



**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN LPG SEBAGAI  
SUPLEMEN BAHAN BAKAR TERHADAP UNJUK  
KERJA MOTOR BENSIN 4 LANGKAH DENGAN  
VARIASI SUDUT PENGAPIAN**

**SKRIPSI**

Oleh

**Achmad Hadi Kurniawan  
NIM 071910101022**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 (S-1)  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2011**



**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN LPG SEBAGAI  
SUPLEMEN BAHAN BAKAR TERHADAP UNJUK  
KERJA MOTOR BENSIN 4 LANGKAH DENGAN  
VARIASI SUDUT PENGAPIAN**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**Achmad Hadi Kurniawan  
NIM 071910101022**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 (S-1)  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2011**



## **PERSEMBAHAN**

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Pengaruh Penambahan LPG Sebagai Suplemen Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah Dengan Variasi Sudut Pengapian”** Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada terhingga kepada:

1. Allah S.W.T.
2. Rasulullah Muhammad SAW, Suri Tauladan Umat Manusia;
3. Ayahku H. Minin dan Ibuku Hj. Tutik Sukaelis yang selalu memberikan dukungan dari segi apapun sehingga beliau bisa menyelesaikan kewajibannya sebagai orangtua yang sangat berharga bagiku.
4. Nenek dan Kakek dari ayahku Miasri dan alm. Kadar, serta Nenek dan Kakek dari ibuku Sumarnis dan Tukran yang selalu memberikan kasih sayang kepadaku.
5. Saudaraku Eny Windyarti, S.E., Yogie Milistyanto, S.T. beserta keluarganya yang memberikan dukungan kepadaku serta tak lupa kakakku yang telah mendahuluiku alm. Dody Firmansyah.
6. Keponakanku A'afallahu Aly Saffa, Nindy Alya Saffa, Mizani Alya Saffa, Azam Tamami Saffa, Alief Kenzie Ivander yang telah memberikan semangat kepadaku melalui senyuman-senyuman lucu kalian.

7. Shinta Trikusuma Dewi yang bersedia memberikan semangat, do'a, kasih sayang dan kesetiaan yang besar kepadaku.
8. Semua Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu. Terutama Bapak. M. Nurkoyim K., S.T., M.T selaku DPU, Bapak. Hary Sutjahjono, S.T., M.T selaku DPA yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya skripsi ini, Dosen wali Bapak. Yuni Hermawan, S.T., M.T. Dosen Penguji I Bapak. Andi Sanata S.T., M.T. Bapak. Ir. Digdo Listyadi M.Sc. selaku Dosen Penguji II.
9. Seluruh Guru-guruku dari TK, SD, SLTP, SMA dan Guru mengaji yang telah membimbing dengan sabar dan memberikan ilmu.
10. Seluruh anggota keluarga yang telah memberikan dukungan dan do'a.
11. Andre las (TM 08), Rio Mahadi Wibowo dan Edy Sultoni yang telah membantu dalam pembuatan alat sampai pengujian.
12. Mas Danang A.S. (Bos OGB), Mas Ardiansyah Makayasa (Gendut), Mas Syah Karomi (GM d'Black Engine), Mas Agus Purwanto (nDowe), Mas Zainul (Boyok), Mas Isnaini, Mas Fokser, dan seluruh anggota d'Black Engine yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, serta mas rosyid (TM 05) yang telah memberikan inspirasi tentang judul skripsi.
13. The Big Family Seven Engine: M.K. Aditya Wardana, S.T., Ainur Rachman Yaqin, Yoga Aldia Anggadipta, Eristia Gita, Donnax Carneolla H., S.T., Intan Hardiatama, alm. Rendhy Destya, Dicky Adi Tyagita, S.T., Dimas Dwi Kusuma, S.T., Fregi Madatya, Debi Jois Heriyanto, Agil Sayekti, Wahyu Harmanto, Firman Dwi Wicaksono, Adi Sugianto, S.T., Yuliyus Ispriadi, Septian Reza Syah, Muhammad GZ, Rio Mahadi Wibowo, Rahmad Hari Efendy, Edi Kurniawan, S.T., Ari Firmansyah, Bastian Dwi Agdianto, Ahmad Aufa Kamal, Pradhana Aji G.B.U., S.T., M. Fatah Yasin, Tri Handoyo, Ahda

