

**PENGARUH AIR FUEL RATIO TERHADAP PERFORMA MOTOR  
BAKAR 4 LANGKAH BERBAHAN BAKAR ETANOL**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KOVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**CHAIRMAN PRAMA YONCHA**

**NIM. 135060200111055**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2017**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>SUMMARY</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Pengertian Mesin Otto .....	5
2.2.1 Mesin Otto 4 Langkah .....	6
2.2.2 Siklus Termodinamika Mesin Otto .....	7
2.2.3 Proses Pembakaran .....	9
2.3 Bahan Bakar .....	11
2.4 Etanol .....	11
2.5 Sistem Injeksi .....	12
2.6 <i>Air-Fuel Ratio</i> (AFR) .....	13
2.7 Rasio Ekuivalen ( <i>Equivalent Ratio</i> , $\Phi$ ) .....	16
2.8 Karakteristik Mesin Otto .....	17
2.8.1 Torsi .....	17
2.8.2 Daya Termal Efektif .....	17
2.8.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCe) .....	17
2.8.4 Efisiensi Termal Efektif ( $\eta_c$ ) .....	18
2.9 Gaya Pengereman .....	18



2.10 Hipotesis..... 18

**BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Metode Penelitian ..... 19

3.2 Variabel Penelitian ..... 19

3.3 Skema Instalasi Penelitian ..... 20

3.4 Alat-alat Penelitian ..... 21

3.5 Mengubah AFR Melalui ECU *Programmable* ..... 24

3.6 Metode Pengambilan Data ..... 25

3.7 Diagram Alir Penentuan *Basemap* Etanol ..... 27

3.8 Diagram Alir Penelitian ..... 28

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Analisis Data ..... 29

4.1.1 Data Hasil Pengujian ..... 29

4.1.2 Pengolahan Data ..... 32

4.1.3 Hasil Pengolahan Data ..... 33

4.2 Pembahasan Grafik..... 35

4.2.1 Hubungan Putaran terhadap Torsi ..... 36

4.2.2 Hubungan Putaran terhadap Daya Efektif..... 38

4.2.3 Hubungan Putaran terhadap SFCE ..... 40

4.2.4 Hubungan Putaran terhadap Efisiensi Termal Efektif..... 42

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan..... 45

5.2 Saran ..... 45

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



## LEMBAR PENGESAHAN

# PENGARUH *AIR FUEL RATIO* TERHADAP PERFORMA MOTOR BAKAR 4 LANGKAH BEEBAHAN BAKAR ETANOL

## SKRIPSI

### TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**CHAIRMAN PRAMA YONCHA**

**NIM. 135060200111055**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 10 Agustus 2017

Dosen Pembimbing I

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

Dosen Pembimbing II

Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng.  
NIP. 19831023 201504 2 002



Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT.  
NIP. 19750802 199903 2 002



**JUDUL SKRIPSI:**

Pengaruh *Air Fuel Ratio* terhadap Performa Motor Bakar 4 Langkah Berbahan Bakar Etanol.

Nama Mahasiswa : Chairman Prama Yoncha

NIM : 135060200111055

Program Studi : Teknik Mesin

Minat : Teknik Konversi Energi

**KOMISI PEMBIMBING**

Pembimbing I : Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.

Pembimbing II : Nafisah Arina Hidayati, ST. M.Eng.

**TIM DOSEN PENGUJI**

Dosen Penguji 1 : Prof.Dr.Ir. Rudy Soenoko. M.Eng.Sc.

Dosen Penguji 2 : Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan.ST.,

Dosen Penguji 3 : Rudianto Raharjo,ST., MT

Tanggal Ujian : 25 Juli 2017

SK Penguji : 903/UN10.6/SK/2017

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Air Fuel Ratio Terhadap Performa Motor Bakar 4 Langkah Berbahan Bakar Etanol”**.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan bagi mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik.

Dalam penyusunan skripsi ini tentu tak luput dari bantuan berbagai pihak baik secara langsung mau pun tidak langsung. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Yusman, Ibu Hairani dan Shally Dwanda Millino, selaku kedua orangtua dan adik penulis yang selalu membimbing dan memberi doa serta semangat dalam menjalani kuliah dan menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku dosen pembimbing I skripsi atas semua ilmu, saran dan waktu yang telah diberikan selama penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing II skripsi yang telah memberikan ilmu, saran, dan waktu selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Purnami, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin.
5. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin.
6. Ibu Francisca Gayuh, U.D, ST., MT. selaku KKDK Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin.
7. Seluruh dosen pengajar dan staf administrasi Jurusan Teknik Mesin.
8. Adzan Ramadhan dan Rivaldi Amrillah sebagai teman kelompok skripsi ini.
9. Sukmaning Ayu Melati Hasnail yang telah memberikan semangat serta doa.
10. Andeng, Burhan, Reno, Galih, Iga, Joko, Ojak, Puji, Andre., Arya, Alim, Okta sahabat-sahabat yang selalu menemani dan memberikan semangat.
11. Teman-teman asisten Laboratorium Motor Bakar.
12. Teman-teman keluarga besar “M13” yang telah membantu dan memberikan semangat.
13. Teman-teman TGK yang telah memberikan ilmu dan pengalaman meriset dan lomba selama ini.
14. Semua pihak yang telah membantu terselesainya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.



Penulis menyadari apabila dalam penyusunan skripsi ini dan ilmu yang dimiliki masih butuh penyempurnaan. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang bersifat membangun akan berguna di kemudian hari. Semoga skripsi ini bisa menjadi bahan yang berguna dan bisa dikembangkan untuk selanjutnya.

Malang, 14 Juli 2017

Penulis



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelurusan berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak pernah 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, 14 Juli 2017

Mahasiswa,



Chairman Prama Yoncha  
NIM. 135060200111055



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Air Fuel Ratio Terhadap Performa Motor Bakar 4 Langkah Berbahan Bakar Etanol”**.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan bagi mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik.

Dalam penyusunan skripsi ini tentu tak luput dari bantuan berbagai pihak baik secara langsung mau pun tidak langsung. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Yusman, Ibu Hairani dan Shally Dwanda Millino, selaku kedua orangtua dan adik penulis yang selalu membimbing dan memberi doa serta semangat dalam menjalani kuliah dan menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku dosen pembimbing I skripsi atas semua ilmu, saran dan waktu yang telah diberikan selama penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing II skripsi yang telah memberikan ilmu, saran, dan waktu selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Purnami, ST., MT. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin.
5. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin.
6. Ibu Francisca Gayuh, U.D, ST., MT. selaku KKDK Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin.
7. Seluruh dosen pengajar dan staf administrasi Jurusan Teknik Mesin.
8. Adzan Ramadhan dan Rivaldi Amrillah sebagai teman kelompok skripsi ini.
9. Sukmaning Ayu Melati Hasnail yang telah memberikan semangat serta doa.
10. Andeng, Burhan, Reno, Galih, Iga, Joko, Ojak, Puji, Andre., Arya, Alim, Okta sahabat-sahabat yang selalu menemani dan memberikan semangat.
11. Teman-teman asisten Laboratorium Motor Bakar.
12. Teman-teman keluarga besar “M13” yang telah membantu dan memberikan semangat.
13. Teman-teman TGK yang telah memberikan ilmu dan pengalaman meriset dan lomba selama ini.
14. Semua pihak yang telah membantu terselesainya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari apabila dalam penyusunan skripsi ini dan ilmu yang dimiliki masih butuh penyempurnaan. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang bersifat membangun akan berguna di kemudian hari. Semoga skripsi ini bisa menjadi bahan yang berguna dan bisa dikembangkan untuk selanjutnya.

Malang, 14 Juli 2017

Penulis





**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>SUMMARY</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Pengertian Mesin Otto.....	5
2.2.1 Mesin Otto 4 Langkah .....	6
2.2.2 Siklus Termodinamika Mesin Otto .....	7
2.2.3 Proses Pembakaran.....	9
2.3 Bahan Bakar .....	11
2.4 Etanol.....	11
2.5 Sistem Injeksi .....	12
2.6 <i>Air-Fuel Ratio</i> (AFR).....	13
2.7 Rasio Ekuivalen ( <i>Equivalent Ratio</i> , $\Phi$ ) .....	16
2.8 Karakteristik Mesin Otto .....	17
2.8.1 Torsi.....	17
2.8.2 Daya Termal Efektif .....	17
2.8.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCe) .....	17
2.8.4 Efisiensi Termal Efektif ( $\eta_e$ ).....	18
2.9 Gaya Pengereman .....	18



2.10 Hipotesis..... 18

**BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Metode Penelitian ..... 19

3.2 Variabel Penelitian ..... 19

3.3 Skema Instalasi Penelitian ..... 20

3.4 Alat-alat Penelitian ..... 21

3.5 Mengubah AFR Melalui ECU *Programmable* ..... 24

3.6 Metode Pengambilan Data ..... 25

3.7 Diagram Alir Penentuan *Basemap* Etanol ..... 27

3.8 Diagram Alir Penelitian ..... 28

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Analisis Data ..... 29

4.1.1 Data Hasil Pengujian ..... 29

4.1.2 Pengolahan Data ..... 32

4.1.3 Hasil Pengolahan Data ..... 33

4.2 Pembahasan Grafik..... 35

4.2.1 Hubungan Putaran terhadap Torsi ..... 36

4.2.2 Hubungan Putaran terhadap Daya Efektif..... 38

4.2.3 Hubungan Putaran terhadap SFCE ..... 40

4.2.4 Hubungan Putaran terhadap Efisiensi Termal Efektif..... 42

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan..... 45

5.2 Saran ..... 45

**DAFTAR PUSTAKA**

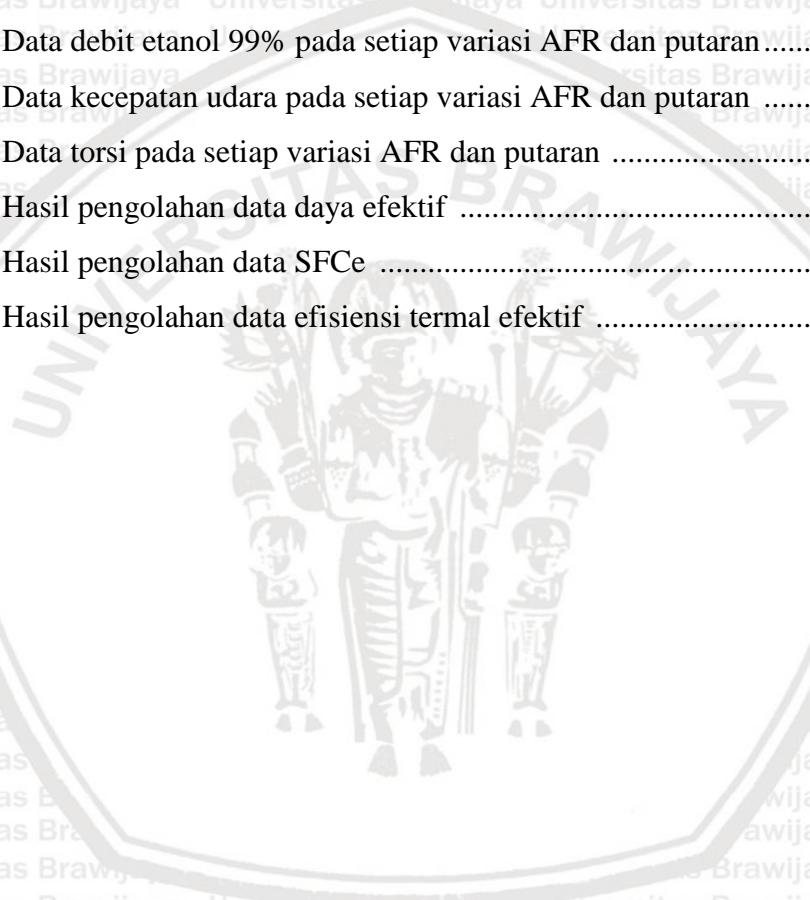
**LAMPIRAN**





**DAFTAR TABEL**

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Karakteristik Etanol .....	12
Tabel 4.1	Data gaya pengereman pada setiap variasi AFR dan putaran dengan etanol 96% .....	29
Tabel 4.2	Data debit etanol 96% pada setiap variasi AFR dan putaran .....	30
Tabel 4.3	Data gaya pengereman pada setiap variasi AFR dan putaran dengan etanol 99% .....	30
Tabel 4.4	Data debit etanol 99% pada setiap variasi AFR dan putaran .....	31
Tabel 4.5	Data kecepatan udara pada setiap variasi AFR dan putaran .....	31
Tabel 4.6	Data torsi pada setiap variasi AFR dan putaran .....	33
Tabel 4.7	Hasil pengolahan data daya efektif .....	34
Tabel 4.8	Hasil pengolahan data SFCE .....	34
Tabel 4.9	Hasil pengolahan data efisiensi termal efektif .....	35



**DAFTAR GAMBAR**

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Skema langkah kerja motor bakar 4 langkah .....	7
Gambar 2.2	Diagram siklus otto ideal .....	8
Gambar 2.3	Siklus Otto aktual.....	9
Gambar 2.4	Ilustrasi proses pembakaran.....	10
Gambar 2.5	Sistem injeksi berdasarkan posisi penempatan injektor.....	13
Gambar 2.6	Pengaruh AFR terhadap konsumsi bensin dan tenaga mesin .....	15
Gambar 2.7	Hubungan AFR terhadap emisi gas buang.....	15
Gambar 2.8	Hubungan emisi gas buang terhadap <i>equivalent ratio</i> .....	16
Gambar 3.1	Skema instalasi penelitian.....	20
Gambar 3.2	Mesin otto 125 cc.....	22
Gambar 3.3	Dinamometer.....	22
Gambar 3.4	Anemometer digital.....	23
Gambar 3.5	ECU <i>programmable</i> juken 3 BRT .....	23
Gambar 3.6	<i>Remote programmer</i> I-Max 3 .....	24
Gambar 3.7	Buret .....	24
Gambar 3.8	Diagram alir penentuan <i>basemap</i> etanol.....	27
Gambar 3.9	Diagram alir penelitian.....	28
Gambar 4.1	Hubungan putaran terhadap torsi dengan variasi AFR .....	36
Gambar 4.2	Hubungan putaran terhadap daya efektif dengan variasi AFR .....	38
Gambar 4.3	Hubungan putaran terhadap SFCE dengan variasi AFR .....	40
Gambar 4.4	Hubungan putaran terhadap efisiensi termal efektif dengan variasi AFR ...	42





## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	<i>Mapping injector duration</i> untuk setiap variasi AFR
Lampiran 2	Data pengujian
Lampiran 3	Perhitungan AFR



## RINGKASAN

**Chairman P. Yoncha**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2017, *Pengaruh Air Fuel Ratio terhadap Performa Motor Bakar 4 Langkah Berbahan Bakar Etanol*, Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. dan Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng.

Bahan bakar fosil adalah sumber energi yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Meningkatnya permintaan energi, menyebabkan bahan bakar fosil dieksploitasi secara berlebihan, salah satunya di bidang transportasi. Hal ini tidak sebanding dengan ketersediaan bahan bakar fosil untuk menunjang kebutuhan energi dalam jangka panjang. Selain itu, pembakaran bahan bakar fosil yang berlebihan mengakibatkan meningkatnya efek rumah kaca. Karena itu, kita butuh sumber energi alternatif yang bisa menjamin ketersediaan energi sekaligus ramah lingkungan di masa depan. Etanol (etil alkohol) dengan rumus kimia  $C_2H_5OH$  bisa menjadi salah satu sumber energi alternatif pada mesin otto.

Pada penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental menggunakan mesin otto 4 langkah satu silinder bervolume 124.8cc sistem injeksi. Bahan bakar etanol dengan kadar 96% dan 99% digunakan sebagai pengganti bahan bakar bensin. Dengan memvariasikan nilai *air fuel ratio* etanol untuk mengetahui pengaruh dari *air fuel ratio* terhadap performa motor bakar yang dihasilkan. *Air fuel ratio* yang divariasikan sebesar AFR 8 : 1, AFR 9 : 1, dan AFR 10 : 1 pada putaran mesin 2500-7000 putaran/menit dengan interval putaran 500 putaran/menit.

Hasil pengujian yang didapat dengan memvariasikan *air fuel ratio* adalah pada nilai torsi dan daya efektif tertinggi pada variasi AFR 8 : 1. Sedangkan nilai SFCE dan efisiensi terbaik didapatkan pada variasi AFR 10 : 1. Dengan menggunakan bahan bakar etanol 96%, pada AFR 8 : 1 terjadi peningkatan nilai torsi yang dihasilkan sebesar 6.354% dan daya efektif sebesar 8.807% sedangkan pada AFR 10 : 1 terjadi penurunan nilai torsi dan daya efektif sebesar 2.210% dan 2.604% jika dibandingkan dengan AFR 9 : 1 (*stoichiometri*) bahan bakar etanol 96%. Nilai SFCE dan efisiensi termal yang dihasilkan pada AFR 8 : 1 lebih buruk 12.291% dan 2.016% sedangkan pada AFR 10 : 1 nilai SFCE dan efisiensi termal yang dihasilkan lebih baik 5.098% dan 0.972% jika dibandingkan dengan AFR 9 : 1 (*stoichiometri*) bahan bakar etanol 96%. Dengan menggunakan bahan bakar etanol 99%, pada AFR 8 : 1 terjadi peningkatan nilai torsi yang dihasilkan sebesar 6.180% dan daya efektif sebesar 3.631% sedangkan pada AFR 10 : 1 terjadi penurunan nilai torsi dan daya efektif sebesar 3.090% dan 0.688% jika dibandingkan dengan AFR 9 : 1 (*stoichiometri*) bahan bakar etanol 99%. Nilai SFCE pada AFR 8 : 1 tidak mengalami perubahan dan efisiensi termal yang dihasilkan pada AFR 8 : 1 lebih baik 0.009% sedangkan pada AFR 10 : 1 nilai SFCE dan efisiensi termal yang dihasilkan lebih baik 16.167% dan 3.809% jika dibandingkan dengan AFR 9 (*stoichiometri*) bahan bakar etanol 99%. Performa keseluruhan motor bakar 4 langkah yang kami uji memperoleh performa terbaik pada saat menggunakan variasi AFR 10 berbahan bakar etanol 96% tanpa harus mengubah rasio kompresi maupun *ignition timing*.

