

PEMANFAATAN LPG KEMASAN 12 Kg SEBAGAI BAHAN BAKAR KENDARAAN DAN OPTIMASINYA

Muji Setiyo

Program Studi Mesin Otomotif Universitas Muhammdiyah Magelang
Jl.Mayjend Bambang Soegeng Km.05 Mertoyudan Magelang, Phone/ Fax: 0293-326945
E-mail : setiyo.muji@gmail.com

Abstrak

Permasalahan pengembangan mobil berbahan bakar LPG di Indonesia adalah belum tersedia infrastruktur SPBG yang merata di seluruh wilayah. Sebagai solusi, digunakan LPG kemasan 12 kg. Permasalahan lain adalah belum adanya spesifikasi standar tentang stelan vaporizer/converter kits untuk memperoleh performa mesin yang paling optimum. Penelitian ini bertujuan untuk mencari optimasi torsi mesin. Objek pada penelitian ini adalah mesin Toyota 5A-FE dengan converter kits Tesla A-100. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen matrik Taguchi. Baut stelan pegas lever divariasikan pada 5,5; 5,75; dan 6 putaran. Katup aliran gas divariasikan pada bukaan 40%; 50%; dan 60%. Saat pengapian divariasikan pada 10; 12,5; dan 15 BTDC. Torsi optimum (131,2 N.m) diperoleh pada stelan pegas lever 5,75 putaran, bukaan katup aliran 40%, dan saat pengapian 15^oBTDC. Dengan optimasi ini, penggunaan bahan bakar LPG mampu menaikkan torsi mesin 10% dari penggunaan bahan bakar bensin.

Kata Kunci : pegas lever, katup aliran, saat pengapian

I. PENDAHULUAN

Perkembangan konversi BBM ke LPG (VIGAS) di Indonesia hingga saat ini belum terlihat secara nyata. Infrastruktur utama seperti stasiun pengisian bahan bakar LPG/VIGAS yang belum mendukung merupakan kendala dalam pengembangan ini. Untuk itu, LPG kemasan 12 kg menjadi alternatif solusi yang paling populer dan memungkinkan. Saat ini, LPG kemasan 12 kg tersedia hampir diseluruh wilayah Indonesia.

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. Volume LPG lebih besar dari bensin sekitar 15 % sampai dengan 20%. [1]

LPG memiliki nilai oktan 112. Nilai oktan 112 memungkinkan untuk diterapkan pada mesin dengan perbandingan kompresi yang lebih tinggi sehingga memberikan efisiensi thermal yang lebih tinggi. Biaya operasional mesin LPG lebih rendah dan memiliki karakteristik ramah lingkungan [2]. LPG menjadi alternatif energi yang populer sebagai pengganti bensin.

LPG memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan bensin. Konsumsi bahan bakar LPG per satuan

volume lebih rendah daripada bensin. Distribusi gas pada tiap tiap silinder lebih merata sehingga percepatan mesin lebih baik dan putaran stasioner lebih halus. Ruang bakar lebih bersih sehingga umur mesin meningkat. Kandungan karbon LPG lebih rendah daripada bensin atau diesel sehingga menghasilkan CO₂ yang lebih rendah.

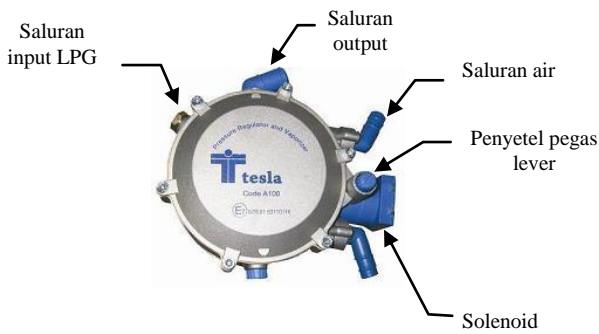
Dari beberapa keunggulan diatas, LPG memiliki beberapa kelemahan. Mesin berbahan bakar LPG menghasilkan daya yang lebih rendah dari mesin bensin. Penurunan daya yang terjadi sekitar 5% -10% [3]. Sistem pengapian harus lebih besar sehingga penyalaan mesin menjadi lebih berat. Perlu penyesuaian saat pengapian dan kualitas sistem pengapian. Sistem bahan bakar harus dibuat lebih kuat daripada sistem bensin [4].

