<i>Lower heating value</i> ( $\text{MJ}/\text{kg}$ )	44,04	46,34	45,56
<i>Boiling point</i> ( $^\circ\text{C}$ )	30-225	-42	-0,5
<i>Ignition point</i> ( $^\circ\text{C}$ )	257	510	490
<i>Combustion rate</i> ( $\text{m}/\text{s}$ )	0,35	0,4	0,4
<i>Air-fuel ratio</i>	14,7	15,8	15,6
<i>Flammability limits</i> (Vol.%)	1,3-7,6	2,1-9,5	1,5-8,5
<i>Research octane number</i>	95	111	103

Bilangan oktan menunjukkan daya tahan bahan bakar terhadap *autoignition* [3, 5, 7]. Temperatur *autoignition* untuk bahan bakar bensin jauh lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar *propane* dan *butane*. Hal ini menunjukkan tingginya nilai oktan yang dimiliki oleh bahan bakar, maka motor bakar dapat dioperasikan pada rasio kompresi yang lebih tinggi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi motor bakar. Jika *autoignition* terjadi pada motor bakar SI akan menyebabkan fenomena abnormal selama pembakaran atau disebut dengan ketukan (*knocking*), yang berdampak pada penurunan efisiensi motor bakar dan dapat terjadi kerusakan komponen utama motor bakar.

Selain tingginya kandungan energi dan bilangan oktan, elpiji juga memiliki *combustion rate/burning speed* yang lebih tinggi dibandingkan dengan bensin. Hal ini dapat menurunkan durasi pembakaran, sehingga motor bakar dapat dioperasikan pada perbandingan campuran yang lebih kurus, yang merupakan salah cara untuk meningkatkan efisiensi termal dan menurunkan emisi serta konsumsi bahan bakar.

Tingginya perbandingan H/C yang dimiliki oleh elpiji dapat menurunkan emisi gas buang [16]. Ini merupakan karakteristik yang sangat baik dijadikan sebagai bahan bakar untuk motor bakar. Selain itu, *Flammability limits* bahan bakar elpiji lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar bensin, menunjukkan jumlah/keberadaan bahan bakar didalam udara sehingga campuran tersebut mampu terbakar/bereaksi. Hal ini juga menunjukkan penggunaan elpiji sebagai bahan bakar pada motor bakar lebih aman dibandingkan dengan bensin.

Pengaruh komposisi bahan bakar elpiji dengan campuran *propane* 100%, 90%, 70%, 50% dan 30% didalam *butane* telah dilakukan pengujian oleh Saleh [4]. Motor bakar dioperasikan dengan sistem dual fuel, dengan penambahan *propane* murni dan campuran

keduanya kedalam bahan bakar diesel masing-masing sebesar 40%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *fuel conversion efficiency* meningkat dengan meningkatnya fraksi *propane* didalam campuran bahan bakar. Tingginya fraksi *propane* dapat menurunkan emisi CO dan sebaliknya terjadi peningkatan CO dengan meningkatnya fraksi *butane* didalam campuran, hasil yang sama juga diperoleh oleh Lee, dkk [17]. Sedangkan  $\text{NO}_x$  terendah diperoleh pada fraksi *butane* tertinggi, dan  $\text{NO}_x$  meningkat dengan meningkatnya fraksi *propane*. Tetapi emisi NO dapat diturunkan dengan mengontrol temperatur elpiji sebelum diinjeksikan kedalam *intake manifold* [18].

Pengujian dua jenis bahan bakar dilakukan oleh Gumus [6], dengan menambahkan elpiji kedalam bensin yaitu sebesar 0% (gasoline 100%), 25%, 50%, 75% serta 100% elpiji, terjadinya penurunan rata-rata emisi karbon monoksida (CO) sebesar 26,8%, 26,2%, 40,7%, dan 53,3%. Penurunan juga terjadi pada emisi hidrokarbon (HC), dimana penurunan terjadi dengan meningkatnya fraksi elpiji yaitu dengan rata-rata penurunan sebesar 27,7%, 41,4%, 53,1% dan 72,6%. Penurunan emisi HC menunjukkan lebih homogen campuran bahan bakar dengan udara selama proses pembakaran terjadi. Selain itu, pengujian yang dilakukan untuk semua campuran bahan bakar pada kondisi operasi mesin dengan beban (load) 5% (51,5 kPa BMEP), 30% (309 kPa BMEP), 60% (618 kPa BMEP), dan 90% (927 kPa BMEP) menunjukkan terjadinya penurunan efisiensi volumetrik proporsional terhadap penambahan elpiji, penurunan terjadi sebesar 17,8%, 21%, 23,4% dan 26,5%. Penurunan efisiensi volumetrik juga terjadi pada pengujian yang dilakukan oleh [19]. Meningkatnya fraksi elpiji pada campuran juga menyebabkan terjadinya penurunan *air-fuel ratio*, dengan nilai minimum diperoleh pada penggunaan elpiji 100%. Kondisi yang terbaik diperoleh pada campuran gasoline 75% + 25% elpiji, dimana terjadi penurunan *brake specific fuel consumption* (BSFC) pada semua kondisi operasi dengan penurunan rata-rata terjadi sebesar 7,1%, serta *brake thermal efficiency* (BTE) dapat dipertahankan mendekati operasi mesin dengan menggunakan gasoline. Oleh karena itu, efek dari penurunan efisiensi volumetrik akibat dari penggunaan elpiji dapat diterima.

