



**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**PERFORMA MESIN DIESEL DENGAN SISTEM  
*VENTURI SCRUBBER* – EGR MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR  
CAMPURAN SOLAR – MINYAK JARAK**

**TUGAS AKHIR**

**BRIAN TYASTOMO**

**L2E 605 212**

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN**

**SEMARANG**

**JULI 2011**

## TUGAS SARJANA

Diberikan kepada : Nama : Brian Tyastomo

NIM : L2E 605 212

Dosen Pembimbing I : Dr. Syaiful, ST, MT

Dosen Pembimbing II : Ir. Arijanto, MT

Jangka Waktu : 4 bulan

Judul : PERFORMA MESIN DIESEL DENGAN SISTEM  
*VENTURI SCRUBBER* – EGR MENGGUNAKAN BAHAN  
BAKAR CAMPURAN SOLAR - MINYAK JARAK

Isi Tugas :

- Mengetahui pengaruh sistem *Venturi Scrubber* - EGR terhadap performa mesin diesel dengan bahan bakar campuran solar - minyak jarak
- Mengetahui fungsi dan bagian-bagian dari sistem *Venturi Scrubber* - EGR

Semarang, Juni 2011

Menyetujui,

Pembimbing



Dr. Syaiful, ST, MT  
NIP. 197403081999031005

Co. Pembimbing



Ir. Arijanto, MT  
NIP. 195301211983121001

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Brian Tyastomo

NIM : L2E 605 212

Tanda Tangan :



Tanggal : Juli 2011

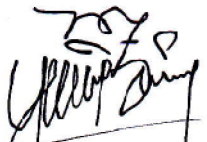
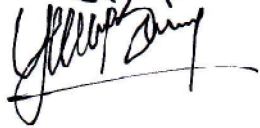
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh,

Nama : Brian Tyastomo  
NIM : L2E 605 212  
Jurusan/Program Studi : Teknik/Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Performa Mesin Diesel dengan Sistem *Venturi Scrubber* – EGR Menggunakan Bahan Bakar Campuran Solar – Minyak Jarak

**Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.**

### TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Syaiful, ST, MT (  )  
Co. Pembimbing : Ir. Arijanto, MT (  )  
Penguji : Yusuf Umardhani, ST, MT (  )

Semarang, Juli 2011

Ketua Jurusan Teknik Mesin,



**Dr.Ir.Dipl Ing Berkah Fajar TK.**

NIP. 195907221987031003

## **HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Brian Tyastomo  
NIM : L2E 605 212  
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Tugas Akhir

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Nonexclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

### **“Performa Mesin Diesel dengan Sistem Venturi Scrubber – EGR Menggunakan Bahan Bakar Campuran Solar – Minyak Jarak”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama Bapak **Dr. Syaiful, ST, MT** sebagai pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta beserta nama saya sebagai penulis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang  
Pada Tanggal : Juli 2011

Yang menyatakan,



**(Brian Tyastomo)**

## ABSTRAK

Mesin diesel telah dikenal sebagai jenis motor bakar yang mempunyai efisiensi tinggi. Salah satu keunggulan mesin diesel adalah sistem pembakarannya menggunakan *compression-ignition* sehingga memungkinkan tercapainya tekanan awal yang tinggi sebelum terjadi proses pembakaran. Hal ini menjadikan mesin diesel mempunyai fleksibilitas jenis bahan bakar yang bisa digunakan. Salah satunya adalah minyak nabati (*biofuel*). *Jatropha* telah dikenal sebagai bahan bakar alternatif terbarukan yang menarik yang dihasilkan dari minyak nabati. Oleh karena itu penggunaan *Jatropha* adalah pilihan yang tepat sebagai alternatif bahan bakar untuk mesin diesel dalam menghadapi krisis minyak bumi di dunia. EGR (*Exhaust Gas Recirculating*) pada mesin disel digunakan untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar dan menurunkan konsumsi bahan bakar. *Cold EGR* adalah suatu metode yang digunakan untuk mensirkulasikan gas buang kembali ke *intake manifold*. Pada penelitian ini, gas buang yang disirkulasikan didinginkan terlebih dahulu dengan menggunakan *venturi scrubber*. Dalam hal ini, gas buang sebelum masuk kembali ke ruang bakar temperaturnya diturunkan menjadi 60°C, 50°C, 40°C, dan 37°C. Pengujian ini dilakukan dengan beberapa variasi, yaitu variasi beban, rpm, % EGR, temperatur EGR, dan variasi campuran *jatropha* - solar. Dari hasil penelitian ini diperoleh bahwa peningkatan dan penurunan nilai Daya, BMEP, dan  $\phi$  tidak terlihat signifikan dengan adanya *Cold EGR*. Yang mempengaruhi nilai tersebut adalah peningkatan beban dan rpm. Penggunaan *Cold EGR* dengan variasi campuran bahan bakar menyebabkan nilai  $\dot{m}_f$  semakin turun,  $\eta_f$  meningkat dan  $\eta_v$  turun dibandingkan tanpa menggunakan *cold EGR*.

