

**PENGARUH *AIR FUEL RATIO* TERHADAP  
KINERJA MOTOR BAKAR 6 LANGKAH MENGGUNAKAN  
BAHAN BAKAR *ETHANOL* 99%**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MUHAMMAD HADYAN BAQI  
NIM. 145060201111005**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**



**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENGARUH AIR FUEL RATIO TERHADAP**  
**KINERJA MOTOR BAKAR 6 LANGKAH MENGGUNAKAN**  
**BAHAN BAKAR ETHANOL 99%**

**SKRIPSI**  
**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MUHAMMAD HADYAN BAQI**  
**NIM. 145060201111005**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 4 Desember 2018

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT.  
NIP. 19701017 199802 1 001

Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.  
NIP. 201103 820919 2 001



**Mengetahui,**  
**Ketua Program Studi S1**

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.  
NIP. 19740930 200012 1 001



JUDUL SKRIPSI:

**Pengaruh *Air Fuel Ratio* Terhadap Kinerja Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan Bakar *Ethanol 99%***

Nama Mahasiswa : Muhammad Hadyan Baqi  
NIM : 145060201111005  
Program Studi : Teknik Mesin  
Minat : Teknik Konvensi Energi

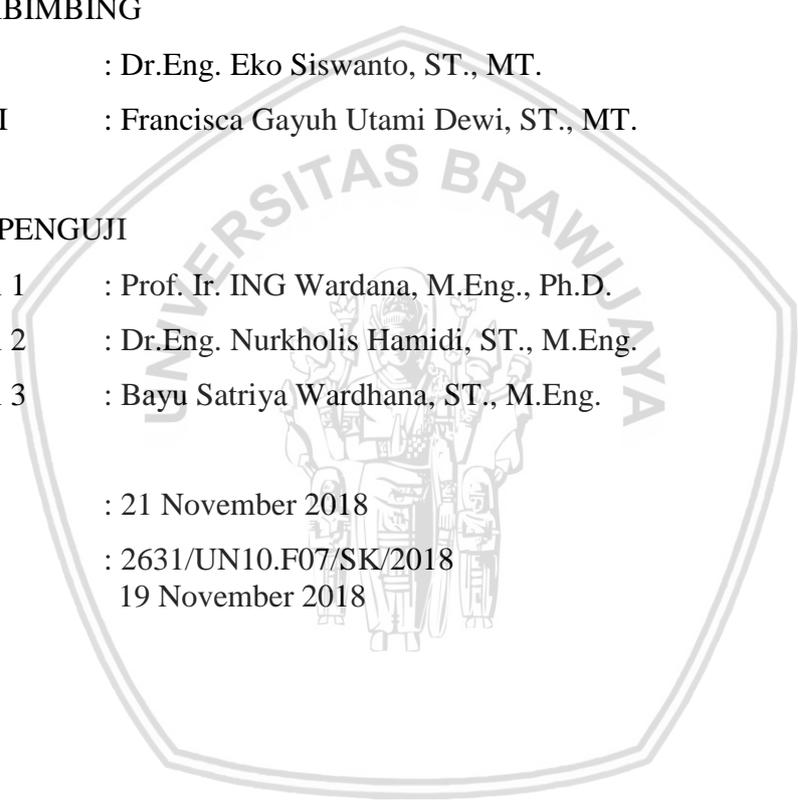
KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing I : Dr.Eng. Eko Siswanto, ST., MT.  
Pembimbing II : Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Prof. Ir. ING Wardana, M.Eng., Ph.D.  
Dosen Penguji 2 : Dr.Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.  
Dosen Penguji 3 : Bayu Satriya Wardhana, ST., M.Eng.

Tanggal Ujian : 21 November 2018  
SK Penguji : 2631/UN10.F07/SK/2018  
19 November 2018



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 5 Desember 2018

Mahasiswa,



Muhammad Hadyan Baqi  
NIM. 145060201111005



TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA



## SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 142/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

MUHAMMAD HADYAN BAQI

Dengan Judul Skripsi :

PENGARUH AIR FUEL RATIO TERHADAP KINERJA MOTOR BAKAR 6 LANGKAH  
MENGUNAKAN BAHAN BAKAR ETHANOL 99%

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan  
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 05 DEC 2018

Ketua Jurusan Teknik Mesin  
  
Dr. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D  
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin



Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT  
NIP. 19740930 200012 1 001

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, berkah dan hidayahnya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Air Fuel Ratio Terhadap Kinerja Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan Bakar Ethanol 99%”**. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik bagi mahasiswa Teknik Mesin Universitas Brawijaya untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Dalam penyusunan skripsi ini tentu penulis membutuhkan bantuan, dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Bowo Listiyanto dan Ibu Sumarning selaku orangtua penulis dan juga keluarga yang senantiasa memberikan nasihat, doa, semangat dan segalanya yang terbaik bagi penulis.
2. Bapak Dr. Eng. Eko Siswanto, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktunya untuk bimbingan skripsi, memberikan nasihat, saran dan motivasi yang luar biasa bagi penulis selama penyusunan skripsi.
3. Ibu Fransisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II yang juga telah banyak meluangkan waktunya untuk bimbingan skripsi, memberikan nasihat, saran dan motivasi yang luar biasa bagi penulis selama penyusunan skripsi.
4. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
5. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
6. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
7. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku KKDK Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
8. Bapak Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT., selaku Pembimbing Akademis penulis.
9. Seluruh staf pengajar dan administrasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
10. Rekan satu penelitian Hanafi yang telah memberikan dukungan dan masukan dalam penelitian ini baik suka maupun duka.

11. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Universitas Brawijaya yang secara langsung maupun tidak langsung ikut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Seluruh keluarga besar “M14” yang telah menjadi keluarga baru penulis saat di Malang, terimakasih atas dukungan, doa dan kebersamaannya selama masa kuliah.
13. Teman-teman “Calon ST” yang telah menjadi teman seperjuangan dari semasa mahasiswa baru sampai sekarang.
14. Teman-teman kontrakan “KBMT” yang telah menjadi rumah kedua bagi penulis saat susah maupun senang.
15. Laboran dan asisten laboratorium PP 1 yang telah memberikan tempat dan waktunya untuk penelitian penulis.
16. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna baik dari isi maupun format penulisan. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar kedepannya menjadi lebih baik lagi. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis maupun pembaca dan dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

Malang, Desember 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>RINGKASAN</b> .....	x
<b>SUMMARY</b> .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Mesin Kalor .....	5
2.2.1 Klasifikasi Motor Bakar .....	6
2.2.2 Siklus Motor Bakar Otto .....	6
2.3 Siklus Operasi Motor Bakar .....	7
2.3.1 Motor Dua Langkah .....	7
2.3.2 Motor Empat Langkah .....	8
2.4 Motor Bakar 6 Langkah dengan Tiga Kali Pengapian .....	9
2.4.1 Prediksi P-V Diagram Siklus Otto Ideal Motor Bakar 6 Langkah 3 Kali Pengapian .....	11
2.5 Sistem Injeksi Bahan Bakar .....	11
2.5.1 Klasifikasi Sistem Injeksi Bahan Bakar .....	12
2.6 Injeksi Bahan Bakar Elektronik .....	13
2.6.1 Sistem Kendali Elektronik .....	13
2.7 <i>Software</i> FittecPB_32Dmap-v6.00.05 .....	14
2.8 Teori Pembakaran dan Bahan Bakar .....	16
2.8.1 Rasio Udara-Bahan Bakar ( <i>Air Fuel Ratio</i> , AFR) .....	17
2.8.2 Rasio Kesetaraan Udara-Bahan Bakar ( <i>Equivalence Ratio</i> , $\Phi$ ) .....	19



2.8.3 Rasio Kesetaraan Udara-Bahan Bakar Relatif ( <i>Excess Air</i> , $\lambda$ ).....	20
2.8.4 <i>Ethanol</i> .....	20
2.9 Unjuk Kerja Motor Bakar .....	21
2.9.1 Torsi.....	22
2.9.2 Daya Efektif.....	22
2.9.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCe).....	23
2.9.4 Efisiensi Termal Efektif.....	23
2.10 Hipotesis .....	23
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	25
3.1 Metode Penelitian .....	25
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	25
3.3 Variabel Penelitian.....	25
3.3.1 Variabel Bebas.....	25
3.3.2 Variabel Terikat.....	25
3.3.3 Variabel Terkontrol .....	25
3.4 Alat dan Bahan.....	26
3.4.1 Alat .....	26
3.4.2 Bahan .....	28
3.5 Skema Instalasi Penelitian .....	29
3.6 Tahapan Penelitian.....	30
3.7 Diagram Alir Penelitian .....	37
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	39
4.1 Analisis Data.....	39
4.1.1 Data Hasil Pengujian .....	39
4.1.2 Pengolahan data .....	40
4.1.3 Hasil Pengolahan Data.....	41
4.2 Pembahasan Grafik .....	42
4.2.1 Pembahasan Grafik Hubungan Putaran terhadap Torsi.....	43
4.2.2 Pembahasan Grafik Hubungan Putaran terhadap Daya Termal Efektif .....	44
4.2.3 Pembahasan Grafik Hubungan Putaran terhadap SFCe .....	45
4.2.4 Pembahasan Grafik Hubungan Putaran terhadap Efisiensi Termal Efektif....	46
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	49
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran .....	49

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data Gaya Pengereman pada Setiap Variasi AFR dan Putaran .....	39
Tabel 4.2	Data Debit Ethanol 99% pada Setiap Variasi AFR dan Putaran .....	39
Tabel 4.3	Data Torsi pada Setiap Variasi AFR dan Putaran .....	41
Tabel 4.4	Hasil Pengolahan Data Daya Termal Efektif .....	41
Tabel 4.5	Hasil Pengolahan Data <i>Fuel Consumption</i> .....	42
Tabel 4.6	Hasil Pengolahan Data SFCe .....	42
Tabel 4.7	Hasil Pengolahan Data Efisiensi Termal Efektif.....	42



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Siklus ideal otto.....	7
Gambar 2.2	Siklus aktual otto.....	7
Gambar 2.3	Prinsip kerja motor 2 langkah .....	8
Gambar 2.4	Prinsip kerja motor 4 langkah .....	9
Gambar 2.5	Skema siklus motor otto 6 langkah 3 kali pengapian .....	10
Gambar 2.6	Prediksi P-V diagram siklus otto ideal motor bakar 6 langkah 3 kali pengapian .....	11
Gambar 2.7	Klasifikasi sistem injeksi bahan bakar .....	12
Gambar 2.8	Sistem <i>Electronic Fuel Injection</i> (EFI).....	13
Gambar 2.9	<i>Engine control unit</i> .....	13
Gambar 2.10	<i>Main menu</i> FittecPB_32Dmap-v6.00.05 .....	14
Gambar 2.11	<i>Current data list (1st run)</i> .....	14
Gambar 2.12	<i>Injection system</i> .....	15
Gambar 2.13	<i>3D injection mapping</i> .....	15
Gambar 2.14	Ilustrasi proses pembakaran .....	16
Gambar 2.15	Proses pembakaran sempurna .....	17
Gambar 2.16	Pengaruh AFR terhadap konsumsi bensin dan tenaga mesin .....	18
Gambar 2.17	Grafik hubungan AFR terhadap emisi gas buang .....	19
Gambar 2.18	Grafik hubungan emisi gas buang terhadap <i>equivalent ratio</i> .....	19
Gambar 3.1	<i>Prototype</i> motor bakar otto 6 langkah .....	26
Gambar 3.2	Anemometer digital .....	27
Gambar 3.3	<i>Engine Controlling Unit</i> (ECU).....	27
Gambar 3.4	<i>Tachometer</i> .....	27
Gambar 3.5	<i>Fan/blower</i> .....	28
Gambar 3.6	Skema instalasi penelitian.....	29
Gambar 3.7	<i>Setting English (United States)</i> .....	30
Gambar 3.8	<i>Installing USB2.0-serial</i> .....	30
Gambar 3.9	<i>Driver</i> masih belum terinstall .....	31
Gambar 3.10	<i>Update driver software</i> .....	31
Gambar 3.11	<i>Browse my computer for driver software</i> .....	31
Gambar 3.12	<i>File driver</i> pada folder HL-340 <i>green cable</i> .....	32
Gambar 3.13	USB-Serial CH340 (COM7) telah terinstall.....	32



Gambar 3.14	<i>File FittedPB_32Dmap-v6.00.05</i> .....	32
Gambar 3.15	<i>FittedPB_32Dmap-v6.00.05 tipe SETT file</i> .....	33
Gambar 3.16	<i>Main Menu FittedPB_32Dmap-v6.00.05</i> .....	33
Gambar 3.17	<i>READ-ROM berhasil “statusREAD:FINISH”</i> .....	33
Gambar 3.18	<i>Injection system</i> .....	34
Gambar 3.19	<i>Window 3d injection mapping</i> .....	34
Gambar 3.20	Tombol “ <i>start</i> ” <i>current data list</i> .....	35
Gambar 3.21	Diagram alir penelitian .....	37
Gambar 4.1	Grafik hubungan putaran terhadap torsi dengan variasi AFR .....	43
Gambar 4.2	Grafik hubungan putaran terhadap daya termal efektif dengan variasi AFR.....	44
Gambar 4.3	Grafik hubungan putaran terhadap SFCE dengan variasi AFR.....	45
Gambar 4.4	Grafik hubungan putaran terhadap efisiensi termal efektif dengan variasi AFR.....	46



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 3D *Injection Mapping* tiap AFR
- Lampiran 2 Tabel Pengujian Karakteristik Bahan Bakar
- Lampiran 3 Data Hasil Pengujian Kinerja Motor Bakar 6 Langkah
- Lampiran 4 Perhitungan AFR
- Lampiran 5 Bahan Bakar *Ethanol* 99%
- Lampiran 6 Emisi Gas Buang Motor Bakar Menggunakan Bahan Bakar Gasohol
- Lampiran 7 Sertifikat Paten Motor Bakar 6 Langkah



## RINGKASAN

**Muhammad Hadyan Baqi**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2018, *Pengaruh Air Fuel Ratio Terhadap Kinerja Motor Bakar 6 Langkah Menggunakan Bahan Bakar Ethanol 99%*, Dosen Pembimbing : Eko Siswanto dan Francisca Gayuh Utami Dewi.

Kebutuhan akan energi pada kendaraan bermotor semakin meningkat seiring semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi. Sistem pembakaran *injection* diharapkan semakin irit konsumsi bahan bakar. Motor bakar 6 langkah dengan penambahan dua langkah baru pada motor 4 langkah, Dua langkah yang dimaksud adalah dengan ditambahkan langkah kompresi dan langkah ekspansi pada siklus, yakni mesin memiliki 2 tahap langkah kompresi dan 2 langkah ekspansi pada satu siklus dengan tujuan utama menambah durasi langkah ekspansi dan durasi pembakaran guna menurunkan emisi polutan gas hasil pembakaran dan dibutuhkan sumber energi yang dapat terbarui, dan dapat terjamin ketersediannya dimasa depan. Ethanol 99% merupakan sumber energi alternatif pada motor bakar.

Pada penelitian ini metode yang dipakai adalah eksperimental nyata pada motor bakar 6 langkah. Variabel yang digunakan yaitu variabel bebas dan terikat. Variabel bebas terdiri dari variasi air fuel ratio sebesar 7, 8, 9, 10, dan 11 dengan putaran 3600 rpm hingga 5400 rpm interval 300 rpm. Variabel terikat terdiri dari nilai torsi, daya efektif, SFCE, dan efisiensi termal efektif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan air fuel ratio pada mesin otto 6 langkah berbahan bakar ethanol dapat mempengaruhi kinerja mesin. Kinerja terbaik berupa torsi dan daya efektif pada variasi AFR 7 sedangkan kinerja terbaik berupa SFCE dan efisiensi termal efektif didapatkan pada variasi AFR 10. Dengan menggunakan motor 6 langkah, terjadi kenaikan nilai torsi, daya efektif, dan efisiensi termal yang dihasilkan dibandingkan dengan motor bakar 4 langkah, kemudian efisiensi termal efektif tertinggi terdapat pada AFR 10 sebesar 43.526% pada putaran 4200 rpm.

**Kata Kunci:** Air fuel ratio, ethanol 99%, kinerja, motor bakar 6 langkah

## SUMMARY

**Muhammad Hadyan Baqi**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, December 2018, *The Effect of Air Fuel Ratio on the Performance of a 6 Stroke Engine Using 99% Ethanol Fuel*, Academic Supervisor: Eko Siswanto and Francisca Gayuh Utami Dewi.

The need for energy in motor vehicles is increasing as science and technology development. The injection combustion system is expected to be more efficient in fuel consumption. 6-step fuel motor with the addition of two new steps on a 4-step motor, the two steps in question are to add compression steps and expansion steps in the cycle, ie the engine has 2 stages of compression step and 2 steps of expansion in one cycle with the main objective of increasing the duration of the expansion step and duration of combustion to reduce emissions of combustion gaseous gases and require renewable energy sources, and their availability in the future can be guaranteed. 99% Ethanol is an alternative energy source in combustion motors.

In this study, the method used was real experimental on a 6 step fuel motor. The variables used are independent and bound variables. The independent variable consists of air-fuel ratio variations of 7, 8, 9, 10, and 11 with 3600 rpm to 5400 rpm interval 300 rpm. The dependent variable consists of torque, effective power, SFCE, and effective thermal efficiency.

The results showed that changes in the air-fuel ratio on the Otto engine 6 steps fueled by ethanol could affect engine performance. The best performance in the form of torque and effective power on the AFR 7 variation while the best performance in the form of SFCE and effective thermal efficiency is obtained on AFR 10 variations. By using a 6-step motor, there is an increase in torque value, effective power, and the thermal efficiency produced compared to the 4 motor fuel step, then the highest effective thermal efficiency is found in AFR 10 at 43.526% at 4200 rpm.

**Keywords:** Air fuel ratio, ethanol 99%, performance, six-stroke engine

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan salah satu kebutuhan masyarakat yang sangat penting. Era globalisasi sekarang ini, industri motor terutama bidang otomotif semakin berkompetisi menemukan inovasi-inovasi terbaru pada mesin. Motor 4 langkah menjadi inovasi yang dikeluarkan oleh produsen motor. Bahkan sudah banyak beredar di Indonesia mesin motor 4 langkah dengan menggunakan sistem pembakaran *injection*.