**Kata Kunci:** etanol, *air fuel ratio*, motor otto, performa



## SUMMARY

*Chairman P. Yoncha, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering of Brawijaya University, July 2017, The Effect of Air Fuel Ratio to Performance of 4-Stroke Engine With Ethanol Fuel, Advisor: Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. And Nafisah Arina Hidayati, ST., M.Eng.*

*Fossil fuels are the most widely used energy source in everyday life. The increasing of energy demand, causing excessive fossil fuels to be exploited, one of them in the field of transportation. This is not comparable to the availability of fossil fuels to support energy needs in the long term. In addition, excessive burning of fossil fuels leads to an increase in the greenhouse effect. Therefore, we need alternative energy sources that can ensure the availability of energy as well as environmentally friendly in the future. Ethanol (ethyl alcohol) with the chemical formula  $C_2H_5OH$  can be one alternative energy source on otto engine.*

*In this study, the experimental method using a 4-stroke single-cylinder with engine volume of 124.8cc and injection fuel delivery system. 96% and 99% ethanol fuel is used instead of gasoline. By varying the value of air fuel ratio of ethanol to determine the effect of air fuel ratio on the performance engine produced. Air fuel ratio varied by AFR 8: 1, AFR 9: 1, and AFR 10: 1 at engine rotation 2500-7000 rotation / min with intervals 500 rev / min.*

*The test results obtained by varying the air fuel ratio are at the highest torque and effective value at the AFR 8: 1 variation. While the SFCe value and best efficiency are found on the AFR 10 variations: 1. By using ethanol fuel 96%, at AFR 8: 1 increased the torque value of 6,354% and the effective power of 8,807% while at AFR 10: 1 there was a decrease of torque and effective power of 2,210% and 2,604% when compared with AFR 9: 1 (stoichiometry) ethanol fuel 96%. The SFCe value and thermal efficiency resulting in AFR 8: 1 were worse 12.291% and 2.016% while in AFR 10: 1 the SFCe value and the resulting thermal efficiency were better 5.098% and 0.972% when compared with AFR 9: 1 (stoichiometry) of the material Fuel ethanol 96%. By using ethanol fuel 99%, at AFR 8: 1 there was an increase of torque value generated by 6.180% and effective power of 3.631% while at AFR 10: 1 there was a decrease of torque and effective power of 3.090% and 0.688% when compared with AFR 9: 1 (stoichiometry) 99% ethanol fuel. The SFCe value at AFR 8: 1 did not change and the resulting thermal efficiency at AFR 8: 1 was better 0.009% while in AFR 10: 1 the SFCe value and the resulting thermal efficiency were better 16.167% and 3.809% when compared to AFR 9 (Stoichiometry) 99% ethanol fuel. The overall performance of our 4-stroke engine achieved the best performance when using a 96% ethanol with the variation of AFR 10 without having to change the compression ratio or ignition timing.*

**Keywords:** *ethanol, air fuel ratio, motor otto, performance*



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Meningkatnya kebutuhan energi menyebabkan bahan bakar fosil dieksploitasi secara berlebihan. Emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar fosil seperti CO, HC, dan No<sub>x</sub> sangat membahayakan bagi kesehatan. Selain itu bahan bakar fosil merupakan bahan tambang yang tidak dapat diperbaharui. Hal ini menimbulkan kekhawatiran akan ketersediaan energi dalam jangka panjang. Sehingga dibutuhkan sumber energi alternatif lain yang dapat diperbaharui (*renewable*) dan lebih ramah lingkungan. Etanol (etil alkohol) sebagai bahan bakar alternatif telah banyak digunakan sebagai pengganti bahan bakar kendaraan bermotor di beberapa negara di dunia. Negara Brazil telah menggunakan etanol sebagai bahan bakar sejak tahun 1990-an. Di Amerika Serikat, etanol dicampur dengan bensin untuk membentuk gasohol (Ganeesan, 2007). Etanol dihasilkan dari proses fermentasi gula dimana gula ini merupakan hasil fotosintesis dari tanaman dengan rumus kimia C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH (Wardana, 2008).

Penggunaan etanol sebagai bahan bakar alternatif pada kendaraan bermotor tidak dapat langsung digunakan begitu saja. Hal ini diakibatkan perbedaan karakteristik pertalite dan etanol. Perbedaan karakteristik bahan bakar dapat menyebabkan performa mesin menjadi berbeda pula. Salah satu karakteristik yang berbeda adalah rasio  $H/C$  antara bahan bakar pertalite dengan bahan bakar etanol. Perbedaan nilai rasio  $H/C$  ini menyebabkan perbedaan nilai *air fuel ratio* (AFR) antara bahan bakar pertalite dengan bahan bakar etanol dimana semakin panjang ikatan rantai kimia bahan bakar, semakin banyak udara yang dibutuhkan untuk membakar bahan bakar tersebut. Berdasarkan perhitungan rumus AFR didapatkan *air fuel ratio* (AFR) bahan bakar bensin 1:15 sedangkan *air fuel ratio* (AFR) etanol berkisar 1:9. Hal ini disebabkan, massa molar etanol lebih besar dibandingkan massa molar bensin (Wardana, 2008).

Penelitian eksperimental yang dilakukan oleh Wibowo (2012) menggunakan bahan bakar E20 mengenai pengaruh AFR pada mesin 4 langkah didapatkan peningkatan kinerja mesin pada *equivalent ratio* lebih dari 1 ( $\phi > 1$ ) dibandingkan kinerja mesin pada  $\phi = 1$ .



Sedangkan penelitian eksperimental yang dilakukan oleh Nababan dkk. (2013) menggunakan bahan bakar etanol 96% didapatkan peningkatan performa dari mesin dan menghasilkan emisi gas buang yang lebih bersih. Pengujian performa motor bakar yang dilakukan oleh Wibowo dan Nababan masih menggunakan karburator sebagai alat untuk mencampur udara dengan bahan bakar. Karburator memiliki kelemahan dalam menentukan campuran bahan bakar dengan udara yang tepat sesuai dengan kebutuhan mesin itu sendiri (Kartika, Ivan. 2013). Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian mengenai penggunaan bahan bakar etanol pada mesin injeksi dimana kelebihan sistem injeksi terdapat pada volume bahan bakar yang akan bercampur dengan udara akan selalu menyesuaikan dengan kebutuhan mesin itu sendiri.

Dari penjelasan yang telah disampaikan, penulis melakukan penelitian mengenai penggunaan bahan bakar etanol terhadap performa motor bakar 4 langkah injeksi dimana performa dipengaruhi oleh *air fuel ratio*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang, maka permasalahan yang akan dibahas pada penelitian penulis ini adalah mengetahui pengaruh *air fuel ratio* terhadap performa meliputi torsi, daya efektif, *Specific Fuel Consumption effective* (SFCe), dan efisiensi termal efektif motor bakar 4 langkah dengan sistem injeksi menggunakan bahan bakar etanol.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang ada pada penelitian ini antara lain :

1. Temperatur ruang pada saat penelitian dianggap konstan.
2. Mesin dalam kondisi diam ditempat (tidak sedang bergerak).
3. Gesekan yang terjadi pada transmisi diabaikan.
4. Kelembapan udara diabaikan.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai penulis pada penelitian ini adalah mengetahui pengaruh *air fuel ratio* (AFR) yang sesuai pada motor bakar 4 langkah injeksi berbahan bakar etanol 96% dan 99%.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini antara lain :

1. Dapat menjadi energi alternatif pada kendaraan bermotor.
2. Mengurangi penggunaan bahan bakar fosil pada kendaraan bermotor.
3. Mengetahui *air fuel ratio* (AFR) yang sesuai pada mesin Otto 4 langkah dengan sistem injeksi menggunakan bahan bakar etanol.
4. Mendapatkan performa terbaik mesin otto berbahan bakar etanol.
5. Dapat digunakan sebagai referensi pada penelitian selanjutnya.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA







## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Wibowo (2011) melakukan penelitian eksperimental terhadap pengaruh AFR terhadap unjuk kerja mesin bensin 4 langkah 4 silinder berbahan bakar E20. Mesin yang digunakan adalah mesin Toyota Corolla KE20 F 1166 cc tahun 1971 bersistem karburator. Putaran mesin dijaga konstan pada 3000 rpm dan 3500 rpm dengan bukaan *throttle* 40%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada campuran kaya  $\phi > 1$  dibandingkan saat  $\phi = 1$  didapatkan peningkatan torsi, daya, SFC, MEP, dan efisiensi termal, sedangkan efisiensi volumetrik menurun. Pada campuran miskin  $\phi < 1$  dibandingkan saat  $\phi = 1$  didapatkan penurunan torsi, daya, MEP, dan efisiensi termal, sedangkan SFC dan efisiensi volumetric mengalami peningkatan.

Nababan dkk. (2013) melakukan penelitian lapangan mengenai kinerja mesin Otto berbahan bakar bensin dan etanol 96%. Mesin Otto 4 langkah berkapasitas 109.1 cc diuji dengan *hydraulic dynamometer* dengan variasi bahan bakar bensin dan etanol 96%. Dari hasil penelitian ini didapatkan etanol 96% memiliki nilai AFR yang lebih tinggi yaitu 11.3, SFC yang lebih tinggi mencapai 509,52 gr/kWh, menghasilkan daya yang lebih besar mencapai 5.59 kW, memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik sebesar 25.98%, emisi karbon monoksida (CO) yang lebih rendah, dan torsi yang lebih kecil dibandingkan bahan bakar bensin pada beban dan putaran mesin yang sama.

### 2.2 Pengertian Mesin Otto

Mesin Otto adalah mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*). Mesin ini bekerja dengan cara mengubah energi kimia pada bahan bakar menjadi energi mekanik pada torak, yaitu gerak translasi (bolak-balik) pada torak yang menyebabkan putaran pada poros engkol (*crankshaft*). Perubahan energi ini dilakukan dengan cara memberi tekanan pada campuran bahan bakar dengan udara didalam ruang silinder. Campuran bahan bakar dengan udara yang sudah terkompresi oleh torak tersebut akan dipercik oleh busi sehingga terjadi ledakan. Ledakan tersebut menyebabkan gerak translasi pada torak didalam silinder [Arismunandar. 2002].



### 2.2.1 Mesin Otto 4 Langkah

Mesin Otto 4 langkah membutuhkan 2 kali putaran poros engkol (*crankshaft*) untuk 1 siklus kerja, yaitu :

#### 1. *Intake*

Pada saat langkah isap (*intake*), piston bergerak dari posisi TMA menuju TMB.

Pada saat yang sama, *intake valve* (KI) terbuka dan *exhaust valve* (KB) tertutup. Akibatnya campuran udara dan bahan bakar pada mesin *Otto* masuk ke ruang bakar.

#### 2. *Compression*

Pada saat langkah kompresi (*compression*), piston bergerak dari posisi TMB menuju TMA. Pada langkah ini KI dan KB dalam keadaan tertutup sehingga tekanan dan temperatur di silinder naik.

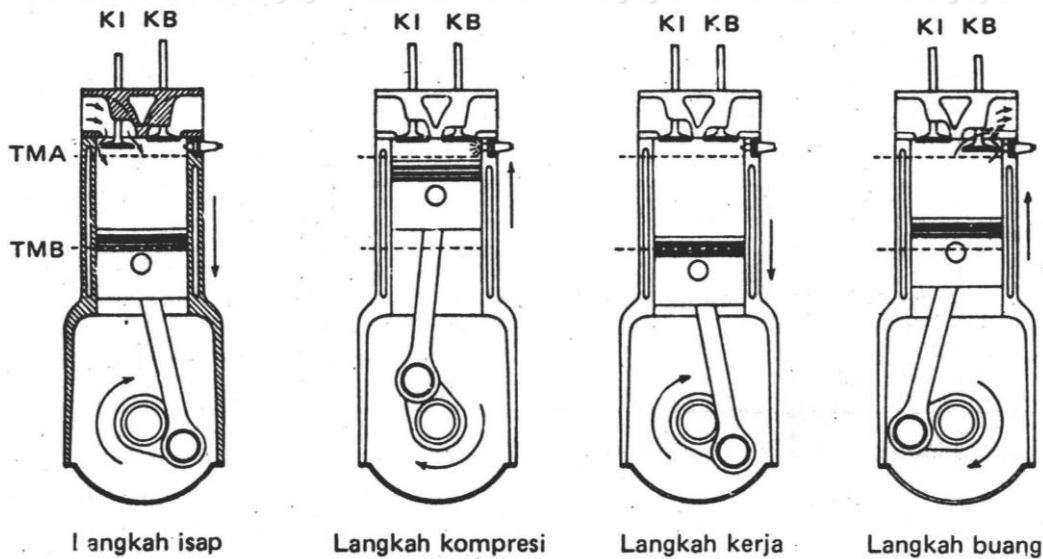
#### 3. *Power*

Sebelum posisi *piston* mencapai TMA pada langkah kompresi, busi yang ada pada mesin *Otto* dinyalakan, sehingga terjadi proses pembakaran. Akibatnya tekanan dan temperatur di ruang bakar naik lebih tinggi daripada saat langkah kompresi. Sehingga *piston* mampu melakukan langkah ekspansi (*power*) atau langkah kerja. Langkah kerja dimulai dari posisi torak pada TMA dan berakhir pada posisi TMB saat KB mulai terbuka pada langkah buang.

#### 4. *Exhaust*

Pada langkah ini *piston* bergerak dari posisi TMB ke TMA dengan KI tertutup dan KB terbuka. Karena gerakan *piston* tersebut gas hasil pembakaran terbang ke atmosfer melalui KB.

Skema dari langkah gerak *piston* di dalam silinder motor bakar 4 langkah tersebut ditunjukkan dalam gambar 2.1.



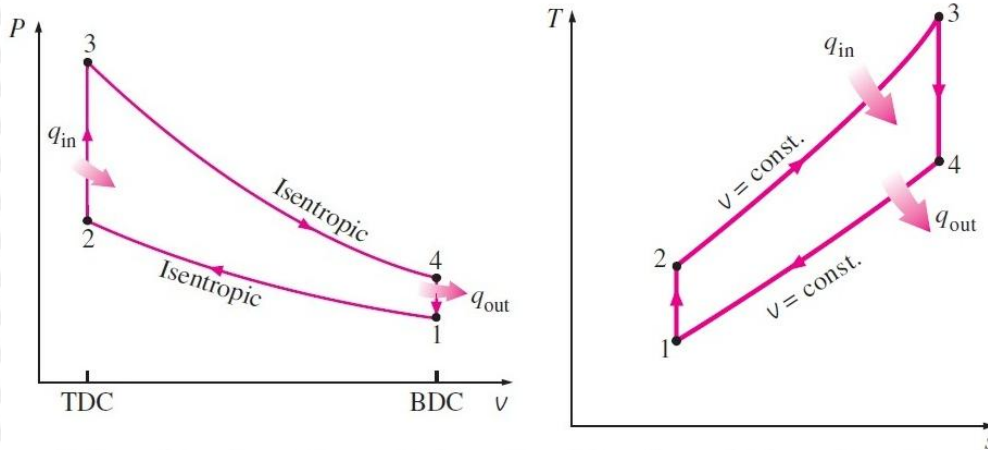
Gambar 2.1 Skema Langkah Kerja Motor Bakar 4 Langkah  
Sumber : Arismunandar (2002 : 8)

### 2.2.2 Siklus Termodinamika pada Mesin Otto

Siklus termodinamika merupakan proses termodinamika yang menggambarkan proses perpindahan panas dan kerja pada berbagai keadaan (tekanan, temperatur, dan keadaan lain). Siklus termodinamika terbagi 2, yaitu siklus termodinamika ideal dan siklus termodinamika aktual. Siklus termodinamika ideal didapatkan dari siklus termodinamika aktual yang disederhanakan. Kompleksitas penjabaran siklus termodinamika aktual pada mesin otto menyebabkan pada umumnya siklus motor bakar didekati menggunakan siklus udara standar (*air standar cycle*).

Siklus udara standar ini ditemukan oleh ilmuwan asal Jerman bernama Nikolaus August Otto pada tahun 1876. Fluida kerja yang digunakan pada siklus udara standar adalah udara sedangkan pembakaran bahan bakar diganti dengan pemberian panas dari luar menggunakan pemantik. Pada siklus ini, proses pemasukan kalor terjadi pada volume konstan saat piston dalam posisi TMA. Siklus udara standar ini digambarkan dalam diagram P – V dan diagram T – s. Siklus ini dapat dilihat pada gambar 2.2.