Rizqi Maulana, M. Alfian Arga, Himawan Susanto, Ekik Yuris Wicaksono, Prima Yogie Aldelino, Windu Prasetiawan, Edy Sultoni, Berry Marshal, Anggi Febrianto, S.T., Zaenal Abidin, Angger Sudrajat F.P., Purbo Wahyu Veri Fadli, Dimas Rizki Suryanto, Discovery Afrianto, I Fata Sagedistira, Ardhika Setiawan, Endika Surya Y.P, Ayyub Hidayat, Diastian Vinaya W., S.T., M. Sigit Wijanarko, M. Sifak, **“We Are Solidarity Forever because we are Seven Engine Family”**.

14. Teman Mesin Diploma 3 angkatan 07. Ardi Bedot, Yoyong, Risqon, Deny, Beny, Dodik, Puji, Elma, Beyes, dan teman-teman diploma yang tidak disebutkan satu per satu. **“Keep Solidarity Forever”**.
15. Crew Karimata VI A No. 34. Eko Budi Setiawan (P. Oke), Hendy Wicaksono (Talkun), Muafiq Syahad (Kepek), Chariry (Munyuk), Mifta Candra Winata (Steven), Ahmad Kuzaini (Kuz/Yani). Crew lama Catur Wibowo (Pak Dhe), Ahmad Fouad, Agus Pratomo, Agung Fahrizal.
16. Keluarga 45 hari KKT desa Jambesari Kecamatan Sumberbaru crew Galuh Mardareta (Bendahara), Lina Rendra Prahesti (Sekretaris), Arief Mashudi (Korcem), Siti Rohima, Admaja Dwi Waluyo, Julfa Noviyani. Bagiku waktu sempit bukan halangan buat mengenal satu dengan yang lain.
17. Abdul Hamid IMAGRES (Ikatan Mahasiswa Gresik di Jember) yang telah menemani dalam pengujian di Surabaya. Terimakasih yang tak terhingga buat tenaga dan waktunya.
18. Mahasiswa asisten Lab. TPBB ITS Surabaya, Agib, Andika, Mas Sa'id, Mas Misbah yang telah membantu dalam pengujian.
19. Teman senasib seperjuangan MAJAPALA (Remaja Pecinta Alam) SMA Negeri 1 Gresik generasi 18.
20. Teman perjuangan dari SLTP sampai Kuliah Martha Hariyono Putra.
21. Semua pihak yang telah membantu dalam kelancaran penulisan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.



## MOTTO

*“Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Pemurah. Yang mengajar manusia dengan perantara kalam. Dia mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya”.*

*(Terjemahan Surat Al-Alaq (96) ayat 3-4).*

*“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.  
Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”.*

*(Terjemahan Surat Al-Insyirah (94) ayat 5-6).*

*“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum kecuali kaum itu sendiri yang mengubah apa apa yang pada diri mereka”*

*(Kutipan Terjemahan Surat Ar-Ra'du (13) ayat 11).*

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Achmad Hadi Kurniawan**

NIM : **071910101022**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul: **“Analisis Pengaruh Penambahan LPG Sebagai Suplemen Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah Dengan Variasi Sudut Pengapian”** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik bila ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 21 September 2011

Yang menyatakan,

Achmad Hadi Kurniawan  
NIM. 071910101022

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN LPG SEBAGAI  
SUPLEMEN BAHAN BAKAR TERHADAP UNJUK  
KERJA MOTOR BENSIN 4 LANGKAH DENGAN  
VARIASI SUDUT PENGAPIAN**

Oleh :

**Achmad Hadi Kurniawan  
NIM 071910101022**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : M. Nurkoyim Kustanto, S.T, M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Hary Sutjahjono, S.T., M.T.



## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “**Analisis Pengaruh Penambahan LPG Sebagai Suplemen Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah Dengan Variasi Sudut Pengapian**” telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 21 September 2011

Tempat : Ruang Sidang Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji:

Ketua,

Sekretaris,

M. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T.  
NIP 19691122 199702 1 001

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.  
NIP 19681205 199702 1 002

Anggota I,

Anggota II,

Andi Sanata, S.T., M.T.  
NIP 19750502 200112 1 001

Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc  
NIP 19680617 199501 1 001

Mengesahkan  
an. Dekan  
Pembantu Dekan I,

Mahros Darsin, S.T., M.Sc.  
NIP 19700322 199501 1 001

## RINGKASAN

**Analisis Pengaruh Penambahan LPG Sebagai Suplemen Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah Dengan Variasi Sudut Pengapian;**  
Achmad Hadi Kurniawan ; 071910101022 : 2011, 93 halaman; Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kebutuhan transportasi yang seiring dengan pertambahan jumlah manusia yang cepat merupakan faktor yang mengakibatkan terjadinya eksploitasi besar-besaran terhadap sumber energi minyak bumi yang bersifat *unrenewable*. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk penghematan penggunaan bahan bakar minyak ataupun pemanfaatan bahan bakar non-minyak untuk kendaraan bermotor. LPG merupakan bahan bakar gas pengganti yang dapat dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar premium sehingga kedepannya dapat mengurangi pemakaian konsumsi bahan bakar premium.

LPG mempunyai komposisi 30%  $C_3H_8$  dan 70%  $C_4H_{10}$  serta mempunyai angka oktan yang lebih tinggi dari pada premium sehingga dalam penelitian ini tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan gas LPG sebagai suplemen terhadap unjuk kerja motor bensin sehingga diperoleh unjuk kerja mesin yang optimal. Dalam pengujian unjuk kerja mesin digunakan alat *motor cycle dynamometer* untuk mengetahui torsi, daya (*house power*) dan putaran mesin. Pengujian menggunakan bahan bakar premium bersuplemen LPG dengan variabel bebas laju gas LPG 250mL/menit, 500mL/menit, 750mL/menit dengan variasi sudut pengapian sebesar 35°, 36°, 37°, 38° BTDC. Variabel putaran mesin 3000-9000 rpm pada transmisi 1,2,3 dan 4. kemudian hasilnya dibandingkan dengan kondisi penggunaan bahan bakar premium murni.

Hasil yang didapat dari pengujian unjuk kerja motor bakar untuk torsi rata-rata tertinggi bahan bakar premium dengan sudut pengapian 36° BTDC pada gigi 4

(empat) adalah 8.78 N.m pada putaran mesin 4000 rpm. Untuk torsi rata-rata tertinggi campuran terletak pada campuran LPG 500 dengan sudut pengapian 37° BTDC pada gigi 3 (tiga) adalah 8.95 N.m pada putaran mesin 3500 rpm. Sedangkan untuk daya rata-rata tertinggi bahan bakar premium dengan sudut pengapian 37° BTDC pada gigi 3 (tiga) sebesar 7.83 HP pada putaran mesin 7250 rpm. Untuk daya rata-rata tertinggi campuran terletak pada campuran LPG 500 dengan sudut pengapian 37° BTDC pada gigi 3 (tiga) sebesar 8.13 HP pada putaran mesin 7250 rpm. *Fuel Consumption* (FC) terendah terdapat pada campuran LPG 500 yaitu 0.949 kg/jam pada 9000 rpm dengan sudut pembakaran 36° BTDC. *Fuel Consumption* (FC) tertinggi terdapat pada campuran LPG 250 yaitu 1.126 kg/jam pada 9000 rpm dengan sudut pembakaran 37° BTDC. *Air Fuel Ratio* (AFR) tertinggi terdapat pada premium murni yaitu sebesar 23.248 pada rpm 4000 dengan sudut pembakaran 38° BTDC. *Air Fuel Ratio* (AFR) terendah terdapat pada campuran LPG 750 yaitu sebesar 8.952 pada rpm 7000 pada sudut pengapian 36° BTDC.