**Kata kunci:** performa mesin diesel, *Venturi Scrubber* - EGR, bahan bakar campuran solar – minyak jarak

## ABSTRACT

*Diesel engines have been known as a type of internal combustion engine that has high efficiency. One of the benefits of diesel engines is the combustion system using compression-ignition making it possible to achieve high initial pressure before the combustion process. This makes diesel engines have the flexibility of the type of fuel that can be used. One of them is vegetable oil (biofuels). Jatropha has been known as a renewable alternative fuel produced from vegetable oil. Therefore, the use of Jatropha is a good choice as an alternative fuel for diesel engines against the petroleum crisis in the world. EGR (Exhaust Gas Recirculating) on diesel engines used to improve fuel efficiency and reduce fuel consumption. Cold EGR is a method used to circulate the exhaust gas back into the intake manifold. In this research, the circulated flue gas is cooled advance using the venturi scrubber. In this case, the flue gas temperature before re-entering the combustion chamber is lowered to 60°C, 50°C, 40°C, and 37°C. The test is performed with some variation, i.e. variation of the load, rpm, % EGR, EGR temperature, and mixed variations jatropha – diesel fuel. From this research we found that the increase and decrease in value of power, BMEP, and  $\phi$  does not appear significant in the presence of Cold EGR. That affect value are increasing the load and rpm. Use of Cold EGR with the variation of fuel mixture causing  $\dot{m}_f$  value downside,  $\eta_f$  increased and  $\eta_v$  decreased compared without the use of cold EGR.*

**Keywords:** diesel engine performance, Venturi Scrubber - EGR, diesel – jatropha oil fuel mixture

## **MOTTO**

- *Kalau ingat bapak ibu “nyangkul di sawah” agar anak-anaknya sekolah, rasanya malu kalau sampai tidak pintar.*
- *Mengapa terlalu mengkhawatirkan hari esok? Padahal ada banyak hal yang bisa dikerjakan sekarang.*
- *Bukan karena semua itu mungkin, tetapi semua itu pasti. Maka lihatlah kepastian terkecil, bukan kemungkinan terbesar.*

## **PERSEMBAHAN**

Laporan Tugas Sarjana ini saya persembahkan untuk orang-orang yang tiada hentinya menyayangi dan mendo’akan saya:

*Bapak, Ibu, dan keluarga tercinta*

Terima kasih atas segalanya



## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat anugerah-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan judul “PEFORMA MESIN DIESEL DENGAN SISTEM *VENTURI SCRUBBER* - EGR MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR CAMPURAN SOLAR - MINYAK JARAK”. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi pada program strata satu (S-1) di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih atas bimbingan, bantuan, serta dukungan kepada:

1. Dr. Syaiful, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I.
2. Ir. Ariyanto, MT, selaku Dosen Pembimbing II.
3. Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar T. K., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.
4. Ibu, Bapak dan keluarga tercinta untuk segalanya yang tak terkira.
5. *My Princess, for everything.*
6. Rekan-rekan satu kelompok Tugas Sarjana *venturi scrubber* – EGR.
7. Teman-teman mahasiswa Teknik Mesin angkatan 2005 yang telah banyak membantu penulis baik secara moril, maupun materiil.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis menyadari banyak kekurangan. Oleh karena itu segala kritik yang bersifat membangun akan diterima dengan senang hati untuk kemajuan bersama. Akhir kata, penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat kepada siapa saja yang membutuhkan data maupun referensi yang ada dalam laporan ini.

Terima kasih.

