



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENGONTROLAN TEMPERATUR EVAPORATOR  
TERHADAP LAJU DESTILASI ETHANOL LOWGRADE  
PADA “*COMPACT DISTILLATOR*”**

**SKRIPSI**

**SYAEHUL AKBAR**

**0806368982**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENGONTROLAN TEMPERATUR EVAPORATOR  
TERHADAP LAJU DESTILASI ETHANOL LOWGRADE  
PADA “*COMPACT DISTILLATOR*”**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana  
teknik**

**SYAEHUL AKBAR**

**0806368982**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama** : Syaehul Akbar

**NPM** : 0806368982

**Tanda Tangan** : 

**Tanggal** : 1 Juni 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Syaehul Akbar

NPM : 0806368982

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : PENGARUH PENGONTROLAN TEMPERATUR  
EVAPORATOR TERHADAP LAJU DESTILASI ETHANOL  
LOWGRADE PADA "COMPACT DISTILLATOR"

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof.Dr.Ir. Bambang Sugiarto, M Eng.

Penguji : Prof. Dr. Ir. Yulianto S. Nugroho, M Sc., Ph.D

Penguji : Dr.Ir. Danardono A.S

Penguji : Dr.Ir. Adi Suryosatyo

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. yang telah memberikan nikmat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “pengaruh pengontrolan temperatur evaporator terhadap laju destilasi ethanol lowgrade pada compact distillator”

Penulis menyadari, bahwa bantuan dan saran dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai masa penyusunan skripsi ini, sangat menunjang penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu sebagai ungkapan rasa syukur penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak dan Ibu yang telah memberikan segala-galanya untuk anakmu ini, anakmu ini selalu minta doa restu kalian.
2. Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan pemikirannya dalam penyusunan skripsi ini.
3. Tim penguji skripsi, atas koreksi perbaikan dan sarannya.
4. Prof. Dr. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc. Ph.D selaku kepala laboratorium Termodinamika atas ijin penggunaan laboratorium.
5. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin FTUI yang telah banyak membantu selama masa perkuliahan.
6. Adik-adikku belajarlh terus apa yang akan jadi jalanmu, aku yakin kalian mampu.
7. Teman skripsi angkatan 2008 atas bantuan dan peminjaman alat praktek.
8. Teman-teman PPSE 2008 atas semangat dan kekompakan kalian.
9. Teman-teman CGB, C8, dan kosan babe' yang memberi sedikit keceriaan dikesendirianku.

Depok, Juni 2011  
  
Penulis

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

---

Sabagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Syaehul Akbar  
NPM : 0806368982  
Program Studi : Ekstensi Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul

### **PENGARUH PENGONTROLAN TEMPERATUR EVAPORATOR TERHADAP LAJU DESTILASI ETHANOL LOWGRADE PADA “*COMPACT DISTILLATOR*”**

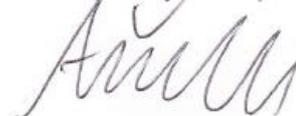
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2011

Yang menyatakan,



(Syaehul Akbar)

## Abstrak

Nama : Syaehul Akbar  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : pengaruh pengontrolan temperatur evaporator terhadap laju distilasi ethanol lowgrade pada *compact distillator*

Ketersediaan bahan bakar minyak bumi yang tidak terbarukan memaksa manusia untuk beralih ke sumber energi alternatif. Saat ini minyak bumi mendominasi untuk sumber utama bahan bakar untuk motor bakar. Energi yang terbarukan merupakan salah satu solusi untuk menghadapi persoalan ini. Salah satu sumber energi yang terbarukan adalah Bioethanol. Dalam penelitian sebelumnya dilakukan rancang bangun *compact distillator* dengan memanfaatkan gas buang dari motor bakar sebagai alat utama pengolahan ethanol. Tujuannya adalah ingin menghasilkan produk ethanol layak menjadi bahan bakar yaitu ethanol dengan kadar diatas 90%. Pada penelitian ini, dilakukan pengontrolan temperatur pada evaporator dengan beban 300 Watt dimana pada penelitian sebelumnya didapat kesimpulan pada beban 300 Watt didapatkan hasil maksimal untuk mampu memenuhi kebutuhan konsumsi bahan bakar pada Genset. Pada temperature 90°C yang dikontrol pada evaporator menghasilkan hasil yang maksimal yaitu mampu memenuhi fuel consumption untuk genset. Pada temperature 85°C yang dikontrol pada evaporator menghasilkan kadar alkohol yang tinggi tetapi tidak memenuhi fuel consumption. Pada temperatur 90°C dapat disimpulkan didapatkan hasil maksimal dikarenakan dapat memenuhi fuel consumption juga kadar yang cukup tinggi. Gas buang pada temperatur 95°C memiliki Kadar CO rendah ( $\pm 1,2$  % Vol), HC rendah ( $\pm 150$  ppm Vol).

Kata kunci:

*Low grade Ethanol*, bioetanol, distilasi, *compact distillator*, efisiensi thermal, laju konsumsi bahan bakar, emisi gas buang.

## Abstract

Name : Syaehul Akbar  
Study Program : Mechanical Engineering  
Title : influence controlling temperature evaporator with  
the rate of low grade ethanol distilled in compact  
distillator

The availability of non renewable petroleum fuels force people change to alternative energy sources. Currently petroleum dominated for the main source of fuel for combustion. Renewable energy is one solution to deal with this issue. One source of renewable energy is Bioethanol. In a previous study conducted distillator compact design by utilizing exhaust gases from motor fuels as a primary means of ethanol processing. The goal is to produce viable products into fuel ethanol is ethanol with levels above 90%. In this study, conducted at the evaporator temperature control with a load of 300 Watt which this conclusions obtained in previous studies on the load 300 Watts has maximum results obtained to be able of consumption needs of fuel on the genset. At 90°C temperature-controlled at the evaporator produces maximum that is able to meet the fuel consumption for the genset. At 85°C temperature-controlled at the evaporator produces high konsentris of alcohol but did not meet of fuel consumption. At temperatures of 90°C can be concluded get the most out due to meet the fuel consumption and also has high konsentris of alcohol . Gas have low levels of CO ( $\pm 1.2\%$  Vol), low HC ( $\pm 150$  ppm Vol).

**Keyword:**

Low-grade ethanol, bio ethanol, distillation, *compact distillator*, thermal efficiency, fuel consumption rate.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	ii
PENGESAHAN .....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH .....	4
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	4
1.4 BATASAN PENELITIAN.....	5
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	5
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	6
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>8</b>
2.1 MOTOR OTTO.....	8
2.1.1. Siklus Kerja Motor Otto .....	8
2.2 PENGERTIAN BIOETHANOL.....	12
2.2.1. Pembuatan Ethanol .....	16
2.2.2. Bioethanol Sebagai Bahan Bakar .....	18
2.2.3. Penggunaan Bioethanol Pada Mesin Pembakaran Dalam.....	19
2.3 PARAMETER KINERJA MOTOR .....	22
2.4 POLUTAN PADA ALIRAN GAS BUANG.....	23
2.4.1. Hidrokarbon.....	24
2.4.2. Karbon Monoksida .....	26
2.4.3. Karbon Dioksida.....	27
2.4.4. Oksigen.....	27
2.4.5. Nitrogen Oksida.....	28
2.4.6. Udara Berlebih ( <i>Excess Air</i> ) .....	29
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>30</b>
3.1 METODE EKSPERIMENTAL .....	30
3.2 PERALATAN UJI .....	30

3.3	SKEMATIK PERALATAN UJI .....	35
3.4	PROSEDUR PENGUJIAN .....	38
3.4.1.	Persiapan Dan Pengaturan Alat .....	38
3.4.2.	Persiapan Bahan Bakar .....	38
3.4.3.	Persiapan Mesian .....	38
3.4.4.	Persiapan <i>Gas Analyzer</i> .....	39
3.4.5.	Persiapan Thermo Couple dan Data Acquisition .....	39
3.4.6.	Persiapan Distillator .....	39
3.4.7.	Pengambilan Data .....	39
3.5	PETUNJUK K3LL.....	42
<b>BAB IV</b>	<b>ANALISA DATA</b> .....	<b>44</b>
4.1	HASIL PENGUJIAN KONSUMSI BAHAN BAKAR .....	45
4.2	PENGUJIAN DENGAN MENGGUNAKAN DATA ACQUISITION ..	46
4.1.1	Laju perubahan volume bahan bakar terhadap laju destilasi pada temperatur 85°C .....	49
4.1.2	Laju perubahan volume bahan bakar terhadap laju destilasi pada temperatur 90°C .....	50
4.1.3	Laju perubahan volume bahan bakar terhadap laju destilasi pada temperatur 95°C .....	51
4.1.4	Perbandingan perubahan volume bahan bakar terhadap laju destilasi pada temperatur 85°C, 90°C dan 95°C.....	52
4.1.5	Perbedaan kadar hasil destilasi pada temperatur 85°C, 90°C dan 95°C.....	53
4.3	KONDISI GAS BUANG YANG TERUKUR.....	54
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>61</b>
5.1	KESIMPULAN .....	61
5.2	SARAN .....	61
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>62</b>

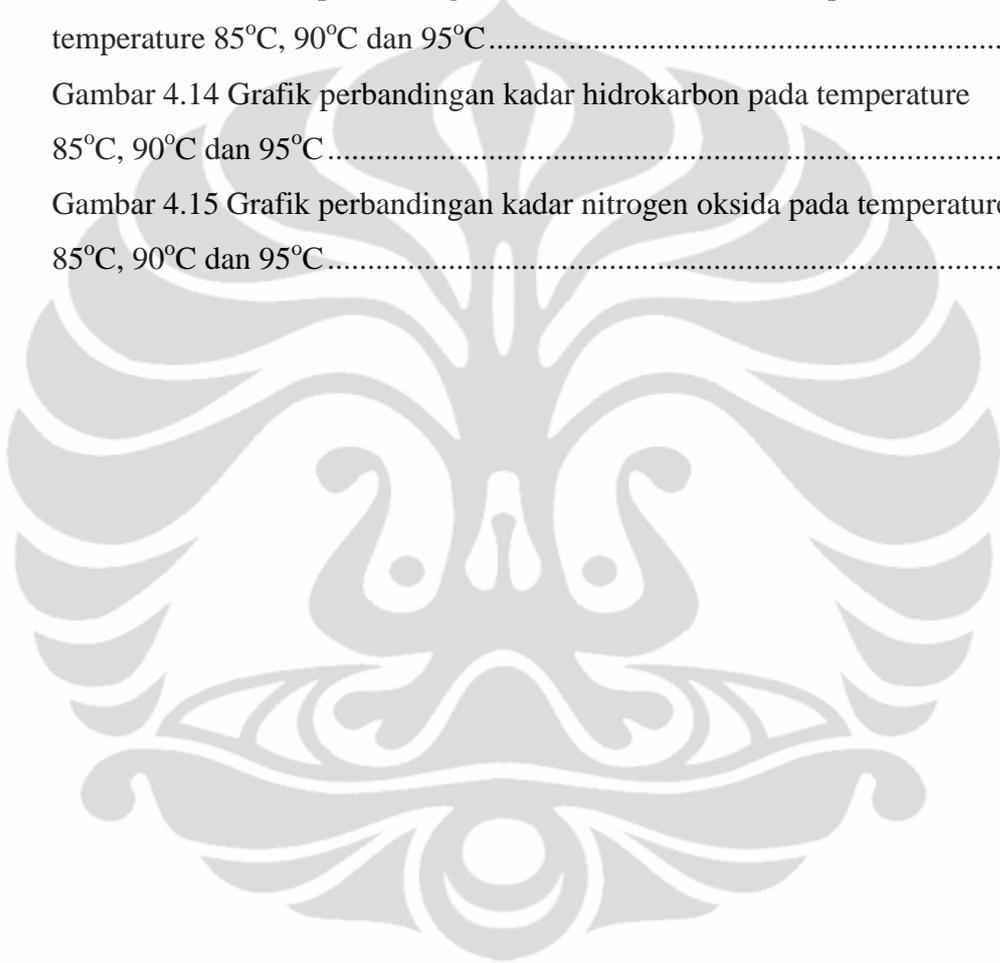
## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konversi Biomassa Menjadi Bioethanol .....	18
Tabel 3.1 Spesifikasi Bahan Bakar Premium .....	30
Tabel 3.2 Spesifikasi Bahan Bakar Ethanol .....	30
Tabel 3.3 Spesifikasi Bahan Pengotor Ethanol.....	31
Tabel 3.4 Spesifikasi Genset.....	31
Tabel 3.5 Spesifikasi <i>Gas Analyzer</i> .....	32
Tabel 3.6 Spesifikasi Multi meter.....	33
Tabel 3.7 Spesifikasi <i>Tube Level</i> .....	33
Tabel 3.8 Spesifikasi Gelas Ukur .....	34
Tabel 3.9 Spesifikasi Pipet Tetes.....	34
Tabel 3.10 Spesifikasi Alkohol Meter .....	34
Tabel 3.11 Spesifikasi Lampu Panel .....	35
Tabel 3.12 Spesifikasi <i>Stop Watch</i> .....	35
Tabel 4.1 Persentase alkohol pada temperatur 85 °C.....	53
Tabel 4.2 Persentase alkohol pada temperatur 90 °C.....	53
Tabel 4.3 Persentase alkohol pada temperatur 95 °C.....	53