Sistem pembakaran *injection* diharapkan semakin irit konsumsi bahan bakar. Siswanto, *et al* (2016), telah mengembangkan konsep dari motor bakar 4 langkah menjadi motor bakar 6 langkah dengan penambahan dua langkah baru pada motor 4 langkah. Dua langkah yang dimaksud adalah dengan ditambahkan langkah kompresi dan langkah ekspansi pada siklus, yakni mesin memiliki 2 tahap langkah kompresi dan 2 langkah ekspansi pada satu siklus. Terdapat dua generasi motor bakar 6 langkah ini. Generasi pertama adalah motor bakar 6 langkah dengan tujuan utama menjadikan campuran udara-bahan bakar semakin homogen, baik homogenitas massa akibat durasi mixing yang bertambah, juga homogenitas termal akibat durasi paparan termal yang ditambah. Untuk generasi kedua, yaitu yang digunakan dalam penelitian ini, memiliki tujuan utama menambah durasi langkah ekspansi dan durasi pembakaran guna menurunkan emisi polutan gas hasil pembakaran. Oleh karena itu motor 6 langkah bisa dijadikan sebagai teknologi terbaru kendaraan bermotor untuk masa depan.

Perkembangan pada kendaraan bermotor akan berbanding lurus dengan frekuensi pemakaian bahan bakar. Dewasa ini Bahan Bakar Minyak (BBM) yang merupakan bahan bakar fosil (premium, pertalite, pertamax) masih mendominasi untuk penggunaan kendaraan bermotor. Namun karena sifatnya yang termasuk dalam energi tak terbarukan maka tidak bisa terus-menerus mengandalkan bahan bakar minyak sebagai energi utama. Oleh karena itu perlu adanya inovasi bahan bakar alternatif untuk kendaraan bermotor. Salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan adalah *ethanol*. *Ethanol* dapat diproduksi dari produk fermentasi pertanian seperti ubi kayu, tebu, jagung, dll sehingga *ethanol* termasuk energi yang dapat diperbaharui (*renewable*). Proses pembuatan *ethanol* memiliki keunggulan dibandingkan dengan bahan bakar fosil karena biaya yang dibutuhkan untuk proses pembuatan lebih murah. *Ethanol* dihasilkan dari proses

fermentasi gula yang merupakan hasil dari fotosintesis tanaman dengan rumus kimia  $C_2H_5OH$  (Wardana, 2008).

Penggunaan bahan bakar ethanol sebagai alternatif pada kendaraan bermotor memiliki perbedaan karakteristik dengan bahan bakar fosil. Perbedaan karakteristik bahan bakar akan menyebabkan kinerja mesin yang berbeda pula. Salah satu perbedaan karakteristiknya adalah rasio H/C, yang menyebabkan perbedaan pada nilai *Air Fuel Ratio* (AFR). Semakin panjang ikatan rantai kimia bahan bakar, maka semakin banyak udara yang dibutuhkan untuk proses pembakaran. Berdasarkan perhitungan dengan rumus AFR, bahan bakar *ethanol* memiliki nilai AFR sebesar 1:8.9, sedangkan bahan bakar pertamax memiliki nilai AFR 1:15. Perubahan nilai AFR akan mempengaruhi kinerja mesin (torsi, daya efektif, *Specific Fuel Consumption Effective* (SFCe), dan efisiensi termal efektif). Dari penjelasan yang telah diuraikan, perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh variasi *Air Fuel Ratio* (AFR) terhadap kinerja motor bakar 6 langkah sistem injeksi dengan bahan bakar *ethanol*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka dapat dirumuskan sebuah permasalahan yang akan dibahas dari penelitian ini adalah bagaimana pengaruh *air fuel ratio* terhadap kinerja motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi menggunakan bahan bakar *ethanol* 99%.

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus dan menghindari timbulnya permasalahan yang semakin melebar, maka penulis memberikan batasan masalah sebagai berikut.

1. Saat pengambilan data, kondisi suhu lingkungan dianggap tetap.
2. Kelembapan udara diabaikan.
3. Gesekan yang terjadi pada transmisi diabaikan.
4. Mesin dalam keadaan ideal (*steady*).

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai penulis dalam penelitian ini adalah mengetahui pengaruh dari *air fuel ratio* terhadap kinerja motor bakar 6 langkah dengan sistem injeksi menggunakan bahan bakar *ethanol* 99%.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain:

1. Dapat mengetahui dan menganalisis pengaruh *air fuel ratio* terhadap kinerja motor bakar 6 langkah sistem injeksi menggunakan bahan bakar *ethanol* 99%.
2. Dapat menjadi energi alternatif dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor.
3. Mendapatkan kinerja terbaik pada motor bakar 6 langkah berbahan bakar *ethanol* 99%
4. Meningkatkan minat untuk perkembangan inovasi motor bakar 6 langkah di masa mendatang.
5. Menambah referensi bagi mahasiswa untuk penelitian selanjutnya mengenai sistem motor bakar 6 langkah.





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Wibowo (2011) melakukan penelitian pada pengaruh *air fuel ratio* terhadap unjuk kerja mesin otto 4 langkah 4 silinder berbahan bakar E20. Pada penelitian ini mesin yang digunakan adalah mesin Toyota Corolla KE20 F 1166 cc tahun 1971 menggunakan sistem karburator. Putaran mesin dijaga konstan pada rpm 3000 rpm dan 3500 rpm dengan bukaan *throttle* 40%. Hasilnya dapat meningkatkan torsi, daya efektif, *Specific Fuel Consumption effective* (SFCe), MEP, dan efisiensi termal efektif, sedangkan efisiensi volumetrik menurun pada campuran kaya  $\Phi > 1$  dibandingkan saat  $\Phi = 1$ . Pada campuran miskin  $\Phi < 1$  dibandingkan saat  $\Phi = 1$  didapatkan penurunan torsi, daya efektif, MEP, dan efisiensi termal efektif, sedangkan efisiensi volumetrik mengalami peningkatan.

Yoncha (2017) melakukan penelitian eksperimental terhadap pengaruh *air fuel ratio* terhadap performa motor bakar 4 langkah berbahan bakar etanol. Pada penelitian ini menggunakan variasi *air fuel ratio* sebesar 8, 9, 10 dengan sistem injeksi. Hasilnya torsi dan daya efektif terbesar didapatkan pada AFR sebesar 8, sedangkan torsi dan daya efektif terendah didapatkan pada AFR sebesar 10. *Specific Fuel Consumption effective* (SFCe) dan efisiensi termal efektif yang terbesar diperoleh pada AFR sebesar 9 dikarenakan AFR mendekati stoikiometri maka akan terjadi pembakaran yang mendekati sempurna pada ruang bakar.

### 2.2 Mesin Kalor

Arismunandar (1983) mendefinisikan mesin kalor sebagai salah satu dari beberapa jenis penggerak mula yang sering digunakan. Mesin kalor adalah mesin yang mengubah energi termal dan menggunakan energi tersebut untuk melakukan kerja berupa energi mekanik. Berdasarkan cara memperoleh energi termal, mesin kalor bisa diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu mesin pembakaran luar (*external combustion engine*) dan mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*).

Proses pembakaran *external combustion engine* terjadi di luar mesin. Contoh dari *external combustion engine* adalah turbin uap. Proses pembakaran menghasilkan energi termal yang disalurkan ke fluida kerja mesin dengan menggunakan komponen lain. Gas

dari hasil pembakaran diproses dengan menaikkan temperatur sehingga menghasilkan uap. Uap tersebut kemudian dikirim ke fluida kerja untuk menghasilkan daya atau kerja.

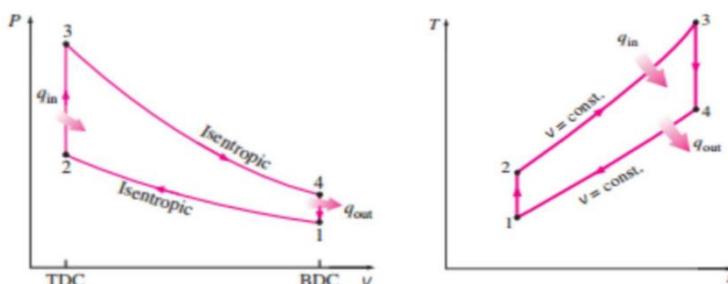
Sedangkan mesin pembakaran dalam biasa dikenal dengan nama motor bakar torak. Disebut mesin pembakaran dalam karena proses pembakaran terjadi dalam mesin itu sendiri dan hasil pembakaran digunakan secara langsung untuk menghasilkan daya. Motor bakar torak adalah mesin kalor yang merubah energi kimia dari proses pembakaran udara-bahan bakar menjadi energi mekanis berupa kerja. Proses pembakaran menghasilkan peningkatan tekanan dan temperatur dalam silinder. Kemudian torak terdorong melakukan gerak translasi karena proses ekspansi yang ada dalam silinder. Gerak translasi dari torak mengakibatkan terjadinya gerak rotasi dari poros engkol (*crankshaft*) dan begitu juga sebaliknya (Kristanto, 2015).

### 2.2.1 Klasifikasi Motor Bakar

Motor bakar torak berdasarkan sistem penyalannya dapat dibedakan menjadi dua jenis utama yaitu motor bensin (*otto*) dan motor diesel. Pada motor bensin disebut sebagai motor pengapian percik (*spark ignition engines*) karena bahan bakar dinyalakan oleh loncatan bunga api listrik dari busi. Sedangkan pada motor diesel terjadi proses penyalan sendiri karena bahan bakar disemprotkan ke dalam silinder yang berisikan udara bertekanan dan bertemperatur tinggi akibat kompresi, sehingga motor diesel sering disebut motor penyalan kompresi (*compression ignition engines*) (Kristanto, 2015).

### 2.2.2 Siklus Motor Bakar Otto

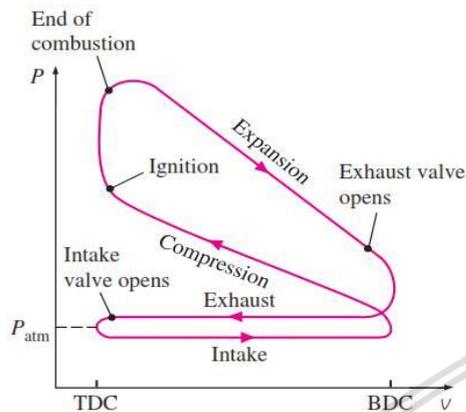
Siklus otto digambarkan dengan empat buah proses non alir (*non-flow process*) dimana proses kompresi dan ekspansi bersifat adiabatik (tidak ada proses panas yang masuk ataupun keluar sistem) dan *reversible* atau isentropik (Satibi, Purnawan, Nafizah, 2015). Siklus udara volume-konstan (siklus otto) dapat digambarkan dengan grafik P-v dan T-s seperti pada gambar 2.1. Keterangan mengenai proses siklusnya adalah:



Gambar 2.1 Siklus ideal otto

Sumber: Cengel dan Boles (2004:494)

- (1-2) Langkah kompresi/proses isentropik.
- (2-3) Proses pembakaran/pemasukkan kalor pada volume konstan (isokhorik).
- (3-4) Langkah kerja/ekspansi isentropik.
- (4-1) Proses pembuangan/pelepasan kalor pada volume konstan (isokhorik).



Gambar 2.2 Siklus aktual otto  
Sumber: Cengel & Boles (2004:494)

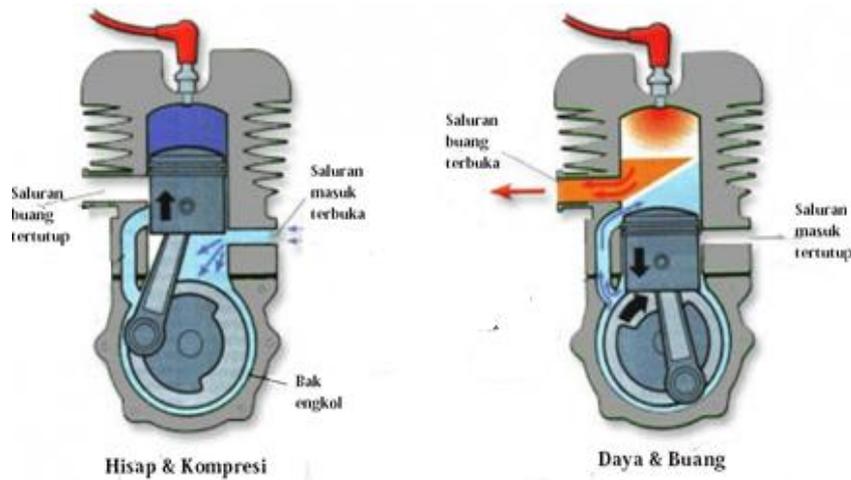
Pada Gambar 2.2 dijelaskan bahwa siklus aktual otto dimulai dari langkah hisap dimana katup hisap terbuka dan piston bergerak dari *Top Dead Center* (TDC) ke *Bottom Dead Center* (BDC). Kemudian piston bergerak kembali dari BDC ke TDC untuk melakukan langkah kompresi. Diakhir langkah kompresi busi dipercikkan untuk menghasilkan proses pembakaran dan menyebabkan piston terdorong ke BDC untuk melakukan langkah ekspansi/kerja. Setelah langkah ekspansi/kerja, katup buang terbuka dan gas sisa hasil pembakaran terdorong keluar melalui katup buang.

## 2.3 Siklus Operasi Motor Bakar

Philip Kristanto (2015) mengklasifikasikan siklus operasi dari motor pembakaran dalam menjadi motor dua langkah dan motor empat langkah.

### 2.3.1 Motor Dua Langkah

Motor dua langkah menghasilkan kerja pada setiap putaran poros engkol, yang artinya hanya dibutuhkan putaran *crankshaft* sebanyak satu kali untuk menyelesaikan satu siklus. Motor dua langkah mengganti katup dengan menggunakan lubang saluran di dinding silinder. Gerakan naik turun dari torak itulah yang akan membuka dan menutup lubang saluran di dinding silinder sebagai pengganti katup (Kristanto, 2015). Gambar 2.3 menunjukkan prinsip kerja dari motor dua langkah.

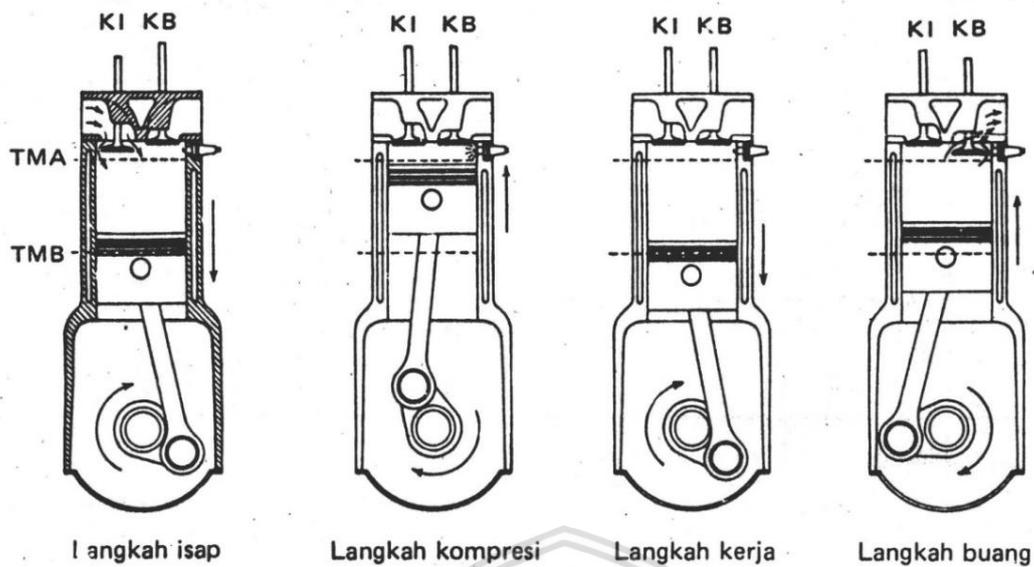


Gambar 2.3 Prinsip kerja motor 2-langkah  
Sumber: Kristanto (2015:10)

1. Hisap & kompresi. Torak bergerak ke titik mati atas (TMA) dan saluran masuk terbuka sehingga udara terhisap masuk dan bercampur dengan bahan bakar. Pergerakan dari torak ke TMA menyebabkan campuran udara-bahan bakar termampatkan di dalam ruang bakar.
2. Daya & buang. Sebelum torak mencapai TMA, busi menyalakan campuran udara-bahan bakar sehingga menyebabkan terjadinya proses pembakaran dan torak terdorong ke titik mati bawah (TMB) untuk melakukan langkah daya. Pada saat mendekati akhir langkah dari piston, saluran buang terbuka dan gas sisa pembakaran terbuang keluar.

### 2.3.2 Motor Empat Langkah

Motor empat langkah dalam satu siklusnya membutuhkan dua kali putaran *crankshaft* di dalam silinder. Motor otto empat langkah melakukan proses pencampuran bahan bakar dan udara pada saat langkah isap. Berbeda dengan motor diesel yang pencampurannya terjadi pada saat akhir langkah pemampatan (Arends & Berenschot, 1994). Prinsip kerja motor empat langkah ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Prinsip kerja motor 4-langkah  
Sumber: Arismunandar (1983:8)

1. Langkah hisap. Torak bergerak dari TMA ke TMB, katup isap (KI) terbuka dan katup buang (KB) tertutup sehingga campuran udara-bahan bakar terhisap ke dalam silinder.
2. Langkah kompresi. Torak bergerak dari TMB ke TMA dan kedua katup tertutup, campuran udara-bahan bakar dalam silinder diperkecil volumenya dan dimampatkan sehingga mengakibatkan tekanan dan temperatur di silinder naik.
3. Langkah kerja atau ekspansi. Sebelum torak mencapai TMA pada langkah kompresi, pada motor bensin busi dinyalakan sehingga terjadi proses pembakaran yang menyebabkan tekanan dan temperatur di ruang bakar naik lebih tinggi dan mendorong torak ke TMB untuk melakukan langkah kerja atau langkah ekspansi.
4. Langkah buang. Torak bergerak dari TMB ke TMA dengan KI tertutup dan KB terbuka. Gas sisa hasil pembakaran terbuang keluar sistem oleh torak saat bergerak ke TMA.

## 2.4 Motor Bakar 6 Langkah dengan Tiga Kali Pengapian

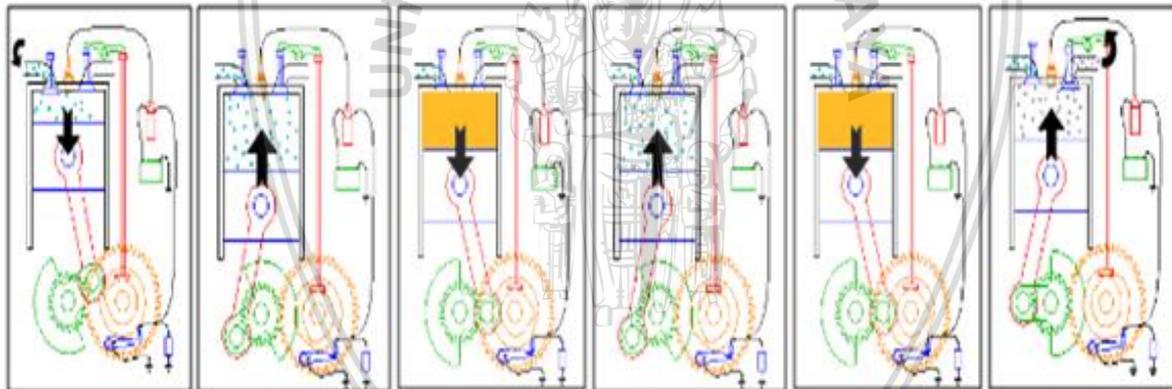
Siswanto *et al* (2016) telah mengembangkan konsep motor bakar 6 langkah dengan tiga kali pengapian atau motor 6 langkah generasi kedua dari Universitas Brawijaya. Motor 6 langkah merupakan pengembangan dari motor 4 langkah yang ada dengan menambahkan dua langkah dari motor 4 langkah. Dua langkah yang dimaksud adalah langkah kompresi kedua dan langkah ekspansi kedua. Jadi dalam satu siklus kerja terdapat dua kali kompresi dan dua kali kerja/ekspansi seperti dalam Gambar 2.5. Dengan ditambahkannya dua langkah ini bertujuan untuk membakar kembali sisa campuran udara dan bahan bakar dari

pembakaran pertama sehingga diharapkan campuran udara dan bahan bakar dapat terbakar sempurna.