Semarang, Juli 2011

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                                                          |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL.....                                                                       | i    |
| HALAMAN TUGAS SARJANA .....                                                              | ii   |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....                                                     | iii  |
| HALAMAN PENGESAHAN.....                                                                  | iv   |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR<br>UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS ..... | v    |
| ABSTRAK .....                                                                            | vi   |
| <i>ABSTRACT</i> .....                                                                    | vii  |
| HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....                                                       | viii |
| KATA PENGANTAR.....                                                                      | ix   |
| DAFTAR ISI .....                                                                         | x    |
| DAFTAR GAMBAR .....                                                                      | xiv  |
| DAFTAR TABEL.....                                                                        | xxv  |
| NOMENKLATUR .....                                                                        | xxvi |
| <br>                                                                                     |      |
| BAB I PENDAHULUAN.....                                                                   | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                                 | 1    |
| 1.2 Tujuan.....                                                                          | 2    |
| 1.3 Batasan Masalah.....                                                                 | 3    |
| 1.4 Metode Penelitian.....                                                               | 3    |
| 1.5 Sistematika Penulisan.....                                                           | 4    |
| <br>                                                                                     |      |
| BAB II DASAR TEORI.....                                                                  | 5    |
| 2.1 Mesin Diesel.....                                                                    | 5    |
| 2.1.1 Siklus Diesel.....                                                                 | 6    |
| 2.1.2 Siklus Aktual Motor Diesel.....                                                    | 8    |
| 2.2 Bahan Bakar Minyak Jarak ( <i>Jatropha</i> ) .....                                   | 8    |
| 2.2.1 Sifat Kimia dan Fisika Minyak Jarak.....                                           | 8    |

|                                     |                                              |    |
|-------------------------------------|----------------------------------------------|----|
| 2.2.2                               | Karakteristik Bahan Bakar Mesin Diesel ..... | 10 |
| 2.3                                 | Teori Pembakaran .....                       | 11 |
| 2.4                                 | Parameter Prestasi Mesin .....               | 14 |
| 2.4.1                               | Torsi dan Daya Pengereman .....              | 15 |
| 2.4.2                               | Tekanan Efektif Rata-rata .....              | 17 |
| 2.4.3                               | Rasio Ekuivalen.....                         | 18 |
| 2.4.4                               | Konsumsi Bahan Bakar .....                   | 19 |
| 2.4.5                               | Efisiensi Bahan Bakar .....                  | 19 |
| 2.4.6                               | Efisiensi Volumetrik .....                   | 20 |
| 2.5                                 | <i>Exhaust Gas Recirculation (EGR)</i> ..... | 21 |
| 2.6                                 | <i>Venturi Scrubber</i> .....                | 23 |
| 2.7                                 | <i>Orifice Plate Flowmeter</i> .....         | 24 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN ..... |                                              | 28 |
| 3.1                                 | Diagram Alir Metodologi Penelitian.....      | 28 |
| 3.2                                 | Deskripsi Alat Uji.....                      | 29 |
| 3.2.1                               | Mesin Uji .....                              | 30 |
| 3.2.2                               | Alat Uji Gas Buang.....                      | 32 |
| 3.2.3                               | <i>Smoke Analysis Chamber</i> .....          | 33 |
| 3.2.4                               | Buret.....                                   | 34 |
| 3.2.5                               | <i>Stopwatch</i> .....                       | 35 |
| 3.2.6                               | Termokopel .....                             | 35 |
| 3.2.7                               | Dinamometer .....                            | 36 |
| 3.2.8                               | <i>Proximity Sensor</i> .....                | 37 |
| 3.2.9                               | Thermostat .....                             | 38 |
| 3.2.10                              | <i>Orifice Plate Flowmeter</i> .....         | 39 |
| 3.2.11                              | <i>Heater</i> .....                          | 39 |
| 3.2.12                              | <i>Venturi Scrubber</i> .....                | 40 |
| 3.3                                 | Kalibrasi Alat Uji .....                     | 41 |
| 3.4                                 | Prosedur Pengujian .....                     | 43 |
| 3.4.1                               | Persiapan Pengujian.....                     | 43 |