Gambar 2.2 Diagram Siklus Otto Ideal  
 Sumber: *Thermodynamics*, Cengel, (1994 : 457)

Langkah kerja dari Siklus Otto terdiri dari :

1. Langkah kompresi adiabatik reversibel (1-2)
2. Langkah penambahan panas pada volume konstan (2-3)
3. Langkah ekspansi adiabatik reversibel (3-4)
4. Langkah pembuangan panas secara isokhorik (4-1)

Menurut Arismunandar (2002) terjadi penyimpangan dari siklus Otto ideal karena dalam keadaan sebenarnya terjadi beberapa kerugian sebagai berikut:

- a) Kebocoran fluida kerja akibat toleransi ukuran pada sekat cincin torak dan katup (KI dan KB).
- b) Katup isap dan katup buang tidak tepat membuka maupun menutup tepat di TMA dan TMB karena pertimbangan dinamika mekanisme katup dan kelembaman fluida.
- c) Fluida kerja bukanlah udara yang dapat diasumsikan sebagai gas ideal karena fluida kerja yang digunakan merupakan campuran antara bahan bakar dan udara.
- d) Pada mesin otto sebenarnya, saat torak berada di TMA tidak terdapat proses pemasukan kalor seperti pada siklus udara. Kenaikan tekanan dan temperatur fluida kerja disebabkan oleh proses pembakaran antara udara dan bahan bakar di dalam silinder.
- e) Proses pembakaran tidak berlangsung sekaligus karena membutuhkan waktu agar campuran bahan bakar dan udara di dalam silinder dapat terbakar sepenuhnya.

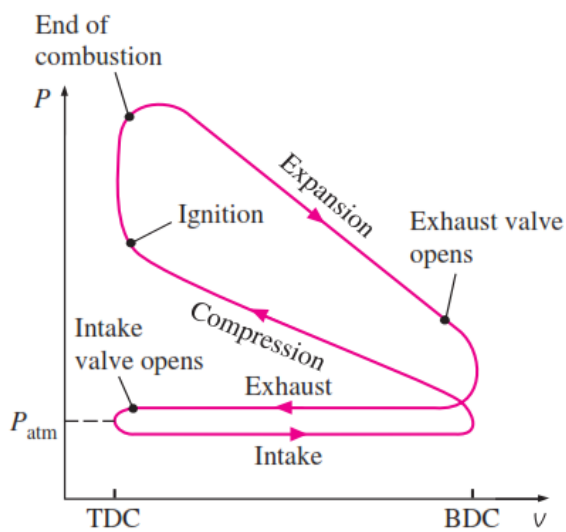
Akibatnya, proses pembakaran terjadi pada volume ruang bakar yang berubah-ubah akibat gerakan torak. Hal ini diakibatkan proses pembakaran harus sudah dimulai beberapa derajat sudut engkol sebelum torak mencapai TMA dan berakhir beberapa



derajat sudut engkol setelah torak melewati TMA menuju TMB. Jadi, proses pembakaran tidak dapat terjadi pada volume atau tekanan konstan.

- f) Kerugian akibat pindahnya kalor dari fluida kerja ke fluida pendingin seperti oli, radiator, dan lain-lain.
- g) Kerugian akibat kalor yang terbuang bersama gas buang.
- h) Kerugian energi akibat gesekan antara fluida kerja dengan dinding saluran.

Siklus Otto aktual dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Siklus Otto Aktual  
Sumber : Cengel (2006 : 494)

### 2.2.3 Proses Pembakaran

Pembakaran adalah proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi dari luar menjadi atom-atom yang bermuatan dan aktif sehingga mampu bereaksi dengan oksigen yang kemudian membentuk ikatan molekul-molekul yang kuat yang mampu menghasilkan panas dan cahaya dalam jumlah yang besar (Wardana, 2008).

Syarat terjadinya pembakaran ada 3, yaitu :

1. Bahan bakar
2. Oksigen
3. Energi aktivasi

Secara umum proses pembakaran terjadi ketika memenuhi ketiga unsur tersebut. jika salah satu dari ketiga unsur tersebut dihilangkan maka pembakaran tidak akan terjadi atau api tidak akan muncul.





Gambar 2.4 Ilustrasi Proses Pembakaran  
Sumber : Wardana (2008 : 3)

Pembakaran dalam ruang bakar terjadi saat bahan bakar yang telah dikabutkan bercampur dengan udara dan masuk ke dalam ruang bakar melalui katup isap. Campuran tersebut kemudian dikompresikan oleh torak saat bergerak dari TMB menuju TMA. Dengan demikian maka tekanan dalam ruang bakar menjadi tinggi.

Proses pembakaran selanjutnya terjadi dengan memberikan energi aktivasi yang berasal dari percikan busi dan terjadi pada saat beberapa derajat poros engkol (*crankshaft*) sebelum torak mencapai TMA dan membakar campuran antara udara dan bahan bakar yang telah dikompresikan oleh torak. Panas atau energi aktivasi ini digunakan untuk mengaktifkan moleku-molekul bahan bakar (Wardana,2008:3). Dalam proses pembakaran, energi kimia bahan bakar diubah menjadi energi panas dan pada setiap pembakaran selalu dihasilkan gas sisa hasil dari proses pembakaran yang dinamakan emisi gas buang.

Proses pembakaran teoritis bahan bakar bensin (isooktan) dapat dilihat pada reaksi dibawah ini :



Sedangkan untuk proses pembakaran secara teoritis bahan bakar etanol dapat dilihat pada reaksi dibawah ini :



### 2.3 Bahan Bakar

Mesin pembakaran dalam (ICE) pada umumnya menggunakan bahan bakar cair (*liquid*) sebagai sumber tenaganya. Akan tetapi, tidak menutup kemungkinan penggunaan bahan bakar gas atau bahkan bahan bakar padat (*solid*) sebagai sumber tenaga pada mesin tergantung desain dari mesin itu sendiri.

Bahan bakar padat sangat jarang digunakan pada saat ini karena terdapat permasalahan dalam hal penyimpanan dan penanganannya. Selain itu, pembakaran bahan bakar padat menghasilkan residu atau abus setelah proses pembakaran terjadi. Residu atau abu juga merusak lingkungan dan membahayakan kesehatan.

Bahan bakar gas sangat ideal digunakan pada mesin pembakaran dalam. Hal ini dikarenakan, gas dapat bercampur dengan udara secara homogen. Penggunaan bahan bakar gas dalam dunia otomotif masih sangat terbatas karena permasalahan pada proses penyimpanan dan penanganan bahan bakar gas itu sendiri. Sehingga bahan bakar gas lebih banyak digunakan pada pembangkit.

Bahan bakar cair (*liquid*) paling banyak digunakan pada mesin modern karena kepraktisan penyimpanannya. Bahan bakar cair yang digunakan pada umumnya berasal dari olahan minyak bumi. Akan tetapi, semakin menipisnya minyak bumi menyebabkan kebutuhan bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi sangat dibutuhkan, seperti etanol.

### 2.4 Etanol

Etanol telah banyak digunakan sebagai pengganti bahan bakar kendaraan bermotor di beberapa negara di dunia. Negara Brazil telah menggunakan etanol sebagai bahan bakar sejak tahun 1990 – an. Di Amerika, etanol dicampur dengan bensin untuk membentuk gasohol.

Etanol dapat dibuat dari etilen atau dari hasil fermentasi gandum dan gula. Sebagian besar etanol dihasilkan dari proses fermentasi jagung, gula, tebu, dan lain sebagainya. Harga etanol yang cukup tinggi disebabkan minimnya kebutuhan akan etanol.

Karakteristik bahan bakar etanol dapat dilihat pada tabel 2.1.



Tabel 2.1

## Karakteristik Etanol

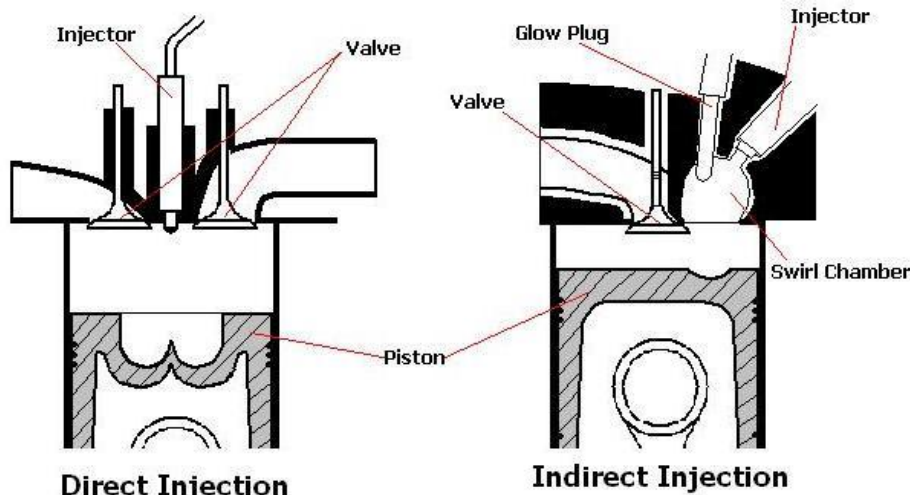
<i>Property</i>	<i>Gasoline</i>	<i>Diesel</i>	<i>Methanol</i>	<i>Ethanol</i>	<i>Propane (LPG)</i>	<i>Methane (CNG)</i>
<i>H/C ratio</i>	1.9	1.88	4.0	3.0	2.7	40
<i>Energy Content (LHV) (Mj/kg)</i>	44.0	42.5	20.0	26.9	46.4	50.0
<i>Liquid Density (kg/l)</i>	0.72 0.78	0.84-0.88	0.792	0.785	0.51	0.422
<i>Liquid Density (Mj/kg)</i>	33.0	36.55	15.84	21.12	23.66	21.13
<i>Boilling Point (°C)</i>	37-205	140-360	65	79	-42.14	-161.6
<i>Research Octane Number</i>	92-98	-25	106	107	112	120
<i>Motor Octane Number</i>	80-90	-	92	89	97	120
<i>Stoichiometric air-fuel ratio</i>	14.7	14.6	6.5	9.0	15.7	17.2
<i>Reid Vapor Pressure (psi)</i>	8-15	0.2	4.6	2.3	208	2400

Sumber : Faiz (1996 : 195)

## 2.5 Sistem Injeksi

Sistem injeksi bahan bakar telah lama digunakan pada kendaraan bermotor. Sistem ini diciptakan untuk mendapatkan campuran udara dengan bahan bakar yang tepat sesuai dengan kebutuhan mesin sehingga mesin dapat bekerja secara maksimal sekaligus menghemat konsumsi bahan bakar. Sistem injeksi dibagi menjadi 2 berdasarkan posisi penempatan injektor, yaitu:

1. *Direct Injection*
2. *Indirect Injection*



Gambar 2.5 Sistem injeksi berdasarkan posisi penempatan injektor  
Sumber : Celik (2011)

Sistem injeksi bahan bakar yang banyak digunakan pada kendaraan bermotor baik mesin otto ataupun mesin diesel adalah *Electronic Fuel Injection* (EFI). Cara kerja EFI lebih rumit dibandingkan dengan karburator, dimana EFI membutuhkan banyak sensor agar dapat menghasilkan campuran bahan bakar dengan udara yang tepat seperti sensor bukaan throttle, sensor oksigen, sensor temperatur mesin dan lain sebagainya.

Data – data yang terbaca pada sensor – sensor tersebut akan diteruskan ke ECU (*Engine Control Unit*). Setelah semua data terkumpul, ECU akan menentukan saat dan jumlah yang tepat untuk memasok bahan bakar ke mesin.

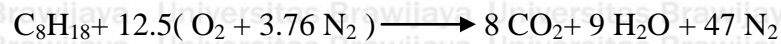
## 2.6 Air – Fuel Ratio (AFR)

Perbandingan antara bahan bakar (*fuel*) dan udara (*air*) pada suatu mesin merupakan hal yang sangat penting dilihat dari segi pembakaran dan efisiensi mesin itu sendiri. AFR merupakan perbandingan massa udara dengan massa bahan bakar untuk mencapai pembakaran yang sempurna.

$$AFR = \frac{m_{air}}{m_{fuel}}$$

Proses pembakaran sempurna (stoikiometri) dapat terjadi apabila campuran udara dan bahan bakar dapat bereaksi seluruhnya menjadi  $CO_2$  dan  $H_2O$ . Bahan bakar bensin memiliki nilai AFR stoikiometri sebesar 15.05. Perhitungan AFR stoikiometri bahan bakar bensin dirumuskan sebagai berikut :





$$\text{AFR} = \left( \frac{12.5 \times ((2 \times 16) + (3.76 \times 2 \times 14))}{(8 \times 12) + (18 \times 1)} \right) = \left( \frac{1716}{114} \right) = 15.05$$

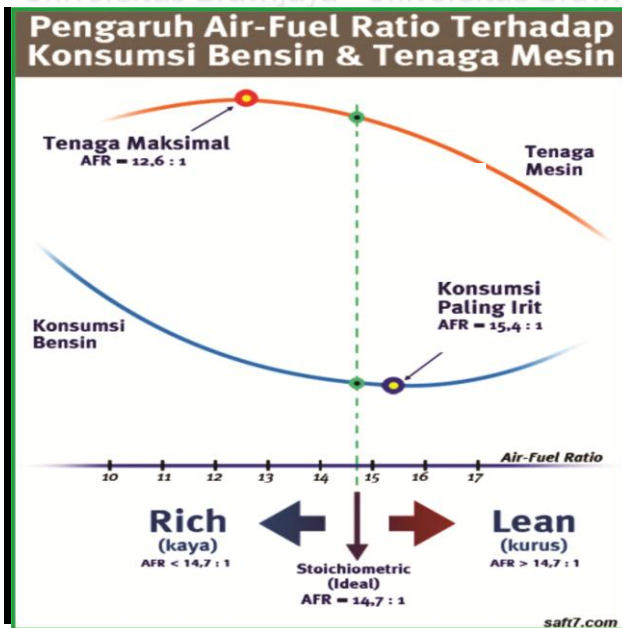
Sedangkan nilai AFR stoikiometri untuk bahan bakar etanol sebesar 8.95, seperti perhitungan dibawah.



$$\text{AFR} = \left( \frac{3 \times ((2 \times 16) + (3.76 \times 2 \times 14))}{(2 \times 12) + (5 \times 1) + (1 \times 16)} \right) = \left( \frac{411.84}{46} \right) = 8.95$$

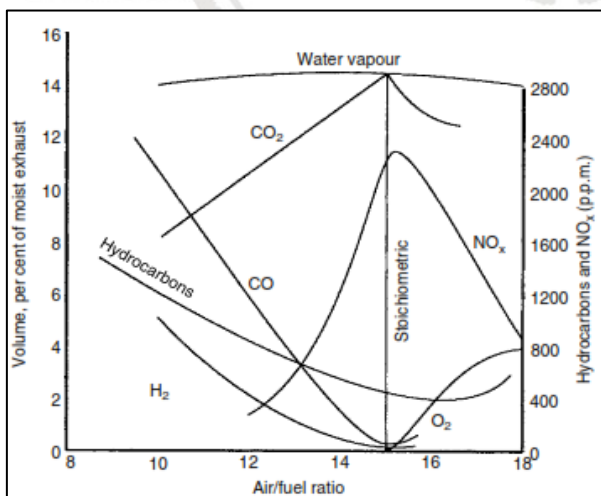
Untuk mendapatkan AFR yang tepat, jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar harus sesuai dengan udara yang diperlukan untuk pembakaran. Pada kendaraan bermotor dengan sistem injeksi, pengaturan AFR dilakukan dengan cara mengubah durasi/lamanya injeksi bahan bakar pada injektor (*injection duration*) menggunakan ECU *Programmable* sehingga massa bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar juga akan berubah. Pertambahan durasi injeksi bahan bakar menyebabkan peningkatan jumlah bahan bakar yang masuk ke ruang bakar sehingga nilai AFR akan semakin kecil dan begitu juga sebaliknya.

Seperti yang terlihat pada gambar 2.6, 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. Gambar 2.6 menjelaskan bahwa ketika nilai AFR kecil maka tenaga mesin akan semakin besar, hal ini disebabkan meningkatnya panas hasil pembakaran yang dikonversi menjadi kerja. Namun AFR yang kecil akan meningkatkan konsumsi bahan bakar dari mesin itu sendiri yang dikarenakan banyaknya bahan bakar yang terbuang akibat berlebihnya bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. 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 akan menghasilkan putaran mesin yang lebih stabil, deposit karbon yang lebih sedikit, dan konsumsi bahan bakar yang lebih hemat.