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Urutan Siklus Kerja Motor Bakar 4 Langkah .....	10
Gambar 2.2 Diagram P-V dan T-S ideal Motor Otto 4 Langkah.....	10
Gambar 2.3 Diagram Alir Vermentasi Ethanol dan Berbagai Bahan Baku.....	18
Gambar 3.1 Skema Pengukuran Arus dan Tegangan Pada Lampu Panel.....	35
Gambar 3.2 Skema Alat Uji Dengan Distillator .....	36
Gambar 3.3 Foto Alat Uji dengan <i>Compact distillator</i> .....	38
Gambar 3.4 Mengecek kondisi busi.....	39
Gambar 3.5 Pengukuran laju konsumsi bahan bakar .....	40
Gambar 3.6 Data aquision.....	41
Gambar 3.7 Program Data aquision.....	41
Gambar 3.8 Komposisi gas buang pada display gas analyzer .....	42
Gambar 4.1 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi beban tanpa pengontrolan temperatur.....	45
Gambar 4.2 Pemasangan data aquision pada compact distillator .....	46
Gambar 4.3 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi bahan bakar dan variasi destilat pada temperatur 85°C.....	47
Gambar 4.4 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi bahan bakar dan variasi destilat pada temperatur 90°C .....	48
Gambar 4.5 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi bahan bakar dan variasi destilat pada temperatur 95°C .....	48
Gambar 4.6 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi bahan bakar dan variasi destilat pada temperatur 85°C .....	49
Gambar 4.7 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi bahan bakar dan variasi destilat pada temperatur 90°C .....	50
Gambar 4.8 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi bahan bakar dan variasi destilat pada temperatur 95°C .....	51
Gambar 4.9 Diagram perbandingan laju volume bahan bakar dengan hasil destilat pada temperatur 85°C, 90°C dan 95°C .....	52
Gambar 4.10 Perbandingan konsentrasi alkohol pada temperatur 85°C,	

90°C dan 95°C.....	54
Gambar 4.11 Grafik perbandingan kadar oksigen pada temperature 85°C, 90°C dan 95°C.....	55
Gambar 4.12 Grafik perbandingan kadar karbon dioksida pada temperature 85°C, 90°C dan 95°C.....	56
Gambar 4.13 Grafik perbandingan kadar karbon monoksida pada temperature 85°C, 90°C dan 95°C.....	57
Gambar 4.14 Grafik perbandingan kadar hidrokarbon pada temperature 85°C, 90°C dan 95°C.....	58
Gambar 4.15 Grafik perbandingan kadar nitrogen oksida pada temperature 85°C, 90°C dan 95°C.....	59



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Ketersediaan energi merupakan syarat mutlak khususnya dalam pelaksanaan pembangunan nasional baik pada saat ini maupun pada masa yang akan datang, guna menjamin pemenuhan pasokan energi yang merupakan tantangan utama bagi bangsa Indonesia. Kebutuhan energi saat ini pada umumnya didominasi oleh energi fosil yaitu minyak bumi, gas bumi dan batubara. Di lain pihak, adanya cadangan energi fosil yang terbatas, seharusnya dilakukan antisipasi dengan berbagai upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil tersebut. Sebagai ilustrasi, cadangan terbukti sumber daya fosil Indonesia yaitu minyak bumi, gas bumi dan batubara pada tahun 2005 masing-masing sebesar 9,1 miliar barel minyak bumi, 185,8 TSCF gas bumi dan 19,3 miliar ton batubara. Dengan tingkat produksi minyak bumi, gas bumi dan batubara masing-masing sebesar 387 juta barel, 3 TSCF dan 132 juta ton per tahun, masing-masing sumber daya fosil tersebut akan habis dalam waktu 23 tahun, 62 tahun dan 146 tahun.

Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki sumber energi non fosil relatif besar. Namun pemanfaatannya jauh lebih kecil dibandingkan dengan potensi yang ada. Sebagai ilustrasi, sampai dengan tahun 2004 pemanfaatan energi non fosil untuk pembangkitan listrik seperti tenaga air, panas bumi, surya, angin dan biomassa, hanya sebesar 5511,5 MW atau 14% dari total pembangkit listrik nasional (39.588 MW). Terlihat dengan jelas bahwa pangsa energi non fosil untuk pembangkit listrik relatif masih rendah. Pemanfaatan energi non fosil yang masih rendah ini disebabkan antara lain tingginya investasi yang dibutuhkan yang menyebabkan biaya produksi energi yang berasal dari energi non fosil relatif mahal, sehingga kurang kompetitif bila dibandingkan dengan harga energi yang berasal dari energi konvensional atau energi fosil. Namun demikian pemakaiannya saat ini harus segera digantikan dengan energi alternatif yang bersifat terbarukan dan ramah lingkungan, mengingat cadangan sumber energi fosil tersebut semakin menipis.

Kebijakan energi nasional menargetkan pada tahun 2000-2025 sebesar 5% kebutuhan energi nasional harus dapat dipenuhi melalui pemanfaatan biofuel sebagai energi baru. Dalam pelaksanaannya didukung oleh Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (Biofuel) sebagai Bahan Bakar Lain, yang menginstruksikan kepada Menteri terkait sesuai dengan lingkup tugasnya. Sumberdaya hayati yang terjamin ketersediaannya di bumi Indonesia yang subur merupakan potensi yang besar untuk dapat dimanfaatkan sebagai sumber biofuel. Teknologi pengolahan dan pemanfaatan biofuel sudah banyak dikuasai oleh institusi terkait dan saat ini sudah dapat diaplikasikan secara komersial untuk memenuhi kebutuhan energi nasional sesuai dengan arah kebijakan energi nasional.

Premium merupakan bahan bakar yang banyak digunakan pada sektor transportasi, khususnya transportasi darat, baik kendaraan pribadi maupun kendaraan umum. Laju penggunaan kendaraan bermotor yang kian meningkat, akan mengakibatkan peningkatan konsumsi bahan bakar terutama bahan bakar bensin yang merupakan bahan bakar utama pada sektor transportasi darat. Hal ini akan memberikan dampak semakin berkurangnya pasokan cadangan minyak bumi serta mengakibatkan dampak lingkungan yang cukup signifikan berupa peningkatan gas beracun di udara terutama karbonmonoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan sulfur oksida (SO<sub>x</sub>).

Kebutuhan bahan bakar premium pada tahun 2004 sejumlah 16.418 ribu KL ini, dipenuhi oleh kilang didalam negeri sebesar 11.436 ribu KL dan sisanya sebesar 4.982 ribu KL diimpor. Mengingat kebutuhan premium terus meningkat sedangkan produksi dari tahun ketahun cenderung tetap, maka dapat diperkirakan bahwa dimasa mendatang impor premium ini akan terus meningkat. Salah satu alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada impor premium ialah dengan mengembangkan bahan bakar bio-ethanol yang merupakan energi terbarukan dengan konsentrasi tertentu.

Bio-ethanol dikenal sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan, karena bersih dari emisi bahan pencemar. Bio-ethanol dapat dibuat dari bahan baku tanaman yang mengandung pati seperti ubi kayu, ubi jalar, jagung, sagu, dan tetes.

Ubi kayu, ubi jalar, dan jagung merupakan tanaman pangan yang biasa ditanam rakyat hampir di seluruh wilayah Indonesia, sehingga jenis tanaman tersebut merupakan tanaman yang potensial untuk dipertimbangkan sebagai sumber bahan baku pembuatan bio-ethanol atau gasohol.

Pada tahun 1983, pengujian unjuk kerja kendaraan bioethanol telah dilakukan pada 100 kendaraan roda empat dan 32 kendaraan roda dua. Hasil yang diperoleh menunjukkan tidak terjadinya penurunan unjuk kerja motor yang signifikan, akan tetapi terjadi beberapa kebocoran pada *packing* tangki bahan bakar.

Saat ini, bahan bakar kendaraan ethanol dengan kadar pemurnian 99.5% sudah digunakan pada beberapa kendaraan dan transportasi darat lainnya. Dan hasil yang diperoleh pada kendaraan dengan bahan bakar ethanol tersebut berupa menurunnya emisi gas buang kendaraan dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar bensin.

Berdasarkan data yang diperoleh, sekitar 70 % pencemaran polusi udara berasal dari gas buang kendaraan bermotor. Bahan bakar fosil atau bensin yang ada saat ini masih memberikan kontribusi yang tinggi terhadap pencemaran udara.

Ethanol sebagai salah satu oksigenat, merupakan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan untuk mengurangi emisi gas buang kendaraan bermotor. Tantangan yang akan dihadapi adalah pengembangan cara untuk meningkatkan kemampuan ethanol dalam memberikan efek positif terhadap pengurangan emisi gas buang dan meningkatkan unjuk kerja motor dengan memanfaatkan sisa gas buang kendaraan untuk dapat mengolah mandiri bahan bakar ethanol dengan kadar rendah menjadi bahan bakar ethanol dengan kadar tinggi.

Meskipun program pemanfaatan bio-ethanol sebagai bahan bakar kendaraan secara ekonomi masih belum layak, namun program tersebut mempunyai manfaat lain, yaitu dapat mengurangi konsumsi bahan bakar minyak (BBM) di dalam negeri, mendorong program diversifikasi (penganeka ragam) energi, mendorong terciptanya pemanfaatan energi yang berwawasan lingkungan (ethanol termasuk bahan bakar yang bersih dari bahan pencemar), merangsang pertumbuhan industri

penunjang serta, mendorong terciptanya lapangan kerja dan peningkatan ekonomi di daerah.