|                                              |                                                                                |     |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.2                                        | Pengujian Kalori Bahan Bakar .....                                             | 44  |
| 3.5                                          | Variabel dan Langkah Pengujian .....                                           | 44  |
| 3.5.1                                        | Variabel Pengujian.....                                                        | 45  |
| 3.5.2                                        | Langkah Pengujian .....                                                        | 45  |
| 3.6                                          | Metode Perhitungan .....                                                       | 49  |
| 3.6.1                                        | Perhitungan Daya.....                                                          | 49  |
| 3.6.2                                        | Konsumsi Bahan Bakar .....                                                     | 49  |
| 3.6.3                                        | Konsumsi Udara .....                                                           | 50  |
| 3.6.4                                        | Perhitungan FAR ( <i>Fuel Air Ratio</i> ) .....                                | 50  |
| 3.6.5                                        | Efisiensi Bahan Bakar .....                                                    | 51  |
| 3.6.6                                        | Efisiensi Volumetrik.....                                                      | 51  |
| BAB IV DATA DAN ANALISA HASIL PENGUJIAN..... |                                                                                | 52  |
| 4.1                                          | Data dan Analisa Hasil Pengujian Bahan Bakar B10S90 .....                      | 52  |
| 4.1.1                                        | Data dan Analisa Hasil Pengujian Daya Pengereman (P) .....                     | 52  |
| 4.1.2                                        | Data dan Analisa Hasil Pengujian BMEP .....                                    | 56  |
| 4.1.3                                        | Data dan Analisa Hasil Pengujian Konsumsi Bahan Bakar .....                    | 60  |
| 4.1.4                                        | Data dan Analisa Hasil Pengujian Pengujian Rasio Ekuivalen<br>( $\phi$ ) ..... | 64  |
| 4.1.5                                        | Data dan Analisa Hasil Pengujian Efisiensi Bahan Bakar ( $\eta_f$ ) ..         | 68  |
| 4.1.6                                        | Data dan Analisa Hasil Pengujian Efisiensi Volumetrik ( $\eta_v$ ).....        | 72  |
| 4.2                                          | Data dan Analisa Hasil Pengujian Bahan Bakar B20S80 .....                      | 76  |
| 4.2.1                                        | Data dan Analisa Hasil Pengujian Daya Pengereman (P) .....                     | 76  |
| 4.2.2                                        | Data dan Analisa Hasil Pengujian BMEP .....                                    | 80  |
| 4.2.3                                        | Data dan Analisa Hasil Pengujian Konsumsi Bahan Bakar .....                    | 84  |
| 4.2.4                                        | Data dan Analisa Hasil Pengujian Pengujian Rasio Ekuivalen<br>( $\phi$ ) ..... | 88  |
| 4.2.5                                        | Data dan Analisa Hasil Pengujian Efisiensi Bahan Bakar ( $\eta_f$ ) ..         | 93  |
| 4.2.6                                        | Data dan Analisa Hasil Pengujian Efisiensi Volumetrik ( $\eta_v$ ).....        | 97  |
| 4.3                                          | Data dan Analisa Hasil Pengujian Bahan Bakar B30S70 .....                      | 100 |
| 4.3.1                                        | Data dan Analisa Hasil Pengujian Daya Pengereman (P) .....                     | 100 |

|                                   |                                                                                |     |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3.2                             | Data dan Analisa Hasil Pengujian BMEP .....                                    | 105 |
| 4.3.3                             | Data dan Analisa Hasil Pengujian Konsumsi Bahan Bakar .....                    | 109 |
| 4.3.4                             | Data dan Analisa Hasil Pengujian Pengujian Rasio Ekuivalen<br>( $\phi$ ) ..... | 113 |
| 4.3.5                             | Data dan Analisa Hasil Pengujian Efisiensi Bahan Bakar ( $\eta_f$ ) ..         | 117 |
| 4.3.6                             | Data dan Analisa Hasil Pengujian Efisiensi Volumetrik ( $\eta_v$ ).....        | 121 |
| 4.4                               | Data Perbandingan antara Solar dengan B10S90, B20S80,<br>dan B30S70 .....      | 124 |
| 4.4.1                             | Data dan Analisa Hasil Pengujian Daya Pengereman (P) .....                     | 124 |
| 4.4.2                             | Data dan Analisa Hasil Pengujian Konsumsi Bahan Bakar .....                    | 126 |
| 4.4.3                             | Data dan Analisa Hasil Pengujian Pengujian Rasio Ekuivalen<br>( $\phi$ ) ..... | 127 |
| 4.4.4                             | Data dan Analisa Hasil Pengujian Efisiensi Bahan Bakar ( $\eta_f$ ) ..         | 129 |
| 4.4.5                             | Data dan Analisa Hasil Pengujian Efisiensi Volumetrik ( $\eta_v$ ).....        | 131 |
| BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN ..... |                                                                                | 133 |
| 5.1                               | Kesimpulan.....                                                                | 133 |
| 5.2                               | Saran .....                                                                    | 134 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