Penelitian mengenai LPG sebagai bahan bakar kendaraan sudah banyak ditemukan. Penggunaan LPG kaitannya dengan performa mesin dilakukan oleh, Rohmat [5] dan M.A. Ceviz [6]. Penelitian yang berkaitan dengan emisi gas buang dilakukan oleh Mockus [7], Mandloi [8], Tasik [9], dan Shankar [10]. Sementara penelitian yang berkaitan dengan penyesuaian komponen mesin mesin dilakukan oleh Dziubiński [11] dan Lejda [12].

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah Toyota Soluna 5A-FE berkapasitas mesin 1500 cc. Sebuah *converter kits* konvensional merk Tesla dipasang pada mesin tersebut dengan sistem *bi-fuel*. Sistem *bi-fuel* memungkinkan kendaraan dapat dioperasikan dengan bensin atau dengan LPG secara bergantian.

Pada saat observasi lapangan dengan pengamatan secara kualitatif, ada tiga variabel yang berpengaruh terhadap performa. Ketiga variabel tersebut adalah kekencangan pegas lever, bukaan katup aliran gas, dan saat pengapian. Pegas Lever terdapat pada *vaporizer/converter* untuk mengatur jumlah LPG yang dialirkan pada putaran rendah. Katup aliran gas terpasang antara *vaporizer* dengan *mixer* untuk mengatur tingkat kevakuman pada diafragma *vaporizer*, katup ini menentukan jumlah aliran gas pada saat akselerasi, putaran menengah, dan putaran tinggi.

Penelitian ini secara spesifik bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari tiap tiap variabel terhadap torsi kemudian melakukan optimasi untuk mendapat torsi mesin yang paling optimum. Bentuk fisik vaporizer LPG yang dipakai dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



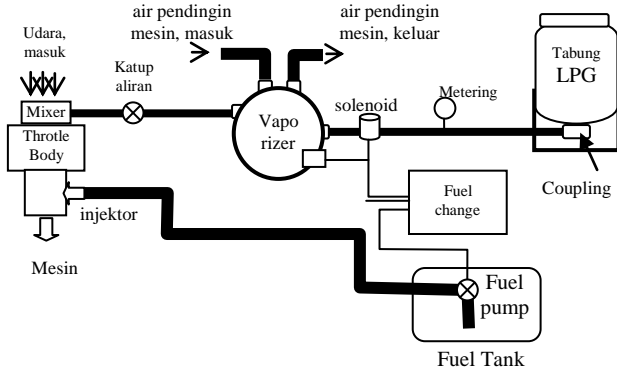
Gambar 1. Vaporizer LPG

Untuk memasukkan LPG ke saluran manifold, digunakan sebuah mixer yang dipasang pada sisi depan throttle body. Mixer memiliki beberapa lubang memanjang yang mengelilingi lingkaran dalam. LPG dalam fasa gas mengalir dari vaporizer ke mixer melalui katup aliran gas (katup akselerasi).

II. METODE PENELITIAN

2.1. Instalasi LPG

Tabung LPG diletakkan pada bagasi bagian belakang mobil. Vaporizer diletakkan di ruang mesin. LPG dari tabung dialirkan ke vaporizer melalui hydraulic house dengan sebuah pressure gauge dipasang di dashboard sebagai indikator tekanan LPG. LPG fasa gas dimasukkan ke mesin melalui sebuah mixer yang dipasang pada throttle body. Skema aliran gas dari tabung sampai ke intake manifold disajikan dalam gambar 1.



Gambar 2. Skema aliran LPG dan bensin dengan sistem bi-fuel

2.2. Lingkup penelitian

Tabel 1. berikut menyajikan batasan dan lingkup penelitian.