Tantangan yang dihadapi dalam pengembangan kendaraan berbahan bakar bioethanol adalah bagaimana caranya untuk meningkatkan kemampuan ethanol dalam memberikan efek positif terhadap pengurangan emisi gas buang dan meningkatkan unjuk kerja motor dengan memanfaatkan sisa gas buang kendaraan untuk dapat mengolah mandiri bahan bakar ethanol dengan kadar rendah menjadi bahan bakar ethanol dengan kadar tinggi.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Untuk mengembangkan serta mengaplikasikan proses distilasi bioethanol yang mandiri pada motor pembakaran dalam dengan memanfaatkan panas gas buang, maka dalam penelitian ini akan membahas mengenai dampak yang terjadi pada unjuk kerja motor bakar, yang dipengaruhi oleh variasi konsentrasi bahan bakar bioethanol dengan memanfaatkan panas gas buang sebagai sumber energi pada proses distilasi bioethanol, serta membandingkan laju produksi distilasi bioethanol yang dihasilkan terhadap laju konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan pada beban 300 Watt yang diberikan dengan variasi temperatur yang berbeda yaitu 85<sup>0</sup>C, 90<sup>0</sup>C dan 95<sup>0</sup>C.

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan sebagai pemanfaatan panas gas buang motor pembakaran dalam berbahan bakar bioethanol yang digunakan sebagai sumber energi panas pada proses distilasi bioethanol untuk meningkatkan konsentrasi bioethanol dari *Low Grade Bioethanol* menjadi *High Grade Bioethanol* pada alat *Compact Distillator* dan untuk mengetahui kinerja yang optimal pada temperatur yang berbeda.

#### 1.4 BATASAN PENELITIAN

Adapun batas-batas terhadap penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Etanol yang digunakan adalah jenis *low grade ethanol* baik berupa produk minuman keras, produk farmasi maupun produk teknik yang didistilasi pada alat kompak distilator motor bakar statis.
2. Jika etanol yang ada berkadar tinggi maka diberi pengotor air distilasi (aquadest).
3. Sebagai data pembandingan dilakukan pengujian terhadap variasi bahan bakar yang berbeda yaitu bensin, alcohol 80% dan alcohol 90%. Serta variasi destilat yang berbeda yaitu ciu dan alcohol 40%.
4. Motor bakar statis yang akan digunakan adalah Genset 4 langkah 80 cc
5. Pembebanan pada 300 Watt berdasarkan performa maksimal yang dihasilkan dari data penelitian sebelumnya.
6. Temperatur pada evaporator dijaga mulai dari 85 °C, 90 °C dan 95 °C sebagai data pembandingan.
7. Putaran dijaga konstan pada putaran 3200 rpm dengan toleransi sebesar 50 rpm.

#### 1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Pada pelaksanaannya penelitian ini dilakukan dengan metodologi sebagai berikut:

##### a. Studi literatur

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya yang juga membahas tentang *BIOETHANOL DISTILLATOR* dan *BIOETHANOL ENGINE*, dan juga penelitian unjuk kerja *low grade ethanol* dari pemanfaatan gas buang motor bakar statis sebagai sumber energi *compact distillatory*, oleh karena itu dalam pelaksanaan penelitian ini ada beberapa hal yang menjadi dasar pengembangan alat pada skripsi tersebut sehingga dihasilkan alat yang memiliki kapasitas produksi yang mampu mencapai laju konsumsi bahan bakar motor serta membantu dalam proses analisa unjuk kinerja motor.

##### b. Pengujian alat *compact distillator* dengan motor pembakaran dalam

Pada tahap ini, konsumsi waktu yang digunakan cukup banyak dalam pelaksanaan penelitian ini. Pembuatan komponen-komponen

*compact distillator* ini diawali dengan konsultasi dengan dosen pembimbing mengenai rancangan komponen-komponen tersebut agar lebih *compact* serta dapat diaplikasikan pada *engine test*. Tahapan selanjutnya adalah pencarian material-material yang dibutuhkan, untuk kemudian dilakukan proses pembuatan komponen. Pembuatan komponen-komponen ini cukup memberikan tantangan tersendiri karena memerlukan wawasan yang cukup luas dalam proses fabrikasi, metode pembentukan serta perlakuan bahan agar bentuk yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan dengan ketersediaan alat yang ada dan efektifitas pengerjaannya. Pengujian alat *compact distillator* dengan motor otto dilakukan berulang kali untuk mencegah serta mengoreksi terjadinya kebocoran pada setiap sambungan komponen-komponen dan untuk mengetahui kekuatan konstruksi serta kehandalan alat.

c. **Pengambilan data unjuk kerja motor otto generator set**

Proses pengambilan data ini dilakukan dengan mengukur konsentrasi bioethanol yang akan dijadikan bahan bakar dan konsentrasi bioethanol yang akan dijadikan bahan untuk didistilasikan pada *compact distillator* pada volume dan variasi konsentrasi tertentu. Kemudian engine dihidupkan dan dilakukan pengaturan putaran mesin hingga mencapai putaran engine yang diinginkan. Proses pengukuran, pencatatan serta pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan tabung ukur dan alkohol meter untuk mengetahui konsentrasi ethanol yang dihasilkan serta menggunakan alat ukur konsentrasi gas buang yang dihasilkan untuk mengetahui kandungan yang terdapat pada gas buang. Interval waktu pengukuran data dilakukan dengan menggunakan alat ukur waktu (stop watch) untuk mempertahankan konsistensi data. Variasi beban genset pada penelitian ini memanfaatkan peralatan panel lampu yang merupakan hasil skripsi terdahulu.

## 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Skripsi ini disusun menjadi 5 bagian pokok, yaitu:

- BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batas-batas penelitian, asumsi-asumsi yang digunakan, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

- **BAB II DASAR TEORI**

Bab ini berisi teori-teori penunjang atau hal-hal yang menjadi pendukung topik penelitian.

- **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bagian ini memaparkan urutan proses instalasi alat uji, persiapan pengujian, tahapan pengujian, serta prosedur pengambilan data.

- **BAB IV ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Pada bab ini dijelaskan mengenai data hasil dari percobaan, perhitungan dan pengolahan dari data yang telah diambil dari pengujian. Hasil pengolahan data akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik yang terpadu untuk digunakan sebagai alat bantu analisa terhadap hasil pengolahan data tersebut sehingga dapat bermanfaat untuk mengetahui kondisi unjuk kerja peralatan penelitian.

- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini merupakan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **3.1 MOTOR OTTO**

Motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) adalah mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanis dan prosesnya terjadi di dalam suatu ruang bakar yang tertutup. Energi kimia dalam bahan bakar terlebih dahulu diubah menjadi energi thermal melalui proses pembakaran. Energi thermal yang diproduksi akan menaikkan tekanan yang kemudian menggerakkan mekanisme pada mesin seperti torak, batang torak dan poros engkol.

Berdasarkan metode penyalan campuran bahan bakar-udara, motor pembakaran dalam diklasifikasikan menjadi *spark ignition engine* dan *compression ignition engine*. Dalam proses pembakaran tersebut, bagian-bagian motor yang telah disebutkan di atas akan melakukan gerakan berulang yang dinamakan siklus. Setiap siklus yang terjadi dalam mesin terdiri dari beberapa urutan langkah kerja.

Berdasarkan siklus langkah kerjanya, motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi motor 2 langkah dan motor 4 langkah. Berperalatan uji yang digunakan adalah motor *Otto* berbahan bakar bioethanol dengan sistem 4 langkah. Motor Otto merupakan motor pembakaran dalam karena motor Otto melakukan proses pembakaran gas dan udara di dalam silinder untuk melakukan kerja mekanis.

Motor Otto dengan sistem *Spark Ignition* menggunakan bantuan bunga api untuk menyalakan atau membakar campuran bahan bakar-udara. Bunga api yang digunakan berasal dari busi. Busi akan menyala saat campuran bahan bakar-udara mencapai rasio kompresi, temperatur, dan tekanan tertentu sehingga akan terjadi reaksi pembakaran yang menghasilkan tenaga untuk mendorong torak bergerak bolak-balik. Siklus langkah kerja yang terjadi pada mesin jenis ini dinamakan siklus Otto dengan menggunakan bahan bakar bensin.

### 3.1.1 Siklus Kerja Motor Otto

Komponen-komponen utama dari sebuah motor otto adalah:

1. Katup Masuk (*intake valve*)

Katup masuk adalah katup yang berfungsi untuk mengontrol pemasukan campuran udara-bahan bakar ke dalam silinder mesin dan mencegah terjadinya aliran balik ke dalam saluran masuk campuran udara-bahan bakar (*intake manifold*).

2. Katup Buang (*exhaust valve*)

Katup buang adalah katup yang mengontrol pengeluaran hasil pembakaran dari silinder mesin untuk dibuang keluar dan menjaga agar arah aliran yang mengalir hanya satu arah.

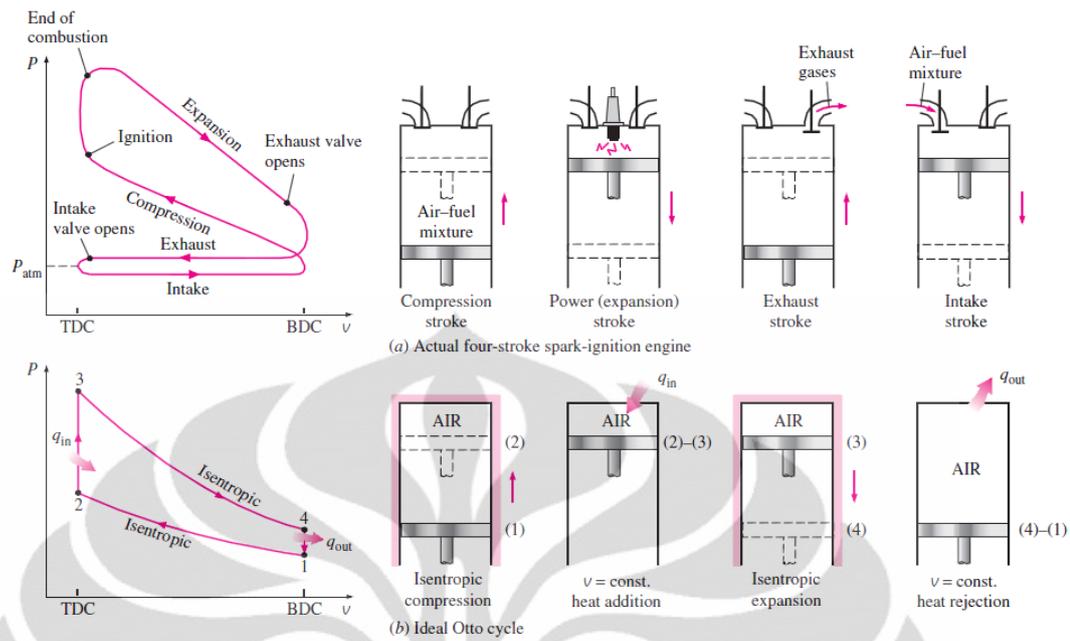
3. Torak

Torak adalah komponen berbentuk silinder yang bergerak naik turun di dalam silinder, dan berfungsi untuk mengubah tekanan di dalam ruang bakar menjadi gerak rotasi poros engkol.

4. Busi

Busi adalah komponen elektrik yang digunakan untuk memicu pembakaran campuran udara-bahan bakar dengan menciptakan percikan listrik bertegangan tinggi pada celah elektroda.