Tiga kali pengapian yang dimaksud adalah dalam satu siklus busi dipercikkan sebanyak tiga kali. Atau dengan kata lain setiap torak/piston bergerak menuju TMA maka terjadi proses pemercikkan busi/pengapian. Tiga kali pengapian itu terjadi pada langkah kompresi 1, langkah kompresi 2, dan langkah buang. Sedangkan tujuan dari dipercikkannya busi/pengapian pada langkah buang adalah untuk mengurangi emisi dari gas buang motor bakar 6 langkah.

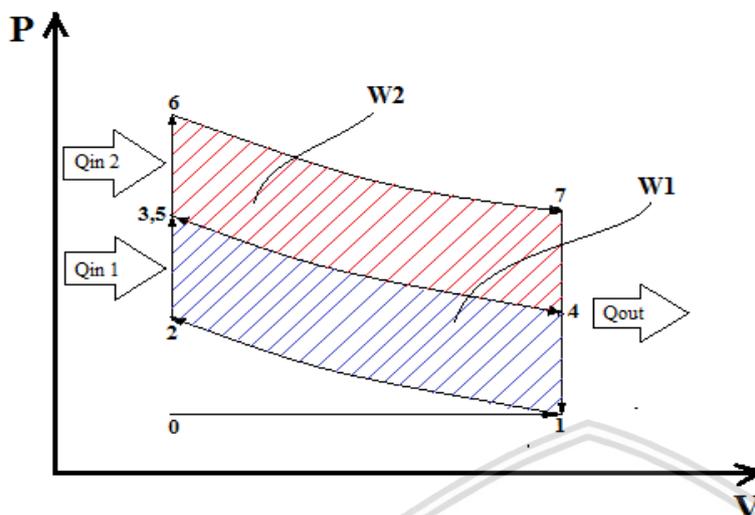
Proses dari siklus motor bakar 6 langkah ini adalah:

1. Langkah Hisap
2. Langkah Kompresi I
3. Langkah Ekspansi I, *Power* utama
4. Langkah Kompresi II
5. Langkah Ekspansi II, *Power* tambahan
6. Langkah Buang



Gambar 2.5 Skema siklus motor otto 6 langkah 3 kali pengapian

### 2.4.1 Prediksi P-V Diagram Siklus Otto Ideal Motor Bakar 6 Langkah 3 Kali Pengapian



Gambar 2.6 Prediksi P-V diagram siklus otto ideal motor bakar 6 langkah

Pada Gambar 2.6 motor bakar 6 langkah 3 kali pengapian didapatkan langkah siklus sebagai berikut.

1. (0-1) = Langkah hisap (isobarik)
2. (1-2) = Langkah kompresi 1 (adiabatik)
- (2-3) = Penambahan kalor I/Qin 1 (isokhorik)
3. (3-4) = Langkah ekspansi 1 (adiabatik)
4. (4-5) = Langkah kompresi 2 (adiabatik)
- (5-6) = Penambahan kalor 2/Qin 2 (isokhorik)
5. (6-7) = Langkah ekspansi 2 (adiabatik)
- (7-1) = Pelepasan kalor/Qout (isokhorik)
6. (1-0) = Langkah buang (isobarik)

Sedangkan untuk luas usaha dari diagram P-V ideal pada motor bakar 6 langkah 3 kali pengapian yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Luas usaha ideal: } W_{\text{net}} &= W_1 + W_2 \\ &= 1 - 2 - 6 - 7 \end{aligned}$$

### 2.5 Sistem Injeksi Bahan Bakar

Sistem bahan bakar memiliki fungsi untuk mengolah campuran udara-bahan bakar lalu mengkabutkan campuran tersebut untuk dikirim ke ruang bakar. Ada dua macam cara pemasukan campuran bahan bakar dan udara. Pertama adalah sistem bahan bakar konvensional, yaitu dengan cara menghisap bahan bakar. Yang kedua adalah sistem

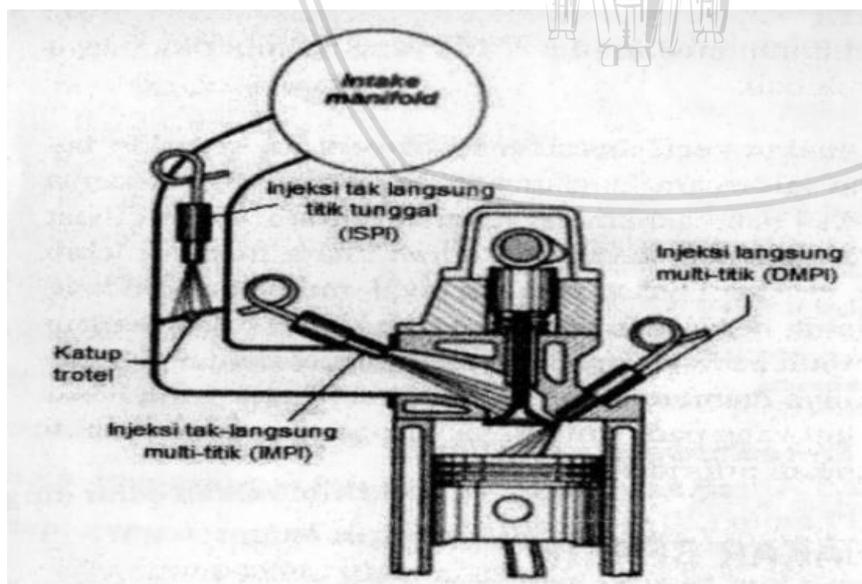
injeksi, dengan menginjeksikan bahan bakar. Sistem injeksi terbagi menjadi sistem injeksi bahan bakar mekanik dan sistem injeksi bahan bakar secara elektronik atau sering disebut *Electronic Fuel Injection* (EFI).

### 2.5.1 Klasifikasi Sistem Injeksi Bahan Bakar

Sistem injeksi bahan bakar dalam Gambar 2.7 dikelompokkan berdasarkan lokasi injektornya, yaitu sistem injeksi langsung dan injeksi tak langsung. Sistem injeksi langsung multititik *Direct Multi Point Injection* (DMPI) adalah bahan bakar langsung diinjeksikan ke ruang bakar mesin. Pengaplikasian sistem ini pada sistem injeksi diesel.

Pada bensin juga telah diaplikasikan sistem injeksi langsung yaitu sistem injeksi langsung bensin *Gasoline Direct Injection* (GDI). Kebanyakan sistem injeksi bensin adalah menggunakan sistem injeksi tak langsung yaitu bahan bakar diinjeksikan ke manifold hisap mesin (Kristanto, 2015). Sistem injeksi tak langsung diklasifikasikan lagi menjadi 2 sistem, yaitu:

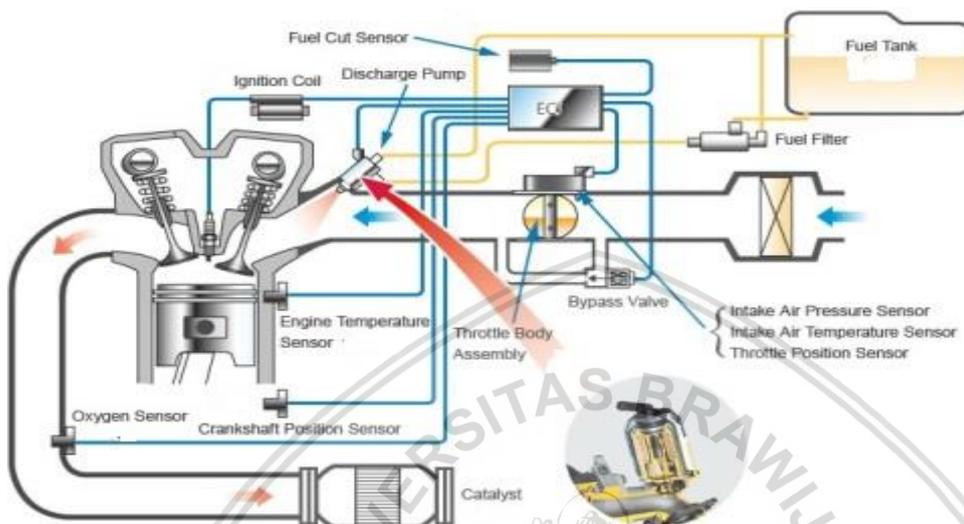
1. Injeksi tak langsung titik tunggal (*Indirect Single Point Injection*, ISPI), atau injeksi trotel bodi (*Throttle Body Injection*, TBI). Pada sistem ini lokasi injektornya dipasang di atas katup trotel atau sebelum saluran isap.
2. Injeksi tak langsung multititik (*Indirect Multi Point Injection*, IMPI) atau injeksi lubang (*Port Injection*). Lokasi injektor pada sistem ini terpasang di atas lubang isap di silinder.



Gambar 2.7 Klasifikasi sistem injeksi bahan bakar  
Sumber: Kristanto (1983:134)

## 2.6 Injeksi Bahan Bakar Elektronik

Injeksi bahan bakar elektronik *Electronic Fuel Injection* (EFI) dalam Gambar 2.8 merupakan sistem elektronik yang bahan bakarnya diinjeksikan ke dalam mesin. Sistem ini dikendalikan oleh *Engine Control Module* (ECM) atau *Engine Control Unit* (ECU) yang berbentuk *chip* dan tersusun atas *microprocessor* serta memori (Kristanto, 2015).



Gambar 2.8 Sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI)

Sumber: Buntarto (2015:45)

### 2.6.1 Sistem Kendali Elektronik

Pusat pengontrol sistem EFI terletak pada komputer yang dikenal dengan unit kendali motor *Engine Control Unit* (ECU). ECU dalam Gambar 2.9 mengontrol sistem kinerja motor dengan bantuan beberapa sensor untuk mengatur injeksi bahan bakar yang sesuai. ECU tersusun dari rangkaian terintegrasi *Integrated Circuit* (IC), dioda, hambatan dan kapasitor yang dirangkai membentuk komputer kecil. Sistem kendali ini menerima *output* dari sensor dan mengaplikasikannya untuk menentukan kuantitas injeksi bahan bakar, timing pengapian, dan parameter kinerja lainnya (Kristanto, 2015).

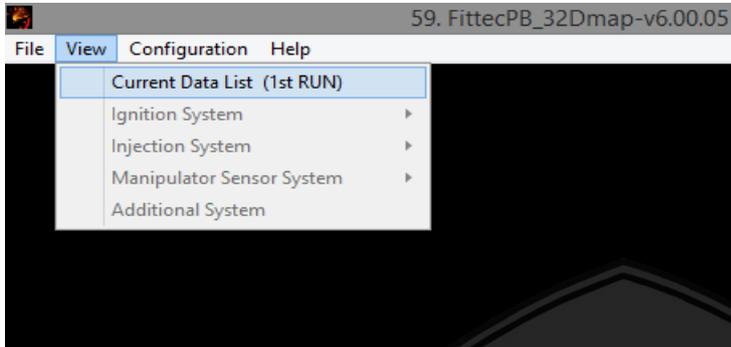


Gambar 2.9 *Engine control unit*

Sumber: Kristanto (2015,p.142)

## 2.7 Software FittecPB\_32Dmap-v6.00.05

Software FittecPB\_32Dmap-v6.00.05 pada Gambar 2.10 merupakan *software* injeksi motor yang memudahkan setting motor injeksi melalui laptop. *Software* ini dihubungkan dengan ECU (*Engine Control Unit*) dan beberapa sensor di dalamnya sehingga dapat mengetahui nilai dari beberapa variabel seperti RPM, *ignition*, *power*.

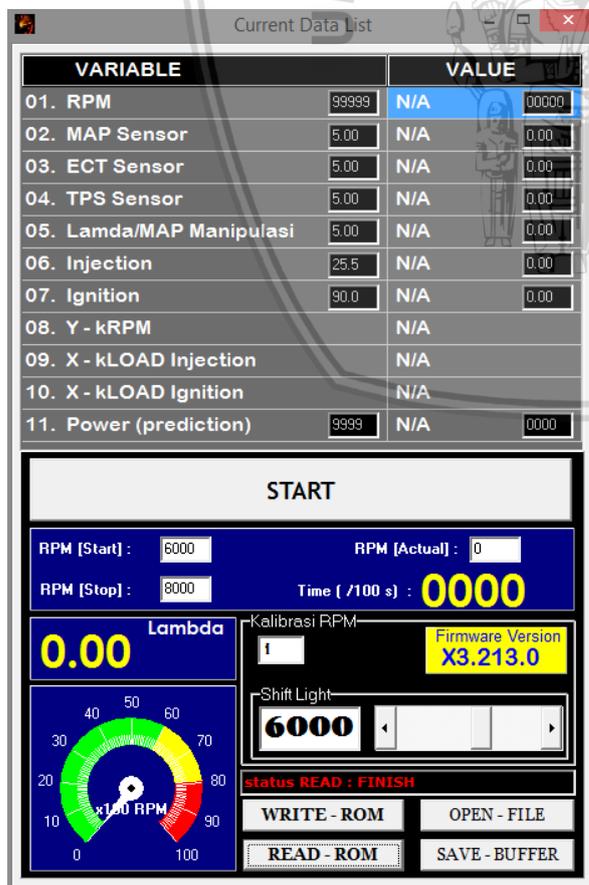


Gambar 2.10 Main menu FittecPB\_32Dmap-v6.00.05

Software FittecPB\_32Dmap-v6.00.05 hanya menggunakan menu bar “view” yang berupa:

1. *Current Data List (1st Run)*

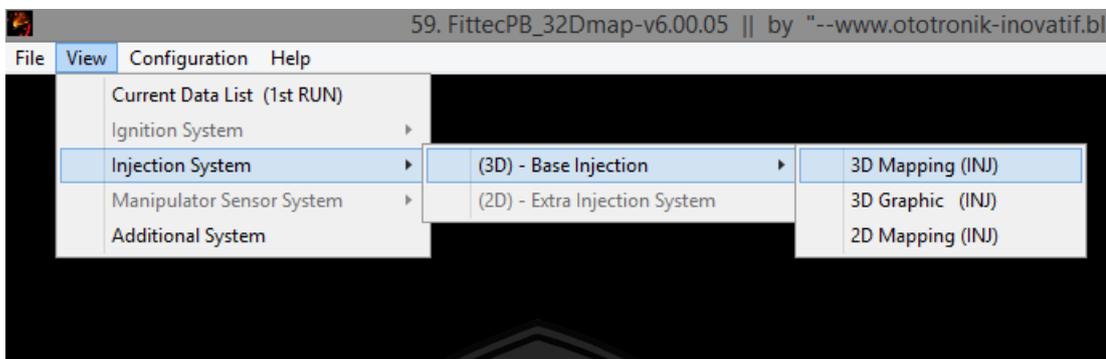
Pada Gambar 2.11 yaitu menu *current data list*.



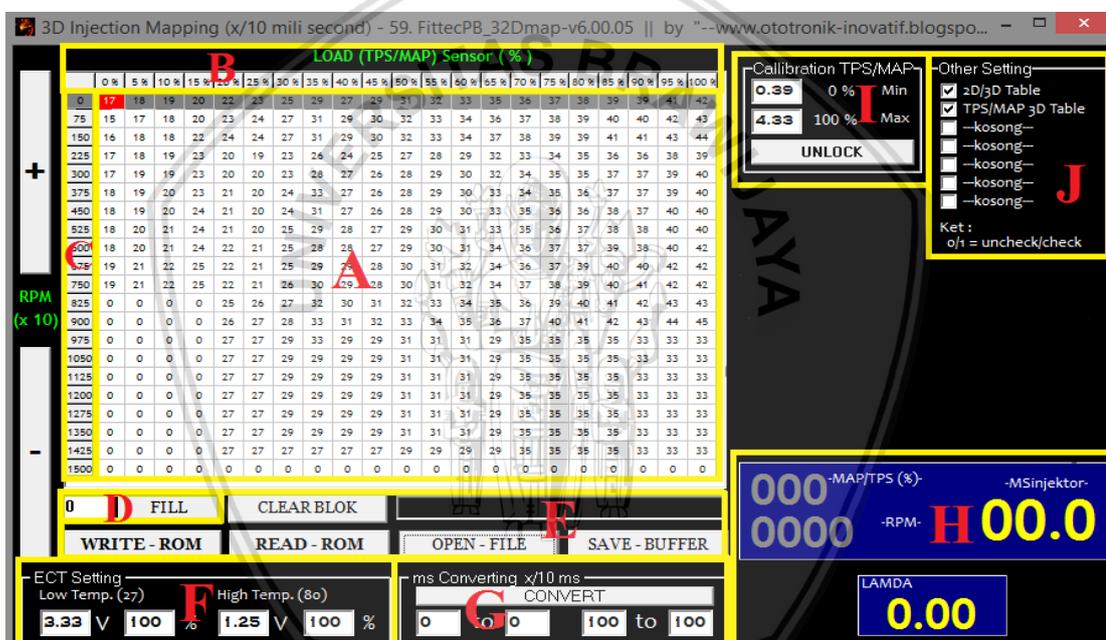
Gambar 2.11 Current data list (1st run)

## 2. Injection System

Pada menu *injection system* dalam Gambar 2.12, yang digunakan adalah 3D-base *injection* kemudian dalam Gambar 2.13 3D *Mapping* (INJ) yang berfungsi menunjukkan indikator dari sistem injeksi.