Penurunan efisiensi volumetrik juga terjadi pada pengujian yang dilakukan oleh Masi dan Gobbato [20], dimana efisiensi volumetrik tertinggi diperoleh pada putaran mesin 4669 rpm sebesar 96.33% untuk bahan bakar petrol dan 93.44% untuk elpiji. Tetapi konsumsi bahan bakar spesifik dengan menggunakan elpiji lebih rendah dibandingkan dengan bensin, 222.5 g/kW h pada 3561 rpm dengan menggunakan elpiji dan 249.2 g/kW h pada 3590 rpm untuk bensin. Selain itu, penggunaan bahan bakar elpiji meningkatkan efisiensi termal, diperoleh 31-35% pada semua putaran mesin dari 1500-6000 rpm, sedangkan dengan menggunakan bahan

bakar bensin efisiensi tertinggi diperoleh sebesar 32% dan nilai diatas 30% diperoleh hanya pada putaran 3250-5100 rpm, selain pada putaran tersebut efisiensi termal berada dibawah 30%. Menurunnya efisiensi volumetrik yang terjadi dengan menggunakan elpiji menunjukkan rendahnya energi input yang masuk kedalam silinder, sangat jelas bahwa baik torsi maupun daya yang diperoleh akan lebih kecil. Tetapi, tingginya *burning velocity* elpiji dibandingkan dengan bensin dapat menghilangkan permasalahan tersebut akibat terjadinya peningkatan efisiensi termal sehingga torsi dan daya yang dihasilkan dapat dipertahankan mendekati daya yang diperoleh dengan menggunakan bensin.

Pengaruh *spark timing* dan *fuel-air equivalence ratio* terhadap unjuk kerja motor bakar dengan menggunakan bensin, biogas, dan dua syngas dengan komposisi yang berbeda menunjukkan perubahan yang sangat signifikan terhadap efisiensi motor bakar yang disebabkan oleh penerapan *spark timing* untuk setiap jenis bahan bakar. selain itu durasi pembakaran juga dipengaruhi oleh penerapan *spark timing* dan *fuel-air equivalence ratio*. Durasi pembakaran meningkat dengan meningkatnya sudut *spark timing* sebelum TMA, dan juga pada kondisi campuran dibawah stoikiometri akan meningkatkan durasi pembakaran [10]. *Spark timing* sangat mempengaruhi emisi yang dihasilkan pada semua *fuel-air equivalence ratio* [21].

### 3 Metode Penelitian

Motor bakar yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan dalam Tabel 2, yang didesain untuk bahan bakar petrol/bensin. Oleh karena itu, motor bakar diperlukan modifikasi pada dua bagian yaitu, pada sistem pemasukan bahan bakar dan sistem pengapian, sehingga dapat dioperasikan dengan menggunakan elpiji sebagai bahan bakar dan juga waktu pengapian atau sudut percikan api dapat diatur sesuai keperluan dalam penelitian.