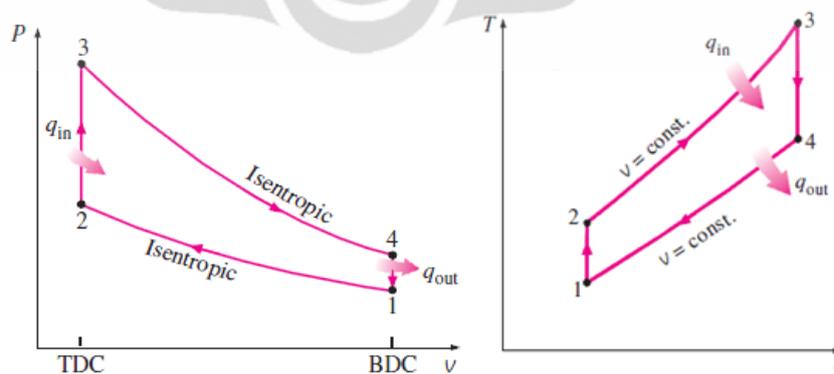
Pada mesin 4 langkah, torak bergerak bolak-balik dalam silinder dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB) sebanyak 4 kali atau 2 putaran engkol untuk memenuhi 1 siklus kerja. Jarak yang ditempuh torak selama gerakan bolak-balik disebut dengan *stroke* atau langkah torak. Langkah-langkah yang terdapat pada motor bensin 4 langkah adalah langkah isap, kompresi, kerja, dan buang.



Gambar 2.1 Urutan siklus kerja motor bakar 4 langkah

Pada motor otto 4 langkah ini, gas pembakaran hanya mendorong torak pada langkah ekspansi saja. Oleh karena itu, untuk memungkinkan gerak torak pada tiga langkah lainnya maka sebagian energi pembakaran selama langkah ekspansi diubah dan disimpan dalam bentuk energi kinetis roda gila (flywheel).

Siklus kerja motor otto dapat digambarkan pada diagram indikator, yaitu diagram P-V (tekanan-voluem) dan diagram T-S (tekanan-entropi). Diagram indikator ini berguna untuk melakukan analisa terhadap karakteristik internal motor Otto.



Gambar 2.2 Diagram P-V dan T-S ideal motor Otto empat langkah

Langkah-langkah pada mesin Otto 4 langkah dapat dilihat pada gambar 2.1. langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Langkah Isap (*Intake*)

Selama langkah isap torak bergerak dari TMA menuju TMB, katup masuk terbuka dan katup buang tertutup. Gerakan torak memperbesar volume ruang bakar dan menciptakan ruang hampa (*vacuum*) dalam ruang bakar. Akibatnya campuran udara dan bahan bakar terisap masuk ke dalam ruang bakar melalui katup masuk. Langkah isap berakhir ketika torak telah mencapai TMB.

2. Langkah kompresi (*compression*)

Selama langkah kompresi katup isap tertutup dan torak bergerak kembali ke TMA dengan katup buang masih dalam keadaan tertutup. Gerakan torak tersebut mengakibatkan campuran udara dan bahan bakar yang ada di dalam ruang bakar tertekan akibat volume ruang bakar yang diperkecil, sehingga tekanan dan temperatur di dalam silinder meningkat.

3. Pembakaran (*combustion*)

Pada akhir langkah kompresi, busi pijar menyala sehingga campuran udara-bahan bakar yang telah memiliki tekanan dan temperatur tinggi terbakar. Pembakaran yang terjadi mengubah komposisi campuran udara-bahan bakar menjadi produk pembakaran dan menaikkan temperatur dan tekanan dalam ruang bakar secara drastis.

4. Langkah kerja/ekspansi (*expansion/power*)

Tekanan tinggi hasil dari proses pembakaran campuran udara-bahan bakar mengakibatkan torak terdorong menjauhi TMA. Dorongan ini merupakan kerja keluaran dari siklus mesin otto. Dengan Bergeraknya torak menuju TMB, volume silinder meningkat sehingga temperatur dan tekanan dalam ruang bakar turun.

5. Langkah buang (*exhaust*)

Katup buang terbuka ketika torak telah mencapai TMB. Torak terus bergerak kembali menuju TMA sehingga gas hasil pembakaran tertekan keluar dari ruang bakar melalui katup buang.

### 3.2 PENGERTIAN BIOETHANOL

Bioetanol adalah etanol yang diproduksi dari tumbuhan. Di Negara Brazil, dengan 320 pabrik bioetanol, adalah negara terkemuka dalam penggunaan serta ekspor bioetanol saat ini. Brazil memilih tebu untuk disuling menjadi materi turunan alkohol. Hasilnya, industri alkohol pun bermunculan. Lapangan kerja baru tumbuh di daerah perkebunan tebu. Lahan “pohon manis” ini kemudian menjadi yang terluas di dunia. Pada tahun 2000, luasnya mencapai 4,5 juta hektar. Separuh produksinya yang mencapai 344 juta metrik ton disulap menjadi etanol.

Pada tahun 1990-an, bioetanol di Brazil telah menggantikan 50% kebutuhan bensin untuk keperluan transportasi, ini merupakan sebuah angka yang sangat signifikan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Bioetanol tidak saja menjadi alternatif yang sangat menarik untuk substitusi bensin, namun juga mampu menurunkan emisi CO<sub>2</sub> hingga 18%. Dalam hal prestasi mesin, bioetanol (E-100) dan campurannya dengan bensin (E-XX) tidak kalah dengan bensin (E-0); bahkan dalam beberapa hal, lebih baik dari bensin. Pada dasarnya pembakaran bioetanol tidak menciptakan CO<sub>2</sub> netto ke lingkungan karena zat yang sama akan diperlukan untuk pertumbuhan tanaman sebagai bahan baku bioetanol. Bioetanol dapat dihasilkan dari tanaman seperti tebu, jagung, singkong, ubi, dan sagu; ini merupakan jenis tanaman yang umum dikenal para petani di tanah air.

Hasil beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa polusi udara yang dihasilkan oleh biofuel juga rendah, di mana opasitasnya lebih kecil 30% daripada solar. Demikian pula dengan sulfur dan asap yang dihasilkan sangat rendah. Dengan melihat keunggulan-keunggulan bioetanol, maka sudah seharusnya penggunaan bahan bakar nabati untuk sektor transportasi perlu didukung untuk pengembangannya.

Pemanfaatan bioetanol sebagai bahan bakar dapat melalui pencampuran dengan bahan bakar yang berasal dari bahan bakar fosil (bensin) ataupun dipakai langsung dalam komposisi 100% untuk penggunaan tertentu. Bioetanol memberikan emisi gas buang yang lebih ramah lingkungan.

Mengacu *Blue Print* Pengembangan Bahan Bakar Nabati (BBN) untuk Percepatan Pengurangan Kemiskinan dan Pengangguran disebutkan bahwa kebutuhan biofuel sampai tahun 2025 adalah sebesar 22,26 juta kL dengan kebutuhan lahan yaitu 4 juta ha sawit dan 3 juta ha jarak pagar untuk memproduksi biodiesel dan biooil, serta 3,5 juta ha tebu dan singkong untuk memproduksi bioetanol (4).

Apabila pada tahun 2010 bioetanol dimanfaatkan untuk mensubstitusi 10% konsumsi bensin (E-10), maka dibutuhkan 1,48 juta kL bioetanol; dengan lahan untuk bahan baku (tebu dan singkong) sebesar 2,25 juta ha, dan perlu dibangun pabrik bioetanol sebanyak 104 unit @ 60 kL/hari. Selain itu, akan menyerap tenaga kerja 1,75 juta orang tenaga non trampil dan 15 ribu tenaga trampil. Pemanfaatan bioetanol juga mendukung program langit biru, karena dapat menurunkan emisi gas berbahaya, seperti CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, senyawa aromatik dalam bensin.

Indonesia sudah harus mulai memikirkan sumber energi selain BBM, terutama untuk kendaraan bermotor karena pengaruhnya yang cukup signifikan terhadap konsumsi BBM dan kesejahteraan rakyat. Keuntungan bioetanol adalah mempunyai emisi CO<sub>2</sub> yang sangat rendah dan yang paling penting, bioetanol adalah sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*). Penggunaan listrik baik untuk industri maupun rumah tangga diperkirakan meningkat 10% setiap tahunnya sampai 10 tahun ke depan, dan BBM masih merupakan sumber energi utama untuk pembangkit tenaga listrik. Oleh karena itu, sudah saatnya pemerintah mendorong penggunaan sumber energi pembangkit listrik alternatif lainnya seperti gas, batubara atau bahkan bioetanol.

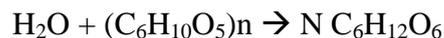
Sejak 1973 Brazil memulai pemakaian biofuel, di mana pada saat itu Brasil mengalami krisis bahan bakar dan harus mengimpor 80% kebutuhan minyak buminya. Pemerintah Brasil pun menetapkan Program Nasional Alkohol dan memberlakukan pemakaian bahan bakar alternatif. Pada tahun 2002, impor minyak bumi berkurang menjadi 10% berkat penggunaan bioetanol yang lebih intensif dan tahun 2005 ketergantungan ini mendekati 0%. Dewasa ini 20% dari semua mobil di Brazil murni menggunakan bioetanol, dan 50% dari semua mobil

baru yang dijual adalah mobil hybrid, artinya bisa menggunakan 2 jenis bahan bakar sekaligus, bioetanol dan/atau BBM. Bukan hanya Brazil, perusahaan mobil Amerika Ford kini juga mulai gencar memasarkan mobil Ford Focus versi bioetanol mereka di beberapa negara Eropa. Brazil dan Ford sudah mempertaruhkan investasi mereka dalam membuat mobil berbasis bioetanol dan terbukti sukses.

Bioetanol merupakan salah satu jenis sumber energi yang sedang dipacu pengembangannya oleh Pemerintah Indonesia. Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati, dan Keputusan Presiden No. 10 Tahun 2006 tentang Tim Nasional Pengembangan Bahan Bakar Nabati untuk Percepatan Pengurangan Kemiskinan dan Pengangguran, merupakan upaya pemerintah dalam mendukung pengembangan energi alternatif khususnya Bahan Bakar Nabati (BBN/Biofuel).

Dukungan yang serius dari Pemerintah terhadap pengembangan biofuel ditunjukkan pula dengan diterbitkannya Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 32 Tahun 2008, tentang Penyediaan, Pemanfaatan dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (Biofuel) sebagai Bahan Bakar Lain. Dalam peraturan ini diatur tentang pentahapan kewajiban minimal (*mandatory*) pemanfaatan biofuel (7).

Glukosa dapat dibuat dari pati-patian, proses pembuatannya dapat dibedakan berdasarkan zat pembantu yang dipergunakan, yaitu hidrolisis asam dan hidrolisis enzim. Berdasarkan kedua jenis hidrolisis tersebut, saat ini hidrolisis enzim lebih banyak dikembangkan, sedangkan hidrolisis asam (misalnya dengan asam sulfat) kurang dapat berkembang, sehingga proses pembuatan glukosa dari pati-patian sekarang ini dipergunakan dengan hidrolisis enzim. Dalam proses konversi, karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air dilakukan dengan penambahan air dan enzim, kemudian dilakukan proses peragian atau fermentasi gula menjadi etanol dengan menambahkan *yeast* atau ragi. Reaksi yang terjadi pada proses produksi bioetanol secara sederhana disajikan pada reaksi berikut :



Selain bioetanol dapat diproduksi dari bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat, juga dapat diproduksi dari bahan tanaman yang mengandung selulosa, namun dengan adanya lignin mengakibatkan proses penggulaannya menjadi lebih sulit, sehingga pembuatan bioetanol dari selulosa tidak perlu direkomendasikan. Meskipun teknik produksi bioetanol merupakan teknik yang sudah lama diketahui, namun bioetanol untuk bahan bakar kendaraan memerlukan etanol dengan karakteristik tertentu yang memerlukan teknologi yang relatif baru di Indonesia antara lain mengenai neraca energi dan efisiensi produksi, sehingga penelitian lebih lanjut mengenai teknologi proses produksi etanol masih perlu dilakukan. Secara singkat teknologi proses produksi bioetanol tersebut dapat dibagi dalam tiga tahap, yaitu gelatinasi, sakarifikasi, dan fermentasi.