## SUMMARY

**Analysis Effect of LPG Addition as Fuel Supplement Toward Performance of 4-Stroke Engine With Ignition Angle Variation;** Achmad Hadi Kurniawan; 071910101022: 2011, 93 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Transportation needs along the growth speed of humans are the factors that caused large-scale exploitation of unrenewable petroleum energy sources. Therefore, it needs an effort to save fuel usage or non-fuel oil for motor vehicles utilization. LPG is alternative fuel gas that can be used as premium mixture, so it could reduce premium usage in the future.

Composition of LPG are 30% and 70%  $C_3H_8$  and  $C_4H_{10}$ , and LPG have higher octane numbers than premium, so the research goals to be achieved from this study is to determine the addition effect of LPG as a supplement for gasoline motor performance to reach optimal engine performance. Test of engine performance use motorcycle dynamometer to determine the torque, power (horse power) and the engine speed. This tests use LPG supplement for premium with speed of LPG as independent variable such as 250 mL/minute, 500 mL/minute, 750 mL/minute, and variation of ignition such as  $35^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $37^\circ$ ,  $38^\circ$  BTDC. Engine speed variable at 3000-9000 rpm for transmission 1,2,3 and 4. then compared the results with condition of pure premium fuel usage.

The results for performance test of engine for highest average torque premium fuel with ignition angle of  $36^\circ$  BTDC in transmission 4 (four) is 8.78 N.m at 4000 rpm engine speed. Highest average mixture torque is in mixture of LPG 500 with ignition angle of  $37^\circ$  BTDC in transmission 3 (three) is 8.95 N.m at 3500 rpm engine speed. Then highest average power premium fuel with ignition angle of  $37^\circ$  BTDC in transmission 3 (three) is 7.83 HP at 7250 rpm engine speed. Highest average mixture power is in a mixture of LPG 500 with ignition angle of  $37^\circ$  BTDC in transmissionat

3 (three) is 8.13 HP at 7250 rpm engine speed. The lowest Fuel Consumption (FC) is on mixture of LPG 500 that's equal 0.949 kg/hour at 9000 rpm with ignition angle of 36° BTDC. The highest Fuel Consumption (FC) is on mixture of LPG 250 that's equal 1.126 kg/hour at 9000 rpm with ignition angle of 37° BTDC. The highest Air Fuel Ratio (AFR) is on pure premium fuel that's equal 23.248 at 4000 rpm with ignition angle of 38° BTDC. The lowest Air Fuel Ratio (AFR) is on mixture of LPG 750 that's equal to 8.952 at 7000 rpm with ignition angle of 36° BTDC.

## PRAKATA

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Analisis Pengaruh Penambahan LPG Sebagai Suplemen Bahan Bakar Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah Dengan Variasi Sudut Pengapian*. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada terhingga kepada:

1. Bapak Ir. Widyono Hadi, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Sumarji, S.T., M.T., selaku ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember;
3. Bapak M. Nurkoyim K., ST., MT., selaku DPU, dan Bapak Hary Sutjahjono. ST., MT., selaku DPA yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan dan pengarahan demi terselesaikannya penulisan skripsi ini;
4. Bapak Andi Sanata, S.T, M.T, selaku dosen penguji I dan Bapak Ir. Digdo Listyadi S., M.Sc. selaku dosen penguji II
5. Ayahanda, Ibunda dan Kakak-kakak tercinta terima kasih atas semua doa, semangat, motivasi dan kasih sayang kalian semua sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;
6. Teman-teman seperjuanganku *Seven Engine '07*, terima kasih atas motivasi dan do'a yang kalian berikan serta seluruh Anggota d'Black Engine;
7. Mbak Halimah, selaku staf administrasi jurusan Teknik Mesin Universitas Jember, terima kasih atas bantuannya dalam kelancaran pembuatan skripsi;
8. Staf Fakultas Teknik Universitas Jember;