Gambar 2.6 Pengaruh AFR terhadap konsumsi bensin dan tenaga mesin  
Sumber: Yamin (2013)

Nilai AFR sangat mempengaruhi volume gas buang, dapat dilihat di gambar 2.7 bahwa semakin besar nilai 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 2.7 Hubungan AFR terhadap emisi gas buang  
Sumber: Martyr (2007 : 327)



## 2.7 Rasio Ekuivalen (*equivalent ratio*)

Perbandingan antara AFR Stoikiometri dan AFR aktual disebut juga sebagai *equivalent ratio* dan disimbolkan  $\phi$ .

$$\phi = \frac{\text{AFR Stoikiometri}}{\text{AFR Aktual}}$$

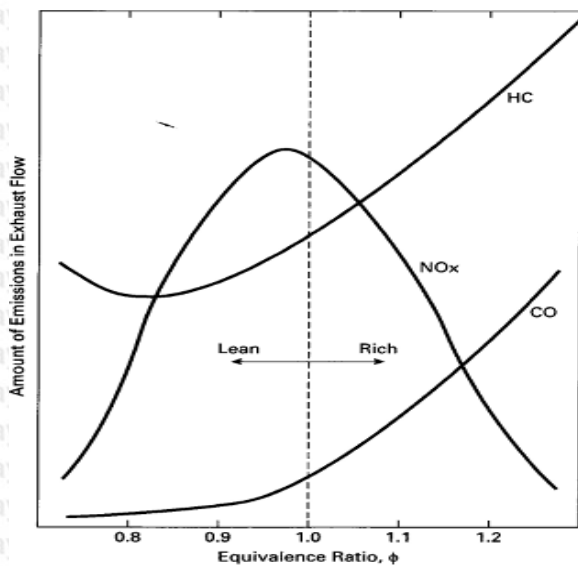
Dimana :

$\phi = 1$  (Stoikiometri)

$\phi < 1$  (campuran miskin bahan bakar)

$\phi > 1$  (campuran kaya bahan bakar)

*Equivalent ratio* sangat berpengaruh terhadap besar emisi CO dan HC yang dihasilkan pada saat proses pembakaran berlangsung. Pada saat nilai  $\phi > 1$ , oksigen yang terdapat dalam proses pembakaran tidak dapat bereaksi dengan karbon dan hidrogen secara sempurna sehingga meningkatkan emisi hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO). Sedangkan pada saat  $\phi < 1$ , emisi hidro karbon mengalami sedikit peningkatan dikarenakan miskinnya bahan bakar yang dibakar.



Gambar 2.8 Hubungan emisi gas buang terhadap *Equivalent Ratio*

Sumber : Pulkrabek (1997 : 279)

## 2.8 Karakteristik Mesin Otto

### 2.8.1 Torsi

Gerak translasi piston didalam silinder yang menyebabkan putaran pada poros engkol (*crankshaft*) disebut sebagai torsi. Pengukuran torsi pada suatu mesin dilakukan menggunakan *dynamometer*. *Dynamometer* bekerja dengan cara mengukur beban pengereman poros yang dihubungkan ke poros engkol. Torsi dirumuskan sebagai berikut :

$$T = F.L$$

Dimana

$T$  = Torsi (kg.m)

$F$  = Gaya pembebanan (kg)

$L$  = Panjang lengan *dynamometer* (0.3m)

### 2.8.2 Daya Efektif

Daya yang dihasilkan perkalian besarnya torsi dengan putaran mesin. Daya tersebut merupakan hasil perubahan kalor didalam ruang bakar yang menjadi kerja. Daya efektif dirumuskan sebagai berikut :

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

Dimana

$Ne$  = Daya efektif (PS)

$T$  = Torsi (kg.m)

$N$  = Putaran (rpm)

### 2.8.3 *Specific Fuel Consumption Effective* (SFCe)

SFCe merupakan konsumsi bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif sebesar 1 PS selama 1 jam. Nilai konsumsi bahan bakar diperoleh dari perhitungan jumlah konsumsi bahan bakar dan daya efektif. Rumus SFCe itu sendiri adalah sebagai berikut :

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



$$FC = Q * \frac{3600}{1000}$$

Dimana

Q = Debit

FC = Konsumsi bahan bakar tiap satu jam (kg/jam)

SFCe = Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/PS.jam)

Ne = Daya efektif

### 2.8.4 Efisiensi Termal Efektif ( $\eta_e$ )

Efisiensi termal efektif adalah suatu ukuran dimana untuk mengetahui seberapa ekonomis atau tidaknya pemakaian bahan bakar. Efisiensi termal efektif juga dapat diartikan seberapa besar bahan bakar yang dikonversikan menjadi daya pada mesin.

Besarnya nilai dari efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai dari SFCe.

Efisiensi termal efektif dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta_e = \frac{632 \times Ne}{FC \times Q_b}$$

Dimana :

$\eta_e$  = Efisiensi termal efektif (%)

Q<sub>b</sub> = Nilai kalor bawah bahan bakar (LHV) (kkal/kg)

## 2.9 Gaya Pengereman

Rem berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan. Rem juga dapat digunakan sebagai beban pada mesin untuk mengukur seberapa besar mesin tersebut dapat menerima beban. Mesin tersebut akan memberikan gaya berupa gaya pengereman.

## 2.10 Hipotesis

Perbedaan rasio  $H/C$  antara bahan bakar etanol dengan pertalite menyebabkan perbedaan AFR pada kedua bahan bakar tersebut. Perubahan nilai *air-fuel ratio* (AFR) pada motor bakar 4 langkah injeksi akan berdampak signifikan terhadap performa yang dihasilkan. Semakin kecil nilai AFR sampai titik tertentu dibandingkan AFR *stoichiometri* bahan bakar akan meningkatkan performa (torsi, daya efektif, SFCe, dan efisiensi termal efektif) begitu juga sebaliknya.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian performa motor bakar adalah metode eksperimental. Pengujian yang akan dilakukan mengenai pengaruh *air fuel ratio* terhadap kinerja mesin Otto 4 langkah dengan sistem injeksi menggunakan bahan bakar etanol 96%.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang dilaksanakan pada bulan April 2017 sampai dengan selesai.

### 3.2 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang akan digunakan pada penelitian ini adalah :

#### 1. Variabel bebas (*independent variable*)

Variabel bebas merupakan variabel yang digunakan untuk mempengaruhi besarnya nilai yang akan diteliti oleh peneliti. Variabel bebas yang digunakan adalah sebagai berikut :

- *Air – Fuel Ratio* (AFR)

Variasi AFR diterapkan pada mesin motor Honda Supra Injeksi 125cc. AFR standar mesin dengan bahan bakar bensin akan dijadikan dasar kinerja mesin pada penelitian ini. Variasi AFR dilakukan dan dikontrol melalui remote ECU *Programmable*. Adapun variasi yang digunakan adalah sebagai berikut: 8, 9, dan 10.

- Kecepatan putar poros.

Pengaturan kecepatan putaran poros dilakukan dengan cara mengatur bukaan *throttle* yang terdapat pada *intake manifold* dengan variasi putaran sebesar : 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 6500, dan 7000 putaran/menit.

#### 2. Variabel terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Dengan kata lain, variabel terikat merupakan hasil atau output dari variabel bebas. Nilai dari variabel terikat baru dapat ditentukan setelah penelitian tersebut telah selesai. Variabel terikat pada penelitian adalah sebagai berikut :



- Torsi,
- Daya efektif,
- *Specific fuel consumption effective* (SFCe),
- Efisiensi termal efektif.

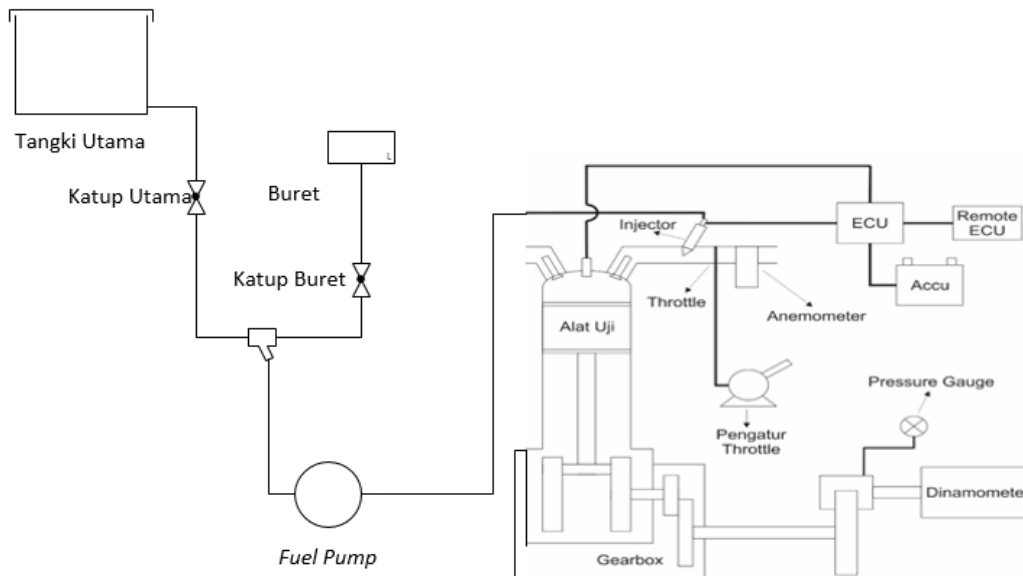
### 3. Variabel terkontrol (*controlled variable*)

Variabel terkontrol merupakan variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti dan dikondisikan dalam keadaan konstan. Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Rasio kompresi mesin yang diuji adalah 9,3:1
- Perbandingan putaran antara *crankshaft* hingga poros dinamometer sebesar 1 : 5.1925
- Tekanan pengereman 1.5 bar (konstan)
- Menggunakan bahan bakar etanol dengan kadar 96% dan 99%

### 3.3 Skema Instalasi Penelitian

Instalasi alat pada penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 Skema Instalasi Penelitian

Skema instalasi diatas menggunakan motor bakar 4 langkah injeksi berkapasitas 125 cc 1 silinder. Motor bakar yang diteliti ditempatkan pada suatu rangkaian besi penyangga

agar posisi motor bakar tidak berubah meskipun motor bakar tersebut dalam kondisi dinyalakan. Bahan bakar yang digunakan adalah etanol 96% dan 99%. Bahan bakar etanol harus memenuhi seluruh saluran bahan bakar dan buret. Pada kondisi mesin *idle*, pasokan etanol berasal dari tangki utama. Sedangkan pada saat pengambilan data penelitian, pasokan bahan bakar ke pompa bahan bakar berasal dari buret. ECU bertugas untuk mengatur waktu dan lama penyemprotan bahan bakar kedalam ruang bakar sesuai dengan kebutuhan mesin. Banyaknya campuran bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar diatur melalui pengatur *throttle*. Kemudian untuk pembacaan nilai putaran mesin digunakan *remote* ECU yang tersambung pada ECU *Programmable* dimana didalam *remote* ECU sudah dapat dilihat besarnya nilai putaran, *ignition timing* dan juga AFR. Dinamometer berguna untuk mengetahui besar gaya pembebanan yang diterima mesin. Anemometer digunakan untuk mengetahui banyaknya aliran udara yang masuk ke *intake manifold*.

### 3.4 Alat-alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### a. Mesin Otto 4 langkah dengan sistem injeksi

Mesin pada penelitian ini menggunakan mesin sepeda motor berbahan bakar bensin. Bahan bakar etanol digunakan sebagai pengganti bahan bakar bensin. Mesin yang digunakan tidak mengalami modifikasi maupun mengganti part-part dari mesin yang akan diuji. Spesifikasi dari mesin yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Tipe Mesin : 4 langkah, SOHC, Silinder Tunggal
- Kapasitas Mesin : 125 cc / 124.89 cc
- Diameter x Langkah : 52.4 x 57.9 mm
- Perbandingan Kompresi : 9.3 : 1
- Sistem Bahan Bakar : Fuel Injection
- Tipe transmisi : 4 kecepatan, (N – 1 – 2 – 3 – 4 – N)





**Gambar 3.2** Mesin sepeda motor Honda Supra Injeksi

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

**b. Dinamometer**

Alat ini digunakan untuk mengukur torsi yang dihasilkan oleh mesin.



**Gambar 3.3** Dinamometer

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

**c. Anemometer Digital**

Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan udara yang masuk melalui *intake manifold* yang nantinya dikonversi menjadi debit udara.



Gambar 3.4 Anemometer Digital

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

d. *ECU Programmable*

*ECU Programmable* berfungsi untuk menggantikan ECU standar mesin uji yang digunakan. Hal ini disebabkan pengaturan pada ECU standar tidak bisa diubah sesuai keinginan pemrogram. Banyak hal yang dapat diprogram oleh *ECU Programmable* diantaranya adalah *injector timing*, *injector duration*, *ignition timing*, dan pengaturan rpm limit,



Gambar 3.5 ECU Programmable Juken 3 BRT

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

e. *Remote Programmer*

Alat ini berfungsi untuk memprogram atau mengendalikan *ECU Programmable* sesuai yang diinginkan peneliti.





Gambar 3.6 Remote Programmer I-Max 3

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

f. Buret

Buret digunakan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar yang terpakai selama pengambilan data pengujian dilakukan. Buret yang digunakan berkapasitas 10 ml.



Gambar 3.7 Buret

Sumber : Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

### 3.5 Mengubah AFR melalui ECU Programmable

Mesin kendaraan bermotor dengan sistem bahan bakar injeksi, baik mesin otto maupun mesin diesel dilengkapi ECU (*Engine Control Unit*) untuk mengatur asupan bahan bakar kedalam mesin. Pada mesin standar, nilai AFR pada mesin tersebut tidak



dapat diubah karena ECU yang digunakan tidak bisa diprogram ulang. Oleh karena itu, agar dapat mengubah AFR pada mesin standar dibutuhkan ECU *Programmable*.

Pada penelitian ini, ECU *Programmable* yang digunakan dilengkapi dengan *Remote* ECU dan sebuah aplikasi ECU *Programmable*. Pengaturan variasi AFR pada ECU *Programmable* dilakukan dengan cara mengatur *injector duration* atau durasi penyemprotan bahan bakar di injektor. Berikut ini merupakan langkah-langkah mengatur AFR menggunakan ECU *Programmable* Juken 3 :

1. Sambungkan ECU *Programmable* Juken 3 dengan aplikasi Juken 3 yang sudah terinstal pada laptop.
2. Kirim data *mapping* dari ECU *Programmable* Juken 3 ke laptop.
3. Kemudian ubah nilai *basemap (injector duration)* dengan memasukkan nilai prosentase peningkatan atau penurunan nilai AFR pada tabel *fuel correction* hingga nilai *basemap* menjadi berubah.
4. Kirim data *basemap* yang telah divariasikan ke ECU *Programmable* Juken 3.

### 3.6 Metode Pengambilan Data

Dalam pengambilan data penelitian, hal pertama yang harus dilakukan adalah menyiapkan alat-alat penelitian, bahan-bahan penelitian, dan skema instalasi. Setelah disiapkan, etanol 96% dituang ke dalam tangki bahan. Saluran bahan bakar dan buret harus dipastikan telah terisi etanol. Jika semua saluran bahan bakar dan buret sudah terisi penuh dengan etanol, maka katup bahan bakar dari buret menuju mesin ditutup.

Pengaturan nilai *Air-Fuel Ratio (AFR)* dilakukan menggunakan *Remote* ECU sesuai dengan variasi yang telah ditentukan. Alat uji dinyalakan sampai mesin mencapai keadaan *idle/stasioner* dengan katup bahan bakar antara mesin dengan buret masih dalam keadaan tertutup. Selanjutnya posisikan transmisi ke *gear 2* dengan tekanan pengereman diatur pada 1.5 bar. Putaran mesin diatur dengan cara membuka *throttle position* sesuai dengan variasi yang telah ditentukan.

Pengambilan data dilakukan dengan menutup katup saluran bahan bakar dari tangki utama dan membuka katup saluran bahan bakar dari buret secara bersamaan. Besarnya torsi yang dihasilkan oleh mesin akan terbaca pada dinamometer sedangkan kecepatan udara masuk ke ruang bakar diukur menggunakan anemometer. Debit aliran etanol 96% dan 99% di buret diukur pada putaran mesin 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 6500, dan 7000 putaran/menit. Pengambilan data diulang sebanyak 3 kali untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat pada setiap putaran mesin yang telah ditentukan.

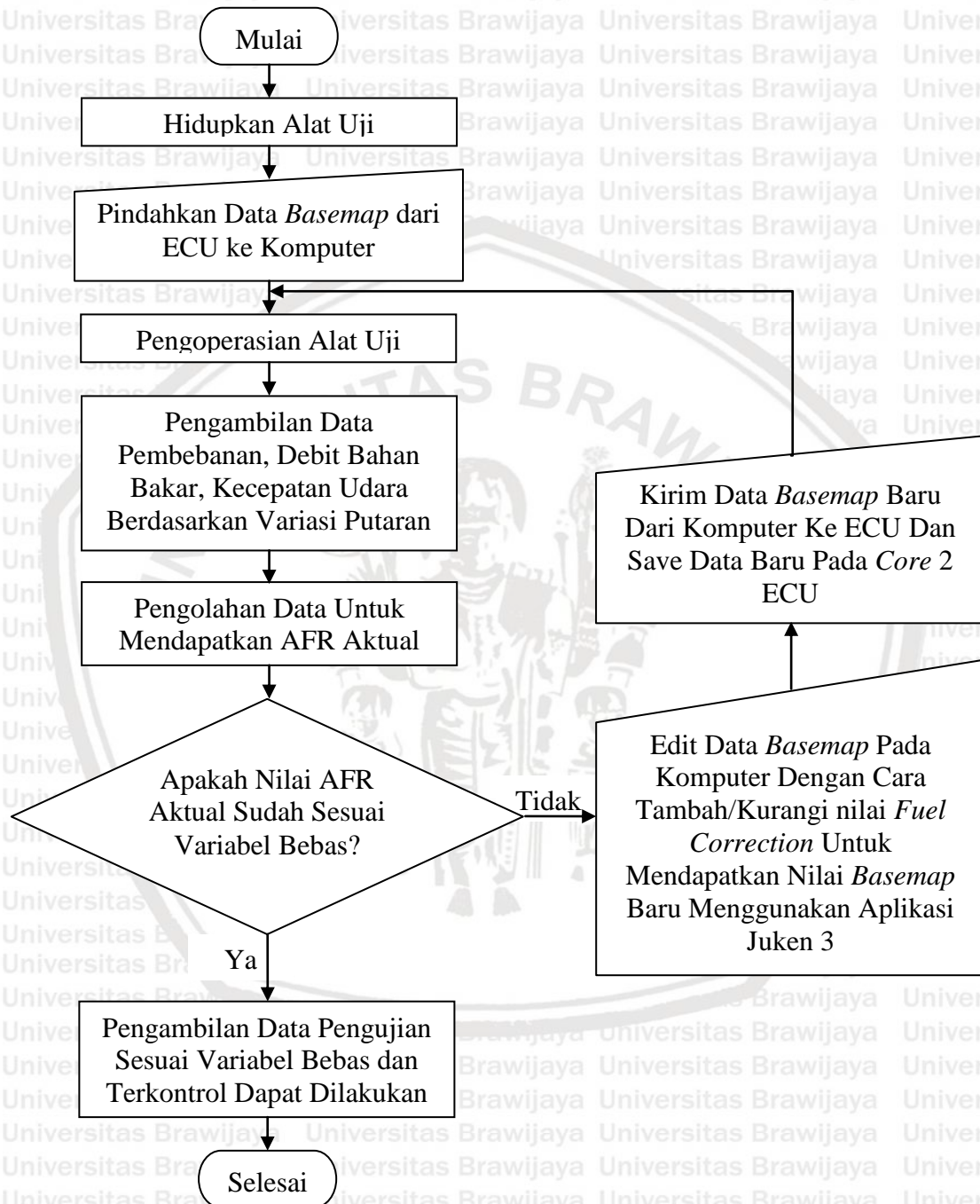


Selanjutnya alat uji dimatikan dan nilai *Air-Fuel Ratio* diatur sesuai dengan variabel bebas yang telah ditentukan. Setelah pengujian selesai maka alat uji dimatikan dan seluruh etanol yang terdapat disaluran bahan bakar dikeluarkan. Langkah-langkah pengujian tersebut dilakukan pengulangan sesuai dengan variabel/parameter yang telah ditentukan.