|             |                                                                       |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1  | Siklus Diesel Diagram P-v .....                                       | 6  |
| Gambar 2.2  | Siklus Motor Diesel 4 langkah .....                                   | 7  |
| Gambar 2.3  | Siklus Aktual Motor Diesel 4 Langkah.....                             | 8  |
| Gambar 2.4  | Struktur Kimia Minyak Jarak Pagar .....                               | 9  |
| Gambar 2.5  | Proses Pembakaran Mesin Diesel.....                                   | 12 |
| Gambar 2.6  | Skema Sistem Penyaluran Bahan Bakar sampai Menjadi Gas<br>Buang ..... | 13 |
| Gambar 2.7  | Prinsip Kerja Dynamometer .....                                       | 16 |
| Gambar 2.8  | Berbagai Konfigurasi <i>Venturi Scrubber</i> .....                    | 23 |
| Gambar 2.9  | Kecepatan dan Profil pada <i>Orifice Plate Flowmeter</i> .....        | 25 |
| Gambar 2.10 | Berbagai Tipe <i>Taping</i> pada <i>Orifice Flowmeter</i> .....       | 27 |
| Gambar 3.1  | Diagram Alir Metodologi Penelitian .....                              | 28 |
| Gambar 3.2  | Deskripsi Alat-alat Uji .....                                         | 29 |
| Gambar 3.3  | Mesin Uji.....                                                        | 30 |
| Gambar 3.4  | Alat Uji Gas Buang .....                                              | 32 |
| Gambar 3.5  | <i>Smoke Analysis Chamber</i> .....                                   | 33 |
| Gambar 3.6  | Buret .....                                                           | 34 |
| Gambar 3.7  | <i>Stopwatch</i> .....                                                | 35 |
| Gambar 3.8  | Termokopel Tipe K .....                                               | 35 |
| Gambar 3.9  | Dinamometer .....                                                     | 36 |
| Gambar 3.10 | <i>Display Load</i> .....                                             | 37 |
| Gambar 3.11 | <i>Proximity Sensor</i> .....                                         | 38 |
| Gambar 3.12 | <i>Display Proximity Sensor</i> .....                                 | 38 |
| Gambar 3.13 | <i>Thermostat Autonic</i> .....                                       | 39 |
| Gambar 3.14 | <i>Orifice Plate</i> .....                                            | 39 |
| Gambar 3.15 | <i>Heater 3000 watt</i> .....                                         | 40 |
| Gambar 3.16 | <i>Venturi Scrubber</i> yang digunakan pada <i>Cold EGR</i> .....     | 40 |

|             |                                                                                                                                                                       |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3.17 | Grafik hubungan antara $V$ (m/s) dengan Putaran mesin (rpm) yang menyatakan perbandingan hasil pengukuran dari anemometer dengan orifice meter .....                  | 42 |
| Gambar 3.18 | Grafik kalibrasi termokopel yang menyatakan perbandingan hasil pengukuran dari termometer dengan termokopel.....                                                      | 43 |
| Gambar 4.1  | Grafik hubungan antara daya ( $P$ ) dan % EGR untuk bahan bakar B10S90 pada beban 25% dengan variasi $N$ (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                        | 53 |
| Gambar 4.2  | Grafik hubungan antara daya ( $P$ ) dan % EGR untuk bahan bakar B10S90 pada beban 50% dengan variasi $N$ (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                        | 53 |
| Gambar 4.3  | Grafik hubungan antara daya ( $P$ ) dan % EGR untuk bahan bakar B10S90 pada beban 75% dengan variasi $N$ (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                        | 54 |
| Gambar 4.4  | Grafik hubungan antara daya ( $P$ ) dan % EGR untuk bahan bakar B10S90 pada beban 100% dengan variasi $N$ (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                       | 54 |
| Gambar 4.5  | Grafik hubungan antara daya ( $P$ ) dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B10S90 dengan variasi % EGR pada $N$ 2500 rpm dan temperatur EGR $60^{\circ}\text{C}$ ..... | 55 |
| Gambar 4.6  | Grafik hubungan antara BMEP dan % EGR untuk bahan bakar B10S90 pada beban 25% dengan variasi $N$ (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                                | 57 |
| Gambar 4.7  | Grafik hubungan antara BMEP dan % EGR untuk bahan bakar B10S90 pada beban 50% dengan variasi $N$ (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                                | 57 |
| Gambar 4.8  | Grafik hubungan antara BMEP dan % EGR untuk bahan bakar B10S90 pada beban 75% dengan variasi $N$ (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                                | 58 |