9. Seluruh asisten laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember dan seluruh asisten laboratorium TPBB Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

Jember, 21 September 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....           | i     |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....     | ii    |
| <b>HALAMAN MOTTO</b> .....           | v     |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....      | vi    |
| <b>HALAMAN PEMBIBINGAN</b> .....     | vii   |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....      | viii  |
| <b>RINGKASAN</b> .....               | ix    |
| <b>PRAKATA</b> .....                 | xiii  |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....              | xv    |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....           | xviii |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....            | xxi   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....         | xxii  |
| <b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....      | 1     |
| <b>1.1 Latar Belakang</b> .....      | 1     |
| <b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....     | 3     |
| <b>1.3 Batasan Masalah</b> .....     | 3     |
| <b>1.4 Tujuan dan Manfaat</b> .....  | 4     |
| 1.4.1 Tujuan Penelitian.....         | 4     |
| 1.4.2 Manfaat Penelitian.....        | 5     |
| <b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> ..... | 6     |
| <b>2.1 Motor Bakar Torak</b> .....   | 6     |
| <b>2.2 Motor Bensin</b> .....        | 7     |



|  |           |
|--|-----------|
| 2.2.1 Siklus Motor Bakar Bensin 4 Langkah .....                  | 8         |
| 2.2.2 Siklus Ideal dan Siklus Aktual Motor Bensin 4 Langkah .... | 9         |
| 2.2.3 Karakteristik Pembakaran Motor Bensin 4 Langkah .....      | 12        |
| 2.2.4 Tahapan Pembakaran dan Kualitas Pembakaran .....           | 13        |
| <b>2.3 Bahan Bakar .....</b>                                     | <b>17</b> |
| 2.3.1 Premium (bensin) .....                                     | 17        |
| 2.3.2 LPG (Liquid Petroleum Gas) .....                           | 19        |
| <b>2.4 Sistem Pengapian.....</b>                                 | <b>22</b> |
| <b>2.5 Parameter Unjuk Kerja Motor Bakar .....</b>               | <b>25</b> |
| 2.5.1 Torsi .....  | 26        |
| 2.5.2 Daya Efektif Motor .....                                   | 26        |
| 2.5.3 Konsumsi Bahan Bakar ( <i>Fuel Consumption</i> ).....      | 27        |
| <b>2.6 Premix Combustion .....</b>                               | <b>28</b> |
| <b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>                        | <b>29</b> |
| <b>3.1 Metode Penelitian .....</b>                               | <b>29</b> |
| <b>3.2 Waktu dan Tempat .....</b>                                | <b>29</b> |
| <b>3.3 Alat dan Bahan .....</b>                                  | <b>29</b> |
| 3.3.1 Alat.....  | 29        |
| 3.3.2 Bahan.....   | 30        |
| <b>3.4 Variabel Penelitian .....</b>                             | <b>31</b> |
| 3.4.1 Variabel Bebas .....                                       | 31        |
| 3.4.2 Variabel Terikat.....                                      | 31        |
| <b>3.5 Prosedur Pengujian.....</b>                               | <b>32</b> |
| 3.5.1 Penyusunan Alat Penelitian.....                            | 32        |
| 3.5.2 Tahapan Penelitian .....                                   | 32        |