Etanol memiliki berat jenis sebesar 0,7937 g/mL (15°C) dan titik didih sebesar 78,32°C pada tekanan 760 mmHg. Etanol larut dalam air dan eter dan mempunyai panas pembakaran 328 Kkal (Paturau, 1981). Menurut Paturau (1981), fermentasi etanol membutuhkan waktu 30-72 jam. Prescott and Dunn (1981) menyatakan bahwa waktu fermentasi etanol yang dibutuhkan adalah 3 hingga 7 hari. Frazier and Westhoff (1978) menambahkan suhu optimum fermentasi 25-30°C dan kadar gula 10-18 %. Etil-Alkohol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) dikenal juga dengan nama alkohol adalah suatu cairan tidak berwarna dengan bau yang khas. Di dalam perdagangan kualitas alkohol di kenal dengan beberapa tingkatan.

#### 1. Alkohol Teknis (96,5°GL)

Digunakan terutama untuk kepentingan industri sebagai bahan pelarut organik, bahan baku maupun bahan antara produksi berbagai senyawa organik lainnya. Alkohol teknis biasanya terdenaturasi memakai ½ -1 % piridin dan diberi warna memakai 0,0005% metal violet.

#### 2. Alkohol Murni (96,0 – 96,5 °GL)

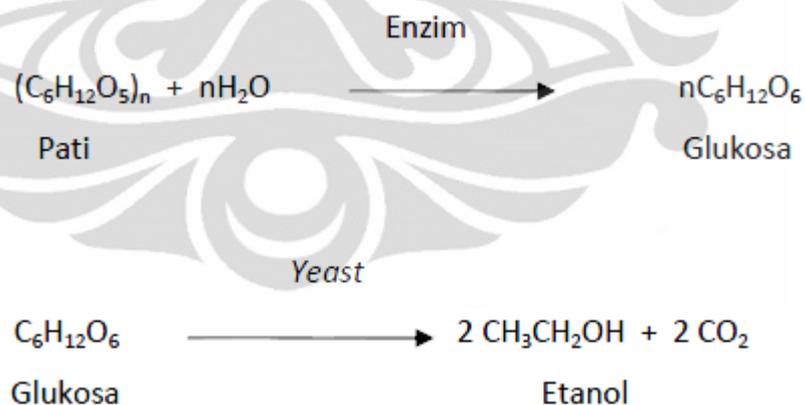
Digunakan terutama untuk kepentingan farmasi dan konsumsi misal untuk minuman keras.

### 3. Alkohol Absolut ( 99,7 – 99,8 °GL)

Digunakan di dalam pembuatan sejumlah besar obat-obatan dan juga sebagai bahan antara didalam pembuatan senyawa-senyawa lain skala laboratorium. Alkohol jenis ini disebut *Fuel Grade Ethanol* (F.G.E) atau *anhydrous ethanol* yaitu etanol yang bebas air atau hanya mengandung air minimal. Alkohol absolut terdenaturasi digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor dan motor bensin lainnya.

#### 3.2.1 Pembuatan Ethanol Secara Fermentasi

Proses fermentasi dimaksudkan untuk mengubah glukosa menjadi etanol dengan menggunakan *yeast*. Alkohol yang diperoleh dari proses fermentasi ini biasanya alkohol dengan kadar 8–10 persen volume. Bahan baku untuk pembuatan etanol secara fermentasi ini dapat berasal dari pati, selulosa dan juga bahan-bahan yang mengandung gula. Reaksi pembuatan etanol dengan fermentasi sebagai berikut:



Bahan Baku yang sering digunakan untuk pembuatan etanol dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu:

- Bahan bergula (sugary materials) :  
Tebu dan sisa produknya (molase, bagase), gula bit, tapioca, kentang manis, sorghum manis, dan sebagainya.
- Bahan-bahan berpati (starchy materials) :

Tapioka, maizena, barley, gandum, padi, kentang, jagung dan ubi kayu

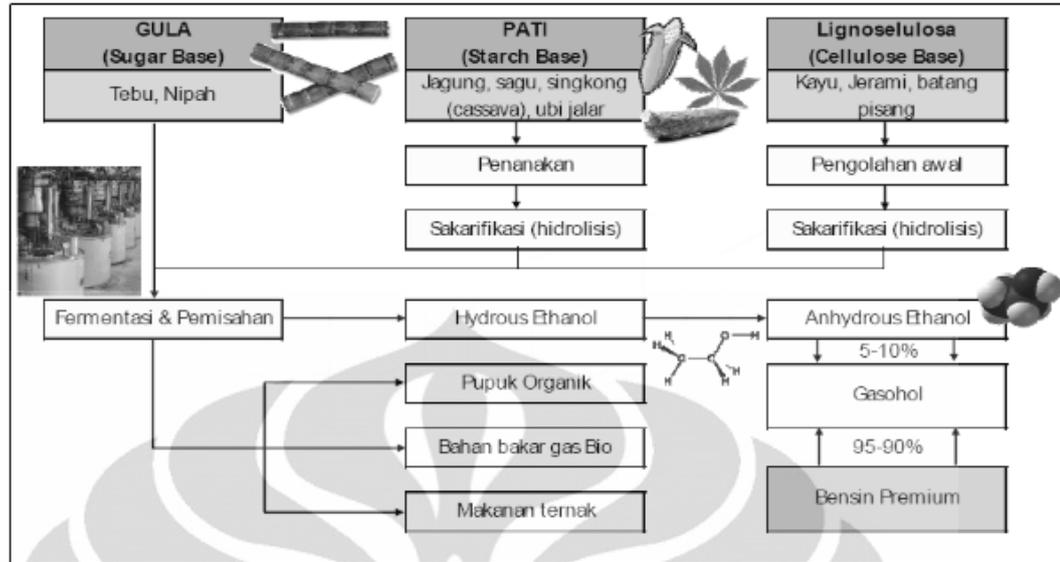
- *Bahan-bahan lignoselulosa (lignosellulosic material) :*

Sumber selulosa dan lignoselulosa berasal dari limbah pertanian dan kayu. Dari berbagai bahan baku tersebut akan dipilih bahan baku yang paling efisien untuk dibuat bioetanol. Salah satu pertimbangan yang sering digunakan adalah besarnya konversi biomassa menjadi bioetanol seperti yang disajikan pada Tabel 2.1.

Sumber	Berat (kg)	Kandungan Pati (kg)	Jumlah Bioetanol (liter)	Perbandingan Hasil
Ubi Kayu	1.000	240 -300	166,5	6,5 : 1
Ubi Jalar	1.000	150 – 200	125	8 : 1
Jagung	1.000	600 – 700	400	2,5 : 1
Sagu	1.000	120 – 160	90	12 : 1
Tetes Tebu	1.000	450 – 520	250	4 : 1
Tebu	1.000	110	67	15 : 1

*Tabel 2.1 Konversi Biomassa Menjadi Bioethanol*

Tabel 2.1 menunjukkan bahwa bahan baku yang memiliki efisiensi tertinggi adalah jagung, kemudian disusul dengan tetes tebu dan ubi kayu, sedangkan tebu memiliki efisiensi paling rendah. Hal ini terlihat menunjang dan ada hubungannya dengan kebijakan Amerika yang memilih jagung sebagai bahan baku produksi bioetanol bukan tetes tebu atau gula. Namun biaya pengolahan bioetanol dari jagung atau bahan berpati biasanya relatif mahal karena membutuhkan proses dan peralatan tambahan sebelum proses fermentasi.



Gambar 2.3 Diagram Alir Fermentasi Ethanol dan Berbagai Bahan Baku

### 3.2.2 Bioethanol Sebagai Bahan Bakar

Penggunaan alkohol sebagai bahan bakar mulai diteliti dan diimplementasikan di USA dan Brazil sejak terjadinya krisis bahan bakar fosil di kedua negara tersebut pada tahun 1970-an. Brazil tercatat sebagai salah satu negara yang memiliki keseriusan tinggi dalam implementasi bahan bakar alcohol untuk keperluan kendaraan bermotor dengan tingkat penggunaan bahan bakar ethanol saat ini mencapai 40% secara nasional (*Nature, 1 July 2005*). Di USA, bahan bakar relatif murah, E85, yang mengandung ethanol 85% semakin populer di masyarakat (*Nature, 1 July 2005*).

Selain ethanol, methanol juga tercatat digunakan sebagai bahan bakar alcohol di Rusia (Wikipedia), sedangkan Kementerian Lingkungan Hidup Jepang telah menargetkan pada tahun 2008 campuran gasolin + ethanol 10% digunakan untuk menggantikan gasolin di seluruh Jepang. Kementerian yang sama juga meminta produsen otomotif di Jepang untuk membuat kendaraan yang mampu beroperasi dengan bahan bakar campuran tersebut mulai tahun 2003 (*The Japan Times, 17 December 2002*).

Pemerintah Indonesia, dalam hal ini Kementerian Negara Riset dan Teknologi telah menargetkan pembuatan minimal satu pabrik biodiesel dan gasohol (campuran gasolin dan alkohol) pada tahun 2005-2006. Selain itu,

ditargetkan juga bahwa penggunaan bioenergy tersebut akan mencapai 30 hari pasokan energi nasional pada tahun 2025 (*Kompas*, 26 Mei 2005). Ethanol bias digunakan dalam bentuk murni ataupun sebagai campuran untuk bahan bakar gasolin (bensin) maupun hidrogen. Interaksi ethanol dengan hidrogen bias dimanfaatkan sebagai sumber energi *fuel cell* ataupun dalam mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) konvensional.

### 3.2.3 Penggunaan Bioethanol Pada Mesin Pembakaran Dalam

Dewasa ini, hampir seluruh mesin pembangkit daya yang digunakan pada kendaraan bermotor menggunakan mesin pembakaran dalam. Mesin bensin (Otto) dan diesel adalah dua jenis mesin pembakaran dalam yang paling banyak digunakan di dunia. Mesin diesel, yang memiliki efisiensi lebih tinggi, tumbuh pesat di Eropa, sedangkan komunitas USA yang cenderung khawatir pada tingkat polusi sulfur dan UHC pada diesel, lebih memilih mesin bensin. Meski saat ini, mutu solar dan mesin diesel yang digunakan di Eropa sudah semakin baik yang berimplikasi pada rendahnya emisi sulfur dan UHC. Ethanol yang secara teoritik memiliki angka oktan di atas standard maksimal bensin, cocok diterapkan sebagai substitusi sebagian ataupun keseluruhan pada mesin bensin.

Terdapat beberapa karakteristik internal ethanol yang menyebabkan penggunaan ethanol pada mesin Otto lebih baik daripada gasolin. Ethanol memiliki angka *research octane* 108.6 dan *motor octane* 89.7 (Yuksel dkk, 2004). Angka tersebut terutama *research octane*) melampaui nilai maksimal yang mungkin dicapai oleh gasolin (pun setelah ditambahkan aditif tertentu pada gasolin). Sebagai catatan, bensin yang dijual Pertamina memiliki angka *research octane* 88 (Website Pertamina) (catatan: tidak tersedia informasi *motor octane* untuk gasolin di Website Pertamina, namun umumnya *motor octane* lebih rendah daripada *research octane*).