|             |                                                                                                                                                            |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.9  | Grafik hubungan antara BMEP dan % EGR untuk bahan bakar B10S90 pada beban 100% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                      | 58 |
| Gambar 4.10 | Grafik hubungan antara BMEP dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B10S90 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60 °C .....               | 59 |
| Gambar 4.11 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan N (rpm) untuk bahan bakar B10S90 pada beban 25% dengan variasi % EGR dan variasi temperatur EGR.....       | 61 |
| Gambar 4.12 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan N (rpm) untuk bahan bakar B10S90 pada beban 50% dengan variasi % EGR dan variasi temperatur EGR.....       | 61 |
| Gambar 4.13 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan N (rpm) untuk bahan bakar B10S90 pada beban 75% dengan variasi % EGR dan variasi temperatur EGR.....       | 62 |
| Gambar 4.14 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan N (rpm) untuk bahan bakar B10S90 pada beban 100% dengan variasi % EGR dan variasi temperatur EGR.....      | 62 |
| Gambar 4.15 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B10S90 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60°C..... | 63 |
| Gambar 4.16 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan % EGR untuk bahan bakar B10S90 pada beban 25% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                     | 65 |
| Gambar 4.17 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan % EGR untuk bahan bakar B10S90 pada beban 50% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                     | 65 |
| Gambar 4.18 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan % EGR untuk bahan bakar B10S90 pada beban 75% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                     | 66 |



|             |                                                                                                                                                    |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.19 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan % EGR untuk bahan bakar B10S90 pada beban 100% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....            | 66 |
| Gambar 4.20 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B10S90 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60°C.....       | 67 |
| Gambar 4.21 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B10S90 pada beban 25% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 69 |
| Gambar 4.22 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B10S90 pada beban 50% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 69 |
| Gambar 4.23 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B10S90 pada beban 75% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 70 |
| Gambar 4.24 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B10S90 pada beban 100% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....              | 70 |
| Gambar 4.25 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B10S90 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60°C..... | 72 |
| Gambar 4.26 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B10S90 pada beban 25% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 73 |
| Gambar 4.27 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B10S90 pada beban 50% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 73 |
| Gambar 4.28 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B10S90 pada beban 75% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 74 |

|             |                                                                                                                                                    |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.29 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B10S90 pada beban 100% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....              | 74 |
| Gambar 4.30 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B10S90 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60°C..... | 75 |
| Gambar 4.31 | Grafik hubungan antara daya (P) dan % EGR untuk bahan bakar B20S80 pada beban 25% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....           | 77 |
| Gambar 4.32 | Grafik hubungan antara daya (P) dan % EGR untuk bahan bakar B20S80 pada beban 50% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....           | 77 |
| Gambar 4.33 | Grafik hubungan antara daya (P) dan % EGR untuk bahan bakar B20S80 pada beban 75% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....           | 78 |
| Gambar 4.34 | Grafik hubungan antara daya (P) dan % EGR untuk bahan bakar B20S80 pada beban 100% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....          | 78 |
| Gambar 4.35 | Grafik hubungan antara daya (P) dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B20S80 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60 °C .....   | 79 |
| Gambar 4.36 | Grafik hubungan antara BMEP dan % EGR untuk bahan bakar B20S80 pada beban 25% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....               | 81 |
| Gambar 4.37 | Grafik hubungan antara BMEP dan % EGR untuk bahan bakar B20S80 pada beban 50% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....               | 81 |
| Gambar 4.38 | Grafik hubungan antara BMEP dan % EGR untuk bahan bakar B20S80 pada beban 75% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....               | 82 |

|             |                                                                                                                                                            |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.39 | Grafik hubungan antara BMEP dan % EGR untuk bahan bakar B20S80 pada beban 100% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                      | 82 |
| Gambar 4.40 | Grafik hubungan antara BMEP dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B20S80 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60 °C .....               | 83 |
| Gambar 4.41 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan N (rpm) untuk bahan bakar B20S80 pada beban 25% dengan variasi % EGR dan variasi temperatur EGR.....       | 85 |
| Gambar 4.42 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan N (rpm) untuk bahan bakar B20S80 pada beban 50% dengan variasi % EGR dan variasi temperatur EGR.....       | 85 |
| Gambar 4.43 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan N (rpm) untuk bahan bakar B20S80 pada beban 75% dengan variasi % EGR dan variasi temperatur EGR.....       | 86 |
| Gambar 4.44 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan N (rpm) untuk bahan bakar B20S80 pada beban 100% dengan variasi % EGR dan variasi temperatur EGR.....      | 86 |
| Gambar 4.45 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B20S80 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60°C..... | 87 |
| Gambar 4.46 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan % EGR untuk bahan bakar B20S80 pada beban 25% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                     | 89 |
| Gambar 4.47 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan % EGR untuk bahan bakar B20S80 pada beban 50% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                     | 89 |
| Gambar 4.48 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan % EGR untuk bahan bakar B20S80 pada beban 75% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                     | 90 |