Gambar 2.12 Injection system



Gambar 2.13 3D injection mapping

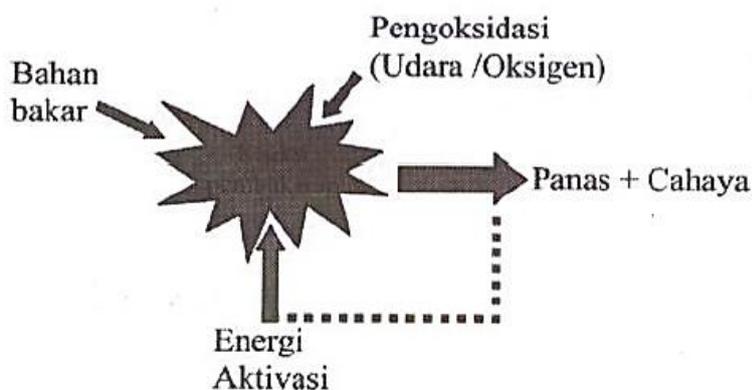
Keterangan:

- Bagian A adalah nilai durasi injeksi dari injektor
- Bagian B adalah nilai *load* (*Throttle Position Sensor*/MAP) dimulai dari 0%-100%
- Bagian C adalah indikator putaran RPM, dimulai dari 0-1500 x 10
- Bagian D adalah bagian untuk mengisi nilai dari durasi injeksi. Tandai pada bagian A, kemudian masukkan nilai durasi injeksi yang diinginkan pada kolom *FILL* lalu klik *FILL* sesudah mengisi nilai pengapian.
- Bagian E terdiri dari:
  - a. *CLEARBLOK*, berfungsi untuk menghapus kolom pada bagian A.

- b. *WRITE-ROM* berfungsi untuk memasukkan settingan yang telah diinput pada *3DInjectionMapping* ke dalam *EEPROM*.
  - c. *READ-ROM* berfungsi untuk membaca isi *EEPROM*.
  - d. *SAVE-BUFFER* berfungsi untuk menyimpan settingan pada *3DInjectionMapping* dalam bentuk file format (.3DM).
  - e. *OPEN-FILE* berfungsi untuk membuka file.
- Bagian F adalah kalibrasi nilai tegangan sensor ECT ketika kondisi dingin dan kondisi panas
  - Bagian G adalah bagian untuk mengganti nilai durasi injeksi yang telah dipilih pada bagian A dan ditambahkan dengan nilai yang telah ditulis pada kolom *IGTConverting*
  - Bagian H adalah tampilan aktual nilai derajat pengapian, dan nilai RPM, namun lamda tidak digunakan
  - Bagian I adalah kalibrasi sensor TPS/MAP
  - Bagian J tidak digunakan.

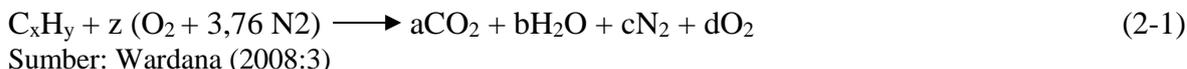
## 2.8 Teori Pembakaran dan Bahan Bakar

Pembakaran adalah reaksi kimia dimana bahan bakar bergabung dengan oksigen dari atmosfer dan melepaskan sejumlah kalor yang menyebabkan peningkatan temperatur. Pada proses pembakaran, oksigen adalah suatu komponen dari udara yang sangat mudah bereaksi terhadap sesuatu (Kristanto, 2015). Syarat utama dari suatu reaksi pembakaran adalah adanya bahan bakar, oksidator dan energi aktivasi. Tanpa adanya salah satu dari komponen tersebut maka kemungkinan proses pembakaran tidak dapat terjadi (Satibi *et al.*, 2013). Energi aktivasi disini bisa berupa panas ataupun energi, dimana memiliki fungsi sebagai komponen pengaktif molekul dari bahan bakar (Wardana, 2008).

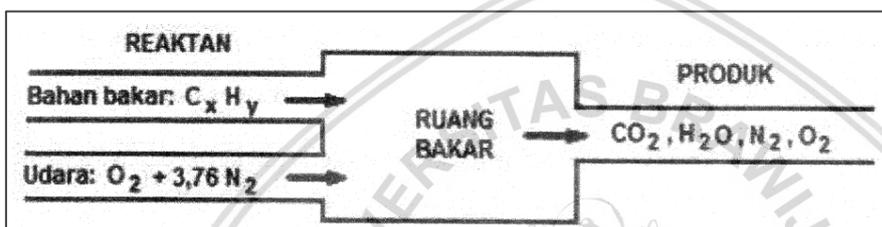


Gambar 2.14 Ilustrasi proses pembakaran  
Sumber: Wardana (2008:3)

Pada proses pembakaran sempurna dalam Gambar 2.15 atau pembakaran stoikiometri, semua karbon menghasilkan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan semua hidrogen membentuk air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) pada produk pembakaran. Setiap mol oksigen membutuhkan penambahan 3,76 mol nitrogen untuk mengoksidasi hidrogen (Kristanto, 2015), sehingga persamaannya dituliskan sebagai berikut.



Dimana  $z$  adalah koefisien stoikiometri untuk oksidator (udara). Lima variabel ( $z$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ) nilainya digunakan untuk menyetimbangkan jumlah atom antara reaktan dan produk. Pada pembakaran stoikiometri, diasumsikan tidak ada oksigen yang tersisa dalam produk sehingga nilai  $d = 0$ .



Gambar 2.15 Proses pembakaran sempurna  
Sumber: Kristanto (2015:62)

### 2.8.1 Rasio Udara-Bahan Bakar (*Air-Fuel Ratio*, AFR)

*Air Fuel Ratio* (AFR) adalah ukuran standar jumlah udara yang digunakan dalam proses pembakaran, dimana merupakan perbandingan nilai dari jumlah massa dari udara dan bahan bakar. AFR dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{AFR} = \frac{\text{massa udara}}{\text{massa bahan bakar}} = \frac{\text{Nud.Mud}}{\text{Nbb.Mbb}} \quad (2-2)$$

Sumber: Wardana (2008:3)

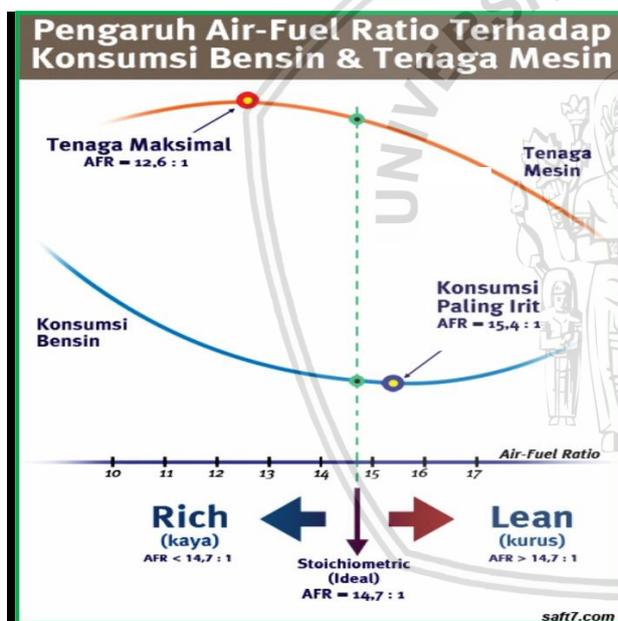
Dimana:

$N$  = Jumlah molekul

$M$  = Berat molekul

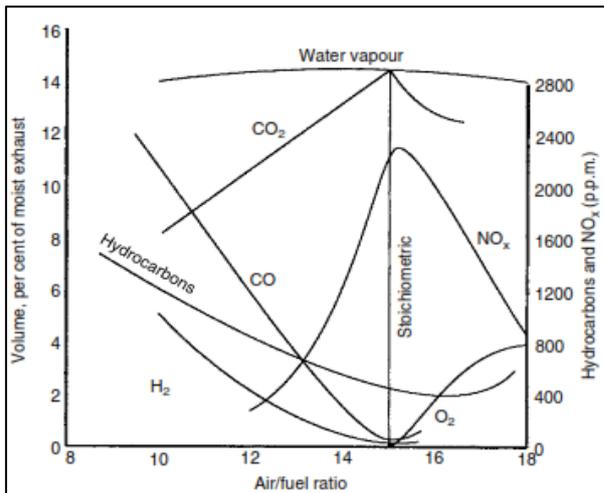
Untuk mendapatkan AFR yang tepat, perlu diatur jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar sesuai dengan udara yang diperlukan untuk pembakaran. Pada sistem injeksi, pengaturan AFR dapat dilakukan dengan cara mengubah durasi/lamanya penyemprotan/injeksi bahan bakar pada injektor (*injection duration*) menggunakan ECU *programmable* sehingga massa bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar juga akan berubah. Dengan menambah durasi injeksi bahan bakar maka akan meningkatkan jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar sehingga nilai AFR-nya akan semakin kecil dan begitu juga sebaliknya.

AFR merupakan parameter pembakaran yang penting karena perubahan nilai AFR dapat merubah kinerja dari mesin, seperti: nilai torsi, daya termal efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan efisiensi termal efektif. Dapat dilihat pada Gambar 2.16, bahwa ketika nilai AFR kecil maka tenaga mesin akan semakin besar, hal ini dikarenakan meningkatnya panas hasil pembakaran yang dikonversi menjadi kerja. Namun AFR yang kecil akan meningkatkan konsumsi bahan bakarnya, dikarenakan banyaknya bahan bakar yang terbuang akibat berlebihnya bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Namun, nilai efisiensi terbaik akan didapat ketika nilai AFR mendekati stoikiometri. Hal ini dikarenakan ketika AFR mendekati stoikiometri maka pembakaran yang terjadi pada ruang bakar akan mendekati sempurna sehingga panas hasil pembakaran yang dikonversi menjadi kerja akan semakin banyak. Selain itu, AFR yang mendekati stoikiometri menghasilkan putaran mesin yang lebih stabil, deposit karbon yang lebih sedikit, mengurangi terjadinya *knocking* dan konsumsi bahan bakar yang lebih hemat.



Gambar 2.16 Pengaruh AFR terhadap konsumsi bensin dan tenaga mesin  
Sumber: Yamin (2013)

Nilai AFR sangat mempengaruhi volume gas buang, dapat dilihat di Gambar 2.17 bahwa semakin kecil AFR maka emisi CO, O<sub>2</sub> dan HC mengalami penurunan, sedangkan CO<sub>2</sub> mengalami kenaikan. Hal ini dikarenakan pembakaran pada sisi sebelah kanan garis stoikiometri berlangsung pada keadaan terlalu banyak udara dibandingkan bahan bakar yang bisa menyebabkan kegagalan pembakaran. Selain itu, semakin rendah nilai AFR yang ditunjukkan daerah sebelah kiri garis stokiometri maka volume CO<sub>2</sub> menurun, sedangkan nilai HC dan CO meningkat, hal ini dikarenakan pembakaran tersebut berlangsung pada saat keadaan terlalu banyak bahan bakar dibandingkan udara.



Gambar 2.17 Grafik hubungan AFR terhadap emisi gas buang  
Sumber: Martyr (2007:327)

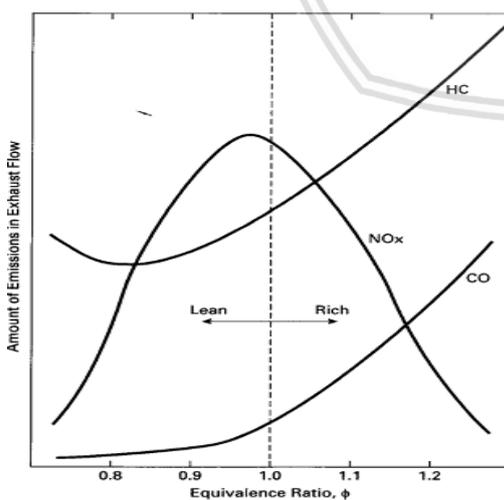
### 2.8.2 Rasio Kesetaraan Udara-Bahan Bakar (*Equivalence Ratio, $\Phi$* )

*Equivalence ratio* ( $\Phi$ ) merupakan perbandingan dari rasio AFR teoritis/stoikiometri terhadap AFR aktualnya, dirumuskan sebagai berikut.

$$\Phi = \frac{(\text{AFR})_{\text{stoikiometri}}}{(\text{AFR})_{\text{aktual}}} \quad (2-3)$$

Sumber: Turns et al. (2000)

Nilai *equivalence ratio* ( $\Phi$ ) menunjukkan kandungan campuran dari udara dan bahan bakar. Bila  $\Phi > 1$ , maka termasuk campuran kaya dimana lebih banyak kandungan bahan bakar dibanding udara. Jika  $\Phi < 1$ , maka termasuk campuran miskin dimana kandungan bahan bakar lebih sedikit dibanding udara. Sedangkan jika  $\Phi = 1$  maka dikatakan campuran stoikiometri atau campuran udara-bahan bakar yang ideal.



Gambar 2.18 Grafik hubungan emisi gas buang terhadap *equivalent ratio*  
Sumber: Pulkrabek (1997:279)

*Equivalent ratio* ( $\Phi$ ) sangat berpengaruh terhadap emisi pada suatu pembakaran. Dapat dilihat pada gambar 2.8 bahwa  $\Phi > 1$  maka oksigen tidak cukup bereaksi dengan

karbon dan hidrogen sehingga akan meningkatkan emisi HC dan CO. Pada saat  $\Phi < 1$  grafik HC mengalami sedikit kenaikan dikarenakan kegagalan dan miskinnya pembakaran.

### 2.8.3 Rasio Kesetaraan Udara-Bahan Bakar Relatif (*Excess Air*, $\lambda$ )

*Excess Air* ( $\lambda$ ) merupakan kebalikan dari *equivalence ratio* ( $\Phi$ ), dimana menyatakan perbandingan jumlah udara yang disediakan terhadap jumlah udara yang dibutuhkan secara teoritis (stoikiometri). Nilai *excess air* ( $\lambda$ ) dirumuskan dengan:

$$\lambda = \Phi^{-1} = \frac{(\text{AFR})_{\text{aktual}}}{(\text{AFR})_{\text{stoikiometri}}} \quad (2-4)$$

Sumber: Turns et al. (2000)

### 2.8.4 *Ethanol*

*Ethanol* atau *etil alcohol* ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) merupakan salah satu jenis bahan bakar alternatif yang terbarukan (*renewable*). *Ethanol* dapat diproduksi dengan dua cara baik secara hidrasi etilena maupun secara biologis dengan fermentasi produk pertanian. *Ethanol* yang diproduksi secara hidrasi etilena didapat dengan memproses campuran uap dan etilen pada suhu dan tekanan tinggi. *Ethanol* jenis ini dikenal sebagai *ethanol* sintesis dan digunakan untuk bahan baku industri. Sedangkan *ethanol* yang diproduksi secara biologis (*bioethanol*) didapat dari proses fermentasi dari biji-bijian dan gula. *Ethanol* ini banyak digunakan sebagai campuran minuman beralkohol dan juga bahan bakar. *Ethanol* berbeda dengan *gasoline*, dimana *ethanol* merupakan *oxygenated fuel* yang mengandung 35% oksigen dalam setiap senyawanya dan dapat mereduksi emisi gas buang (Demirbas, 2005).

*Ethanol* memiliki bau yang sangat khas sehingga mudah dikenali. Nyala warna dari *ethanol* berwarna biru dan sifatnya mudah terbakar. Berat dari molekul *ethanol* sebesar 46,07 dan memiliki nilai pembakaran atas HHV 30.610 kJ/kg. Titik nyala *ethanol* adalah 76,67°C dan titik didihnya 78,3°C. *Ethanol* mempunyai keuntungan dan kerugian untuk dijadikan sebagai bahan bakar. Keuntungan dari *ethanol* yaitu dapat mengurangi emisi gas buang dan mudah bercampur dengan senyawa organik seperti air. Sedangkan kerugiannya adalah sifat dari *ethanol* yang korosif (Wardana, 2008).

Untuk mendapatkan rumus empiris dan reaksi pembakaran dari *ethanol* ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) adalah diawali dengan menghitung persentase massa, berikut perhitungannya:

$$\%C = \frac{0.99 \text{Ar C } (\text{C}_2\text{H}_6\text{O})}{0.99 \text{Mr } (\text{C}_2\text{H}_6\text{O}) + 0.01 \text{Mr } (\text{H}_2\text{O})} \times 100\%$$

$$= \frac{0.99 \times 24}{(0.99 \times 46) + (0.01 \times 18)} \times 100\%$$

$$= 51.97\%$$

$$\%H = \frac{0.99 \text{Ar H (C}_2\text{H}_6\text{O)} + 0.01 \text{Ar H (H}_2\text{O)}}{0.99 \text{Mr (C}_2\text{H}_6\text{O)} + 0.01 \text{Mr (H}_2\text{O)}} \times 100\%$$

$$= \frac{(0.99 \times 6) + (0.01 \times 2)}{(0.99 \times 46) + (0.01 \times 18)} \times 100\%$$

$$= 13.04\%$$

$$\%O = \frac{0.99 \text{Ar O (C}_2\text{H}_6\text{O)} + 0.01 \text{Ar O (H}_2\text{O)}}{0.99 \text{Mr (C}_2\text{H}_6\text{O)} + 0.01 \text{Mr (H}_2\text{O)}} \times 100\%$$

$$= \frac{(0.99 \times 16) + (0.01 \times 16)}{(0.99 \times 46) + (0.01 \times 18)} \times 100\%$$

$$= 35\%$$

Untuk mengetahui jumlah mol dari masing-masing unsur adalah:

$$\frac{\% \text{massa C}}{\text{Ar C}} : \frac{\% \text{massa H}}{\text{Ar H}} : \frac{\% \text{massa O}}{\text{Ar O}}$$

$$= \frac{51.97}{12} : \frac{13.04}{1} : \frac{35}{16}$$

$$= 4.33 : 13.04 : 2.1875$$

$$= 1.98 : 5.96 : 1$$

Dari perhitungan diatas didapatkan rumus empiris dari *ethanol* yaitu  $\text{C}_{1.98}\text{H}_{5.96}\text{O}$ . Sehingga reaksi pembakaran sempurna pada *ethanol* ditunjukkan pada reaksi di bawah ini.