Angka oktan pada bahan bakar mesin Otto menunjukkan kemampuannya menghindari terbakarnya campuran udara-bahan bakar sebelum waktunya (*selfignition*). Terbakarnya campuran udara-bahan bakar di dalam mesin Otto sebelum waktunya akan menimbulkan fenomena ketuk (*knocking*) yang berpotensi menurunkan daya mesin, bahkan bisa menimbulkan kerusakan serius

pada komponen mesin. Selama ini, fenomena ketuk membatasi penggunaan rasio kompresi (perbandingan antara volume silinder terhadap volume sisa) yang tinggi pada mesin bensin. Tingginya angka oktan pada ethanol memungkinkan penggunaan rasio kompresi yang tinggi pada mesin Otto. Korelasi antara efisiensi dengan rasio kompresi berimplikasi pada fakta bahwa mesin Otto berbahan bakar ethanol (sebagian atau seluruhnya) memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar gasoline (Yuksel dkk, 2004), (Al-Baghdadi, 2003). Untuk rasio campuran ethanol:gasoline mencapai 60:40 tercatat peningkatan efisiensi hingga 10 Yuksel dkk, 2004).

Ethanol memiliki satu molekul OH dalam susunan molekulnya. Oksigen yang inheren di dalam molekul ethanol tersebut membantu penyempurnaan pembakaran antara campuran udara-bahan bakar di dalam silinder. Ditambah dengan rentang keterbakaran (flammability) yang lebar, yakni 4.3 -19 vol dibandingkan dengan gasoline yang memiliki rentang keterbakaran 1.4 -7.6 vol pembakaran campuran udara-bahan bakar ethanol menjadi lebih baik -ini dipercaya sebagai faktor penyebab relatif rendahnya emisi CO dibandingkan dengan pembakaran udara-gasolin. Ethanol juga memiliki panas penguapan (heat of vaporization) yang tinggi, yakni 842 kJ/kg (Al-Baghdadi, 2003). Tingginya panas penguapan ini menyebabkan energi yang dipergunakan untuk menguapkan ethanol lebih besar dibandingkan gasolin. Konsekuensi lanjut dari hal tersebut adalah temperatur puncak di dalam silinder akan lebih rendah pada pembakaran ethanol dibandingkan dengan gasolin.

Rendahnya emisi NO, yang dalam kondisi atmosfer akan membentuk NO<sub>2</sub> yang bersifat racun, dipercaya sebagai akibat relatif rendahnya temperatur puncak pembakaran ethanol di dalam silinder. Pada rasio kompresi 7, penurunan emisi NO<sub>x</sub> tersebut bisa mencapai 33% dibandingkan terhadap emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan pembakaran gasolin pada rasio kompresi yang sama (Al-Baghdadi, 2003). Dari susunan molekulnya, ethanol memiliki rantai karbon yang lebih pendek dibandingkan gasolin (rumus molekul ethanol adalah C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, sedangkan gasolin memiliki rantai C<sub>6</sub>-C<sub>12</sub> (Wikipedia) dengan perbandingan antara atom H dan C adalah 2:1 (Rostrup-Nielsen, 2005)). Pendeknya rantai atom

karbon pada ethanol menyebabkan emisi UHC pada pembakaran ethanol relatif lebih rendah dibandingkan dengan gasolin, yakni berselisih hingga 130 ppm (Yuksel dkk, 2004).

Dari paparan di atas, terlihat bahwa penggunaan ethanol (sebagian atau seluruhnya) pada mesin Otto, positif menyebabkan kenaikan efisiensi mesin dan turunnya emisi CO, NO<sub>x</sub>, dan UHC dibandingkan dengan penggunaan gasolin. Namun perlu dicatat bahwa emisi aldehyde lebih tinggi pada penggunaan ethanol, meski bahaya emisi aldehyde terhadap lingkungan adalah lebih rendah daripada berbagai emisi gasolin (Yuksel dkk, 2004). Selain itu, pada prinsipnya emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada pembakaran ethanol juga akan dipergunakan oleh tumbuhan penghasil ethanol tersebut. Sehingga berbeda dengan bahan bakar fosil, pembakaran ethanol tidak menciptakan sejumlah CO<sub>2</sub> baru ke lingkungan. Terlebih untuk kasus di Indonesia, dimana bensin yang dijual Pertamina masih mengandung timbal (TEL) sebesar 0.3 g/L serta sulfur 0.2 wt (Website Pertamina), penggunaan ethanol jelas lebih baik dari bensin. Seperti diketahui, TEL adalah salah satu zat aditif yang digunakan untuk meningkatkan angka oktan bensin dan zat ini telah dilarang di berbagai negara di dunia karena sifat racunnya. Keberadaan sulfur juga menjadi perhatian di USA dan Eropa karena dampak yang ditimbulkannya bagi kesehatan.

Ethanol murni akan bereaksi dengan karet dan plastik (Wikipedia). Oleh karena itu, ethanol murni hanya bisa digunakan pada mesin yang telah dimodifikasi. Dianjurkan untuk menggunakan karet fluorokarbon sebagai pengganti komponen karet pada mesin Otto konvensional. Selain itu, molekul ethanol yang bersifat polar akan sulit bercampur secara sempurna dengan gasolin yang relatif non-polar, terutama dalam kondisi cair. Oleh karena itu modifikasi perlu dilakukan pada mesin yang menggunakan campuran bahan bakar ethanolgasolin agar kedua jenis bahan bakar tersebut bisa tercampur secara merata di dalam ruang bakar. Salah satu inovasi pada permasalahan ini adalah pembuatan karburator tambahan khusus untuk ethanol (Yuksel dkk, 2004). Pada saat langkah hisap, uap ethanol dan gasolin akan tercampur selama perjalanan dari karburator hingga ruang bakar memberikan tingkat pencampuran yang lebih baik.

### 3.3 PARAMETER KINERJA MOTOR

Karakter unjuk kerja suatu motor bakar torak dinyatakan dalam beberapa parameter diantaranya adalah konsumsi bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik, perbandingan bahan bakar-udara, daya keluaran. Berikut ditampilkan rumus-rumus dari beberapa parameter yang digunakan dalam menentukan unjuk kerja motor bakar torak :

#### Daya yang Terukur ( $\dot{w}_b$ )

$$\dot{w}_b = V \times I \times \frac{3600}{1000} \dots\dots\dots(2.1)$$

$\dot{w}_b$  = Daya yang terukur (kWh)

E = Daya listrik yang terukur per-jamnya (kWh)

P = Daya listrik yang terukur (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

#### Konsumsi Bahan Bakar / *Fuel Consumption (FC)*

$$BFC = \frac{V_f \times 3600}{t \times 1000} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

BFC = Konsumsi bahan bakar (L/jam)

$V_f$  = Konsumsi bahan bakar selama t detik (mL)

t = Interval waktu pengukuran konsumsi bahan bakar (detik)

### Laju Aliran Massa Bahan Bakar ( $\dot{m}_f$ )

$$\dot{m}_f = \frac{BFC \times \rho_f}{3600 \times 1000} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

$\dot{m}_f$  = Laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

BFC = Konsumsi bahan bakar (L/jam)

$\rho_f$  = Massa jenis bahan bakar (kg/m<sup>3</sup>)

### Specific Fuel Consumption (SFC)

$$SFC = \frac{\dot{m}_f}{\dot{w}_b} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

BSFC = Brake Specific Fuel Consumption (Kg/kWh)

$\dot{m}_f$  = laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

$\dot{w}_b$  = Daya yang terukur (kWh)

### Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )

$$\eta_{th} = \frac{\dot{w}_b}{\dot{m}_f \times Q_{HV}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

$\eta_{th}$  = Efisiensi thermal (%)

$\dot{w}_b$  = Daya yang terukur (kWh)

$\dot{m}_f$  = Laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

$Q_{HV}$  = Nilai kalor bahan bakar (kKal/Kg)

### 3.4 POLUTAN PADA ALIRAN GAS BUANG

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor dibedakan menjadi polutan primer atau sekunder. Polutan primer seperti karbon monoksida (CO), sulfur oksida (SO<sub>x</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dan hidrokarbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon (O<sub>2</sub>) adalah polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia, hidrolisis atau oksidasi.

#### 3.4.1 Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon terutama berperan dalam atmosfer dalam pembentukan ozon dan fotooksidan lainnya, bersama-sama dengan adanya oksida nitrogen dan sinar ultra violet. Gangguan pernapasan dapat timbul akibat senyawa hidrokarbon sendiri, meliputi laryngitis, pharya dan bronchitis. Dampak fotooksidan yang terbentuk, sebenarnya lebih besar dari dampak hidrokarbon sendiri.

Emisi hidrokarbon yang tidak terbakar merupakan hal berkaitan langsung dengan pembakaran yang tidak sempurna. jadi setiap HC yang didapat di gas buang kendaraan menunjukkan adanya bahan bakar yang tidak terbakar dan terbuang bersama sisa pembakaran. Apabila suatu senyawa hidrokarbon terbakar sempurna (bereaksi dengan oksigen) maka hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan air(H<sub>2</sub>O). Bentuk emisi hidrokarbon dipengaruhi oleh banyak variable disain dan operasi. Salah satunya dapat disebabkan karena penyalaan yang tidak stabil (*misfire*). Oksidasi dari hidrokarbo merupakan proses rantai dengan hasil lanjutan berupa aldehid. Beberapa jenis aldehid bersifat stabil dan keluar bersama gas buang. Sumber utama dari pembentukan hidrokarbon adalah *wall quenching* yang diamati pada saat api menjalar ke arah dinding, terdapat lapisan tipis yang tidak terjadi reaksi kimia kecuali terjadinya pemecahan bahan bakar. Lapisan tipis ini mengandung hidrokarbon yang tidak terbakar atau disebut juga *quench distance*.

Besarnya *quench distance* ini bervariasi antara 0,008 sampai 0,038 cm yang dipengaruhi oleh temperatur campuran, tekanan, AFR (Air-to-Fuel-Ratio),

temperatur permukaan dinding dan endapan pembakaran. Besarnya konsentrasi hidrokarbon di dalam gas buang sama dengan besar konsentrasi CO, yaitu tinggi pada saat campuran kaya dan berkurang pada titik temperatur tertinggi. Untuk *engine* yang tidak dilengkapi dengan *Catalytic Converter (CC)*, emisi HC yang dapat ditoleransi adalah 500 ppm dan untuk *engine* yang dilengkapi dengan CC, emisi HC yang dapat ditoleransi adalah 50 ppm.

Emisi HC ini dapat ditekan dengan cara memberikan tambahan panas dan oksigen diluar ruang bakar untuk menuntaskan proses pembakaran. Proses injeksi oksigen tepat setelah exhaust port akan dapat menekan emisi HC secara drastis. Saat ini, beberapa mesin mobil sudah dilengkapi dengan *electronic air injection reaction pump* yang langsung bekerja saat *cold-start* untuk menurunkan emisi HC sesaat sebelum CC mencapai suhu kerja ideal.

Apabila emisi HC tinggi, menunjukkan ada 3 kemungkinan penyebabnya yaitu CC yang tidak berfungsi, AFR yang tidak tepat (terlalu kaya) atau bahan bakar tidak terbakar dengan sempurna di ruang bakar. Apabila mobil dilengkapi dengan CC, maka harus dilakukan pengujian terlebih dahulu terhadap CC dengan cara mengukur perbedaan suhu antara inlet CC dan outletnya. Seharusnya suhu di outlet akan lebih tinggi minimal 10% daripada inletnya.