|             |                                                                                                                                                    |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.49 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan % EGR untuk bahan bakar B20S80 pada beban 100% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....            | 90 |
| Gambar 4.50 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B20S80 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60°C.....       | 92 |
| Gambar 4.51 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B20S80 pada beban 25% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 93 |
| Gambar 4.52 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B20S80 pada beban 50% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 94 |
| Gambar 4.53 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B20S80 pada beban 75% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 94 |
| Gambar 4.54 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B20S80 pada beban 100% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....              | 95 |
| Gambar 4.55 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B20S80 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60°C..... | 96 |
| Gambar 4.56 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B20S80 pada beban 25% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 97 |
| Gambar 4.57 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B20S80 pada beban 50% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 98 |
| Gambar 4.58 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B20S80 pada beban 75% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 98 |

|             |                                                                                                                                                    |     |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4.59 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B20S80 pada beban 100% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....              | 99  |
| Gambar 4.60 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B20S80 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60°C..... | 100 |
| Gambar 4.61 | Grafik hubungan antara daya (P) dan % EGR untuk bahan bakar B30S70 pada beban 25% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....           | 101 |
| Gambar 4.62 | Grafik hubungan antara daya (P) dan % EGR untuk bahan bakar B30S70 pada beban 50% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....           | 102 |
| Gambar 4.63 | Grafik hubungan antara daya (P) dan % EGR untuk bahan bakar B30S70 pada beban 75% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....           | 102 |
| Gambar 4.64 | Grafik hubungan antara daya (P) dan % EGR untuk bahan bakar B30S70 pada beban 100% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....          | 103 |
| Gambar 4.65 | Grafik hubungan antara daya (P) dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B30S70 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60°C.....     | 104 |
| Gambar 4.66 | Grafik hubungan antara BMEP dan % EGR untuk bahan bakar B30S70 pada beban 25% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....               | 105 |
| Gambar 4.67 | Grafik hubungan antara BMEP dan % EGR untuk bahan bakar B30S70 pada beban 50% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....               | 106 |
| Gambar 4.68 | Grafik hubungan antara BMEP dan % EGR untuk bahan bakar B30S70 pada beban 75% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....               | 106 |

|             |                                                                                                                                                            |     |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4.69 | Grafik hubungan antara BMEP dan % EGR untuk bahan bakar B30S70 pada beban 100% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                      | 107 |
| Gambar 4.70 | Grafik hubungan antara BMEP dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B30S70 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60°C.....                 | 108 |
| Gambar 4.71 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan N (rpm) untuk bahan bakar B30S70 pada beban 25% dengan variasi % EGR dan variasi temperatur EGR.....       | 109 |
| Gambar 4.72 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan N (rpm) untuk bahan bakar B30S70 pada beban 50% dengan variasi % EGR dan variasi temperatur EGR.....       | 110 |
| Gambar 4.73 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan N (rpm) untuk bahan bakar B30S70 pada beban 75% dengan variasi % EGR dan variasi temperatur EGR.....       | 110 |
| Gambar 4.74 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan N (rpm) untuk bahan bakar B30S70 pada beban 100% dengan variasi % EGR dan variasi temperatur EGR.....      | 111 |
| Gambar 4.75 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B30S70 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60°C..... | 112 |
| Gambar 4.76 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan % EGR untuk bahan bakar B30S70 pada beban 25% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                     | 113 |
| Gambar 4.77 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan % EGR untuk bahan bakar B30S70 pada beban 50% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                     | 114 |
| Gambar 4.78 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan % EGR untuk bahan bakar B30S70 pada beban 75% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....                     | 114 |

|             |                                                                                                                                                    |     |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4.79 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan % EGR untuk bahan bakar B30S70 pada beban 100% dengan variasi N (rpm) dan variasi temperatur EGR.....            | 115 |
| Gambar 4.80 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B30S70 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60°C.....       | 116 |
| Gambar 4.81 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B30S70 pada beban 25% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 117 |
| Gambar 4.82 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B30S70 pada beban 50% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 118 |
| Gambar 4.83 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B30S70 pada beban 75% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 118 |
| Gambar 4.84 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B30S70 pada beban 100% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....              | 119 |
| Gambar 4.85 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan <i>load</i> (%) untuk bahan bakar B30S70 dengan variasi % EGR pada N 2500 rpm dan temperatur EGR 60°C..... | 120 |
| Gambar 4.86 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B30S70 pada beban 25% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 121 |
| Gambar 4.87 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B30S70 pada beban 50% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 122 |
| Gambar 4.88 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan N (rpm) untuk bahan bakar B30S70 pada beban 75% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....               | 122 |