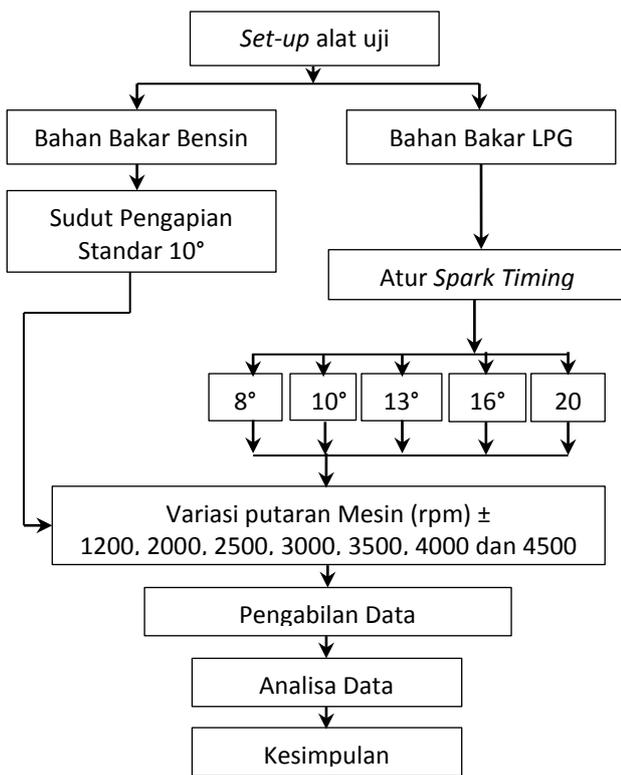
Tabel 2. Spesifikasi Motor bakar yang digunakan

Engine Type	Honda GX160 – 4 Stroke, OHV, Single Cylinder
Displacement	163 cc
Bore x Stroke	68 x 45 mm
Compression Ratio	9.0 : 1
Ignition System	Transistorized magneto
Oil Capacity	0.58 liters
Fuel Tank Capacity	3.1 liters
Fuel	Petrol

Poros engkol motor dihubungkan dengan poros *dynamometer* sistem *prony brake double disk* untuk mengukur besaran torsi. Besaran gaya poros yang terjadi pada saat pengereman yang diukur dengan menggunakan sensor *load cell*. Pemasangan sensor lainnya untuk mengukur temperatur udara masuk pada *intake manifold* dan temperatur gas buang, sensor

oksigen pada saluran gas buang, laju aliran udara masuk, kecepatan putaran poros, dan konsumsi bahan bakar.

Pengujian terlebih dahulu dilakukan dengan menggunakan bahan bakar standar yaitu premium yang akan digunakan sebagai data acuan untuk perbandingan, dimana sudut percikan api standar untuk bahan bakar premium adalah 10° sebelum TMA. Kemudian pengujian dilanjutkan dengan menggunakan elpiji sebagai bahan bakar, yang dioperasikan pada berbagai variasi putaran dari 1200 rpm hingga 4500 rpm untuk setiap perubahan sudut percikan api yaitu pada sudut poros engkol 8°, 10°, 13°, 16°, dan 20° Sebelum TMA. Semua pengujian dilakukan pada kondisi beban penuh (full load) dengan pembukaan katup *throttle* 100% atau sering disebut dengan *wide open throttle* (WOT). Data yang diperoleh dari pengujian dianalisis menggunakan metode deskriptif kuantitatif, untuk menentukan penerapan *spark timing* yang optimal untuk bahan bakar elpiji, sehingga proses konversi energi bahan bakar elpiji pada motor bakar dapat berlangsung secara optimum.

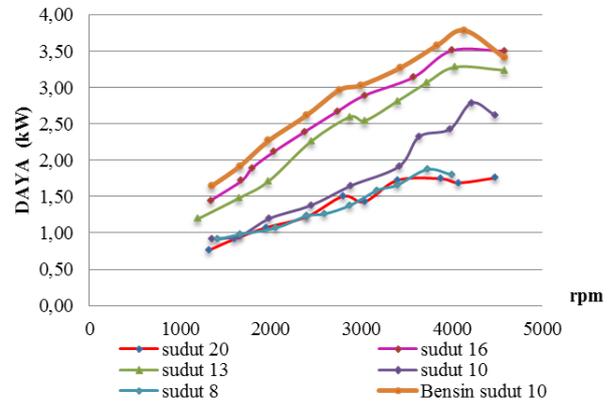


Gambar 1. Alur penelitian

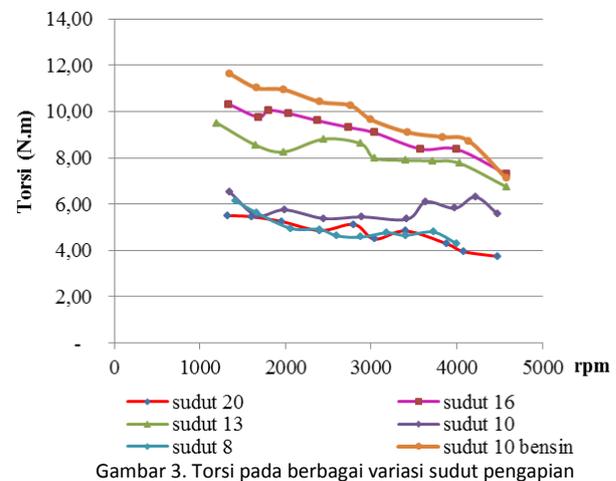
### 4 Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan penggunaan elpiji pada motor bakar SI konvensional terjadi penurunan daya dan torsi pada semua kecepatan putaran motor bakar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Hal ini disebabkan oleh besarnya volume spesifik bahan bakar elpiji lebih besar dibandingkan dengan bahan