Dari reaksi pembakaran sempurna bahan bakar *ethanol* diatas dapat ditentukan AFR stoikiometri dengan menggunakan persamaan (2-2) sebagai berikut.

$$\text{AFR}_{\text{stoikiometri}} = \frac{N_{\text{udara}} M_{\text{udara}}}{N_{\text{bahan bakar}} M_{\text{bahan bakar}}}$$

$$= \frac{2.97(16 \times 2) + 2.97(3.76(14 \times 2))}{1((12 \times 1.98) + (1 \times 5.96) + (16 \times 1))}$$

$$= 8.917 \text{ kg udara / kg bb}$$

## 2.9 Unjuk Kerja Motor Bakar

Pada umumnya pengujian dari suatu motor bakar itu adalah untuk mengetahui kinerja dari motor bakar itu sendiri. Parameter-parameter yang akan dibahas untuk mengetahui kinerja mesin dalam penelitian motor bakar enam langkah ini meliputi:

1. Torsi (T)
2. Daya efektif (Ne)
3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCE)
4. Efisiensi thermal efektif (%)

### 2.9.1 Torsi

Torsi adalah momen putar yang dihasilkan oleh poros mesin. Besarnya torsi suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut *dynamometer*, yang akan menunjukkan besarnya gaya atau beban pengereman pada poros, sehingga harga torsi dapat dicari dari hubungan antara perkalian besarnya beban pengereman dengan panjang lengan yang menghubungkan timbangan dengan poros. Besarnya torsi dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$T = F \times L \quad (2-5)$$

Sumber: Arismunandar (2002:32)

Dimana:

T = Torsi yang dihasilkan (kg×m)

F = Besarnya beban pengereman (kg)

L = Panjang lengan dinamometer (m)

### 2.9.2 Daya Efektif

Daya efektif adalah daya yang dihasilkan oleh poros engkol untuk menggerakkan beban. Daya efektif ini dibangkitkan oleh daya indikasi, yaitu suatu daya yang dihasilkan oleh torak. Daya efektif didapatkan dengan cara mengalikan torsi (T) dengan kecepatan anguler poros ( $\omega$ ). Persamaannya sebagai berikut.

$$Ne = \frac{T \times n}{716.2} \quad (2-6)$$

Sumber: Petrovsky (1968:99)

Dimana:

Ne = Daya termal efektif (Ps)

T = Torsi (kg×m)

n = Putaran (rpm)

### 2.9.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCe)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif adalah jumlah laju bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif selama 1 jam. dengan persamaan sebagai berikut.

$$FC = \dot{V} \times \rho \times \frac{3600}{1000} \quad (2-7)$$

Sumber: Petrovsky (1968:63)

$$SFCe = \frac{FC}{Ne} \quad (2-8)$$

Sumber: Petrovsky (1968:63)

Dimana:

SFCe = Konsumsi bahan bakar spesifik efektif ( $\text{kg} \times \text{Ps}^{-1} \times \text{jam}^{-1}$ )

FC = Penggunaan bahan bakar tiap jam ( $\text{kg} \times \text{jam}^{-1}$ )

Ne = Daya efektif (Ps)

$\dot{V}$  = Volume alir ( $\text{m}^3 \times \text{s}^{-1}$ )

$\rho$  = Massa jenis ( $\text{gr} \times \text{ml}^{-1}$ )

### 2.9.4 Efisiensi Termal Efektif

Efisiensi termal efektif merupakan perbandingan antara banyaknya kalor yang dihasilkan bahan bakar dengan daya efektif yang dihasilkan oleh mesin. Nilai ini digunakan sebagai ukuran ekonomis atau tidaknya penggunaan bahan bakar. Hal ini ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\eta_e = \frac{632 \times Ne}{FC \times Q_b} = \frac{632}{\frac{FC}{Ne} \times Q_1} = \frac{632}{SFCe \times Q_b} \quad (2-9)$$

Sumber: Petrovsky (1968:62)

Dimana:

$\eta_e$  = Efisiensi termal efektif (%)

Ne = Daya termalefektif (Ps)

FC = Penggunaan bahan bakar tiap jam ( $\text{kg} \times \text{jam}^{-1}$ )

SFCe = Konsumsi bahan bakar spesifik efektif ( $\text{kg} \times \text{Ps}^{-1} \times \text{jam}^{-1}$ )

Qb = Nilai kalor bawah bahan bakar (LHV) ( $\text{kkal} \times \text{kg}^{-1}$ )

### 2.10 Hipotesis

Dari penjelasan dasar teori yang telah diuraikan, maka dapat diambil suatu hipotesis penelitian yaitu bahwa perubahan *air fuel ratio* dapat mempengaruhi kinerja mesin,

meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan efisiensi efektif. Semakin kecil nilai *air fuel ratio*, maka kinerja berupa torsi dan daya efektif akan meningkat. Hal ini dikarenakan campuran bahan bakar menjadi lebih kaya sehingga panas yang dihasilkan menjadi kerja lebih banyak. Namun, kinerja mesin berupa konsumsi bahan bakar spesifik efektif terendah dan efisiensi efektif tertinggi akan didapatkan ketika *air fuel ratio* mendekati stoikiometri dari bahan bakar *ethanol*. Hal ini dikarenakan ketika *air fuel ratio* mendekati stoikiometri maka akan terjadi pembakaran yang mendekati sempurna pada ruang bakar.



## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini metode yang dipakai adalah metode eksperimental nyata, dimana penelitian dilakukan secara langsung terhadap objek yang akan diuji. Pengamatan secara langsung dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh *air fuel ratio* terhadap kinerja motor bakar 6 langkah menggunakan bahan bakar *ethanol* 99%.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Mei 2018 sampai September 2018 dan bertempat di Laboratorium Proses Manufaktur 1 Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

### 3.3 Variabel Penelitian

#### 3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti (Mardalis, 2006). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

1. Variasi *air fuel ratio* menggunakan ECU *programmable* sebesar 7, 8, 9, 10, dan 11.
2. Putaran rpm dengan interval 300 RPM dimulai dari putaran 3600 RPM hingga 5400 RPM.

#### 3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan (Mardalis, 2006). Variabel terikat pada penelitian ini adalah nilai torsi, daya efektif, *Specific Fuel Consumption Effective* (SFCe), dan efisiensi termal efektif.

#### 3.3.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti dan dijaga dalam kondisi konstan. Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah:

1. Bahan bakar yang digunakan adalah *ethanol* dengan kadar kemurnian 99%.
2. Motor bakar 6 langkah 125 cc yang diteliti ditetapkan sebagai kondisi standar.

3. Mesin uji dalam keadaan tidak bergerak (*stationery*).
4. Rasio kompresi mesin 11,2 : 1.
5. Buka *throttle* 45%

### 3.4 Alat dan Bahan

#### 3.4.1 Alat

1. *Prototype* motor bakar otto 6 langkah

*Prototype* motor bakar otto 6 langkah terdapat dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Prototype* motor bakar otto 6 langkah

- Merk : Honda (*modified*)
- Negara pembuat/*modified* : Jepang/Indonesia
- Tipe mesin : 6 langkah
- Jumlah silinder : 1 (satu)
- *Bore diameter* : 57,2 mm
- *Stroke length* : 48,85 mm
- Volume langkah : 125 cc
- Rasio kompresi : 11,2 : 1
- Media pendingin : Udara

2. *Dynamometer*

*Dynamometer* pada Gambar 3.2 digunakan untuk mengetahui besarnya gaya pengereman (BHP), untuk menghitung besarnya torsi.

- a. Kapasitas Neraca Pegas : 100 kg
- b. Panjang Lengan : 125 mm
- c. Ukuran Torsi Maksimum : 12,5kg·m

### 3. Anemometer Digital

Anemometer Digital pada Gambar 3.2 digunakan untuk mengukur kecepatan udara yang masuk melalui *intake manifold* yang kemudian dikonversi menjadi massa alir udara.



Gambar 3.2 Anemometer digital

### 4. Engine Controlling Unit (ECU) programmable

Engine Controlling Unit (ECU) programmable pada Gambar 3.3 digunakan untuk mengatur *injector timing*, *injector duration*, *ignition timing*, dan pengaturan rpm limit.



Gambar 3.3 Engine controlling unit (ECU)

### 5. Tachometer

Tachometer pada Gambar 3.4 digunakan untuk mengetahui putaran mesin dalam RPM (*revolution per-minute*).



Gambar 3.4 Tachometer

## 6. Buret

Digunakan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar yang terpakai selama penelitian. Buret yang digunakan berkapasitas 100 ml.

7. *Fan/blower*

*Fan/blower* pada Gambar 3.5 sebagai media pendingin karena pengujian dilakukan dalam kondisi diam.



Gambar 3.5 *Fan/blower*

### 3.4.2 Bahan

1. Karakteristik *Ethanol*( $C_2H_5OH$ ) 99%

Nilai Oktan = 111

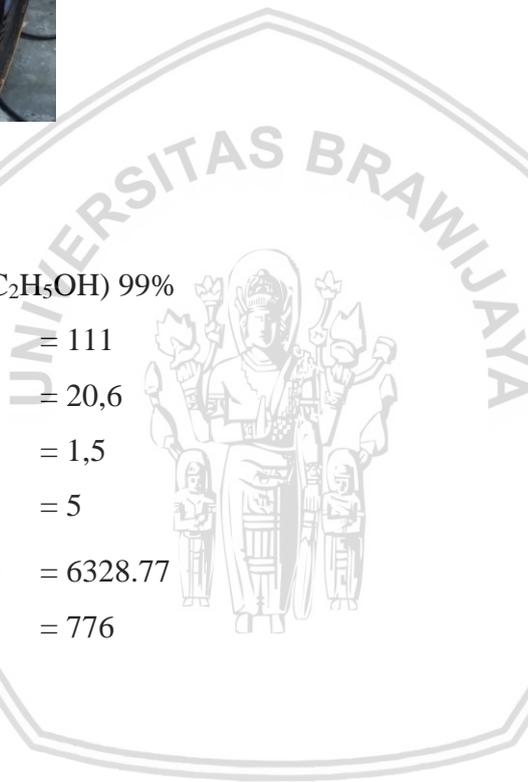
Flash Point ( $^{\circ}C$ ) = 20,6

Kadar Air (%) = 1,5

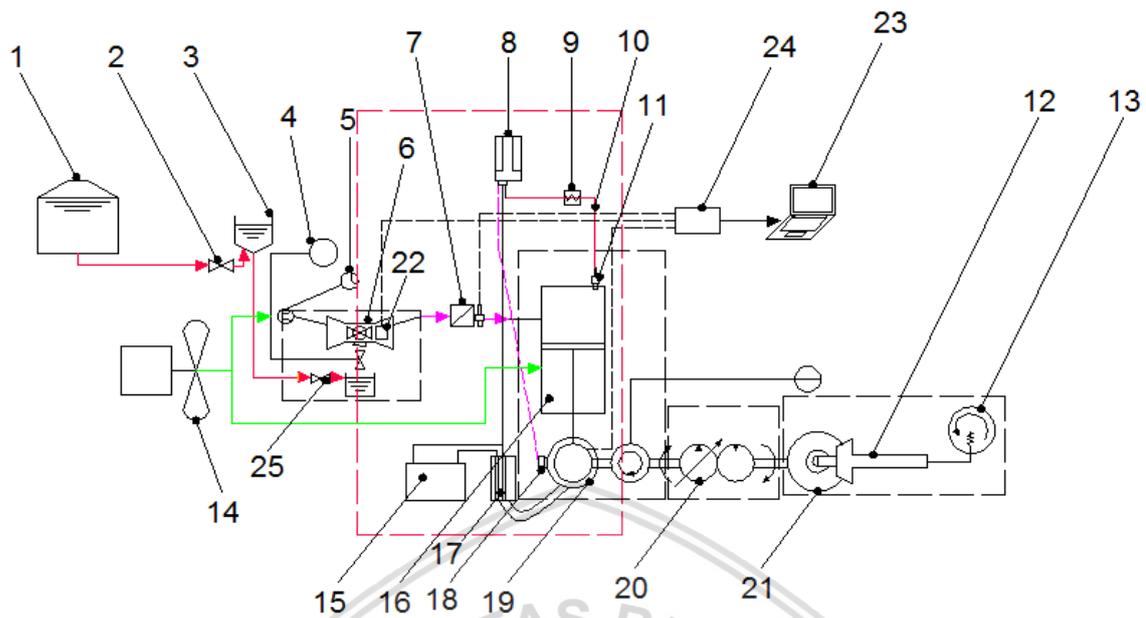
pH = 5

Nilai Kalor ( $kkal \times kg^{-1}$ ) = 6328.77

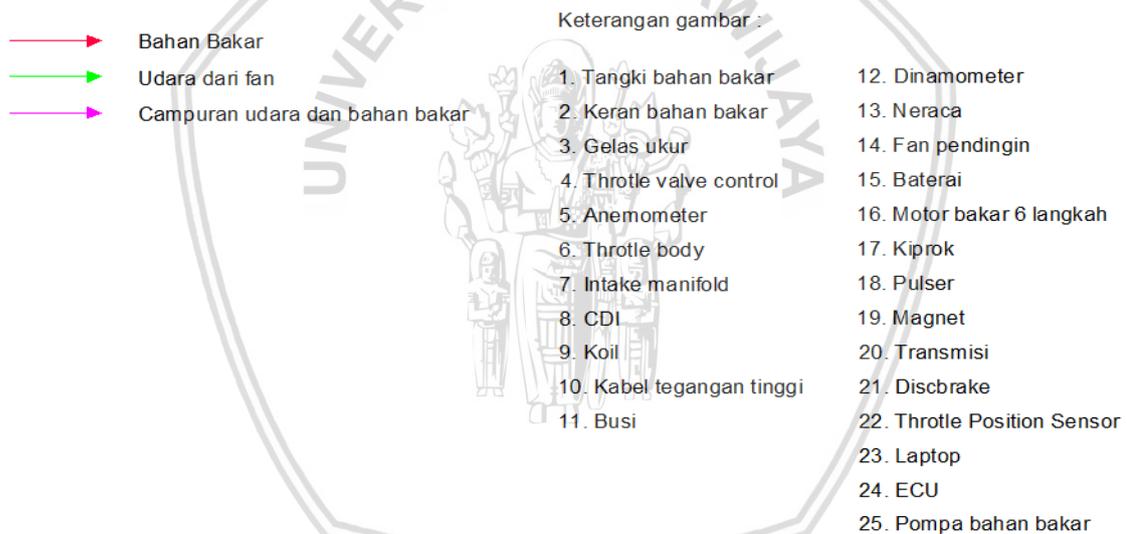
Densitas ( $kg/m^3$ ) = 776



### 3.5 Skema Instalasi Penelitian



Gambar 3.6 Skema instalasi penelitian

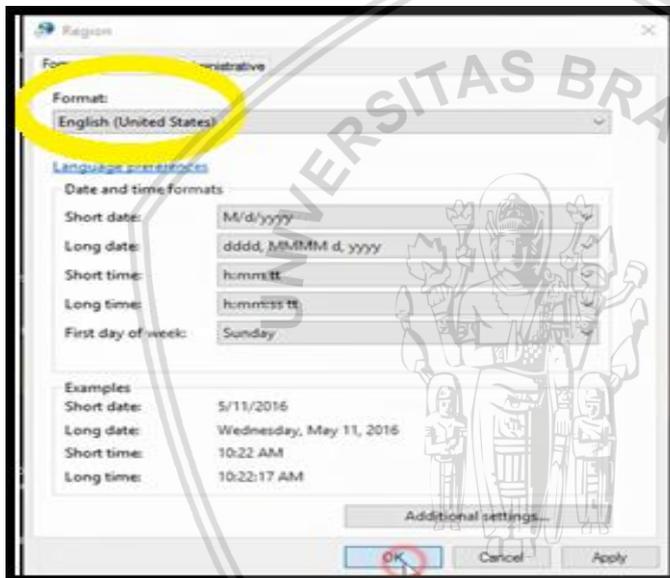


Skema instalasi penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 diawali dengan bahan bakar ditampung pada tangki bahan bakar dan dihubungkan ke pompa bahan bakar. Pompa bahan bakar mengalirkan bahan bakar ke injektor pada *intake manifold*. Sedangkan massa alir udara yang masuk diatur oleh bukaan *throttle* sebelum masuk pada *intake manifold* dan dibaca dengan melihat kecepatan aliran udara menggunakan anemometer. Injektor bertugas menginjeksikan bahan bakar ke dalam ruang bakar dan terhubung dengan *Engine Control Unit* (ECU). ECU menerima *output* dari sensor yang telah terletak pada mesin untuk menginjeksikan bahan bakar sesuai durasi injeksi yang telah diatur pada aplikasi injeksi di laptop. *Air fuel ratio* yang akan digunakan dapat diatur laptop dengan *software* FittecPB\_32Dmap-v6.00.05 yang kesambung dengan ECU *programmable* dengan cara

mengubah nilai *injection duration* dari *injector*. *Dynamometer* digunakan untuk mengetahui besar gaya pembebanan yang diterima mesin.

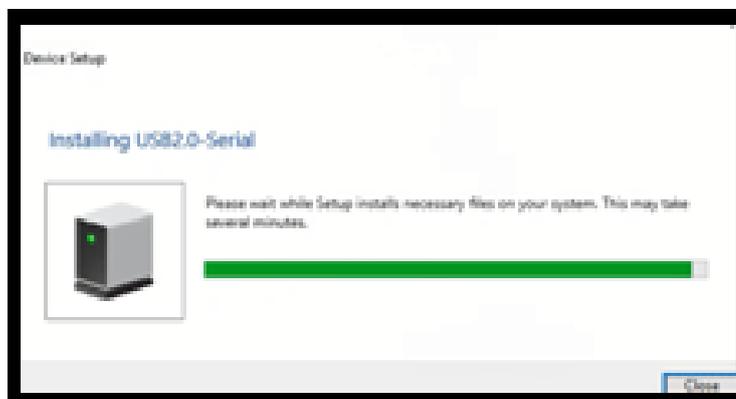
### 3.6 Tahapan Penelitian

1. Sebelum melakukan penelitian, terlebih dahulu mempersiapkan perlengkapan penelitian dan mengecek kondisi komponen mesin termasuk sambungan kabel-kabel seperti ECU ke laptop/PC.
2. Pengoperasian *software* FittecPB\_32Dmap-v6.00.05, *install driver* terlebih dahulu.
  - a. Hubungkan *modul* USB Serial CH340 ke USB komputer.
  - b. Pastikan settingan *region* dari OS komputer menggunakan *region* format *English (United States)* seperti pada Gambar 3.7.



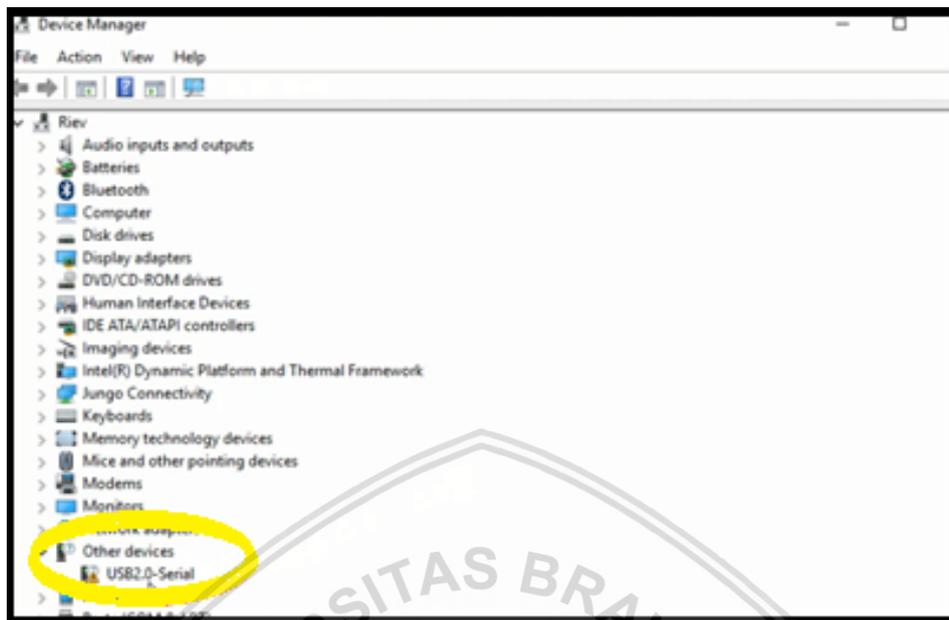
Gambar 3.7 Setting english (United States)

- c. Akan muncul *Installing USB2.0-serial* pada Gambar 3.8 setelah modul serial telah terhubung.