|             |                                                                                                                                                                                    |     |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4.89 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan $N$ (rpm) untuk bahan bakar B30S70 pada beban 100% dengan variasi % EGR dan temperatur EGR.....                                            | 123 |
| Gambar 4.90 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan $load$ (%) untuk bahan bakar B30S70 dengan variasi % EGR pada $N$ 2500 rpm dan temperatur EGR 60°C.....                                    | 124 |
| Gambar 4.91 | Grafik hubungan antara daya ( $P$ ) dan % EGR untuk variasi campuran bahan bakar Solar, B10S90, B20S80, dan B30S70 pada 2500 rpm, beban 100%, dan temperatur EGR 60°C .....        | 125 |
| Gambar 4.92 | Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar dan % EGR untuk variasi campuran bahan bakar Solar, B10S90, B20S80, dan B30S70 pada 2500 rpm, beban 100%, dan temperatur EGR 60°C..... | 126 |
| Gambar 4.93 | Grafik hubungan antara $\phi$ dan % EGR untuk variasi campuran bahan bakar Solar, B10S90, B20S80, dan B30S70 pada 2500 rpm, beban 100%, dan temperatur EGR 60°C.....               | 128 |
| Gambar 4.94 | Grafik hubungan antara $\eta_f$ (%) dan % EGR untuk variasi campuran bahan bakar Solar, B10S90, B20S80, dan B30S70 pada 2500 rpm, beban 100%, dan temperatur EGR 60°C.....         | 130 |
| Gambar 4.95 | Grafik hubungan antara $\eta_v$ (%) dan % EGR untuk variasi campuran bahan bakar Solar, B10S90, B20S80, dan B30S70 pada 2500 rpm, beban 100%, dan temperatur EGR 60°C.....         | 131 |



## DAFTAR TABEL

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 Sifat Fisika Minyak Jarak.....                  | 9  |
| Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Uji .....                     | 31 |
| Tabel 3.2 Spesifikasi Alat Uji Gas Buang.....             | 32 |
| Tabel 3.3 Spesifikasi <i>Smoke Analysis Chamber</i> ..... | 33 |
| Tabel 3.4 Spesifikasi Termokopel.....                     | 35 |
| Tabel 3.5 Spesifikasi Dinamometer .....                   | 36 |

## NOMENKLATUR

| Simbol                     | Keterangan                                       | Satuan             |
|----------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|
| $A$                        | Luasan                                           | $m^2$              |
| $b$                        | Jarak lengan torsi                               | m                  |
| BMEP                       | Tekanan efektif rata-rata pengereman             | kPa                |
| bsfc                       | Konsumsi bahan bakar spesifik                    | kg/kW.h            |
| B&L                        | Diameter langkah                                 | mm                 |
| $C$                        | Panas spesifik                                   | kJ/kg.°C           |
| $C_d$                      | <i>Discharge coefficient</i>                     | -                  |
| $D$                        | Diameter                                         | m                  |
| $F$                        | Gaya                                             | N                  |
| $\left(\frac{F}{A}\right)$ | <i>Fuel air ratio</i>                            | -                  |
| $k$                        | Rasio panas spesifik                             | -                  |
| $\dot{m}$                  | Laju aliran massa                                | kg s <sup>-1</sup> |
| $n_R$                      | Jumlah putaran engkol untuk sekali langkah kerja | -                  |
| $N$                        | Putaran kerja                                    | rev/m              |
| $P$                        | Daya                                             | kW                 |
| $P$                        | Tekanan                                          | kPa                |
| Re                         | Bilangan Reynold                                 | -                  |
| $T$                        | Temperatur                                       | °C                 |
| $T$                        | Torsi                                            | Nm                 |
| $t$                        | Waktu                                            | s                  |
| $V$                        | Volume                                           | ml                 |
| $V$                        | Kecepatan                                        | ms <sup>-1</sup>   |
| $V_d$                      | Volume silinder                                  | dm <sup>3</sup>    |
| $Q$                        | Debit                                            | ml/s               |
| $Q_{HV}$                   | Harga panas dari bahan bakar                     | kJ/kg              |
| $Y$                        | Faktor ekspansi                                  | -                  |

|         |                               |                   |
|---------|-------------------------------|-------------------|
| $\beta$ | Rasio diameter <i>orifice</i> | -                 |
| $\rho$  | Densitas                      | $\text{kgm}^{-3}$ |
| $\eta$  | Efisiensi                     | %                 |
| $\phi$  | Ekuivalen rasio               | -                 |