Tabel 1. Lingkup Penelitian

| Kode | Variabel bebas / faktor | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
|------|---------------------------------------|---------|---------|---------|
| A | Stelan pegas lever, (putaran) | 5,5 | 5,75 | 6 |
| B | Bukaan katup aliran gas, (%) | 40 | 50 | 60 |
| C | Saat pengapian, (^o BTDC) | 10 | 12,5 | 15 |

Metode penelitian yang dipilih adalah metode eksperimen. Kombinasi tiga variabel bebas/ faktor dan tiga level penelitian seperti pada tabel 1, dibutuhkan pengambilan data (trial) yang banyak. Jika menggunakan metode full faktorial, dibutuhkan 27 kali percobaan. Untuk mereduksi jumlah trial, kemudian dipilih metode taguchi [13].

2.3. Rancangan Percobaan

Pemilihan matrik orthogonal didasarkan pada jumlah total derajat kebebasan (degree of freedom). Perhitungan derajat bebas untuk percobaan tiga faktor-tiga level adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Perhitungan total derajat kebebasan

| Faktor | Level | Derajat bebas | Jumlah |
|----------------------------|-------|---------------|--------|
| A | 3 | (3-1) | 2 |
| B | 3 | (3-1) | 2 |
| C | 3 | (3-1) | 2 |
| Total derajat bebas (DOF) | | | 6 |

Total derajat bebas menunjukkan jumlah baris minimal dalam percobaan. Matrik yang memiliki lebih dari enam baris dengan masing masing faktor memiliki tiga level adalah matrik " $L-9(3^4)$ array". Konfigurasi faktor-level yang berdasar pada tabel 2, dengan menyertakan parameter yang diukur adalah sebagai berikut.

Tabel 3. Konfigurasi faktor-level dan parameter ukur

| Trial number | Faktor-level | | | Torsi (N.m) | | | |
|--------------|--------------|-------|------------------------|--------------|-------|-------|-----------|
| | A (put) | B (%) | C (^o BTDC) | Tes 1 | Tes 2 | Tes 3 | Rata rata |
| 1 | 5,5 | 40 | 10 | | | | |
| 2 | 5,5 | 50 | 12,5 | | | | |
| 3 | 5,5 | 60 | 15 | | | | |
| 4 | 5,75 | 40 | 15 | | | | |
| 5 | 5,75 | 50 | 10 | | | | |
| 6 | 5,75 | 60 | 12,5 | | | | |
| 7 | 6 | 40 | 12,5 | | | | |
| 8 | 6 | 50 | 15 | | | | |
| 9 | 6 | 60 | 10 | | | | |

2.4. Media dan Alat Penelitian

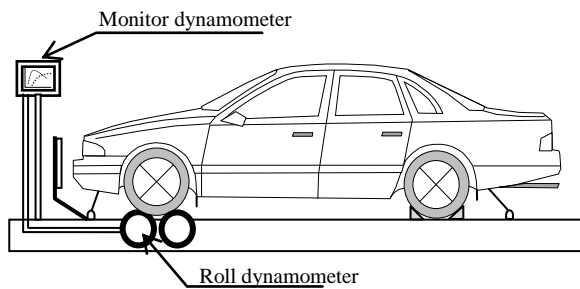
Media dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini tersaji dalam tabel 4 berikut :

Tabel 4. Media dan alat penelitian

| Nama bahan | Merk | Spesifikasi |
|--------------------|---------|-------------|
| Mobil | Toyota | Seri 5A-FE |
| Converter kits | Tesla | A-100 |
| Chasis dinamometer | HOFFMAN | 260 kW |

2.5. Skema Pengujian

Pengujian torsi mesin dilakukan dengan chassis dynamometer yang diukur pada roda roda penggerak. Skema pengujian torsi disajikan pada gambar 3.