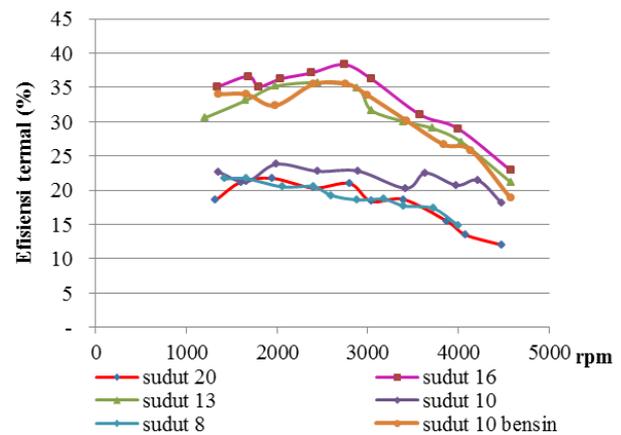
bakar bensin. Sehingga menurunkan massa bahan bakar yang masuk bersama udara ke dalam silinder, yang menyebabkan rendahnya energi input setiap siklus berlangsung.



Gambar 2. Daya pada berbagai variasi sudut pengapian



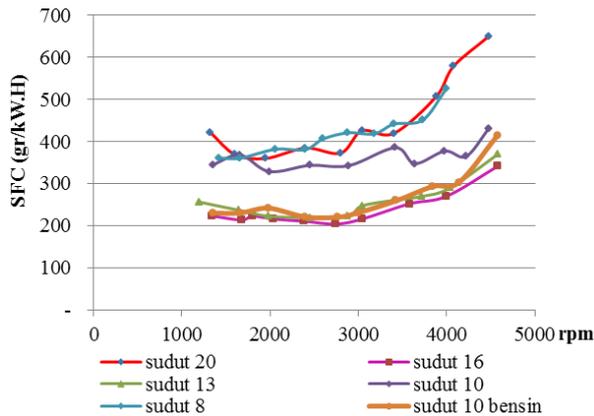
Gambar 3. Torsi pada berbagai variasi sudut pengapian



Gambar 4. Efisiensi termal pada berbagai sudut pengapian

Selain itu, penurunan daya drastis terjadi saat penerapan sudut percikan api 20° sudut poros engkol sebelum titik mati atas (TMA). Hal ini disebabkan oleh besarnya daya yang diperlukan selama proses kompresi, yang disebabkan oleh terjadinya peningkatan tekanan silinder akibat terjadinya pembakaran lebih awal.

Penerapan percikan api pada sudut 8° sebelum TMA juga terjadi penurunan daya sangat mendekati kondisi 20°, pada kondisi ini disebabkan oleh keterlambatan terjadinya proses pembakaran, sehingga terjadinya kehilangan tekanan selama proses ekspansi. Daya yang dihasilkan sangat mendekati dengan menggunakan bahan bakar bensin diperoleh pada sudut 16° sebelum TMA. Rata-rata penurunan daya yang terjadi dengan menggunakan bahan bakar elpiji pada sudut 16° adalah sebesar 11,25%.



Gambar 5. Specific fuel consumption pada berbagai sudut pengapian

Gambar 4 menunjukkan efisiensi rata-rata tertinggi diperoleh pada sudut percikan api 16° sebelum TMA, dan efisiensi terendah diperoleh pada sudut 8° dan 20°. Selisi efisiensi yang terjadi antara bahan bakar bensin dan elpiji rata-rata sebesar 3,1%. Gambar 5 menunjukkan konsumsi bahan bakar terendah diperoleh dengan menggunakan bahan bakar elpiji pada keseluruhan kecepatan putaran mesin. Kedua variabel ini, baik efisiensi maupun Specific fuel consumption menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar elpiji sangat memungkinkan diterapkan sebagai bahan bakar alternatif pada motor bakar.

## 5 Kesimpulan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa, menurunnya daya yang terjadi dengan menggunakan bahan bakar elpiji dapat dipertahankan dengan penerapan sudut percikan api pada 16° sebelum TMA. Penggunaan elpiji sebagai bahan bakar pada motor bakar SI dapat diterapkan sebagai bahan bakar alternatif dan lebih menguntungkan dibandingkan dengan bahan bakar bensin, dimana konsumsi bahan bakar lebih rendah dan memperoleh efisiensi yang lebih tinggi.