|   |    |
|---|----|
| <b>3.6 Diagram Alir Penelitian</b> .....              | 34 |
| <b>3.7 Skema Pengujian</b> .....                      | 35 |
| <b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....              | 36 |
| <b>4.1 Momen Putar (Torsi)</b> .....                  | 36 |
| 4.1.1 Analisis Torsi Rata-rata Gigi 1 (satu) .....    | 36 |
| 4.1.2 Analisis Torsi Rata-rata Gigi 2 (dua) .....     | 41 |
| 4.1.3 Analisis Torsi Rata-rata Gigi 3 (tiga) .....    | 47 |
| 4.1.4 Analisis Torsi Rata-rata Gigi 4 (empat) .....   | 52 |
| <b>4.2 Daya Efektif (Ne)</b> .....                    | 56 |
| 4.2.1 Analisa Daya Rata-rata Gigi 1 (satu) .....      | 56 |
| 4.2.2 Analisa Daya Rata-rata Gigi 2 (dua) .....       | 61 |
| 4.2.3 Analisa Daya Rata-rata Gigi 3 (tiga) .....      | 66 |
| 4.2.4 Analisa Daya Rata-rata Gigi 4 (empat) .....     | 71 |
| <b>4.3 Fuel Consumption pada gigi 4 (empat)</b> ..... | 76 |
| <b>4.4 Air Fuel Ratio (AFR)</b> .....                 | 85 |
| <b>BAB 5. PENUTUP</b> .....                           | 90 |
| <b>5.1 Kesimpulan</b> .....                           | 90 |
| <b>5.2 Saran</b> .....                                | 91 |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....                           | 92 |
| <b>LAMPIRAN</b> .....                                 | 94 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1. Alur perubahan energi termal menjadi energi mekanik .....   | 6  |
| Gambar 2.2. Keseimbangan energi pada motor bakar SIE .....  | 7  |
| Gambar 2.3. Urutan siklus kerja motor bensin 4-langkah .....  | 9  |
| Gambar 2.4. Siklus ideal .....  | 10 |
| Gambar 2.5. Perbandingan siklus ideal dan actual mesin bensin .....   | 10 |
| Gambar 2.6. Tahapan pembakaran pada mesin SI.....   | 13 |
| Gambar 2.7. Representasi sederhana pembakaran dalam mesin SI.....   | 16 |
| Gambar 2.8. Sistem penyalaan baterai.....   | 24 |
| Gambar 2.9. Skema system magneto tegangan rendah, dua kutub.....  | 24 |
| Gambar 2.10. Proses pengapian.....  | 25 |
| Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....  | 34 |
| Gambar 3.2. Skema pengujian .....   | 35 |
| Gambar 4.1 Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan<br>Putaran Mesin Gigi 1 (satu) Pengapian standart.....   | 36 |
| Gambar 4.2. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan<br>Putaran Mesin Gigi 1 (satu) Pengapian 36° BTDC ..... | 38 |
| Gambar 4.3. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan<br>Putaran Mesin Gigi 1 (satu) Pengapian 37° BTDC.....  | 39 |
| Gambar 4.4. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan<br>Putaran Mesin Gigi 1 (satu) Pengapian 38° BTDC.....  | 40 |
| Gambar 4.5. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan<br>Putaran Mesin Gigi 2 (dua) Pengapian standart.....   | 42 |
| Gambar 4.6. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan<br>Putaran Mesin Gigi 2 (dua) Pengapian 36° BTDC .....  | 43 |
| Gambar 4.7. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan<br>Putaran Mesin Gigi 2 (dua) Pengapian 37° BTDC .....  | 44 |
| Gambar 4.8. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan<br>Putaran Mesin Gigi 2 (dua) Pengapian 38° BTDC .....  | 46 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.9. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 3 (tiga) Pengapian standart .....   | 47 |
| Gambar 4.10. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 3 (tiga) Pengapian 36° BTDC .....  | 48 |
| Gambar 4.11. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 3 (tiga) Pengapian 37° BTDC .....  | 49 |
| Gambar 4.12. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 3 (tiga) Pengapian 38° BTDC .....  | 51 |
| Gambar 4.13. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 4 (empat) Pengapian standart.....  | 52 |
| Gambar 4.14. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 4 (empat) Pengapian 36° BTDC ..... | 53 |
| Gambar 4.15. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 4 (empat) Pengapian 37° BTDC ..... | 54 |