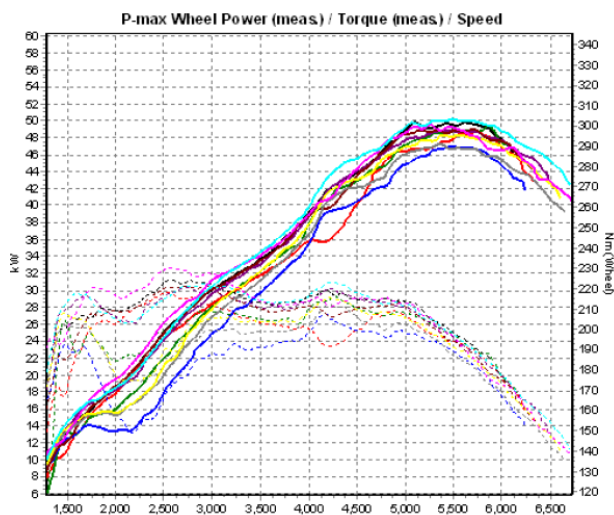


Gambar 3. Skema pengujian torsi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data pengujian Torsi

Hasil pengujian torsi pada chassis dynamometer sesuai dengan rancangan percobaan (Tabel 3) dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Hasil pengujian torsi pada chassis dynamometer

Data hasil pengujian torsi mesin ditunjukkan dalam tabel 5.

Tabel 5. Data pengujian torsi maksimum

| Trial | Faktor A | Faktor B | Faktor C | Hasil pengujian | |
|-------|----------|----------|----------|-----------------|-----------|
| | | | | Torsi (N.m) | Put (Rpm) |
| 1 | 5,5 | 40 | 10 | 219 | 2543 |
| 2 | 5,5 | 50 | 12,5 | 221 | 2724 |
| 3 | 5,5 | 60 | 15 | 216 | 4199 |
| 4 | 5,75 | 40 | 15 | 231 | 2573 |
| 5 | 5,75 | 50 | 10 | 215 | 4287 |
| 6 | 5,75 | 60 | 12,5 | 212 | 4192 |
| 7 | 6 | 40 | 12,5 | 221 | 2740 |
| 8 | 6 | 50 | 15 | 222 | 4284 |
| 9 | 6 | 60 | 10 | 207 | 4149 |

Keterangan tabel 5:

Faktor A : Stelan baut pegas lever [putaran]

Faktor B : Bukaannya katup aliran gas [%]

Faktor C : Saat pengapian [⁰BTDC]

3.2. Perhitungan respons rerata

Tabel 7. Respon / pengaruh rerata faktor level

| No | Uraian | Nota-si | T |
|----|---|-------------|-------|
| | | | (N.m) |
| 1 | Rerata hasil pengujian | \bar{Y} | 218,2 |
| 2 | Pengaruh rerata stelan pegas lever 5,5 putaran | \bar{A}_1 | 218,7 |
| 3 | Pengaruh rerata stelan pegas lever 5,75 putaran | \bar{A}_2 | 219,3 |
| 4 | Pengaruh rerata stelan pegas lever 6 putaran | \bar{A}_3 | 216,7 |
| 5 | Pengaruh rerata bukaannya katup aliran 40 % | \bar{B}_1 | 223,7 |
| 6 | Pengaruh rerata bukaannya katup aliran 50 % | \bar{B}_2 | 219,3 |
| 7 | Pengaruh rerata bukaannya katup aliran 60 % | \bar{B}_3 | 211,7 |
| 8 | Pengaruh rerata saat pengapian 10 ⁰ BTDC | \bar{C}_1 | 213,7 |
| 9 | Pengaruh rerata saat pengapian 12,5 ⁰ BTDC | \bar{C}_2 | 218 |
| 10 | Pengaruh rerata saat pengapian 15 ⁰ BTDC | \bar{C}_3 | 223 |

3.3. Analisis variansi (ANOVA)

Analisis variansi digunakan untuk mengetahui tingkat signifikansi tiap faktor terhadap hasil pengujian. Penghitungan ANOVA menggunakan perangkat bantu statistik Minitab. Konsep penghitungan ANOVA adalah membandingkan nilai F_{hitung} terhadap F_{tabel} . Jika F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} , dinyatakan ada hubungan yang signifikan antara perlakuan faktor terhadap hasil pengujian. Sebaliknya jika F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} , menunjukkan adanya hubungan yang tidak signifikan.