## Ucapan Terima kasih

Terima kasih disampaikan kepada kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian ini.

## Referensi

- [1] Rasklavicius, L., dkk., *Liquefied petroleum gas (LPG) as a medium-term option in the transition to sustainable fuels and transport*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. **32**(0): p. 513-525.
- [2] Rosmayati, L., *Kajian Komposisi Hidrokarbon dan Sifat Fisika-Kimia LPG Untuk Rumah Tangga*, in *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*. 2012, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi. p. 69-77.
- [3] Borman, G.L. dan K.W. Ragland, *Combustion Engineering*. 1998, United States of America: McGraw-Hill.
- [4] Saleh, H.E., *Effect of variation in LPG composition on emissions and performance in a dual fuel diesel engine*. Fuel, 2008. **87**(13-14): p. 3031-3039.
- [5] Ganesan, V., *Internal Combustion Engines*. 2nd ed, ed. I. Edition. 2004, Asia: McGraw-Hill Education. 777.
- [6] Gumus, M., *Effects of volumetric efficiency on the performance and emissions characteristics of a dual fueled (gasoline and LPG) spark ignition engine*. Fuel Processing Technology, 2011. **92**(10): p. 1862-1867.
- [7] Heywood, J.B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*. 1988, New York: McGraw-Hill Book Company.
- [8] Ferguson, C.R. dan A.T. Kirkpatrick, *Internal Combustion Engines, Applied Thermosciences*. 2nd ed. 2001: Wiley.
- [9] Bauer, C.G. dan T.W. Forest, *Effect of hydrogen addition on the performance of methane-fueled vehicles. Part I: effect on S.I. engine performance*. International Journal of Hydrogen Energy, 2001. **26**(1): p. 55-70.
- [10] Arroyo, J., dkk., *Experimental study of ignition timing and supercharging effects on a gasoline engine fueled with synthetic gases extracted from biogas*. Energy Conversion and Management, 2015. **97**(0): p. 196-211.
- [11] Asnawi, dkk., *Numerical Study of Hydrogen Enrichment Effect on Burning Duration of SI Engine Powered By Alternative Fuel*. in *Aceh Development International Conference*. 2011. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Malaysia: UKM PRESS.
- [12] Liao, S.Y., D.M. Jiang, dan Q. Cheng, *Determination of laminar burning velocities for natural gas*. Fuel, 2004. **83**(9): p. 1247-1250.
- [13] Schefer, R.W., *Hydrogen enrichment for improved lean flame stability*. International Journal of Hydrogen Energy, 2003. **28**(10): p. 1131-1141.
- [14] Asnawi, *Pengaruh Pengayaan Hidrogen Terhadap Heat Losses Pada Motor Bakar Berbahan Bakar Gas Alam*. Malikusaleh Journal of Mechanical Science and Technology 2013. **Vol. 1. No. 2**: p. 13-20.
- [15] Asnawi, *Formasi Nitric Oxide (NO) pada Motor Bakar Spark Ignition (SI) dengan Menggunakan Bahan Bakar Gas Alam*. Malikusaleh Journal of Mechanical Science and Technology, 2013. **Vol. 1 No. 1** p. 25-33.
- [16] Ceviz, M.A. dan F. Yüksel, *Cyclic variations on LPG and gasoline-fuelled lean burn SI engine*. Renewable Energy, 2006. **31**(12): p. 1950-1960.
- [17] Lee, S., dkk., *Effect of n-Butane and propane on performance and emission characteristics of an SI engine operated with DME-blended LPG fuel*. Fuel, 2011. **90**(4): p. 1674-1680.
- [18] Ceviz, M.A., A. Kaleli, dan E. Güner, *Controlling LPG temperature for SI engine applications*. Applied Thermal Engineering, 2015. **82**(0): p. 298-305.
- [19] Erkuş, B., A. Sürmen, dan M.İ. Karamangil, *A comparative study of carburation and injection fuel supply methods in an LPG-fuelled SI engine*. Fuel, 2013. **107**(0): p. 511-517.
- [20] Masi, M. dan P. Gobatto, *Measure of the volumetric efficiency and evaporator device performance for a liquefied petroleum gas spark ignition engine*. Energy Conversion and Management, 2012. **60**(0): p. 18-27.
- [21] Akansu, S.O. dan M. Bayrak, *Experimental study on a spark ignition engine fueled by CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> (70/30) and LPG*. International Journal of Hydrogen Energy, 2011. **36**(15): p. 9260-9266.