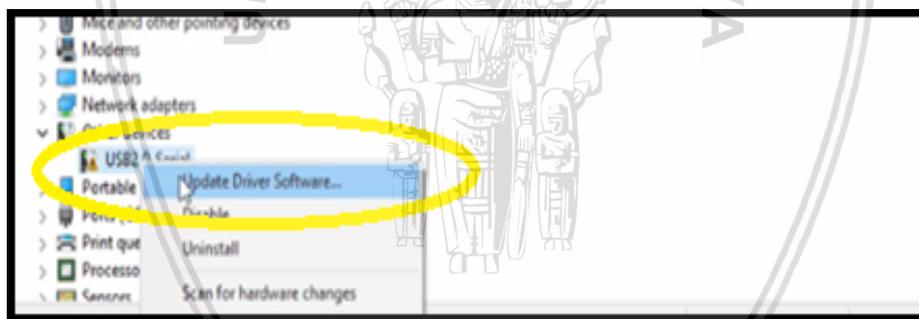
Gambar 3.8 Installing USB2.0-Serial

- d. Cek USB2.0-serial pada *device manager* pada Gambar 3.9, apabila terdapat tanda seru berarti *driver* belum terinstall sempurna.



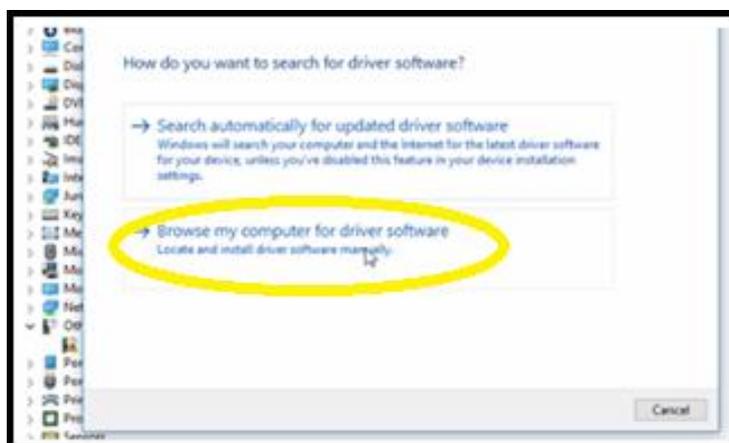
Gambar 3.9 Driver masih belum terinstall

- e. Pada USB2.0-serial pada Gambar 3.10, klik kanan dan pilih *update driver software*.



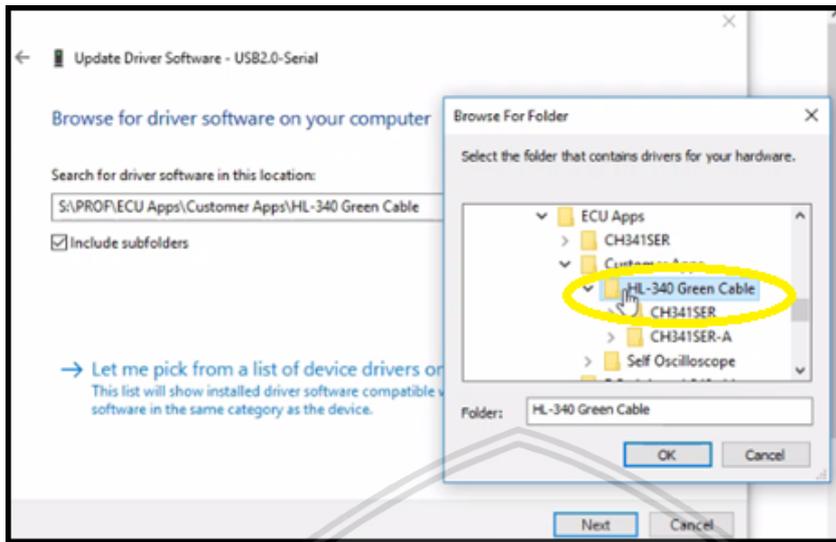
Gambar 3.10 Update driver software

- f. Pilih *Browse My Computer for Driver Software* pada Gambar 3.11.



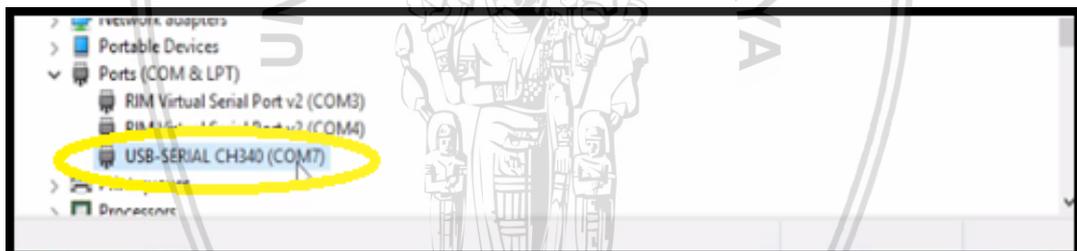
Gambar 3.11 Browse my computer for driver software

- g. Pilih folder “*HL-340 Green Cable*” pada Gambar 3.12 sebagai tempat *file driver* berada s.



Gambar 3.12 File driver pada folder *HL-340 Green Cable*

- h. Lalu klik ok, maka otomatis *driver* akan terinstall.  
 i. Setelah terinstall, *window device manager* akan *refresh* dan muncul *USB-Serial CH340 (COM7)* pada Gambar 3.13 telah terinstall.

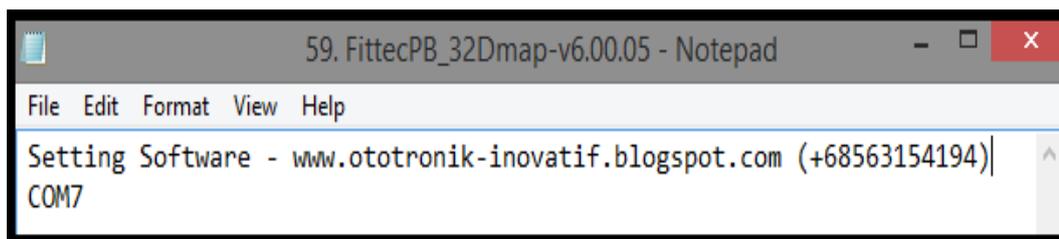


Gambar 3.13 *USB-Serial CH340 (COM7)* telah terinstall

- j. Buka *device manager* kemudian lihat nilai *COM port* modul *USBserial CH340*. Nilai *COM* dapat berubah-ubah sesuai *PortUSB* yang digunakan. Contoh nilai *COM* yang terbaca adalah *COM7*.  
 k. Selanjutnya buka *file* "*FittecPB\_32Dmap-v6.00.05*" tipe *SETT file* dengan menggunakan *Notepad* maka akan terlihat seperti Gambar 3.14 yang berisi seperti pada Gambar 3.15.

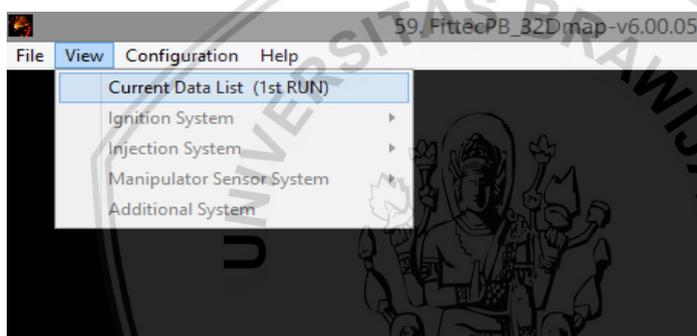
Name	Date modified	Type	Size
59. FittecPB_32Dmap-v6.00.05	18-Oct-16 16:45	Application	1,473 KB
59. FittecPB_32Dmap-v6.00.05	12-May-17 13:57	SETT File	1 KB

Gambar 3.14 File *FittecPB\_32Dmap-v6.00.05*



Gambar 3.15 FittecPB\_32Dmap-v6.00.05 tipe SETT file

- l. Nilai COM harus sesuai dengan nilai COM pada *device manager*. Modul *USBSerial CH340* tidak akan terbaca oleh *software* apabila *PortUSB* dihubungkan pada *port* yang lain.
- m. Setelah *setting* COM selesai, lalu klik *software* aplikasi *FittecPB\_32Dmap-v6.00.05.exe* pada Gambar 3.14.
- n. Setelah *window* *FittecPB\_32Dmap-v6.00.05* muncul, klik *view* pada menu bar dan pilih *Current Data List (1st Run)* pada Gambar 3.16.



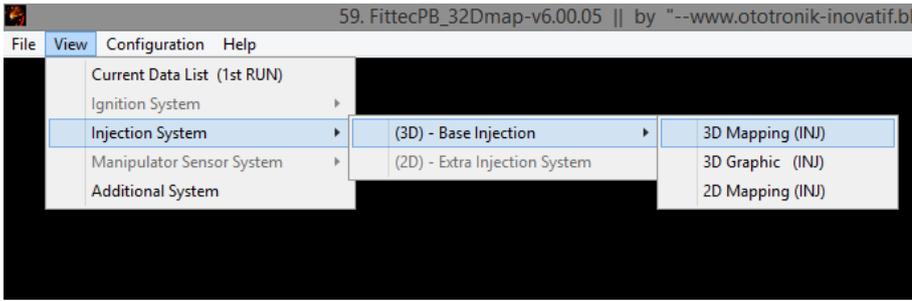
Gambar 3.16 Main menu FittecPB\_32Dmap-v6.00.05

- o. Setelah *window current data list* muncul, langkah awal yang harus dilakukan adalah klik *READ-ROM* pada Gambar 3.17 untuk membaca *software*.



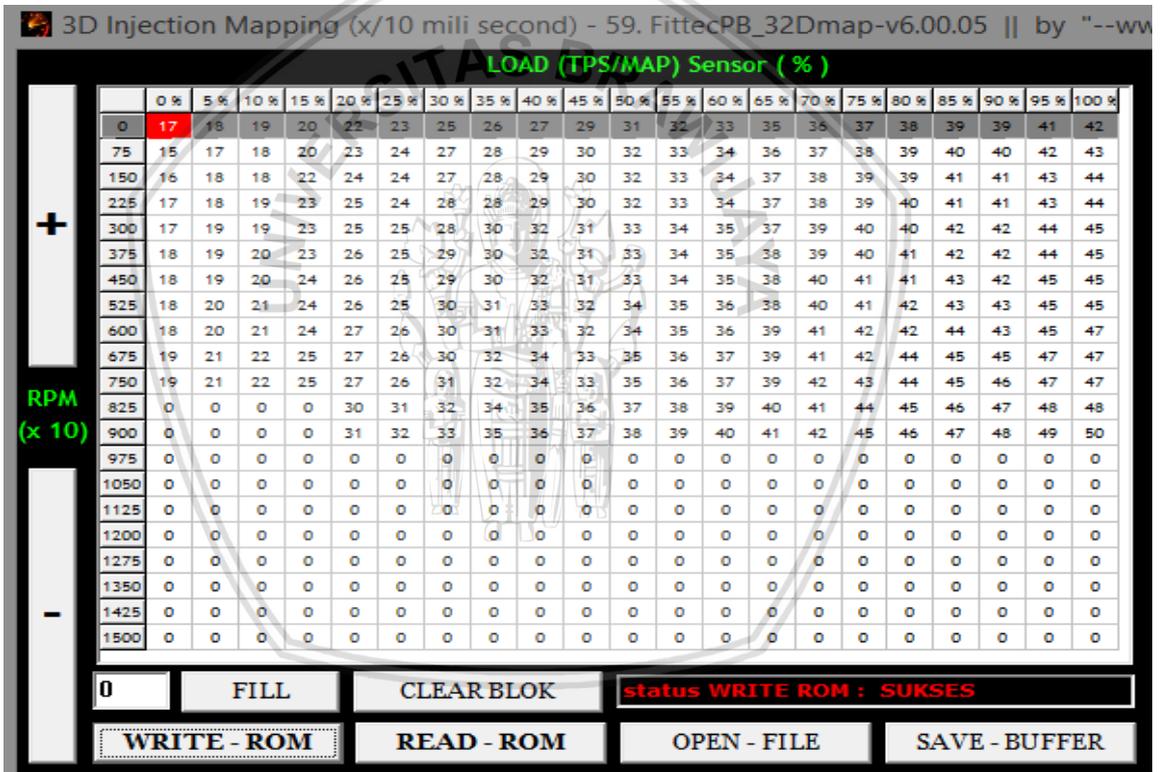
Gambar 3.17 READ-ROM berhasil “statusREAD : FINISH”

- p. Akan muncul tulisan “*statusREAD : Finish*” pada Gambar 3.17 apabila proses pembacaan selesai. Namun apabila ECU belum aktif atau belum tersambung ke laptop maupun ke aki maka akan muncul tulisan “*statusREAD: Not Finish*”.



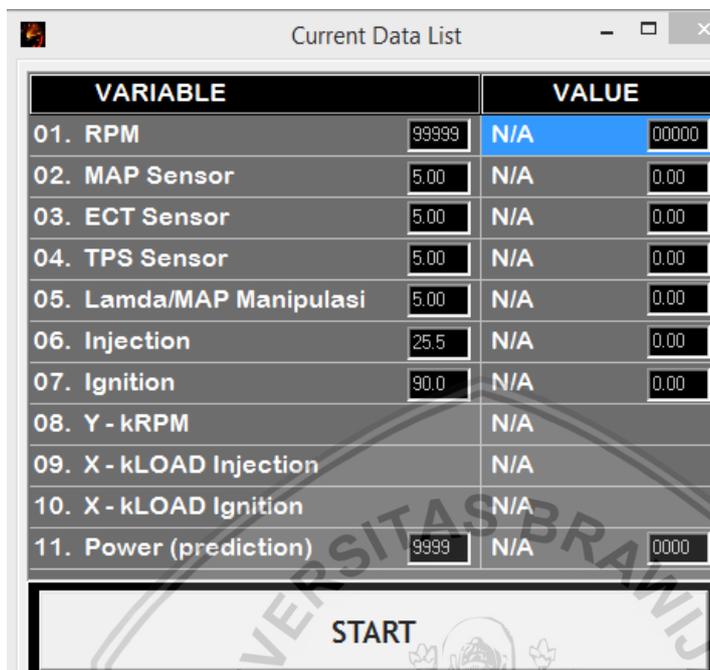
Gambar 3.18 Injection System

- q. Setelah proses *READ-ROM* berhasil, kembali ke menu bar *view* dan klik *injection system* lalu klik *3D-Base injection* dan pilih *3DMapping (INJ)* seperti pada Gambar 3.18, maka akan keluar *window 3D Injection Mapping* pada Gambar 3.19. Pada *window* ditunjukkan hubungan *RPM* dan *LOAD* (bukaan *throttle*) terhadap nilai *mapping*.



Gambar 3.19 Window 3D injection mapping

- r. Setelah *mapping* terisi dan proses *WRITE-ROM* berhasil seperti pada Gambar 3.19, maka langkah selanjutnya adalah mengklik *start* pada *current data list* untuk menjalankan *software* seperti pada Gambar 3.20.



VARIABLE	VALUE	
01. RPM	99999	N/A 00000
02. MAP Sensor	5.00	N/A 0.00
03. ECT Sensor	5.00	N/A 0.00
04. TPS Sensor	5.00	N/A 0.00
05. Lamda/MAP Manipulasi	5.00	N/A 0.00
06. Injection	25.5	N/A 0.00
07. Ignition	90.0	N/A 0.00
08. Y - kRPM		N/A
09. X - kLOAD Injection		N/A
10. X - kLOAD Ignition		N/A
11. Power (prediction)	9999	N/A 0000

**START**

Gambar 3.20 Tombol “Start” *current data list*

3. Prosedur pengambilan data
  - a. Masukkan bahan bakar *ethanol* 99%.
  - b. Mengatur nilai *air fuel ratio* sebesar 7 menggunakan *software* FittecPB\_32Dmap-v6.00.05 laptop sesuai variasi variabel bebas.
  - c. Hidupkan mesin dan biarkan mesin beroperasi beberapa saat pada kondisi *idle* untuk menstabilkan kondisi mesin.
  - d. Nyalakan *fan/blower* sebagai media pendingin mesin.
  - e. Memasukkan transmisi *gear* 2.
  - f. Kontrol bukaan *throttle* pada bukaan 45%.
  - g. Atur putaran sampai dengan rpm tertinggi yaitu 5400 RPM kemudian lakukan pengereman sesuai interval 300 RPM sampai dengan putaran 3600 RPM, tunggu kondisi pada variasi putaran rpm stabil kemudian lakukan pengambilan data.
  - h. Pengambilan data meliputi:
    - 1) Besarnya gaya pengereman yang terlihat pada *dynamometer*
    - 2) Kecepatan udara masuk ruang bakar menggunakan anemometer
    - 3) Debit bahan bakar *ethanol* yang mengalir
  - i. Setelah pengambilan data *air fuel ratio* sebesar 7 selesai, mematikan alat uji dan ulangi langkah c-h secara berurutan dengan selanjutnya menggunakan variasi *air*

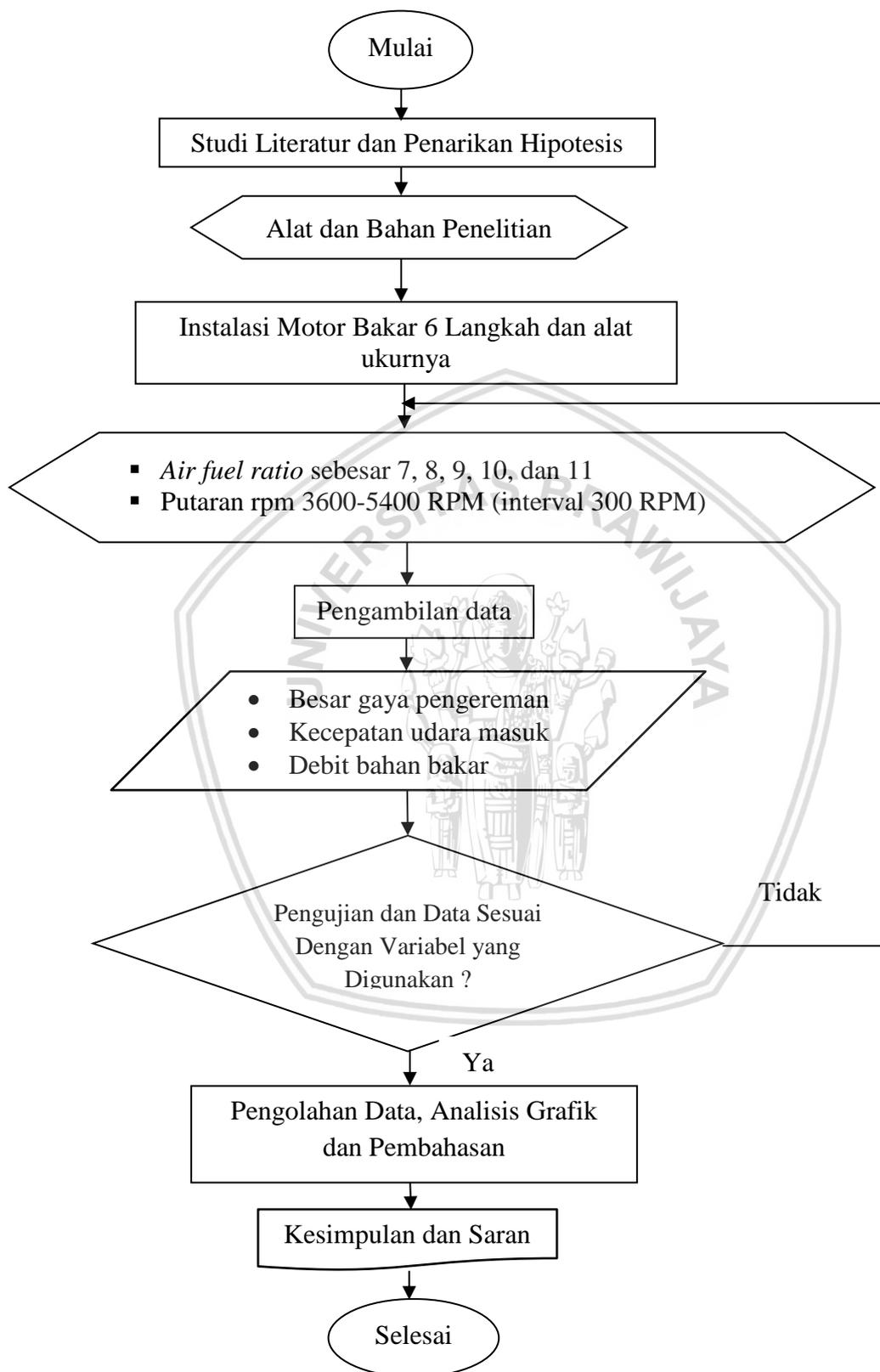
*fuel ratio* sebesar 8, 9, 10 kemudian 11 menggunakan *software* FittecPB\_32Dmap-v6.00.05 laptop sesuai variasi variabel bebas.