Tabel 8 ANOVA

General Linear Model

| Faktor | Levels | Values |
|-------------------------|--------|------------|
| STELAN PEGAS LEVER (A) | 3 | 5.5 5.75 6 |
| BUKAAN KATUP ALIRAN (B) | 3 | 40 50 60 |
| SAAT PENGAPIAN (C) | 3 | 10 12.5 15 |

Analysis of Variance for TORSI

| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F |
|--------|----|--------|--------|--------|-------|
| (A) | 2 | 11.56 | 11.56 | 5.78 | 1.21 |
| (B) | 2 | 221.56 | 221.56 | 110.78 | 23.19 |
| (C) | 2 | 130.89 | 130.89 | 65.44 | 13.70 |
| Error | 2 | 9.6 | 9.56 | 4.78 | |
| Total | 8 | 373.56 | | | |

Dari hasil penghitungan Anova diatas, diperoleh bahwa bukaannya katup aliran gas (Faktor B) dan saat pengapian (Faktor C) menunjukkan nilai $F_{hitung} \gg F_{tabel}$, sedangkan untuk stelan pegas lever (Faktor A) menunjukkan nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$. Nilai F_{tabel} untuk tingkat kepercayaan 95 % $F_{(0,05,2,8)}$ adalah 4,46. Ini mengindikasikan bahwa faktor B dan Faktor C berpengaruh signifikan, sedangkan faktor A tidak berpengaruh signifikan terhadap output torsi.

3.4. Menentukan Porsen kontribusi

Perhitungan persen kontribusi (*percent influence*) digunakan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh

dari faktor A (stelan pegas lever), faktor B (bukaan katup aliran), dan faktor C (saat pengapian) terhadap hasil pengujian secara keseluruhan. Jika jumlah total dari ketiga faktor bernilai 100 %, maka dinyatakan bahwa hasil pengujian seluruhnya dipengaruhi oleh faktor faktor tersebut. Jika total dari ketiga faktor kurang dari 100 %, maka ada faktor lain yang ikut berkontribusi terhadap hasil pengujian. Faktor lain ini dinamakan *error*.

Tabel 9. *Percent influence* pengujian torsi

| Variabel Source | DF | SS | SS' | % Kontribusi |
|--------------------|----|--------|--------|--------------|
| Stelan pegas lever | 2 | 11,56 | 2,0 | 0,54 |
| Bukaan katup gas | 2 | 221,56 | 212,0 | 56,75 |
| Saat pengapian | 2 | 130,89 | 121,33 | 32,48 |

Dari tabel 9 dapat diketahui bahwa faktor A (stelan pegas lever) berpengaruh sangat kecil terhadap torsi, yaitu sebesar 0,54% (tidak berpengaruh signifikan). Faktor B (bukaan katup aliran) berpengaruh 56,75 % dan faktor C (saat pengapian) berpengaruh 32,48 % terhadap torsi yang dihasilkan.

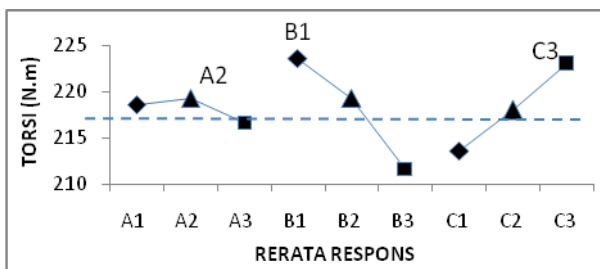
3.5. Identifikasi level faktor optimum

Identifikasi faktor-level optimum diperlukan untuk mengetahui faktor-level yang memberikan pengaruh terbesar terhadap hasil pengujian. Kombinasi dari level faktor dominan ini diharapkan memberikan parameter yang optimum.