Apabila CC bekerja dengan normal tapi HC tetap tinggi, maka hal ini menunjukkan gejala bahwa AFR yang tidak tepat atau terjadi misfire. AFR yang terlalu kaya akan menyebabkan emisi HC menjadi tinggi. Ini biasanya disebabkan antara lain kebocoran *fuel pressure regulator*, setelan karburator tidak tepat, filter udara yang tersumbat, sensor temperatur mesin yang tidak normal dan sebagainya yang dapat membuat AFR terlalu kaya. *Injector* yang kotor atau *fuel pressure* yang terlalu rendah dapat membuat butiran bensin menjadi terlalu besar untuk terbakar dengan sempurna dan ini juga akan membuat emisi HC menjadi tinggi. Apapun alasannya, AFR yang terlalu kaya juga akan membuat emisi CO menjadi tinggi dan bahkan menyebabkan outlet dari CC mengalami overheat, tetapi CO dan HC yang tinggi juga bisa disebabkan oleh bocornya pelumas ke ruang bakar.

penyebab misfire antara lain adalah pengapian yang tidak baik, waktu pengapian yang terlalu mundur, kebocoran udara disekitar intake manifold atau *mechanical problem* yang menyebabkan angka kompresi mesin rendah.

Untuk *engine* yang dilengkapi dengan sistem EFI dan CC, gejala misfire ini harus segera diatasi karena apabila dibiarkan, ECU akan terus menerus berusaha membuat AFR menjadi kaya karena membaca bahwa masih ada oksigen yang tidak terbakar ini. Akibatnya CC akan mengalami overheat.

### 3.4.2 Karbon Monoksida (CO)

Gas yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, tidak mudah larut dalam air, beracun dan berbahaya. Dapat bertahan lama di muka bumi karena kemampuan atmosfer untuk menyerapnya adalah antara 1 sampai 5 tahun. Dampak dari CO bervariasi tergantung dari status kesehatan seseorang, antara lain dapat memperparah kelompok penderita gangguan jantung dan paru-paru, kelahiran premature dan berat badan bayi di bawah normal. CO menghalangi darah dalam mengangkut oksigen sehingga darah kekurangan oksigen dan jantung bekerja lebih berat. Bila seseorang menghirup CO pada kadar tinggi dan waktu tertentu dapat menimbulkan pingsan, bahkan kematian. ([88DB.com/kesehatan&pengobatan/emisi-gas-buang](http://88DB.com/kesehatan&pengobatan/emisi-gas-buang)).

Karbon monoksida selalu terdapat di dalam gas buang pada saat proses penguraian dan hanya ada pada *muffler*. CO merupakan produk dari pembakaran yang tidak tuntas yang disebabkan karena tidak seimbangny jumlah udara pada rasio udara-bahan bakar (AFR) atau waktu penyelesaian pembakaran yang tidak tepat. Pada campuran kaya, konsentrasi CO akan meningkat dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna untuk menghasilkan CO<sub>2</sub>. Pada beberapa hasil, konsentrasi CO yang terukur lebih besar dari konsentrasi keseimbangan. Hal ini mengindikasikan bahwa terjadi pembentukan yang tidak sempurna pada langkah ekspansi.

Karbon monoksida, dapat diubah dengan mudah menjadi CO<sub>2</sub> dengan bantuan sedikit oksigen dan panas. Saat mesin bekerja dengan AFR (*Air-to-Fuel-Ratio*) yang tepat, emisi CO pada ujung knalpot berkisar 0.5% sampai 1% untuk

mesin yang dilengkapi dengan sistem injeksi atau sekitar 2.5% untuk mesin yang masih menggunakan karburator. Dengan bantuan air injection system atau CC, maka CO dapat dibuat serendah mungkin mendekati 0%. Namun pada kenyataannya kadar CO akan selalu terdapat pada gas buang walaupun pada campuran yang kurus sekalipun.

Apabila AFR sedikit saja lebih kaya dari angka idealnya (AFR ideal =  $\lambda = 1.00$ ) maka emisi CO akan naik secara drastis. Jadi tingginya angka CO menunjukkan bahwa AFR terlalu kaya dan ini bisa disebabkan antara lain karena masalah di fuel injection system seperti fuel pressure yang terlalu tinggi, sensor suhu mesin yang tidak normal, air filter yang kotor, PCV system yang tidak normal, karburator yang kotor atau setelahnya yang tidak tepat.

Persentase CO pada gas buang meningkat pada saat *idle* dan menurun seiring dengan bertambahnya kecepatan dan pada saat kecepatan konstan. Pada saat perlambatan dimana terjadi penutupan *throttle* yang menyebabkan berkurangnya suplai oksigen ke mesin akan mengakibatkan tingginya kadar CO yang dihasilkan.

### 3.4.3 Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

Konsentrasi CO<sub>2</sub> menunjukkan secara langsung status proses pembakaran di ruang bakar. Semakin tinggi maka semakin baik. Saat AFR berada di angka ideal, emisi CO<sub>2</sub> berkisar antara 12% sampai 15%. Apabila AFR terlalu kurus atau terlalu kaya, maka emisi CO<sub>2</sub> akan turun secara drastis. Apabila CO<sub>2</sub> berada dibawah 12%, maka kita harus melihat emisi lainnya yang menunjukkan apakah AFR terlalu kaya atau terlalu kurus.

Perlu diingat bahwa sumber dari CO<sub>2</sub> ini hanya ruang bakar dan CC (*Catalytic Converter*). Apabila CO<sub>2</sub> terlalu rendah tapi CO dan HC normal, menunjukkan adanya kebocoran *exhaust pipe*.

### 3.4.4 Oksigen (O<sub>2</sub>)

Konsentrasi dari oksigen di gas buang kendaraan berbanding terbalik dengan konsentrasi CO<sub>2</sub>. Untuk mendapatkan proses pembakaran yang sempurna,

maka kadar oksigen yang masuk ke ruang bakar harus mencukupi untuk setiap molekul hidrokarbon.

Untuk mengurangi emisi HC, maka dibutuhkan sedikit tambahan udara atau oksigen untuk memastikan bahwa semua molekul bensin dapat “bertemu” dengan molekul oksigen untuk bereaksi dengan sempurna. Ini berarti AFR 14,7:1 ( $\lambda = 1.00$ ) sebenarnya merupakan kondisi yang sedikit kurus. Inilah yang menyebabkan oksigen dalam gas buang akan berkisar antara 0.5% sampai 1%. Pada mesin yang dilengkapi dengan CC, kondisi ini akan baik karena membantu fungsi CC untuk mengubah CO dan HC menjadi CO<sub>2</sub>.

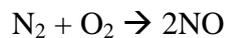
Mesin tetap dapat bekerja dengan baik walaupun AFR terlalu kurus bahkan hingga AFR mencapai 16:1. Tapi dalam kondisi seperti ini akan timbul efek lain seperti mesin cenderung knocking, suhu mesin bertambah dan emisi senyawa NO<sub>x</sub> juga akan meningkat drastis.

Normalnya konsentrasi oksigen di gas buang adalah sekitar 1.2% atau lebih kecil bahkan mungkin 0%. Tapi kita harus berhati-hati apabila konsentrasi oksigen mencapai 0%. Ini menunjukkan bahwa semua oksigen dapat terpakai semua dalam proses pembakaran dan ini dapat berarti bahwa AFR cenderung kaya. Dalam kondisi demikian, rendahnya konsentrasi oksigen akan berbarengan dengan tingginya emisi CO. Apabila konsentrasi oksigen tinggi dapat berarti AFR terlalu kurus tapi juga dapat menunjukkan beberapa hal lain. Apabila dibarengi dengan tingginya CO dan HC, maka pada mobil yang dilengkapi dengan CC berarti CC mengalami kerusakan. Untuk mobil yang tidak dilengkapi dengan CC, bila oksigen terlalu tinggi dan lainnya rendah berarti ada kebocoran di exhaust sytem.

### **3.4.5 Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)**

Komponen utama dari NO<sub>x</sub> adalah nitrogen oksida (NO) yang dapat dikonversikan lagi menjadi nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) dan nitrogen tetraoksida (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Oksida-oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) biasanya dihasilkan dari proses pembakaran pada suhu tinggi dari bahan bakar gas, minyak atau batu bara. Suhu yang tinggi pada ruang bakar akan menyebabkan sebagian N<sub>2</sub> bereaksi dengan O<sub>2</sub>.

Jika terdapat  $N_2$  dan  $O_2$  pada temperatur lebih dari  $1800\text{ }^\circ\text{C}$ , akan terjadi reaksi pembentukan gas NO sebagai berikut:



Di udara, NO mudah berubah menjadi  $NO_2$ . Komposisi  $NO_x$  di dalam gas buang terdiri dari 95% NO, 3-4%  $NO_2$ , dan sisanya adalah  $N_2O$  serta  $N_2O_3$ .

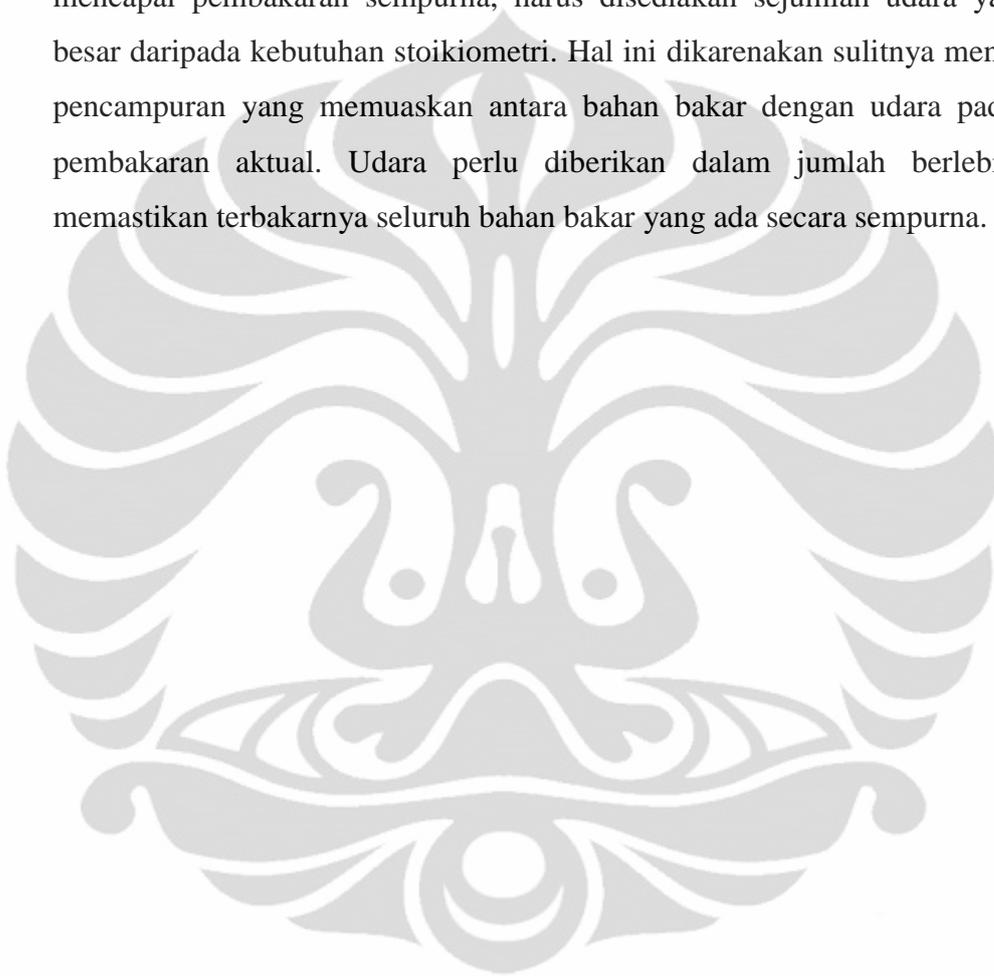
Tidak seperti gas polutan lainnya yang mempunyai daya destruktif yang tinggi terhadap kesehatan manusia, NO merupakan gas inert dan hanya bersifat racun. Sama halnya dengan CO, NO mempunyai afinitas yang tinggi terhadap oksigen dibandingkan dengan hemoglobin dalam darah. Dengan demikian pemaparan terhadap NO dapat mengurangi kemampuan darah membawa oksigen sehingga tubuh kekurangan oksigen dan mengganggu fungsi metabolisme. Namun  $NO_2$  dapat menimbulkan iritasi terhadap paru-paru. Bila konsentrasi cemaran  $NO_x$  dan SOX di atmosfer tinggi, maka akan diubah menjadi  $HNO_3$  dan  $H_2SO_4$ . Adanya hidrokarbon,  $NO_2$ , oksida logam Mn (II), Fe (II), Ni (II), dan Cu (II) mempercepat reaksi  $SO_2$  menjadi  $H_2SO_4$ .  $HNO_3$  dan  $H_2SO_4$  bersama-sama dengan HCl dari emisi HCl menyebabkan derajat keasaman (pH) hujan menjadi rendah (hujan asam). ([chem-is-try.org/NOx-Sox-NO2](http://chem-is-try.org/NOx-Sox-NO2)).