### 3.7 Diagram Alir Penentuan *Basemap* Etanol

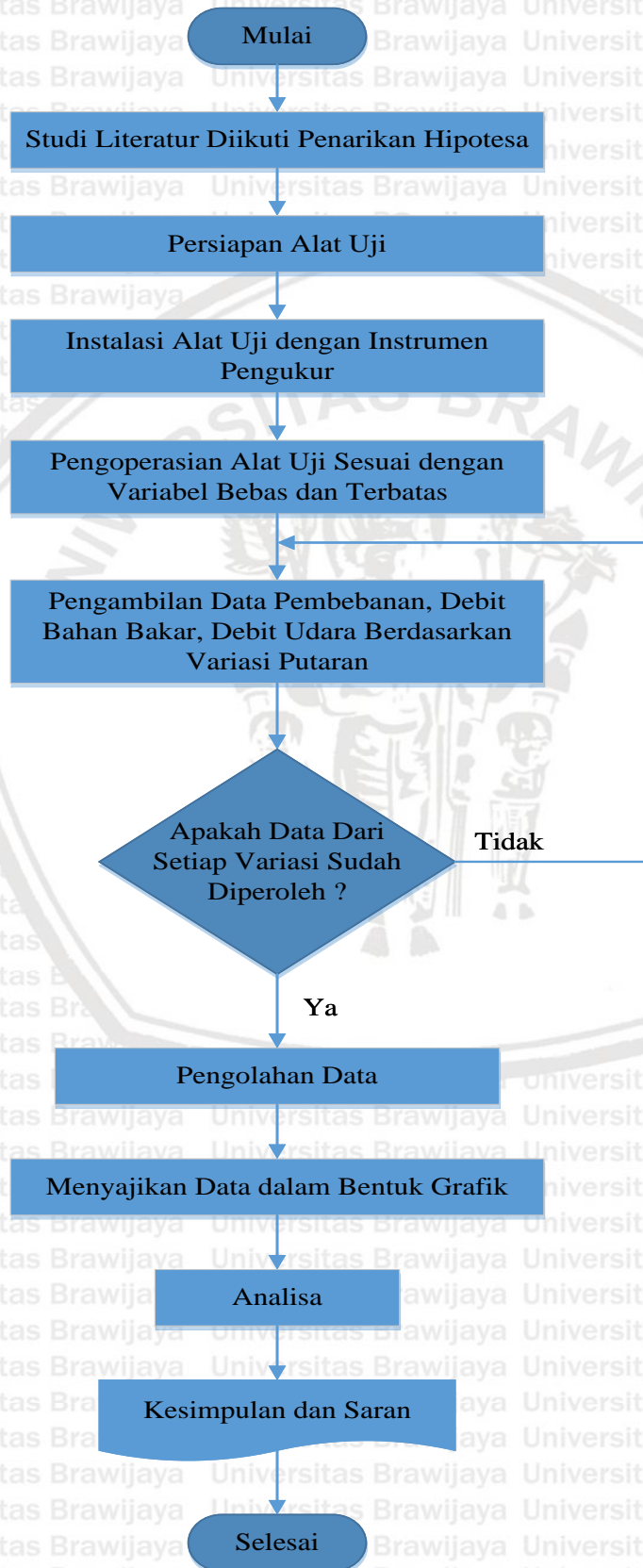
Diagram berikut ini merupakan alur menentukan data *basemap* etanol menggunakan data *basemap* pertalite :





### 3.8 Diagram Alir Penelitian

Alur pemikiran yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat dari gambar diagram alir di berikut ini, yaitu:



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Data

#### 4.1.1 Data Hasil Pengujian

Data kinerja motor bakar 4 langkah injeksi berbahan bakar etanol 96% dan 99% diperoleh dengan cara memvariasikan AFR. Pada mesin injeksi, pengaturan AFR dilakukan dengan cara mengubah nilai *injector duration* (lamanya penyemprotan) bahan bakar etanol yang masuk ke ruang bakar. Pada pengujian, tekanan beban pengereman dijaga konstan 1,5 bar. Pengambilan data dilakukan pada setiap putaran *crankshaft* dari 2500 rpm hingga 7000 rpm dengan *interval* 500 rpm. Data hasil pengujian adalah sebagai berikut:

Jenis Pengujian	: Pengujian Kinerja Mesin Otto
Temperatur Ruang	: 27 °C
Tekanan Udara Atmosfer	: 1 atm
$\rho$ etanol	: 789 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 dengan etanol 96%

$n_{crankshaft}$ (rpm)	$n_{dinamometer}$ (rpm)	Gasoline	F dinamometer (kg)		
			AFR 8	AFR 9	AFR 10
2500	481.46	5.7	5.5	5.433	5.367
3000	577.76	5.933	5.733	5.733	5.633
3500	674.05	6.767	6.233	5.967	5.9
4000	770.34	6.733	6.433	6.167	6
4500	866.63	6.667	6.667	6.267	6.133
5000	962.93	6.333	6.333	5.9	5.767
5500	1059.22	6.1	5.9	5.767	5.533
6000	1155.51	5.7	5.9	5.533	5.433
6500	1251.81	5.5	5.667	5.13	5.067
7000	1348.1	5.233	5.533	4.9	4.867





Tabel 4.2

Data Debit etanol 96% pada Setiap Variasi AFR dan Putaran

$n_{crankshaft}$ (rpm)	$n_{dinamometer}$ (rpm)	<i>Gasoline</i>	Q Bahan bakar (lt/min)		
			AFR 8	AFR 9	AFR 10
2500	481.46	0.007	0.019	0.015	0.014
3000	577.76	0.008	0.02	0.017	0.016
3500	674.05	0.01	0.023	0.019	0.018
4000	770.34	0.011	0.027	0.023	0.019
4500	866.63	0.014	0.031	0.025	0.022
5000	962.93	0.017	0.035	0.026	0.024
5500	1059.22	0.018	0.039	0.029	0.027
6000	1155.51	0.019	0.043	0.033	0.031
6500	1251.81	0.02	0.051	0.035	0.033
7000	1348.1	0.021	0.058	0.04	0.036

Tabel 4.3

Data Gaya Pengereman pada Setiap Variasi AFR dan Putaran dengan etanol 99%

$n_{crankshaft}$ (rpm)	$n_{dinamometer}$ (rpm)	<i>Gasoline</i>	F dinamometer (kg)		
			AFR 8	AFR 9	AFR 10
2500	481.46	5.7	5.5	5.367	5.233
3000	577.76	5.933	5.7	5.533	5.467
3500	674.05	6.767	6	5.667	5.567
4000	770.34	6.733	6.533	6.167	5.967
4500	866.63	6.667	5.767	5.567	5.533
5000	962.93	6.333	5.8	5.633	5.467
5500	1059.22	6.1	5.467	5.267	5.133
6000	1155.51	5.7	5.3	5.1	5.033
6500	1251.81	5.5	5	4.867	4.833
7000	1348.1	5.233	4.8	4.633	4.6

Tabel 4.4  
Data Debit etanol 99% pada Setiap Variasi AFR dan Putaran

$n_{crankshaft}$ (rpm)	$n_{dinamometer}$ (rpm)	<i>Gasoline</i>	Q Bahan bakar (lt/min)		
			AFR 8	AFR 9	AFR 10
2500	481.46	0.007	0.016	0.015	0.014
3000	577.76	0.008	0.017	0.016	0.015
3500	674.05	0.01	0.02	0.018	0.016
4000	770.34	0.011	0.022	0.021	0.017
4500	866.63	0.014	0.025	0.022	0.019
5000	962.93	0.017	0.027	0.026	0.021
5500	1059.22	0.018	0.028	0.027	0.023
6000	1155.51	0.019	0.031	0.03	0.025
6500	1251.81	0.02	0.034	0.033	0.028
7000	1348.1	0.021	0.037	0.035	0.031

Tabel 4.5  
Data Kecepatan Udara pada Setiap Variasi AFR dan Putaran

$n_{crankshaft}$ (rpm)	$n_{dinamometer}$ (rpm)	<i>Gasoline</i>	$v$ Udara (m/s)		
			AFR 8	AFR 9	AFR 10
2500	481.46	2.98	2.92	2.66	2.79
3000	577.76	3.19	3.05	3.06	3.16
3500	674.05	3.62	3.57	3.36	3.46
4000	770.34	4.37	4.2	4.06	4.27
4500	866.63	4.78	4.75	4.56	4.62
5000	962.93	5.32	5.26	4.66	5.12
5500	1059.22	5.86	5.86	5.06	5.22
6000	1155.51	6.45	6.56	5.76	5.77
6500	1251.81	6.71	6.62	5.99	6.1
7000	1348.1	6.93	6.75	6.56	6.74



#### 4.1.2 Pengolahan Data

Berikut ini merupakan contoh perhitungan kinerja pada putaran *crankshaft* 4500 rpm dengan AFR 9:

- Data:

*Air fuel ratio* (AFR) : 9

Putaran *crankshaft* ( $n_{crank}$ ) : 4500 rpm

Putaran dinamometer ( $n_d$ ) : 866.63 rpm

*Rasio gearbox* : 5.1925

Gaya pengereman dinamometer ( $F_d$ ) : 6.267 kg

Panjang lengan dinamometer ( $L$ ) : 0.3 m

Nilai Kalor Bawah etanol (LHV) ( $Q_b$ ) :  $7842.092 \text{ kkal} \times \text{kg}^{-1}$

*Densitas etanol* ( $\rho_{etanol}$ ) :  $789 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$

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

$$\begin{aligned} T_{dinamometer} &= F_d \times L \\ &= 6.267 \text{ kg} \times 0.3 \text{ m} \\ &= 1.8801 \text{ kg} \times \text{m} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} T_{crankshaft} &= \frac{T_{dinamometer} \times n_d}{n_{crank}} \\ &= \frac{1.8801 \text{ kgm} \times 866.63 \text{ rpm}}{4500 \text{ rpm}} \\ &= 0.362 \text{ kg} \times \text{m} \end{aligned}$$

b. Daya Termal Efektif ( $Ne$ )

$$\begin{aligned} Ne &= \frac{T \times n}{716.2} \\ Ne &= \frac{0.362 \times 4500}{716.2} = 2.275 \text{ Ps} \end{aligned}$$

c. *Fuel Consumption* (FC)

$$\begin{aligned} FC &= \frac{Q_{etanol} \times \rho_{etanol} \times 1000 \times 3600}{60 \times 1000} \\ FC &= \frac{0.0258 \times 0.789 \times 1000 \times 3600}{60 \times 1000} = 1.221 \text{ kg} \times \text{jam}^{-1} \end{aligned}$$

d. *Specific Fuel Consumption Effective* (SFCe)

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

$$SFCe = \frac{1.221}{2.275} = 0.537 \text{ kg} \times Ps^{-1} \times \text{jam}^{-1}$$

e. Efisiensi Termal Efektif ( $\eta_e$ )

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

$$\eta_e = \frac{632}{0.537 \times 7842.092} \times 100\% = 15.007 \%$$

#### 4.1.3 Hasil Pengolahan Data

Berikut ini adalah hasil pengujian performa motor bakar 4 langkah injeksi berbahan bakar etanol 96% dan 99%.

Tabel 4.6  
Data Torsi pada Setiap Variasi AFR dan Putaran

$n_{crankshaft}$ (rpm)	$n_{dinamometer}$ (rpm)	<i>Gasoline</i>	$T_{crankshaft}$ (kgm)					
			AFR 8 etanol 96%	AFR 9 etanol 96%	AFR 10 etanol 96%	AFR 8 etanol 99%	AFR 9 etanol 99%	AFR 10 etanol 99%
2500	481.46	0.329	0.318	0.314	0.31	0.318	0.31	0.302
3000	577.76	0.343	0.331	0.331	0.326	0.329	0.32	0.316
3500	674.05	0.391	0.36	0.345	0.341	0.347	0.327	0.322
4000	770.34	0.389	0.372	0.356	0.347	0.378	0.356	0.345
4500	866.63	0.385	0.385	0.362	0.354	0.333	0.322	0.32
5000	962.93	0.366	0.366	0.341	0.333	0.335	0.326	0.316
5500	1059.22	0.352	0.341	0.333	0.32	0.316	0.304	0.297
6000	1155.51	0.329	0.342	0.32	0.314	0.306	0.295	0.291
6500	1251.81	0.318	0.327	0.316	0.302	0.289	0.281	0.279
7000	1348.1	0.302	0.32	0.295	0.302	0.277	0.268	0.266



Tabel 4.7  
Hasil Pengolahan Data Daya Efektif

$n_{\text{crankshaft}}$ (rpm)	$n_{\text{dinamometer}}$ (rpm)	<i>Gasoline</i>	Ne (Ps)					
			AFR 8 etanol 96%	AFR 9 etanol 96%	AFR 10 etanol 96%	AFR 8 etanol 99%	AFR 9 etanol 99%	AFR 10 etanol 99%
2500	481.46	1.15	1.109	1.096	1.082	1.109	1.082	1.055
3000	577.76	1.436	1.388	1.388	1.363	1.38	1.339	1.323
3500	674.05	1.911	1.76	1.685	1.666	1.694	1.6	1.572
4000	770.34	2.173	2.076	1.99	1.936	2.108	1.99	1.925
4500	866.63	2.42	2.42	2.275	2.227	2.093	2.021	2.009
5000	962.93	2.555	2.555	2.38	2.326	2.339	2.272	2.205
5500	1059.22	2.707	2.618	2.559	2.455	2.426	2.337	2.278
6000	1155.51	2.759	2.856	2.678	2.63	2.565	2.469	2.436
6500	1251.81	2.884	2.971	2.867	2.744	2.622	2.552	2.534
7000	1348.1	2.955	3.125	2.88	2.955	2.711	2.616	2.598

Tabel 4.8  
Hasil Pengolahan Data SFCE

$n_{\text{crankshaft}}$ (rpm)	$n_{\text{dinamometer}}$ (rpm)	<i>Gasoline</i>	SFCE (kg/Ps jam)					
			AFR 8 etanol 96%	AFR 9 etanol 96%	AFR 10 etanol 96%	AFR 8 etanol 99%	AFR 9 etanol 99%	AFR 10 etanol 99%
2500	481.46	0.344	0.817	0.667	0.633	0.673	0.672	0.667
3000	577.76	0.298	0.678	0.592	0.569	0.565	0.554	0.539
3500	674.05	0.281	0.63	0.534	0.513	0.552	0.537	0.465
4000	770.34	0.283	0.622	0.557	0.554	0.52	0.501	0.42
4500	866.63	0.314	0.603	0.537	0.51	0.568	0.496	0.45
5000	962.93	0.356	0.642	0.526	0.553	0.546	0.534	0.458
5500	1059.22	0.353	0.697	0.545	0.522	0.537	0.529	0.479
6000	1155.51	0.366	0.714	0.619	0.569	0.568	0.567	0.477
6500	1251.81	0.367	0.819	0.576	0.575	0.616	0.617	0.53
7000	1348.1	0.369	0.88	0.655	0.578	0.654	0.64	0.573