Tabel 10. Identifikasi faktor-level optimum

| Faktor Level | Stelan pegas lever (<i>put</i>) (A) | Bukaan katup aliran gas (%) (B) | Saat pengapian (^o BTDC) (C) |
|--------------|---------------------------------------|---------------------------------|---|
| 1 | 218,67 | 223,67 | 213,67 |
| 2 | 219,33 | 219,33 | 218,00 |
| 3 | 216,67 | 211,67 | 223,00 |
| Selisih | 0,67 | 12,00 | 9,33 |
| Rangking | 3 | 1 | 2 |

Dari tabel 10, dapat diketahui bahwa kombinasi faktor level untuk mendapatkan torsi tertinggi diperoleh pada B1; C3; dan A2; yaitu pada bukaan katup aliran gas 40 %, saat pengapian 15 ^oBTDC, dan pada stelan pegas lever 5,75 putaran. Gambar 5 menunjukkan respons rerata tiap faktor terhadap torsi.



Gambar 5. Rerata respon terhadap torsi

3.6. Prediksi hasil

Setelah diketahui faktor-level yang berpengaruh dominan, kemudian dilakukan perhitungan perkiraan atau prediksi hasil, jika faktor-level yang berpengaruh dominan tersebut dikombinasikan. Kontrol kualitas untuk optimasi torsi adalah “yang terbesar yang terbaik”.

Dari perhitungan prediksi hasil, kemudian dilakukan uji konfirmasi untuk membuktikan kebenaran dari hasil perkiraan yang dilakukan.

Dari tabel 10, torsi terbesar diperoleh dari kombinasi antara B1, C3, dan A2. Hasil perhitungan prediksi torsi optimum adalah sebagai berikut.

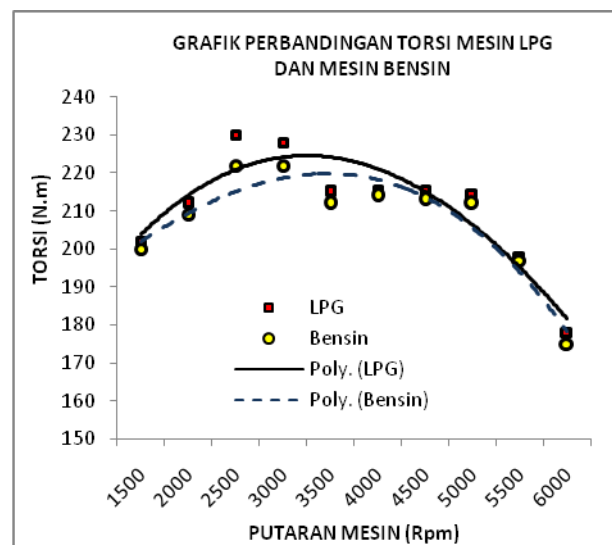
$$\begin{aligned}
 Y_{opt} &= \bar{Y} + (\bar{B1} - \bar{Y}) + (\bar{C3} - \bar{Y}) + (\bar{A2} - \bar{Y}) \\
 &= 218,2 + (223,67 - 218,2) + (223 - 218) + (219,3 - 218,2) \quad [N.m] \\
 &= 229,6 \text{ N.m} \quad \text{dengan nilai } CI = \pm 2,29
 \end{aligned}$$

[CI = Confident interval ;95%]

3.7. Hasil percobaan konfirmasi

Dari analisis tentang prediksi hasil yang optimum, kemudian dilakukan uji konfirmasi untuk membuktikan bahwa hasil optimasi berada pada daerah penerimaan confident interval (CI). Faktor dan level yang digunakan dalam uji konfirmasi adalah faktor level pada perhitungan prediksi hasil.