- j. Setelah pengambilan data selesai, kembalikan mesin ke transmisi *gear* netral kemudian mematikan alat uji.



### 3.7 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.21 merupakan diagram alir penelitian.



Gambar 3.21 Diagram alir penelitian



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Data

#### 4.1.1 Data Hasil Pengujian

Pengambilan data kinerja mesin otto 6 langkah berbahan bakar *Ethanol 99%* dilakukan dengan memvariasikan AFR dengan mengatur nilai *injector duration* (lamanya penyemprotan) bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Pada pengujian, pengambilan data dilakukan pada setiap putaran *crankshaft* dari 3600 rpm hingga 5400 rpm dengan dengan *interval* 300 rpm. pada Tabel 4.1 menjelaskan data gaya pengereman pada setiap Variasi AFR dan putaran dan pada Tabel 4.2 menjelaskan data debit ethanol 99% pada setiap variasi AFR dan Putaran. Data hasil pengujian adalah:

Jenis Pengujian : Pengujian Kinerja Mesin Otto 6 Langkah  
 Temperatur Ruang : 27°C  
 Tekanan Udara Atmosfer : 1 atm  
 $\rho$  Ethanol : 776 kg/m<sup>3</sup>  
 $\rho$  Udara : 1.2 kg/m<sup>3</sup>

Tabel 4.1  
Data Gaya Pengereman pada Setiap Variasi AFR dan Putaran

ncrankshaft (rpm)	ndinamometer (rpm)	F Dinamometer (kg)				
		AFR 7	AFR 8	AFR 9	AFR 10	AFR 11
3600	192.967	27.5	26.5	25.5	24	22
3900	209.048	28.5	28	27	25.5	24
4200	225.129	30	29	28.5	27	24.5
4500	241.209	28	27	26.5	24	22.5
4800	257.29	25.5	24	23	22	20
5100	273.37	22.5	21.5	21	20.5	16
5400	289.451	20	18	17.5	16.5	14

Tabel 4.2  
Data Debit *Ethanol 99%* pada Setiap Variasi AFR dan Putaran

ncrankshaft (rpm)	ndinamometer (rpm)	Q Bahan Bakar (liter/menit)				
		AFR 7	AFR 8	AFR 9	AFR 10	AFR 11
3600	192.967	0.016	0.014	0.013	0.012	0.011
3900	209.048	0.017	0.015	0.013	0.012	0.012
4200	225.129	0.019	0.016	0.014	0.013	0.012
4500	241.209	0.020	0.017	0.015	0.013	0.013
4800	257.29	0.021	0.017	0.016	0.015	0.014
5100	273.37	0.022	0.019	0.016	0.014	0.015
5400	289.451	0.024	0.021	0.020	0.019	0.016



#### 4.1.2 Pengolahan Data

Berikut adalah contoh perhitungan kinerja motor bakar 6 langkah pada putaran *crankshaft* 4200 rpm dengan AFR 9.

##### 1. Data:

<i>Air fuel ratio</i> (AFR)	: 9
Putaran <i>crankshaft</i> ( $n_{crank}$ )	: 4200 rpm
Putaran dinamometer ( $n_d$ )	: 225.129 rpm
<i>Rasio gearbox</i>	: 18.656
Gaya pengereman dinamometer ( $F_d$ )	: 28.5 kg
Besarnya beban <i>caliper</i> rem ( $f$ )	: 6 kg
Panjang lengan dinamometer ( $L$ )	: 0.25 m
Panjang lengan <i>mounting caliper</i> ( $l$ )	: 0,22 m
Nilai Kalor Bawah <i>Ethanol</i> (LHV) ( $Q_b$ )	: $6328.77 \text{ kkal} \times \text{kg}^{-1}$
<i>Densitas Ethanol</i> ( $\rho_{ethanol}$ )	: $776 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$

##### a. Torsi *crankshaft* ( $T_{crankshaft}$ )

$$\begin{aligned} T_{\text{dinamometer}} &= (F_d \times L) + (f \times l) \\ &= (28.5 \text{ kg} \times 0.25 \text{ m}) + (6 \text{ kg} \times 0.22 \text{ m}) \\ &= 8.445 \text{ kg} \times \text{m} \end{aligned}$$

$$T_{\text{crankshaft}} \times n_{\text{crank}} = T_{\text{dinamometer}} \times n_d$$

$$\begin{aligned} T_{\text{crankshaft}} &= \frac{T_{\text{dinamometer}} \times n_d}{n_{\text{crank}}} \\ &= \frac{8.445 \text{ kgm} \times 225.129 \text{ rpm}}{4200 \text{ rpm}} \\ &= 0.453 \text{ kg} \times \text{m} \end{aligned}$$

##### b. Daya Termal Efektif ( $Ne$ )

$$Ne = \frac{T \times n}{716.2}$$

$$Ne = \frac{0.453 \times 4200}{716.2} = 2.655 \text{ Ps}$$

##### c. *Fuel Consumption* (FC)

$$FC = \frac{Q_{\text{Ethanol}} \times \rho_{\text{Ethanol}} \times 60}{1000}$$

$$FC = \frac{0.014 \times 776 \times 60}{1000} = 0.665 \text{ kg} \times \text{jam}^{-1}$$

d. *Specific Fuel Consumption Effective* (SFCe)

$$\text{SFCe} = \frac{\text{FC}}{\text{Ne}}$$

$$\text{SFCe} = \frac{0.665}{2.655} = 0.251 \text{ kg} \times \text{Ps}^{-1} \times \text{jam}^{-1}$$

e. Efisiensi Termal Efektif ( $\eta_e$ )

$$\eta_e = \frac{632 \times \text{Ne}}{\text{FC} \times \text{Qb}} \times 100\% = \frac{632}{\frac{\text{FC}}{\text{Ne}} \times \text{Qb}} \times 100\% = \frac{632}{\text{SFCe} \times \text{Qb}} \times 100\%$$

$$\eta_e = \frac{632}{0.251 \times 6328.77} \times 100\% = 39.855 \%$$

#### 4.1.3 Hasil Pengolahan Data

Berikut adalah hasil pengolahan data pengujian kinerja mesin otto 6 langkah berbahan bakar *Ethanol* dengan variasi *air fuel ratio*. Pada Tabel 4.3 menjelaskan data torsi pada setiap variasi AFR dan putaran. Pada Tabel 4.4 menjelaskan hasil pengolahan data daya termal efektif. Pada Tabel 4.5 menjelaskan hasil pengolahan data *fuel consumption*. Pada Tabel 4.6 menjelaskan hasil pengolahan data SFCe. Pada Tabel 4.7 menjelaskan hasil pengolahan data efisiensi termal efektif.

Tabel 4.3  
Data Torsi pada Setiap Variasi AFR dan Putaran

ncrankshaft (rpm)	ndinamometer (rpm)	Tcrankshaft (kg.m)				
		AFR 7	AFR 8	AFR 9	AFR 10	AFR 11
3600	192.967	0.439	0.426	0.412	0.392	0.366
3900	209.048	0.453	0.446	0.433	0.412	0.392
4200	225.129	0.473	0.459	0.453	0.433	0.399
4500	241.209	0.446	0.433	0.426	0.392	0.372
4800	257.29	0.412	0.392	0.379	0.366	0.339
5100	273.37	0.372	0.359	0.352	0.345	0.285
5400	289.451	0.339	0.312	0.305	0.292	0.258

Tabel 4.4  
Hasil Pengolahan Data Daya Termal Efektif

ncrankshaft (rpm)	ndinamometer (rpm)	Ne (Ps)				
		AFR 7	AFR 8	AFR 9	AFR 10	AFR 11
3600	192.967	2.208	2.141	2.073	1.972	1.838
3900	209.048	2.465	2.428	2.356	2.246	2.137
4200	225.129	2.772	2.694	2.655	2.537	2.340
4500	241.209	2.802	2.718	2.676	2.465	2.339
4800	257.29	2.764	2.630	2.540	2.450	2.270
5100	273.37	2.651	2.555	2.508	2.460	2.031
5400	289.451	2.554	2.352	2.302	2.201	1.948

Tabel 4.5  
Hasil Pengolahan Data *Fuel Consumption*

ncrankshaft (rpm)	ndinamometer (rpm)	FC (kg/jam)				
		AFR 7	AFR 8	AFR 9	AFR 10	AFR 11
3600	192.967	0.735	0.650	0.582	0.537	0.508
3900	209.048	0.798	0.681	0.621	0.559	0.537
4200	225.129	0.873	0.735	0.665	0.582	0.559
4500	241.209	0.931	0.776	0.698	0.607	0.582
4800	257.29	0.963	0.776	0.735	0.681	0.635
5100	273.37	1.035	0.873	0.755	0.665	0.698
5400	289.451	1.117	0.963	0.931	0.873	0.735

Tabel 4.6  
Hasil Pengolahan Data SFCe

ncrankshaft (rpm)	ndinamometer (rpm)	SFCe (kg/Ps.jam)				
		AFR 7	AFR 8	AFR 9	AFR 10	AFR 11
3600	192.967	0.333	0.303	0.281	0.272	0.276
3900	209.048	0.324	0.281	0.264	0.249	0.251
4200	225.129	0.315	0.273	0.251	0.229	0.239
4500	241.209	0.332	0.286	0.261	0.246	0.249
4800	257.29	0.348	0.295	0.289	0.278	0.280
5100	273.37	0.390	0.342	0.301	0.270	0.344
5400	289.451	0.437	0.410	0.405	0.397	0.377

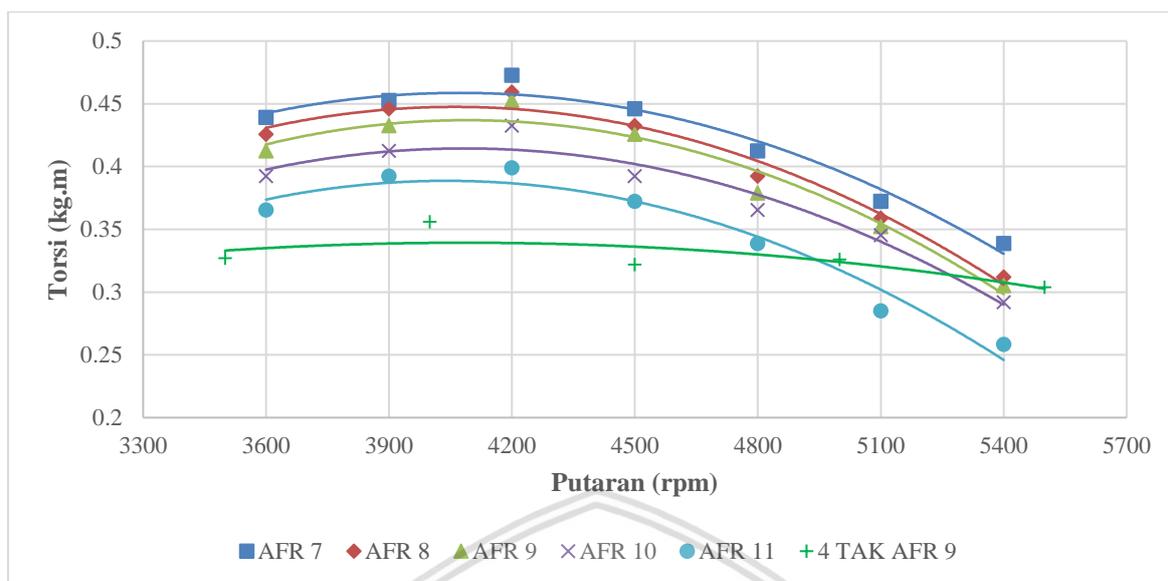
Tabel 4.7  
Hasil Pengolahan Data Efisiensi Termal Efektif

ncrankshaft (rpm)	ndinamometer (rpm)	$\eta_e(\%)$				
		AFR 7	AFR 8	AFR 9	AFR 10	AFR 11
3600	192.967	29.993	32.904	35.574	36.660	36.127
3900	209.048	30.840	35.592	37.891	40.144	39.715
4200	225.129	31.714	36.593	39.855	43.526	41.828
4500	241.209	30.050	34.976	38.260	40.538	40.133
4800	257.29	28.657	33.840	34.500	35.908	35.710
5100	273.37	25.585	29.232	33.168	36.934	29.035
5400	289.451	22.826	24.383	24.683	25.172	26.461

## 4.2 Pembahasan Grafik

Dari hasil perhitungan data pengujian pada putaran 3600 rpm sampai 5400 rpm dengan interval 300 rpm tiap pengambilan data, didapatkan parameter-parameter yang berhubungan dengan variasi putaran tersebut. Selanjutnya data hasil perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga mempermudah proses analisis data hasil perhitungan. Analisis grafik hubungan antara putaran dengan kinerja mesin *otto* 6 langkah sistem injeksi berbahan bakar *Ethanol* pada penelitian kali ini adalah torsi, daya termal efektif, *specific fuel consumption effective* (SFCe) dan efisiensi termal efektif.

#### 4.2.1 Pembahasan Grafik Hubungan Putaran terhadap Torsi



Gambar 4.1 Grafik hubungan putaran terhadap torsi dengan variasi AFR

Pada Gambar 4.1 menunjukkan hubungan putaran terhadap torsi, dari grafik dapat dilihat bahwa nilai putaran sangat mempengaruhi besar nilai dari torsi. Terlihat bahwa pada putaran rendah torsi cenderung naik kemudian seiring bertambahnya putaran torsi kemudian turun. Peningkatan pada awal torsi hingga titik maksimum yaitu 4200 rpm ini dikarenakan pada putaran awal diperlukan gaya yang cukup besar untuk menciptakan inersia pada poros sehingga torsi mengalami kenaikan. Setelah mencapai titik maksimum besarnya torsi mengalami penurunan karena adanya gaya inersia yang disebabkan oleh kelembaman yang terjadi pada piston dan juga karena terjadi gesekan antara piston dan ruang bakar yang semakin tinggi mengikuti naiknya putaran mesin, sehingga gaya semakin kecil.

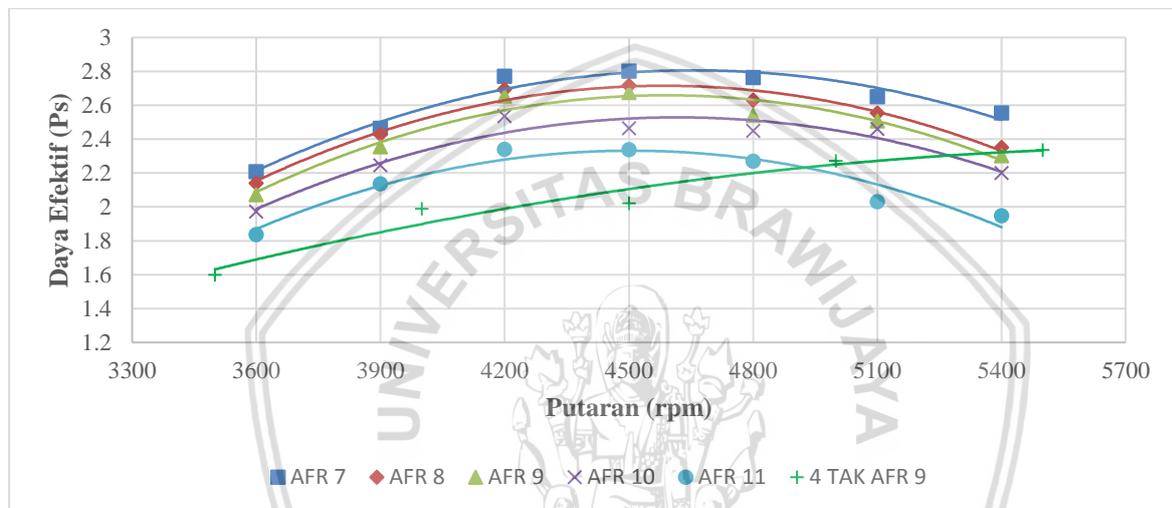
Torsi tertinggi pada tiap variasi AFR memiliki nilai yang berbeda-beda. Pada bahan bakar ethanol dengan AFR 7 nilai torsi tertinggi adalah 0.473 kgm pada putaran 4200 rpm. Pada AFR 8 nilai torsi tertinggi adalah 0.459 kgm pada putaran 4200 rpm. Pada AFR 9 nilai torsi tertinggi adalah 0.453 kgm pada putaran 4200 rpm. Pada AFR 10 nilai torsi tertinggi adalah 0.433 kgm pada putaran 4200 rpm. Pada AFR 11 nilai torsi tertinggi adalah 0.399 kgm pada putaran 4200 rpm.