Tabel 4.9  
Hasil Pengolahan Data Efisiensi Termal Efektif

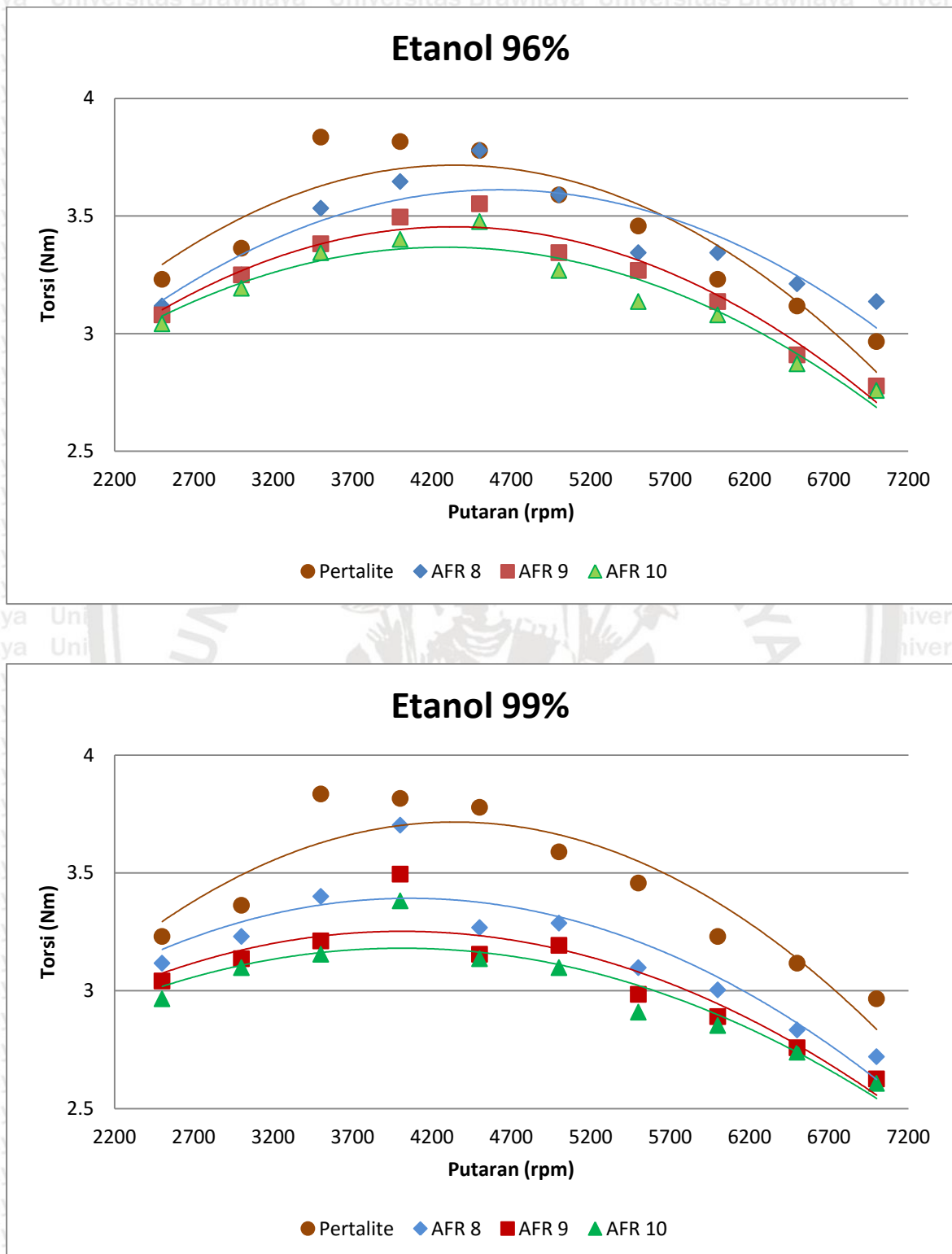
$n_{crankshaft}$ (rpm)	$n_{dinamometer}$ (rpm)	Gasoline	AFR 8 etanol 96%	AFR 9 etanol 96%	$\eta_e$ (%) AFR 10 etanol 96%	AFR 8 etanol 99%	AFR 9 etanol 99%	AFR 10 etanol 99%
2500	481.46	17.499	12.039	14.752	15.546	14.625	14.646	14.745
3000	577.76	20.171	14.514	16.613	17.283	17.408	17.765	18.269
3500	674.05	21.399	15.606	18.42	19.176	17.819	18.307	21.159
4000	770.34	21.243	15.819	17.668	17.771	19.692	19.643	23.452
4500	866.63	19.169	16.318	18.334	19.306	17.33	19.832	21.87
5000	962.93	16.915	15.337	18.716	17.805	18.016	18.443	21.462
5500	1059.22	17.05	14.115	18.05	18.85	18.315	18.589	20.538
6000	1155.51	16.424	13.782	15.894	17.307	17.327	17.357	20.618
6500	1251.81	16.401	12.007	17.08	17.109	15.983	15.94	18.552
7000	1348.1	16.312	11.184	15.03	17.026	15.053	15.376	17.185

#### 4.2 Pembahasan Grafik

Hasil perhitungan data pengujian pada putaran 2500 rpm sampai dengan 7000 rpm dengan interval 500 rpm tiap pengambilan data, didapatkan parameter-parameter yang berhubungan dengan variasi putaran tersebut. Selanjutnya data hasil perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik untuk mempermudah proses analisis data. Analisis grafik hubungan antara putaran dengan performa motor bakar 4 langkah injeksi berbahan bakar etanol pada penelitian kali ini adalah torsi, daya efektif, *specific fuel consumption effective* (SFCe) dan efisiensi termal efektif.



#### 4.2.1 Pembahasan Grafik Hubungan Putaran terhadap Torsi



Gambar 4.1 Hubungan putaran terhadap torsi dengan variasi AFR

Grafik diatas menunjukkan hubungan putaran terhadap torsi dimana terlihat bahwa putaran sangat mempengaruhi besar nilai torsi. Pada putaran rendah nilai torsi cenderung naik kemudian seiring bertambahnya putaran nilai torsi kemudian turun. Hal ini disebabkan putaran poros mesin yang semakin cepat sehingga waktu yang diperlukan bagi campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar menjadi semakin singkat. Akibatnya, energi hasil pembakaran yang akan digunakan untuk menggerakkan piston juga semakin kecil yang menyebabkan nilai torsi yang dihasilkan juga kecil.

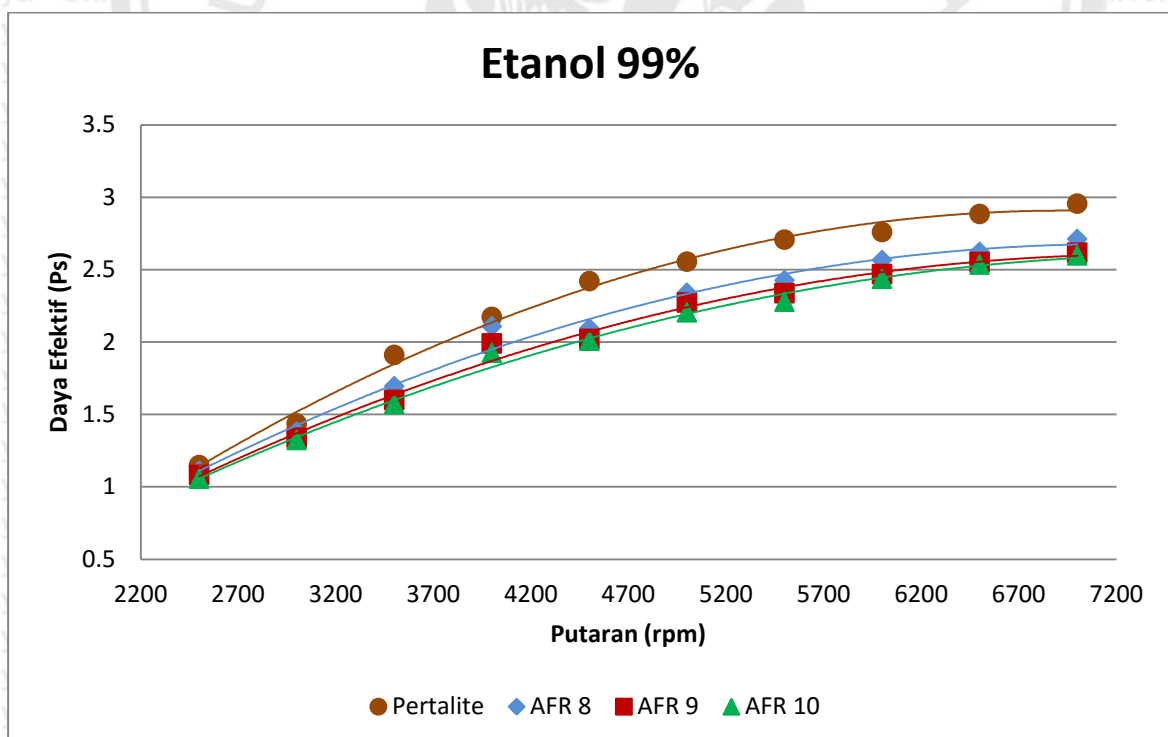
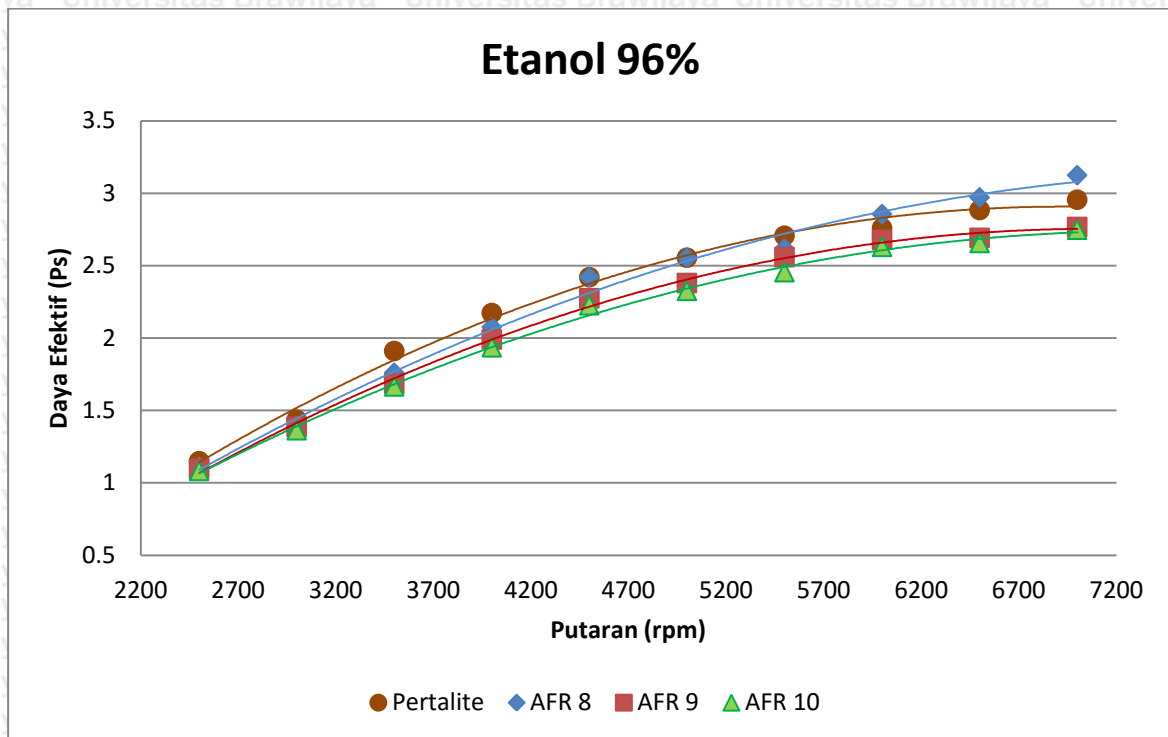
Torsi tertinggi pada tiap variasi AFR memiliki nilai yang berbeda-beda. Pada bahan bakar etanol 96% dengan AFR 8 nilai torsi tertinggi adalah 3.779 Nm pada putaran 4500 rpm. Pada AFR 9 nilai torsi tertinggi adalah 3.552 Nm pada putaran 4500 rpm. Pada AFR 10 nilai torsi tertinggi adalah 3.476 Nm pada putaran 4500 rpm. Sedangkan saat menggunakan bahan bakar etanol 99% pada AFR 8 nilai torsi tertinggi adalah 3.703 Nm pada putaran 4000 rpm. Pada AFR 9 nilai torsi tertinggi adalah 3.495 Nm pada putaran 4000 rpm. Pada AFR 10 nilai torsi tertinggi adalah 3.382 Nm pada putaran 4000 rpm.

Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai torsi tertinggi pada AFR 8 sebesar 6.354% dan penurunan nilai torsi tertinggi pada AFR 10 sebesar 2.210% dibandingkan nilai torsi tertinggi pada AFR 9 (*stoichiometri*) dengan bahan bakar etanol 96%. Sedangkan saat menggunakan bahan bakar etanol 99% terjadi peningkatan nilai torsi tertinggi pada AFR 8 sebesar 6.180% dan penurunan nilai torsi tertinggi pada AFR 10 sebesar 3.090% dibandingkan nilai torsi tertinggi pada AFR 9 (*stoichiometri*). Peningkatan atau penurunan nilai torsi diakibatkan campuran kaya / campuran miskin bahan bakar dengan udara yang masuk keruang bakar. Semakin kaya campuran bahan bakar dengan udara sampai titik tertentu semakin besar torsi yang dihasilkan begitu juga sebaliknya. Perlu diingat bahwa bahan bakar yang terlalu kaya / miskin membuat mesin menjadi sulit untuk dihidupkan. Selain itu besarnya putaran dapat mempengaruhi proses pembakaran, semakin cepat putaran mesin maka proses pembakaran yang berlangsung akan semakin cepat dan campuran kaya bahan bakar menyebabkan panas hasil pembakaran menjadi lebih besar.

Penggunaan etanol sebagai bahan bakar menyebabkan umumnya terjadinya penurunan nilai torsi pada putaran mesin yang sama dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar *gasoline*. Hal ini diakibatkan nilai LHV (*Low Heating Value*) etanol yang besarnya sekitar 26.9 MJ/kg sedangkan LHV *gasoline* sekitar 44 MJ/kg sehingga dibutuhkan lebih banyak bahan bakar etanol yang harus dibakar untuk menghasilkan besar *output* yang sama seperti saat menggunakan bahan bakar pertalite.



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



Gambar 4.2 Hubungan putaran terhadap daya efektif dengan variasi AFR

Pada gambar 4.2 menunjukkan bagaimana hubungan antara putaran terhadap daya efektif, dari dua grafik diatas terlihat bahwa putaran memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besar daya efektif. Semakin meningkatnya putaran maka besar daya efektif juga akan meningkat. Selain akibat dari besar nilai putaran, daya efektif juga dipengaruhi oleh nilai torsi. Seperti yang telah dijelaskan pada poin 4.2.1 besar daya efektif juga dipengaruhi oleh nilai torsi dimana pada putaran yang tinggi nilai torsi mengalami penurunan akibat kerugian mekanis yang semakin meningkat dan semakin cepatnya gerakan buka tutup katup isap pada langkah isap sehingga campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar semakin sedikit. Penurunan torsi ini menyebabkan nilai daya juga menurun. Akan tetapi, menurunnya nilai torsi dan daya berada pada putaran mesin yang berbeda. Torsi mengalami penurunan pada putaran mesin yang lebih rendah jika dibandingkan pada saat daya mulai turun. Hal ini dikarenakan nilai daya dipengaruhi oleh hasil perkalian nilai putaran dengan nilai torsi.