Kombinasi terbaik untuk mendapatkan Torsi optimum adalah pada bukaan katup aliran gas 40 % (B1), dan saat pengapian 15 ^oBTDC (C3), dan stelan pegas lever 5,75 putaran (A1) secara berurutan. Tabel 4.14 berikut adalah hasil percobaan konfirmasi dengan menggunakan kombinasi faktor level optimum.



Gambar 6. Perbandingan torsi mesin LPG dan bensin

Torsi maksimum yang dihasilkan pada pengujian konfirmasi bernilai 231,3 N.m, sementara dengan bahan bakar bensin dihasilkan torsi maksimum sebesar 210 N.m.

Ini berarti pemakaian LPG dengan bukaan katup aliran 40 %, saat pengapian 15 °BTDC, dan penyetelan pegas lever pada 5,75 putaran dapat meningkatkan torsi sebesar 10 %. Dengan melihat interval kepercayaan antara 27,35 *N.m* sampai 31,85 *N.m*, menunjukkan bahwa uji konfirmasi torsi sebesar 231,3 *N.m* berada pada interval penerimaan.

IV. KESIMPULAN

1. Tingkat bukaan katup aliran gas dan penyetelan saat pengapian berpengaruh signifikan terhadap torsi mesin, sedangkan stelan pegas levetidak berpengaruh signifikan.
2. Torsi optimum (231,3 *N.m*) diperoleh pada kombinasi bukaan katup aliran gas 40 %, saat pengapian 15 °BTDC, dan pada stelan pegas lever 5,75 putaran.
3. Dengan optimasi ini, pemanfaatan bahan bakar LPG sebagai pengganti BBM, mampu menaikkan torsi mesin sebesar 10%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ETSAP, 2010, *Automotive LPG and Natural Gas Engines*, Technology Brief T03 – April 2010 - www.etsap.org
- [2]. 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.
- [3],[6]. M.A. Ceviz_, F. Yu` ksel, 2005, *Cyclic variations on LPG and gasoline-fuelled lean burn SI engine*, Renewable Energi 31 (2006) 1950–1960
- [4]. ETSAP, 2009, *Liquid Petroleum Gas and Natural Gas Internal Combustion Engines*, Technology Brief T03 – june 2009 - www.etsap.org
- [5]. Tri Agung Rohmat dan Harwin Saptoadi, 2003, *Pengaruh Waktu Penyalaan Terhadap Kinerja Spark-Ignition Engine Berbahan Bakar LPG*, Media Teknik No.3 Tahun XXV edisi Agustus 2003ISSN 0216-3012.
- [7]. Saulius Mockus et.al, 2006, *Analysis Of Exhaust Gas Composition Of Internal Combustion Engines Using Liquefied Petroleum Gas*, Journal Of Environmental Engineering And Landscape Management 2006, Vol XIV, No 1, 16–22
- [8]. R K Mandloi and A Rehman, 2010, *Long Term Continuous Use Of Auto- LPG Causes Thermal Pitting In Automotive S.I. Engine Parts*, International Journal of Engineering Science and Technology Vol. 2(10), 2010, 5907-5911
- [9]. Tasik T et.al, 2011, *Gasoline and LPG Exhaust Emissions Comparison*, Advances in Production Engineering and Managemant, 6(2011)2,87-94, ISSN 1854-6250
- [10]. Shankar K. S and Mohanan P, 2011, *MPFI Gasoline Engine Combustion, Performance And Emission Characteristics With LPG Injection*,

International Journal Of Energy And Environment Volume 2, Issue 4, 2011 pp.761-770

- [11]. Mieczysław Dziubiński et.al, 2007, *Testing Of An Ignition System In A Car Run On Various Fuels*, *Teka* Kom. Mot. Energ. Roln. - OL PAN, 2007, 7, 97–104
- [12]. Kazimierz Lejda, Artur Jaworski, 2008, *Influence of liquid LPG injection pressure on the injection control*, *TEKA* Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN, 2008, 8, 141–148
- [13]. Ranjit K. Roy, 2001, *Design Of Experiments Using The Taguchi Approach*, John Wiley and Sons Inc, Canada.