Dari grafik didapatkan nilai torsi tertinggi menggunakan bahan bakar ethanol didapatkan pada AFR 7 sebesar 0.473 kgm. Hal ini dikarenakan besarnya putaran dapat mempengaruhi proses pembakaran, semakin cepat putaran mesin maka proses pembakaran yang berlangsung akan semakin cepat juga. Hal ini akan mempengaruhi banyaknya bahan bakar yang mampu mengikat udara dalam proses pembakaran, dengan campuran yang

semakin kaya bahan bakar maka bahan bakar akan semakin mudah untuk bercampur dengan udara sehingga panas hasil pembakaran yang didapatkan akan lebih besar.

Menggunakan bahan bakar ethanol dengan variasi AFR 7 dengan motor bakar otto 6 langkah mengalami kenaikan nilai torsi dibandingkan dengan menggunakan AFR 9 motor bakar otto 4 langkah pada putaran 4200 rpm atau pada torsi maksimumnya. Hal ini dikarenakan terdapat 2 kali pembakaran dalam 1 siklus serta luasnya paparan termal yang berlangsung pada motor 6 langkah sehingga torsi yang dihasilkan bisa maksimal.

#### 4.2.2 Pembahasan Grafik Hubungan Putaran terhadap Daya Termal Efektif



Gambar 4.2 Grafik hubungan putaran terhadap daya termal efektif dengan variasi AFR

Pada Gambar 4.2 menunjukkan bagaimana hubungan antara nilai putaran terhadap nilai daya termal efektif, dari grafik terlihat bahwa nilai putaran memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai daya termal efektif. Ketika nilai putaran naik maka nilai daya termal efektif juga akan meningkat. Nilai daya termal efektif juga dipengaruhi oleh nilai torsi. Hal ini sesuai dengan rumus (2-6) (Petrovsky, 1968:99).

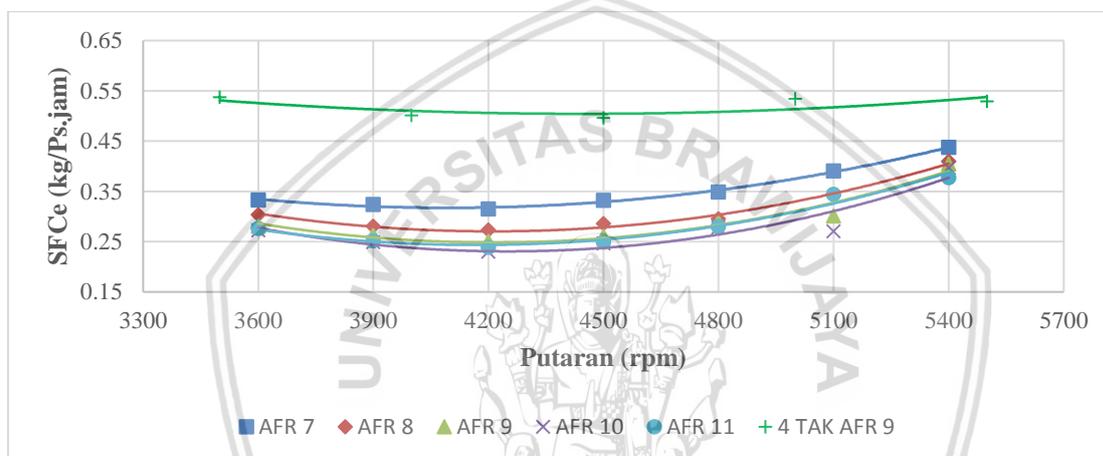
Daya termal efektif tertinggi pada tiap variasi AFR memiliki nilai yang berbeda-beda namun pada nilai putaran yang sama yaitu pada putaran 4500 rpm. Pada bahan bakar ethanol dengan AFR 7 nilai daya termal efektif tertinggi adalah 2.802 Ps. Pada AFR 8 nilai daya termal efektif tertinggi adalah 2.718 Ps. Pada AFR 9 nilai daya termal efektif tertinggi adalah 2.676 Ps. Pada AFR 10 nilai daya termal efektif tertinggi adalah 2.537 Ps pada putaran 4200 rpm. Pada AFR 11 nilai daya termal efektif tertinggi adalah 2.340 Ps pada putaran 4200 rpm.

Dari semua variasi AFR nilai daya termal efektif tertinggi didapatkan pada AFR 7. Hal ini disebabkan karena ketika AFR 7 campuran bahan bakar pada campuran kaya jika dibandingkan dengan variasi AFR yang lain. Dengan putaran yang semakin tinggi

mengakibatkan gerakan buka tutup katup isap pada langkah isap juga semakin cepat sehingga diperlukan campuran yang lebih kaya bahan bakar untuk menghasilkan energi panas hasil pembakaran yang lebih besar.

Pada Gambar 4.2 terlihat bahwa nilai daya termal efektif tertinggi yang dihasilkan motor bakar 6 langkah berbahan bakar ethanol dibandingkan dengan motor bakar otto 4 langkah berbahan bakar ethanol dengan variasi AFR 7 pada putaran 4500 rpm. Hal ini dikarenakan terdapat 2 kali pembakaran dalam 1 siklus serta luasnya paparan termal yang berlangsung pada motor 6 langkah sehingga daya termal efektif yang dihasilkan bisa maksimal.

#### 4.2.3 Pembahasan Grafik Hubungan Putaran terhadap SFCE



Gambar 4.3 Grafik hubungan putaran terhadap SFCE dengan variasi AFR

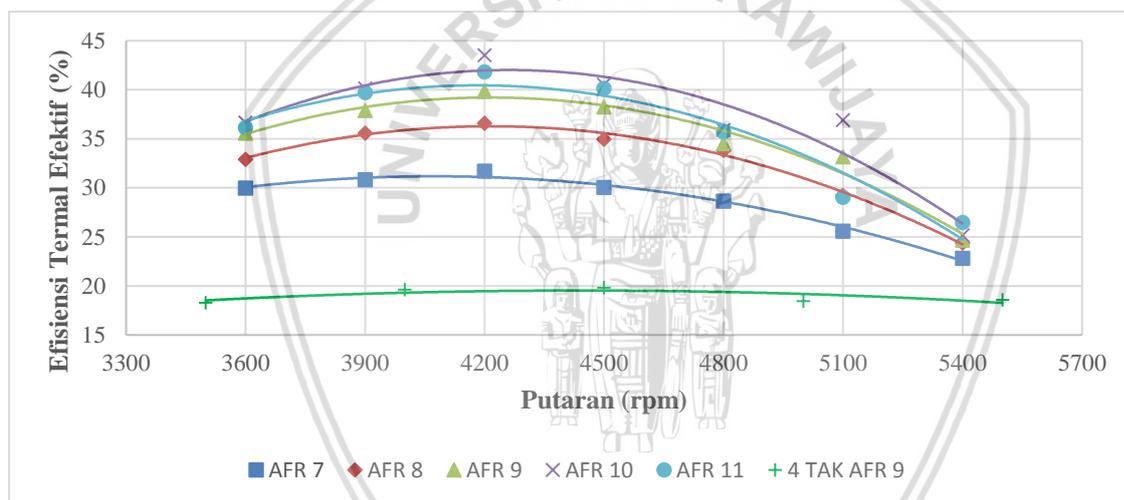
Pada Gambar 4.3 terlihat bahwa seiring bertambahnya putaran maka nilai SFCE akan semakin turun tetapi pada rpm nilai tertentu SFCE cenderung naik. Nilai SFCE yang tinggi pada saat awal putaran disebabkan karena adanya kerugian panas yang hilang menuju ke dinding silinder dan efisiensi pembakaran yang buruk yang menghasilkan besarnya konsumsi bahan bakar yang tidak sebanding dengan daya termal efektif yang dihasilkan. Sedangkan nilai SFCE yang tinggi pada saat putaran tinggi disebabkan oleh semakin banyaknya kerugian mekanis yang terjadi akibat dari semakin cepatnya putaran yang mengakibatkan semakin kecilnya daya yang dihasilkan meskipun dengan konsumsi bahan bakar yang sama yang mengakibatkan meningkatnya nilai SFCE.

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat pada variasi AFR 7, AFR 8, AFR 9, AFR 10, dan AFR 11, nilai SFCE minimumnya adalah 0.315, 0.273, 0.251, 0.229 dan 0.238 kg/Ps·Jam. Nilai SFCE paling rendah didapat ketika variasi AFR 10 sebesar 0.229 kg/Ps·Jam. Hal ini dikarenakan pada AFR 10 nilai *fuel consumption* yang dibutuhkan adalah yang rendah dan daya efektif yang dihasilkan masih bernilai besar. Dengan perubahan nilai daya termal

efektif dan perubahan nilai FC yang lebih besar pada setiap variasi AFR, sehingga semakin rendah nilai FC maka akan didapatkan nilai SFCE yang semakin rendah juga.

Sedangkan apabila dibandingkan antara nilai SFCE minimum menggunakan motor bakar otto 4 langkah berbahan bakar *ethanol* dan menggunakan motor bakar otto 6 langkah berbahan bakar *ethanol*, didapatkan nilai SFCE motor bakar otto 6 langkah berbahan bakar *ethanol* pada AFR 9 lebih rendah. Hal ini dikarenakan nilai FC saat menggunakan motor bakar otto 4 langkah jauh lebih besar dibandingkan nilai FC untuk penggunaan motor bakar otto 6 langkah. Untuk nilai FC sendiri dipengaruhi oleh bedanya siklus antara motor bakar 4 langkah dengan 6 langkah yaitu semakin banyak langkah maka nilai FC semakin kecil, dan terdapat perbedaan pada 6 langkah yang memiliki langkah ekspansi 2 sebagai power tambahan yang membuat nilai daya efektifnya menjadi besar.

#### 4.2.4 Pembahasan Grafik Hubungan Putaran terhadap Efisiensi Termal Efektif



Gambar 4.4 Grafik hubungan putaran terhadap efisiensi termal efektif dengan variasi AFR

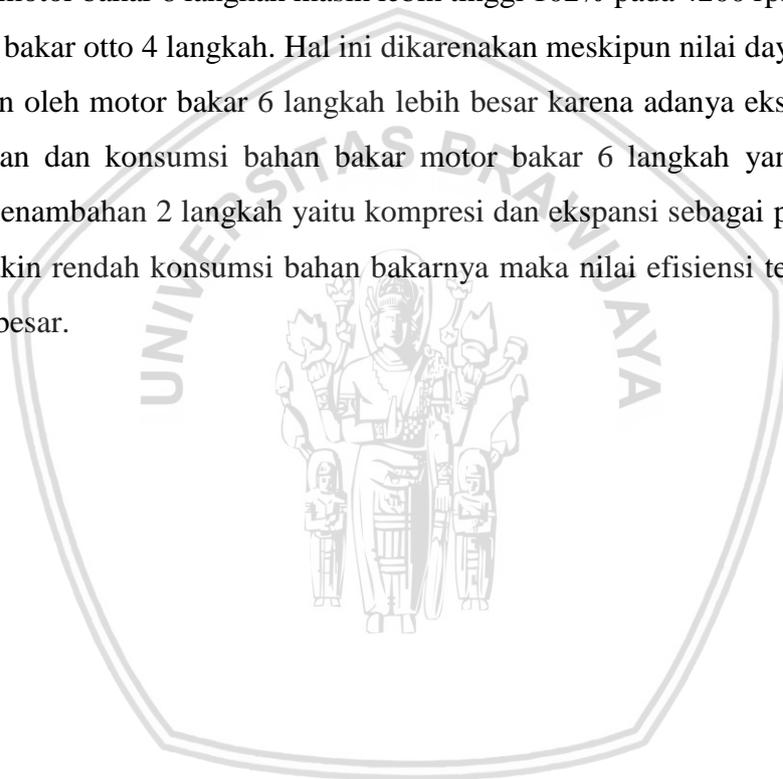
Pada Gambar 4.4 dapat kita lihat hubungan antara putaran terhadap efisiensi termal efektif pada tiap variasi AFR adalah ketika pada putaran yang rendah efisiensi termal efektif cenderung meningkat tetapi semakin bertambahnya putaran, nilai dari efisiensi termal ini cenderung menurun. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi termal efektif sendiri dipengaruhi oleh nilai daya termal efektif, konsumsi bahan bakar, dan nilai kalor bahan bakar (LHV).

Ketika nilai konsumsi bahan bakar dan nilai kalor bahan bakar (LHV) tetap maka nilai daya termal efektif sangat berpengaruh pada nilai efisiensi termal efektif. Ketika semakin besar daya termal efektif maka nilai efisiensi termal efektif juga meningkat. Oleh karena itu pada nilai putaran rendah yang memiliki daya termal efektif cenderung naik maka nilai efisiensi termal efektif juga naik dan pada nilai putaran tinggi yang daya termal efektifnya cenderung turun nilai efisiensi termal efektifnya juga cenderung turun. Persamaan di atas

juga memperlihatkan bahwa nilai efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai SFCe dan besar atau kecilnya efisiensi termal tergantung pada nilai SFCe.

Pada variasi AFR 7, AFR 8, AFR 9, AFR 10, dan AFR 11, nilai efisiensi termal efektif maksimalnya adalah 31.714%, 36.593%, 39.855%, 43.526% dan 41.828%. Efisiensi termal tertinggi didapatkan ketika variasi AFR 10 yaitu sebesar 43.526% pada putaran 4200 rpm. Hal ini dikarenakan ketika menggunakan AFR 10 konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan jauh rendah jika dibandingkan variasi AFR 7, 8, dan 9 pada daya termal efektif yang dihasilkan lebih besar dari pada variasi AFR 11.

Pada Gambar 4.4 dapat kita lihat bahwa nilai efisiensi termal efektif tertinggi dengan menggunakan motor bakar 6 langkah masih lebih tinggi 102% pada 4200 rpm dibandingkan dengan motor bakar otto 4 langkah. Hal ini dikarenakan meskipun nilai daya termal efektif yang dihasilkan oleh motor bakar 6 langkah lebih besar karena adanya ekspansi 2 sebagai *power* tambahan dan konsumsi bahan bakar motor bakar 6 langkah yang lebih rendah dikarenakan penambahan 2 langkah yaitu kompresi dan ekspansi sebagai *power* tambahan sehingga semakin rendah konsumsi bahan bakarnya maka nilai efisiensi termal efektifnya akan semakin besar.





## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan dan analisis data, maka kesimpulan yang didapat adalah:

1. Perubahan *air fuel ratio* pada mesin otto 6 langkah berbahan bakar *ethanol* dapat mempengaruhi kinerja mesin. Kinerja terbaik berupa torsi dan daya efektif pada variasi AFR 7 sedangkan untuk kinerja terbaik berupa SFCE dan efisiensi termal efektif didapatkan pada variasi AFR 10.
2. Dengan menggunakan motor bakar 6 langkah, terjadi kenaikan nilai torsi, daya efektif, dan efisiensi termal yang dihasilkan dibandingkan dengan motor bakar 4 langkah.
3. Efisiensi termal efektif tertinggi terdapat pada variasi AFR 10 sebesar 43.526% pada putaran 4200 rpm.

### 5.2 Saran

1. Perlu dilakukan perawatan komponen mesin yang terjadwal untuk mengoptimalkan keunggulan dari motor bakar otto 6 langkah.
2. Diharapkan dilakukan penelitian lebih lanjut tentang kompresi rasio motor bakar otto 6 langkah untuk menghasilkan kinerja yang lebih maksimal dengan bahan bakar *ethanol* murni.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arends, B. P. M., & H. Berenschot. 1994. *Benzinmotoren*. Terjemahan Umar Sukrisno. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Arismunandar, Wiranto. 1983. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Bandung: Penerbit ITB.
- Arismunandar, W. 2002. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak Cetakan Kedua*. Bandung: ITB.
- Azmy, W. 2017. *Pengaruh Air Fuel Ratio Terhadap Kinerja Mesin Otto 4 Langkah Sitem Injeksi Berbahan Bakar CNG*. Malang: UB.
- Buntarto. 2015. *Dasar-dasar Sistem Kontrol Pada Kendaraan*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press.
- Cengel, Yunus A., & Michael A. Boles. 2004. *Thermodynamics an Engineer Approach*. 5th. Boston: McGraw-Hill.
- Demirbas, Ayhan. 2005. Bioethanol from Cellulosic Materials: A Renewable Motor Fuel from Biomass. *Energy Sources*. 27: 327-337.
- Kristanto, Philip. 2015. *Motor Bakar Torak (Teori dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Mardalis. 2006. *Metode Penelitian (Suatu Pendekatan Proposal)*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Martyr, A. J. and Plint, M. A. 2007. *Engine Testing Theory And Practice Third Edition*. Linacre House: Oxford.
- Petrovsky, H. 1968. *Marine Internal Combustion Engine*. Moskow: MIR Publisher.
- Pulkrabek, Williard W. 1997. *Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine*. Prentice Hall: New Jersey.
- Satibi, Loekman., Irfan Purnawan & Lisa Nazifah. 2013. *Mesin Penggerak Utama (Prime Mover)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Siswanto, Eko. 2016. *Metode Operasi Motor Pembakaran Dalam Siklus Enam Langkah*. IDP000040589.
- Siswanto, Eko., D. Widhiyanuriyawan., A. S. Widodo., N. Hamidi, D. B. Darmadi & Sudjito. 2016. On The Performance of Six-Stroke Single-Power Combustion Engine. *Journal of Heat and Mass Transfer*. 14: 201-218.
- Turns, Stephen R. 2000. *An Introduction to Combustion. Concepts and Applications*, 2<sup>nd</sup> edition. McGrawhill. USA.
- Wardana, I. N. G. 2008. *Bahan Bakar & Teknologi Pembakaran*. Malang: PT. Danar Wijaya-Brawijaya University Press.
- Wibowo, A. 2012. *Studi Eksperimental Pengaruh Campuran Ethanol Premium dan Air Fuel Ratio Terhadap Unjuk Kerja Mesin Bensin 4 Langkah 4 Silinder*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Yamin, I. 2013. *Analisa Pengaruh Pengaturan Volume BioEthanol Sebagai Campuran Bahan Bakar Melalui Main Jet Secara Independent Terhadap Emisi Pada Mesin Otto*. Depok: Universitas Indonesia.

Yoncha, Chairman. 2017. *Pengaruh Air Fuel Ratio Terhadap Performa Motor Bakar 4 Langkah Berbahan Bakar Etanol*. Skripsi. Tidak Dipublikasikan. Depok. Universitas Indonesia.