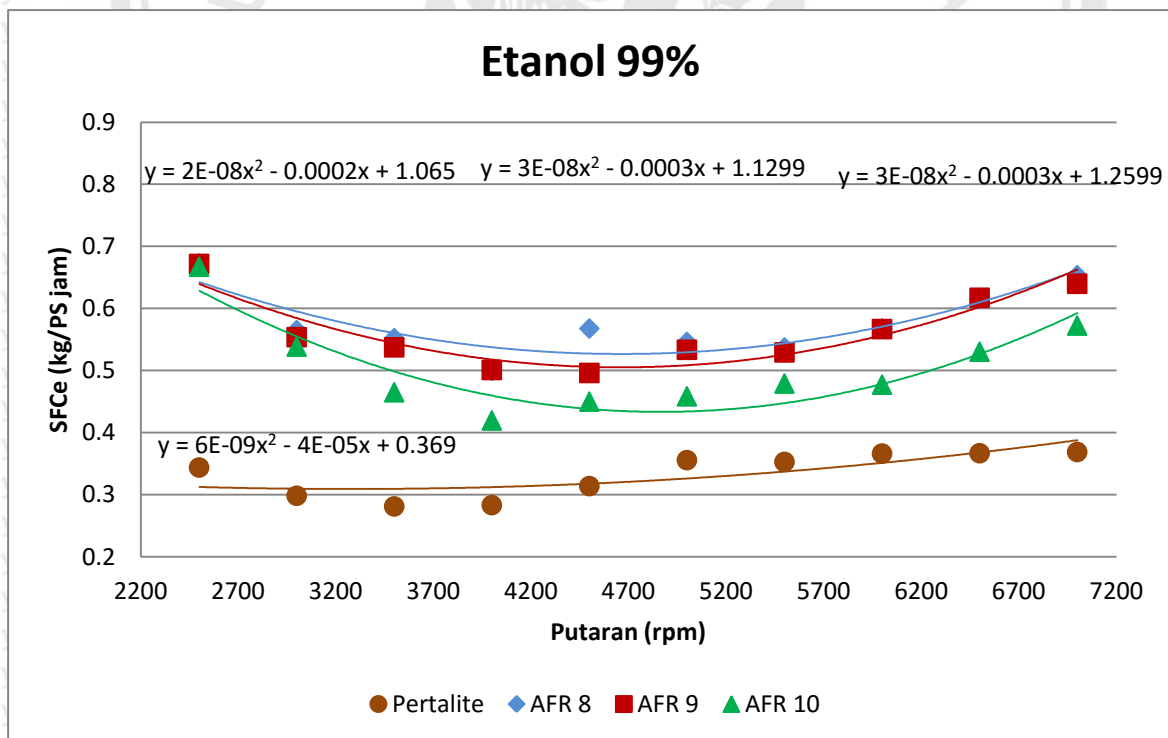
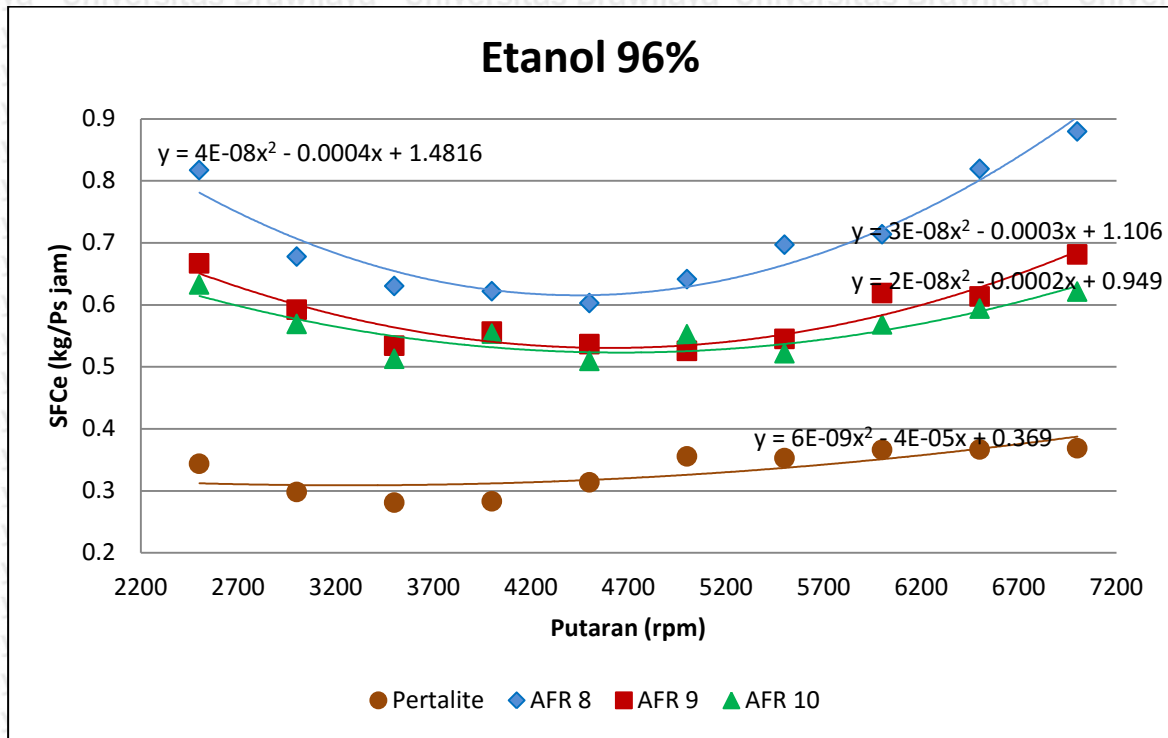
Pada dua grafik diatas dapat dilihat bahwa meningkatnya putaran menyebabkan daya semakin meningkat meskipun besar nilai torsi cenderung turun. Pada pengujian kinerja mesin otto ini, belum terjadi penurunan daya efektif hingga putaran 7000 rpm, hal ini dikarenakan penurunan daya pada spesifikasi dari mesin otto yang digunakan pada pengujian ini akan terjadi pada putaran diatas 7000 rpm.

Daya efektif tertinggi pada tiap variasi AFR memiliki nilai yang berbeda-beda namun pada nilai putaran yang sama yaitu pada putaran 7000 rpm. Pada bahan bakar etanol 96% dengan AFR 8 nilai daya efektif tertinggi adalah 3.125 Ps. Pada AFR 9 nilai daya efektif tertinggi adalah 2.767 Ps. Pada AFR 10 nilai daya efektif tertinggi adalah 2.748 Ps. Sedangkan pada bahan bakar etanol 99% dengan AFR 8 nilai daya efektif tertinggi adalah 2.711 Ps. Pada AFR 9 nilai daya efektif tertinggi adalah 2.616 Ps. Pada AFR 10 nilai daya efektif tertinggi adalah 2.598 Ps.

Dari kedua grafik diatas terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai daya tertinggi pada AFR 8 sebesar 8.807% dan pada AFR 10 sebesar 2.604% dibandingkan nilai torsi tertinggi pada AFR 9 (*stoichiometri*) dengan bahan bakar etanol 96%. Sedangkan saat menggunakan bahan bakar etanol 99% terjadi peningkatan nilai daya tertinggi pada AFR 8 sebesar 3.631% dan penurunan nilai daya tertinggi pada AFR 10 sebesar 0.688% dibandingkan nilai torsi tertinggi pada AFR 9 (*stoichiometri*). Akan tetapi, daya efektif bahan bakar etanol lebih rendah dibandingkan bahan bakar *gasoline*. Hal ini disebabkan LHV etanol yang lebih kecil daripada bahan bakar *gasoline*.



### 4.2.3 Pembahasan Grafik Hubungan Putaran terhadap SFCE



Gambar 4.3 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 menghasilkan besarnya konsumsi bahan bakar yang tidak sebanding dengan daya efektif yang dihasilkan. Sedangkan nilai SFCE yang tinggi pada saat putaran tinggi disebabkan oleh semakin banyaknya kerugian mekanis yang terjadi akibat semakin cepatnya putaran yang mengakibatkan semakin kecilnya daya yang dihasilkan meskipun dengan konsumsi bahan bakar yang sama yang mengakibatkan meningkatnya nilai SFCE.

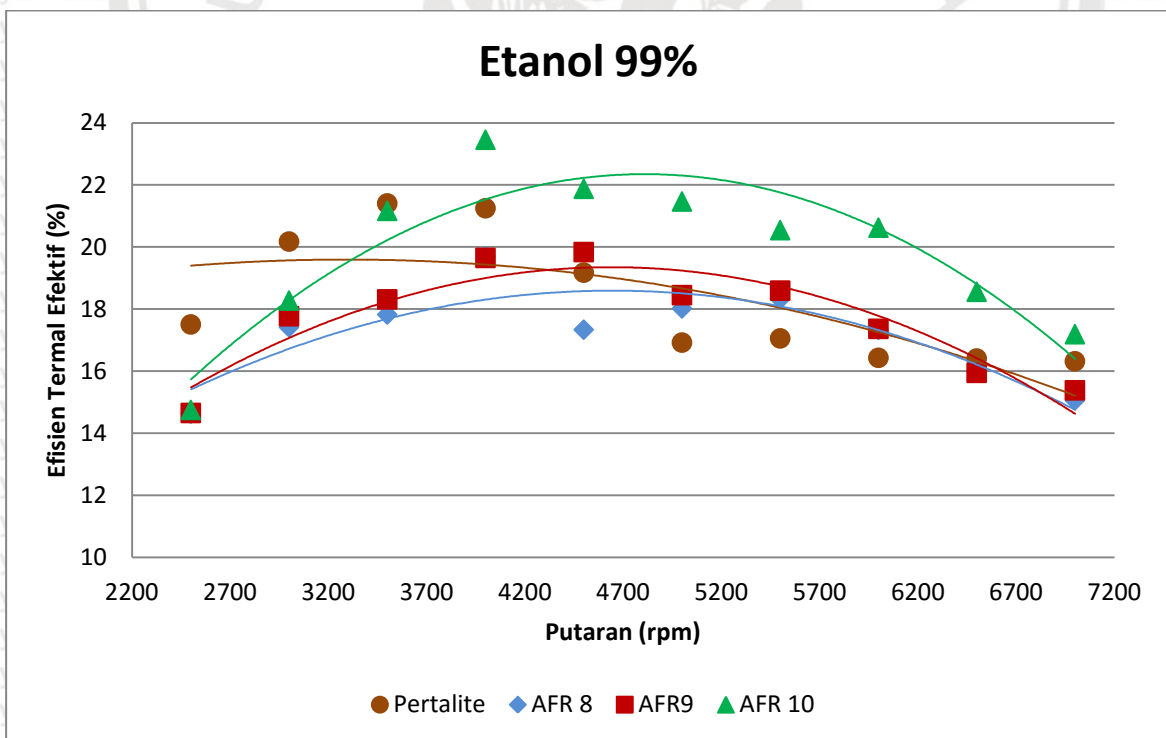
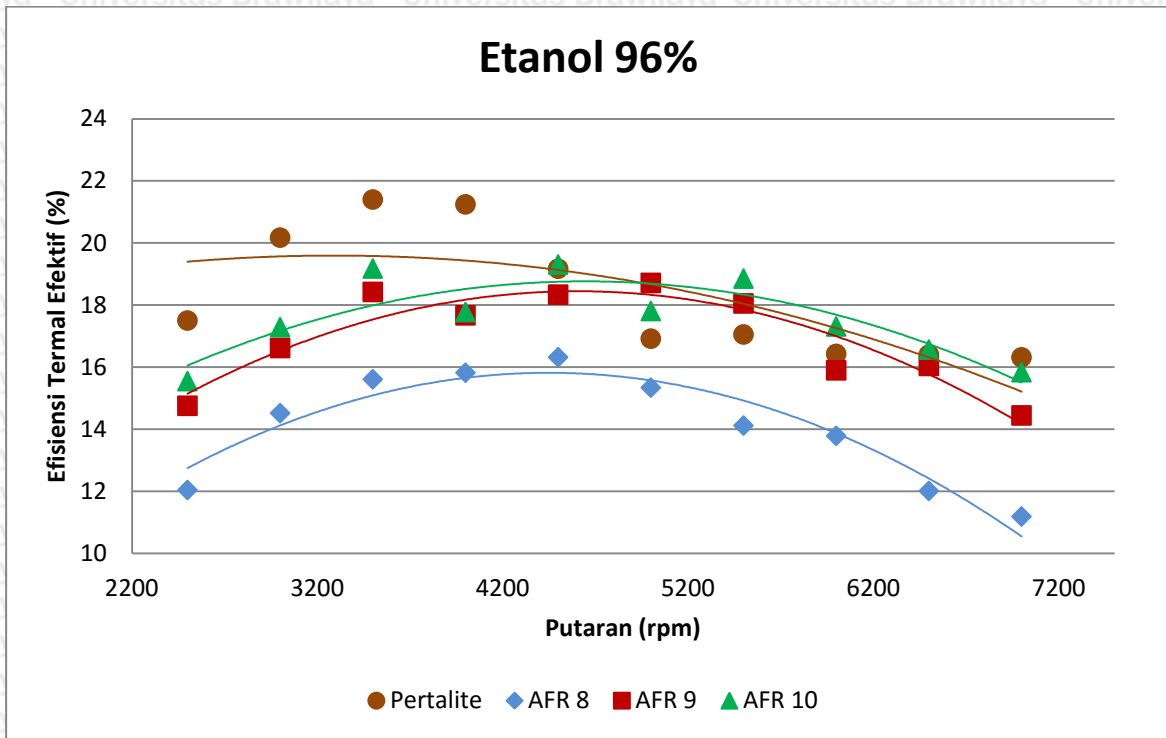
Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa SFCE etanol 96% dengan variasi AFR 8, AFR 9, dan AFR 10 masing-masing memiliki nilai SFCE minimum sebesar 0.603, 0.592, dan 0.569 kg/Ps·Jam. Sedangkan pada grafik SFCE etanol 99% dengan variasi AFR 8, AFR 9, dan AFR 10 masing-masing memiliki nilai SFCE minimum sebesar 0.52, 0.501, dan 0.42 kg/Ps·Jam. Nilai SFCE paling rendah pada kedua grafik tersebut didapat ketika variasi AFR 10 sebesar 0.569 kg/Ps·Jam pada etanol 96% dan 0.42 kg/Ps·Jam pada etanol 99%. Hal ini dikarenakan pada AFR 10 nilai *fuel consumption* (FC) yang dibutuhkan adalah yang paling rendah dibanding AFR lainnya. Dengan perubahan nilai daya efektif yang tidak signifikan dibandingkan dengan perubahan nilai FC yang lebih besar pada setiap variasi AFR, sehingga semakin rendah nilai FC maka akan didapatkan nilai SFCE yang semakin rendah juga.

Dari gambar 4.3 terlihat bahwa nilai SFCE terendah pada AFR 8 lebih besar 12.291% dan nilai SFCE terendah pada AFR 10 lebih rendah 5.028% dibandingkan nilai SFCE terendah pada AFR 9 (*stoichiometri*) dengan bahan bakar etanol 96%. Sedangkan saat menggunakan bahan bakar etanol 99% tidak terjadi peningkatan atau penurunan nilai SFCE terendah pada AFR 8 sedangkan terjadi penurunan nilai SFCE terendah pada AFR 10 sebesar 16.167% dibandingkan nilai SFCE terendah pada AFR 9 (*stoichiometri*).

Selain itu pada gambar 4.3 terlihat terjadi pergeseran titik minimum SFCE pada bahan bakar etanol 96% dan 99% dibandingkan titik minimum SFCE pertalite. Pergeseran ini terjadi karena bahan bakar etanol memiliki LHV yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar pertalite. Sehingga titik minimum SFCE dicapai pada putaran mesin yang lebih tinggi dibandingkan saat menggunakan bahan bakar pertalite. Kecilnya nilai kalor bahan bakar etanol menyebabkan jumlah kalor spesifik yang dapat dilepaskan menjadi lebih kecil sehingga dibutuhkan FC (*fuel consumption*) yang lebih besar untuk mendapatkan jumlah kalor spesifik yang sama dibanding saat menggunakan bahan bakar pertalite.



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



Gambar 4.4 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 berbahan bakar etanol 96% dan 99% dimana saat 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 efektif, konsumsi bahan bakar, dan nilai kalor bahan bakar (LHV).

Karena nilai kalor bahan bakar (LHV) tetap maka nilai daya efektif dan nilai konsumsi bahan bakar sangat berpengaruh pada nilai efisiensi termal efektif. Semakin besar daya efektif dan semakin besar konsumsi bahan bakar maka nilai efisiensi termal efektif juga meningkat begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu pada nilai putaran rendah daya efektif cenderung naik maka nilai efisiensi termal efektif juga naik dan pada nilai putaran tinggi yang daya efektifnya cenderung turun nilai efisiensi termal efektifnya juga cenderung turun. Persamaan di atas memperlihatkan bahwa nilai efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai SFCE dan besar atau kecilnya efisiensi termal tergantung pada nilai SFCE.

Pada grafik diatas dapat dilihat pada etanol 96% dengan variasi AFR 8, AFR 9, dan AFR 10 memiliki nilai efisiensi termal efektif sebesar 16.318%, 18.334%, dan 19.306%. Sedangkan pada etanol 99% dengan variasi AFR 8, AFR 9, dan AFR 10 memiliki nilai efisiensi termal efektif sebesar 19.692%, 19.643%, dan 23.452%. Efisiensi termal tertinggi pada masing-masing grafik didapatkan pada variasi AFR 10. Hal ini dikarenakan ketika menggunakan variasi AFR 10 konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan jauh lebih rendah jika dibandingkan variasi AFR 8 dan 9. Daya efektif yang dihasilkan pada variasi 8, 9, dan 10 juga tidak mengalami perubahan yang signifikan.





## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan bahwa perubahan *air fuel ratio* pada motor bakar 4 langkah injeksi berbahan bakar etanol dapat mempengaruhi performa mesin, seperti torsi, daya efektif, SFCE dan efisiensi termal efektif. Torsi mengalami peningkatan sebesar 6.354% pada etanol 96 % dan 6.180% pada etanol 99% dengan variasi AFR 8:1. Nilai daya efektif mengalami peningkatan sebesar 8.807% pada etanol 96% dan sedangkan pada AFR 10 terjadi penurunan nilai torsi dan daya efektif sebesar 2.210% dan 3.631% pada etanol 99% dengan variasi AFR 8. Nilai SFCE etanol jauh lebih boros dibandingkan menggunakan pertalite, dikarenakan perbedaan nilai AFR yang sangat jauh. Efisiensi termal terbaik diraih pada saat menggunakan bahan bakar etanol 96% dengan variasi AFR 10. Performa seperti torsi, daya efektif, dan SFCE terbaik motor otto 4 langkah injeksi berbahan bakar etanol diraih pada AFR 8 sedangkan efisiensi termal terbaik diraih pada AFR 10 menggunakan berbahan etanol 96%.