| Gambar 4.16. Grafik Hubungan Antara Torsi rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 4 (empat) Pengapian 38° BTDC ..... | 55 |
| Gambar 4.17. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 1 (satu) Pengapian standart .....   | 56 |
| Gambar 4.18. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 1 (satu) Pengapian 36° BTDC.....    | 57 |
| Gambar 4.19. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 1 (satu) Pengapian 37° BTDC.....    | 58 |
| Gambar 4.20. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 1 (satu) Pengapian 38° BTDC.....    | 60 |
| Gambar 4.21. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 2 (dua) Pengapian standart.....     | 61 |
| Gambar 4.22. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 2 (dua) Pengapian 36° BTDC.....     | 62 |
| Gambar 4.23. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 2 (dua) Pengapian 37° BTDC.....     | 64 |
| Gambar 4.24. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 2 (dua) Pengapian 38 ° BTDC.....    | 65 |
| Gambar 4.25. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 3 (tiga) Pengapian standart .....   | 66 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.26. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 3 (tiga) Pengapian 36° BTDC .....  | 68 |
| Gambar 4.27. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 3 (tiga) Pengapian 37° BTDC .....  | 69 |
| Gambar 4.28. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 3 (tiga) Pengapian 38° BTDC .....  | 70 |
| Gambar 4.29. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 4 (empat) Pengapian standart.....  | 71 |
| Gambar 4.30. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 4 (empat) Pengapian 36° BTDC ..... | 72 |
| Gambar 4.31. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 4 (empat) Pengapian 37° BTDC ..... | 74 |
| Gambar 4.32. Grafik Hubungan Antara Daya rata-rata dengan Putaran Mesin Gigi 4 (empat) Pengapian 38° BTDC.....  | 75 |
| Gambar 4.33. <i>Fuel Consumption</i> pada Kondisi Pengapian Standart .....                                      | 76 |
| Gambar 4.34. <i>Fuel Consumption</i> pada Kondisi Pengapian 36° BTDC .....                                      | 78 |
| Gambar 4.35. <i>Fuel Consumption</i> pada Kondisi Pengapian 37° BTDC .....                                      | 81 |
| Gambar 4.36. <i>Fuel Consumption</i> pada Kondisi Pengapian 38° BTDC .....                                      | 83 |
| Gambar 4.37. <i>Air Fuel Ratio (AFR)</i> pada Kondisi Pengapian standart .....                                  | 86 |
| Gambar 4.38. <i>Air Fuel Ratio (AFR)</i> pada Kondisi Pengapian 36° BTDC .....                                  | 87 |
| Gambar 4.39. <i>Air Fuel Ratio (AFR)</i> pada Kondisi Pengapian 37° BTDC .....                                  | 88 |
| Gambar 4.40 <i>Air Fuel Ratio (AFR)</i> pada Kondisi Pengapian 38° BTDC .....                                   | 89 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2.1. Data fisik dan kimiawi premium .....   | 18 |
| Tabel 2.2. Data karakteristik LPG PERTAMINA ..... | 22 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|  |     |
|--|-----|
| A. Torsi Rata-Rata .....                                       | 94  |
| B. Daya Rata-Rata .....  | 110 |
| C. <i>Fuel Consumption</i> Rata-Rata .....                     | 126 |
| D. Hasil Pengujian <i>Fuel Consumption</i> .....               | 128 |
| E. <i>Air Fuel Ratio</i> Rata-Rata.....                        | 132 |
| F. Hasil Pengujian Lambda .....                                | 134 |
| G. Gambar Grafik Hasil Pengujian Tanpa Suplemen LPG .....      | 138 |
| H. Gambar Grafik Hasil Pengujian dengan Suplemen LPG 250 ..... | 144 |
| I. Gambar Grafik Hasil Pengujian dengan Suplemen LPG 500 ..... | 150 |
| J. Gambar Grafik Hasil Pengujian dengan Suplemen LPG 750 ..... | 156 |
| K. Dokumentasi Pengujian .....                                 | 162 |