### 5.2 Saran

1. Selain memvariasikan AFR, juga disarankan untuk mengatur parameter pembakaran lainnya, seperti *compression ratio* sehingga untuk menghasilkan performa (torsi, daya efektif, SFCE, dan efisiensi termal efektif) yang lebih maksimal dalam penggunaan bahan bakar etanol 96% maupun 99%.
2. Gas buang yang dihasilkan sebaiknya ikut diteliti untuk mengetahui kadar emisi yang dihasilkan



## DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W. 2002. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak Cetakan Kedua*. Bandung:ITB
- Bintang Racing Team. 2016. *Juken 3 Programmable ECU*. Bandung: BRT
- Celik, Mustafa Bahattin, Bulent Ozdalyan. 2011. *Gasoline Direct Injection*. <https://www.intechopen.com/books/fuel-injection/gasoline-direct-injection>. (diakses pada tanggal 5 Mei 2017)
- Cengel, Y.A., Boles, M.A. 2006. *Thermodynamics An Engineering Approach 5th Edition*. New York: Mc Graw Hill Inc.
- Faiz, Asif and Weaver C. S. 1996. *Air Pollution from Motor Vehicles Standards and Technologies for Controlling Emissions*. The World Bank: Washington.
- Ganesan, V. 2007. *Intenal Combustion Engines Third Edition*. New Delhi: Tata McGraw-Hill
- Martyr A. J. and Plint M. A. 2007. *Engine Testing Theory And Practice Third Edition*. Linacre House: Oxford.
- Nababan, H.M., Himsar A., Tulus B. 2013. *Studi Kinerja Mesin Otto Menggunakan Bahan Bakar Bensin Dan Etanol 96%*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Kartika,Ivan. 2013. *Konversi Penggunaan Bahan Bakar Bensin ke Bahan Bakar Ethanol Pada Motor Bakar 4 Langkah Untuk Sepeda Motor*. Surabaya: Universitas Kristen Petra
- Pulkrabek, Williard W. 1997. *Engineering Fundamentals Of The Internal Combustion Engine*. Prentice Hall: New Jersey.
- Wardana, Ing. 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

**Lampiran 1. Mapping Injector Duration untuk Setiap Variasi AFR**

1. Mapping Injector Duration untuk AFR 8 : 1

TPM RPM \	0%	2%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
2250	6.8	6.8	8.4	10.7	12.9	14.7	17.2	18.9	20.2	20.9	21.5	21.5
2500	6.8	6.8	8.5	11.6	13.8	15.7	18.2	19.9	21.2	21.9	22.5	22.5
2750	6.3	6.3	7.9	10.5	12.6	14.3	16.7	18.2	19.4	20.1	20.6	20.6
3000	4.9	4.9	6.7	8.98	10.8	12.4	15.2	16.5	17.6	18.2	18.7	18.7
3250	4.5	4.5	6.6	8.58	10.3	11.8	14.5	16.1	17.1	18.1	18.5	18.5
3500	5	5	7.3	9.09	11	12.6	15.5	17.2	18.8	19.7	20.1	20.1
3750	4.7	4.7	7	8.85	10.7	12.3	14.6	16.3	18.3	19.2	19.6	19.6
4000	4.4	4.4	6.7	8.38	10.2	11.5	14.1	15.6	17.7	18.9	19.7	19.7
4250	3.9	3.9	5.7	7.51	8.79	9.99	12.1	13.6	15.5	16.9	17.6	17.8
4500	3.9	3.9	5.6	7.51	8.51	9.68	11.7	13.4	15.3	16.7	17.4	17.8
4750	3.7	3.7	5.5	7.38	8.59	9.77	11.9	13.6	15.4	16.9	17.8	18.2
5000	3.3	3.3	4.8	6.64	7.73	8.8	10.7	12.3	13.7	15	16	16.4
5250	3.2	3.2	4.7	6.78	7.87	8.99	10.7	12	13.6	14.9	15.9	16.3
5500	3.2	3.2	4.7	6.77	7.85	9	10.7	11.7	13.2	14.6	15.6	16
5750	3.2	3.2	5.1	6.55	7.81	8.71	10.4	11.5	13.1	14.4	15.5	15.9
6000	3.4	3.4	5.2	6.4	7.99	8.85	10.6	11.6	13.3	14.7	15.8	16.4
6250	3.4	3.4	4.9	6.29	7.54	8.4	10.2	11.3	13	14.4	15.5	16.1
6500	3.4	3.4	4.5	6.13	7.28	8.13	9.79	11	12.7	14	15.2	16.1
6750	3.4	3.4	4.2	6.18	7.12	7.96	9.64	10.6	12.3	13.7	14.8	15.7
7000	3.4	3.4	4.1	5.91	6.87	7.74	9.38	10.4	12	13.4	14.6	15.7
7250	3.2	3.2	3.5	5.54	6.45	7.26	8.64	9.61	11.2	12.5	13.6	14.4





2. Mapping Injector Duration untuk AFR 9 : 1

RPM \ TPS	0%	2%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
2250	5.9	5.9	7.3	9.27	11.2	12.8	15	16.4	17.6	18.2	18.7	18.7
2500	5.9	5.9	7.4	10.1	12	13.7	15.8	17.3	18.4	19.1	19.5	19.5
2750	5.9	5.9	7.4	9.83	11.8	13.4	15.6	17	18.2	18.8	19.3	19.3
3000	4.5	4.5	6.2	8.39	10.1	11.6	14.2	15.4	16.4	17	17.4	17.4
3250	4.2	4.2	6.3	8.17	9.85	11.3	13.8	15.3	16.3	17.2	17.6	17.6
3500	4.7	4.7	7	8.66	10.4	12	14.8	16.4	17.9	18.7	19.1	19.1
3750	4.5	4.5	6.7	8.43	10.2	11.7	13.9	15.5	17.5	18.3	18.7	18.7
4000	4.2	4.2	6.4	7.98	9.72	11	13.5	14.9	16.9	18	18.8	18.8
4250	3.8	3.8	5.5	7.15	8.37	9.51	11.6	13	14.7	16.1	16.8	17
4500	3.7	3.7	5.3	7.15	8.1	9.22	11.2	12.8	14.5	15.9	16.5	17
4750	3.5	3.5	5.2	6.96	8.1	9.22	11.2	12.8	14.5	15.9	16.8	17.2
5000	3.1	3.1	4.6	6.26	7.29	8.3	10.1	11.6	12.9	14.1	15.1	15.5
5250	3	3	4.5	6.4	7.42	8.48	10.1	11.4	12.9	14.1	15	15.4
5500	3	3	4.4	6.39	7.41	8.49	10.1	11	12.5	13.7	14.7	15.1
5750	3	3	4.8	6.18	7.37	8.22	9.81	10.9	12.4	13.6	14.6	15
6000	3.2	3.2	4.9	6.04	7.54	8.35	10	11	12.5	13.9	14.9	15.5
6250	3.2	3.2	4.6	5.93	7.11	7.92	9.59	10.7	12.3	13.6	14.6	15.2
6500	3.2	3.2	4.3	5.78	6.87	7.67	9.24	10.3	11.9	13.2	14.3	15.2
6750	3.2	3.2	4	5.83	6.72	7.51	9.09	10	11.6	12.9	13.9	14.8
7000	3.2	3.2	3.8	5.58	6.48	7.3	8.85	9.77	11.4	12.7	13.8	14.8
7250	3.2	3.2	3.5	5.54	6.45	7.26	8.64	9.61	11.2	12.5	13.6	14.4



3. Mapping Injector Duration untuk AFR 10 : 1

TPS RPM	0%	2%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
2250	5.5	5.5	6.8	8.67	10.5	12	14	15.4	16.4	17	17.5	17.5
2500	5.5	5.5	6.9	9.43	11.3	12.8	14.8	16.1	17.2	17.8	18.3	18.3
2750	5.5	5.5	6.9	9.19	11	12.5	14.6	15.9	17	17.6	18	18
3000	4.2	4.2	5.8	7.84	9.46	10.8	13.2	14.4	15.4	15.9	16.3	16.3
3250	4	4	5.8	7.64	9.21	10.5	12.9	14.3	15.2	16.1	16.5	16.5
3500	4.4	4.4	6.5	8.1	9.76	11.2	13.8	15.3	16.7	17.5	17.9	17.9
3750	4.2	4.2	6.2	7.84	9.48	10.9	13	14.4	16.2	17	17.4	17.4
4000	3.9	3.9	5.9	7.42	9.04	10.2	12.5	13.8	15.7	16.8	17.5	17.5
4250	3.5	3.5	5.1	6.65	7.79	8.85	10.8	12.1	13.7	15	15.6	15.8
4500	3.5	3.5	5	6.65	7.54	8.58	10.4	11.9	13.5	14.8	15.4	15.8
4750	3.3	3.3	4.8	6.48	7.54	8.58	10.4	11.9	13.5	14.8	15.6	16
5000	2.9	2.9	4.2	5.82	6.78	7.72	9.36	10.8	12	13.1	14.1	14.4
5250	2.8	2.8	4.2	5.95	6.9	7.89	9.36	10.6	12	13.1	13.9	14.3
5500	2.8	2.8	4.1	5.95	6.89	7.9	9.38	10.2	11.6	12.8	13.7	14
5750	2.8	2.8	4.5	5.83	6.95	7.75	9.25	10.3	11.7	12.8	13.8	14.1
6000	3	3	4.6	5.69	7.11	7.86	9.44	10.3	11.8	13.1	14	14.6
6250	3	3	4.4	5.59	6.7	7.47	9.04	10.1	11.6	12.8	13.8	14.4
6500	3	3	4	5.45	6.48	7.22	8.7	9.73	11.3	12.5	13.5	14.3
6750	2.9	2.9	3.6	5.33	6.14	6.87	8.31	9.16	10.6	11.8	12.7	13.5
7000	2.9	2.9	3.5	5.1	5.92	6.68	8.1	8.94	10.4	11.6	12.6	13.5
7250	2.9	2.9	3.2	5.06	5.9	6.64	7.9	8.79	10.2	11.4	12.5	13.2





**Lampiran 2. Hasil Pengolahan Data**

1. Hasil Pengolahan Data AFR 8 : 1 Berbahan bakar Etanol 96%

RPM	F (Kg)	T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Ps.jam)	Efisieinsi Termal
2500	5.5	0.317766009	1.109208	0.906511	0.817259	12.03845
3000	5.733333	0.331246991	1.387519	0.94053	0.67785	14.51432
3500	6.233333	0.36013481	1.759944	1.109531	0.630436	15.60593
4000	6.433333	0.371689937	2.0759	1.291091	0.621943	15.81904
4500	6.666667	0.38517092	2.420091	1.45911	0.602915	16.31828
5000	6.333333	0.365912374	2.55454	1.638692	0.641482	15.33719
5500	5.9	0.340876264	2.617732	1.824668	0.697042	14.1147
6000	5.9	0.340876264	2.855707	2.038565	0.713856	13.78224
6500	5.666667	0.327395282	2.971334	2.434629	0.819372	12.00741
7000	5.533333	0.319691863	3.124606	2.748774	0.879719	11.18373

2. Hasil Pengolahan Data AFR 9 : 1 Berbahan bakar Etanol 96%

RPM	F (Kg)	T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Ps.jam)	Efisieinsi Termal
2500	5.433333	0.313914	1.095763	0.730806	0.666938	14.7518
3000	5.733333	0.331247	1.387519	0.821716	0.59222	16.61297
3500	5.966667	0.344728	1.684652	0.89981	0.534122	18.42001
4000	6.166667	0.356283	1.989853	1.108088	0.55687	17.66758
4500	6.266667	0.362061	2.274885	1.220802	0.536643	18.33347
5000	5.9	0.340876	2.379756	1.251278	0.525801	18.71153
5500	5.766667	0.333173	2.558574	1.394632	0.545082	18.04965
6000	5.533333	0.319692	2.678234	1.657821	0.618998	15.8943
6500	5.466667	0.31584	2.866463	1.651395	0.576109	17.07756
7000	5.1	0.294656	2.879908	1.885221	0.654612	15.02958



3. Hasil Pengolahan Data AFR 10 : 1 Berbahan bakar Etanol 96%

RPM	F (Kg)	T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Ps.jam)	Efisieinsi Termal
2500	5.366667	0.310063	1.082318	0.684984	0.632886	15.54552
3000	5.633333	0.325469	1.363318	0.776066	0.569248	17.2834
3500	5.9	0.340876	1.665829	0.854684	0.513068	19.17588
4000	6	0.346654	1.936073	1.071849	0.55362	17.77127
4500	6.133333	0.354357	2.226484	1.134647	0.509614	19.30586
5000	5.766667	0.333173	2.325976	1.285249	0.552563	17.80527
5500	5.533333	0.319692	2.455048	1.281383	0.521938	18.85
6000	5.433333	0.313914	2.629832	1.494947	0.568457	17.30743
6500	5.233333	0.302359	2.744114	1.578	0.575049	17.10904
7000	5.233333	0.302359	2.9552	1.707655	0.577848	17.02618

4. Hasil Pengolahan Data AFR 8 : 1 Berbahan bakar Etanol 99%

RPM	F (Kg)	T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Ps.jam)	Efisieinsi Termal
2500	5.5	0.317766	1.109208	0.746165	0.6727	14.62544
3000	5.7	0.329321	1.379452	0.779616	0.565163	17.4083
3500	6	0.346654	1.694064	0.935368	0.552144	17.81877
4000	6.533333	0.377468	2.108168	1.0533	0.499628	19.69171
4500	5.766667	0.333173	2.093379	1.188452	0.567719	17.32992
5000	5.8	0.335099	2.339421	1.277541	0.546093	18.01623
5500	5.466667	0.31584	2.425469	1.302936	0.537189	18.31484
6000	5.3	0.306211	2.565296	1.456615	0.567816	17.32699
6500	5	0.288878	2.621765	1.613864	0.615564	15.98297
7000	4.8	0.277323	2.710502	1.771559	0.653591	15.05305





5. Hasil Pengolahan Data AFR 9 : 1 Berbahan bakar Etanol 99%

RPM	F (Kg)	T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Ps.jam)	Efisieinsi Termal
2500	5.366667	0.310063	1.082318	0.727065	0.671766	14.64578
3000	5.533333	0.319692	1.339117	0.741619	0.553812	17.76512
3500	5.666667	0.327395	1.599949	0.859859	0.537429	18.30668
4000	6.166667	0.356283	1.989853	0.996632	0.500857	19.6434
4500	5.566667	0.321618	2.020776	1.002494	0.496094	19.83201
5000	5.633333	0.325469	2.272197	1.212119	0.533457	18.44297
5500	5.266667	0.304285	2.336732	1.236749	0.529264	18.58908
6000	5.1	0.294656	2.468493	1.399212	0.566828	17.35717
6500	4.866667	0.281175	2.551851	1.575083	0.617232	15.93978
7000	4.633333	0.267694	2.616387	1.674106	0.639854	15.37622

6. Hasil Pengolahan Data AFR 10 : 1 Berbahan bakar Etanol 99%

RPM	F (Kg)	T (kgm)	Ne (Ps)	FC (kg/jam)	SFCe (kg/Ps.jam)	Efisieinsi Termal
2500	5.233333	0.302359	1.055429	0.704231	0.667247	14.74497
3000	5.466667	0.31584	1.322983	0.712475	0.538537	18.26902
3500	5.566667	0.321618	1.571715	0.730806	0.464974	21.15933
4000	5.966667	0.344728	1.925317	0.807697	0.419514	23.45224
4500	5.533333	0.319692	2.008675	0.903627	0.449862	21.87012
5000	5.466667	0.31584	2.204972	1.010819	0.458427	21.46151
5500	5.133333	0.296582	2.277574	1.091063	0.479046	20.53777
6000	5.033333	0.290804	2.436225	1.16251	0.477177	20.61822
6500	4.833333	0.279249	2.534373	1.344038	0.530324	18.55195
7000	4.6	0.265768	2.597564	1.48712	0.572506	17.18504



### Lampiran 3. Contoh Perhitungan AFR

#### 1. Perhitungan AFR *stoikiometri* teoritis

AFR *stoikiometri* teoritis bahan bakar etanol dihitung dengan menggunakan persamaan reaksi berikut:



$$\text{AFR} = \left( \frac{\text{Massa}_{\text{udara}}}{\text{Massa}_{\text{bahan bakar}}} \right)$$

$$\text{AFR} = \left( \frac{(6 \times 16) + (3.76 \times 6 \times 14)}{(2 \times 12) + (6 \times 1) + 16} \right) = \left( \frac{411.84}{46} \right) = 8.95$$

#### 2. Perhitungan AFR *stoikiometri* aktual

AFR *stoikiometri* aktual bahan bakar etanol dihitung dengan membandingkan massa alir udara yang masuk ke ruang bakar dengan massa alir etanol yang yang habis pada buret. Berikut contoh perhitungan AFR *stoikiometri* (AFR 9) aktual pada putaran 4500 rpm.

##### a. Data yang didapatkan pada pengujian

- Debit bahan bakar AFR 9 =  $0.0258 \text{ lt} \times \text{min}^{-1}$
- Kecepatan udara AFR 9 ( $v$  udara) =  $4.56 \text{ m} \times \text{s}^{-1}$
- Diameter saluran masuk (d) =  $0.027 \text{ m}$
- $\rho$  udara =  $1.2 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$
- $\rho$  etanol =  $789 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$

##### b. Menghitung massa alir udara yang masuk ruang bakar

$$\dot{m}_{\text{udara}} = v_{\text{udara}} \times \left( \frac{\pi \times d^2}{4} \right) \times 3600 \times \rho_{\text{udara}}$$

$$\dot{m}_{\text{udara}} = 4.56 \times \left( \frac{\pi \times 0.027^2}{4} \right) \times 3600 \times 1.2$$

$$\dot{m}_{\text{udara}} = 11.273 \text{ kg} \times \text{jam}^{-1}$$

##### c. Menghitung massa alir bahan bakar AFR 9 aktual

$$\dot{m}_{\text{etanol}} = \frac{Q_{\text{etanol}} \times \rho_{\text{etanol}} \times 60}{1000}$$

$$\dot{m}_{\text{etanol}} = \frac{0.0258 \times 789 \times 60}{1000}$$

$$\dot{m}_{\text{etanol}} = 1.221 \text{ kg} \times \text{jam}^{-1}$$

##### d. Menghitung AFR *stoikiometri* aktual

$$\text{AFR} = \frac{\dot{m}_{\text{udara}}}{\dot{m}_{\text{etanol}}}$$



$$AFR = \frac{11.273}{1.2216} = 9.233$$