Tingginya konsentrasi senyawa  $NO_x$  disebabkan karena tingginya konsentrasi oksigen ditambah dengan tingginya suhu ruang bakar. Untuk menjaga agar konsentrasi  $NO_x$  tidak tinggi maka diperlukan kontrol secara tepat terhadap AFR dan suhu ruang bakar harus dijaga agar tidak terlalu tinggi baik dengan EGR maupun long valve overlap. Normalnya  $NO_x$  pada saat idle tidak melebihi 100 ppm. Apabila AFR terlalu kurus, timing pengapian yang terlalu tinggi atau sebab lainnya yang menyebabkan suhu ruang bakar meningkat, akan meningkatkan konsentrasi  $NO_x$  dan ini tidak akan dapat diatasi oleh CC atau sistem EGR yang canggih sekalipun.

Tumpukan kerak karbon yang berada di ruang bakar juga akan meningkatkan kompresi mesin dan dapat menyebabkan timbulnya titik panas yang dapat meningkatkan kadar  $NO_x$ . Mesin yang sering detonasi juga akan menyebabkan tingginya konsentrasi  $NO_x$ .

### 3.4.6 Udara Berlebih (*Excess Air*)

Perhitungan-perhitungan pembakaran harus terkait dengan persyaratan perlengkapan pembakaran aktual dimana perlengkapan tersebut masih laik pakai. Nilai udara stoikiometri mendefinisikan suatu proses pembakaran dengan efisiensi 100%, sehingga tidak ada lagi udara yang terbuang. Pada kenyataannya, untuk mencapai pembakaran sempurna, harus disediakan sejumlah udara yang lebih besar daripada kebutuhan stoikiometri. Hal ini dikarenakan sulitnya mendapatkan pencampuran yang memuaskan antara bahan bakar dengan udara pada proses pembakaran aktual. Udara perlu diberikan dalam jumlah berlebih untuk memastikan terbakarnya seluruh bahan bakar yang ada secara sempurna.



### BAB III

#### METODOLOGI PENELITIAN

##### 6.1 METODE EKSPERIMENTAL

Agar tujuan penelitian dapat tercapai maka dalam penelitian ini digunakan metode penelitian eksperimental, yaitu metode yang dapat dipakai untuk menguji pengaruh unjuk kerja *low grade ethanol* dari pemanfaatan gas buang motor bakar statis sebagai sumber energi *compact distillator*. Pemanfaatan gas buang motor sebagai sumber pemanas *distillator* dianalisa untuk mengetahui dampak yang dihasilkan terhadap kinerja motor serta kualitas gas buang setelah digunakan untuk proses distilasi.

Pada penelitian ini pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi bahan bakar dan variasi distilasi pada temperatur 80°C, 90°C dan 95°C dengan beban 300 Watt serta pengukuran gas buang yang dihasilkan serta laju konsumsi bahan bakar terhadap laju produksi distilasi bioethanol.

##### 6.2 PERALATAN UJI

###### 1 Bahan Bakar Premium

digunakan pada motor otto sebagai data pembanding unjuk kinerja motor bakar.

Tabel 3.1. Spesifikasi Bahan Bakar Premium

Jenis	Bensin tanpa Timbal
Nilai Kalor Spesifik	11973 Kkal/Kg

Sumber : Wikipedia

###### 2 Bahan Bakar Bioethanol

Tabel 3.2. Spesifikasi Bahan Bakar Bioethanol

Jenis	Bioethanol Tetes Tebu
Kadar	95 %
Nilai Kalor Spesifik	6400 Kkal/Kg (@ 100%)

Sumber : Wikipedia

###### 3 Bahan Pengotor Etanol

Aquades digunakan sebagai campuran bioethanol untuk merubah tingkat konsentrasi ethanol menjadi kadar rendah. Konsentrasi bioethanol dengan

kadar rendah ini digunakan sebagai produk uji *compact distillator* dan sebagai produk uji unjuk kerja motor berbahan bakar bioethanol.

Tabel 3.3. Spesifikasi Bahan Pengotor Etanol

Jenis	Aquades
Nilai Kalor Spesifik	1 Kkal/Kg

Sumber : Wikipedia

#### 4 Genset

Motor Generator Set yang digunakan merupakan motor Otto yang memiliki spesifikasi alat sebagai berikut:

Tabel 3.4. Spesifikasi Genset

Generator	
Type	Single Phase, Brushless, Capacitor Type, AC
Voltage	220 V/50 Hz
Max Power	0.9 KW/50 Hz
Rated Power	0.85 KW/50 Hz
Engine	
Type	1 Cylinder, 4-stroke, Forced air cooling gas
Model	A154F
Bore	
Stroke	
Displacement	80.7 cc
Rated Power	1.17 KW/3000 rpm, 1.32 KW/3600 rpm
Bahan Bakar	Bensin tanpa timbale
Oli	SAE 15W-40SF
Fuel Tank Capacity	5.5 L
Dimensi	450 x 350 x 365 (mm)
Berat Bersih	26 Kg

#### 5 Gas Analyzer

Analisa gas buang digunakan untuk mengetahui kualitas serta konsentrasi gas buang dengan spesifikasi alat sebagai berikut:

Tabel 3.5. Spesifikasi *Gas Analyzer*

Merek	Tecnotest	
Model	488	
Jenis	Multi Gas Tester Dengan Infra Merah	
Negara Pembuat	Italia	
Tahun Produksi	1997	
Jangkauan Pengukuran		
CO	0 - 9.99	% Vol res 0.01
CO <sub>2</sub>	0 - 19,99	% Vol res 0.1
HC	0 - 9999	ppm Vol res 1
O <sub>2</sub>	0 - 4	% Vol res 0.01
	4 - 25,0	% Vol res 0.1
NO <sub>x</sub>	0 - 2000	ppm Vol res 5
Lambda	0,500 - 2,000	res 0.001
Temp. operasi	5-40 °C	
Hisapan gas yang dites	8 L/menit	
Waktu Respons	< 10 detik (untuk panjang <i>probe</i> 3 m)	
Dimensi	400 x 180 x 420 mm	
Berat	13.5 kg	
Waktu pemanasan	Maksimal 15 menit	
Sumber Tegangan	110/220/240 V 50/60 Hz	
Tes Kebocoran dan Kalibrasi	otomatis	
Kontrol Aliran Internal dan Kalibrasi	otomatis	

#### 6 Multimeter dan *ThermoCouple*

Multimeter digunakan sebagai alat ukur tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator. Sedangkan *thermocouple* digunakan untuk mengamati perubahan temperatur yang terjadi selama proses distilasi.

Tabel 3.6. Spesifikasi Multimeter

Merek	Fluke
Model	189 True-rms
Jenis	Multimeter
Negara Pembuat	Amerika
Tahun Pembuatan	1999
Jangkauan Pengukuran	
Arus	Max 10 A
Tegangan	Max 1000 V
Fase	AC/DC
Ketelitian Termo Couple	0.1 °C
Satuan Temperature	°C, °F
Capacitance	Up to 50000 $\mu$ F
Resistance	Up to 500 M $\Omega$
Kalibrasi	Otomatis
Sumber Tegangan	4 Baterai @ 1.6 Volt
Memory	Up to 100 saved readings

### 7 Tube Level

Alat ukur ini digunakan untuk mengukur laju konsumsi bahan bakar (sebagai pembanding laju massa bahan bakar).

Tabel 3.7. Spesifikasi *Tube Level*

Merek	Pyrex
Model	Iwaki Glass under lic
Jenis	Pipet tetes
Negara Pembuat	Amerika
Kapasitas	10 ml
Ketelitian	$\pm$ 0.05 ml

## 8 Gelas Ukur

Tabel 3.8. Spesifikasi Gelas Ukur

Merek	Pyrex
Model	Iwaki Measuring Cylinder
Jenis	Gelas Ukur
Negara Pembuat	Amerika
Kapasitas	500 ml
Ketelitian	$\pm 5$ ml

## 9 Pipet Tetes

Tabel 3.9. Spesifikasi Pipet Tetes

Merek	Pyrex
Model	Iwaki Glass under lic
Jenis	Pipet tetes
Negara Pembuat	Amerika
Kapasitas	10 ml
Ketelitian	$\pm 0.05$ ml

## 10 Alkohol Meter

Digunakan untuk mengukur konsentrasi bioethanol sebelum dan sesudah proses distilasi.

Tabel 3.10. Spesifikasi Alkohol Meter

Merek	ALLA
Model	Alcoometre 1810
Jenis	Alkohol meter
Negara Pembuat	Prancis
Kapasitas	0 – 100 %
Ketelitian	1 % (20 °C gay lussac)

### 11 Lampu Panel

Lampu panel ini dirangkai secara paralel dan digunakan sebagai beban pada generator set untuk mengetahui kinerja motor Otto.

Tabel 3.11. Spesifikasi Lampu Panel

Jumlah	5 @ 100 Watt
Merek	Philips
Jenis	Lampu Pijar
Negara Pembuat	Indonesia

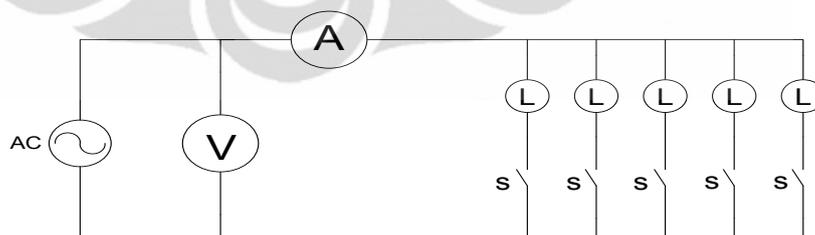
### 12 Stop Watch

Alat ini digunakan untuk mengukur banyaknya waktu yang dibutuhkan selama proses distilasi, laju konsumsi bahan bakar dan sebagai alat ukur untuk menjaga konsistensi pengambilan data.

Tabel 3.12. Spesifikasi Stop Watch

Merek	Alba
Jenis	Sport Timer
Ketelitian	0.01 S
Negara Pembuat	China

## 6.3 SKEMATIK PERALATAN UJI



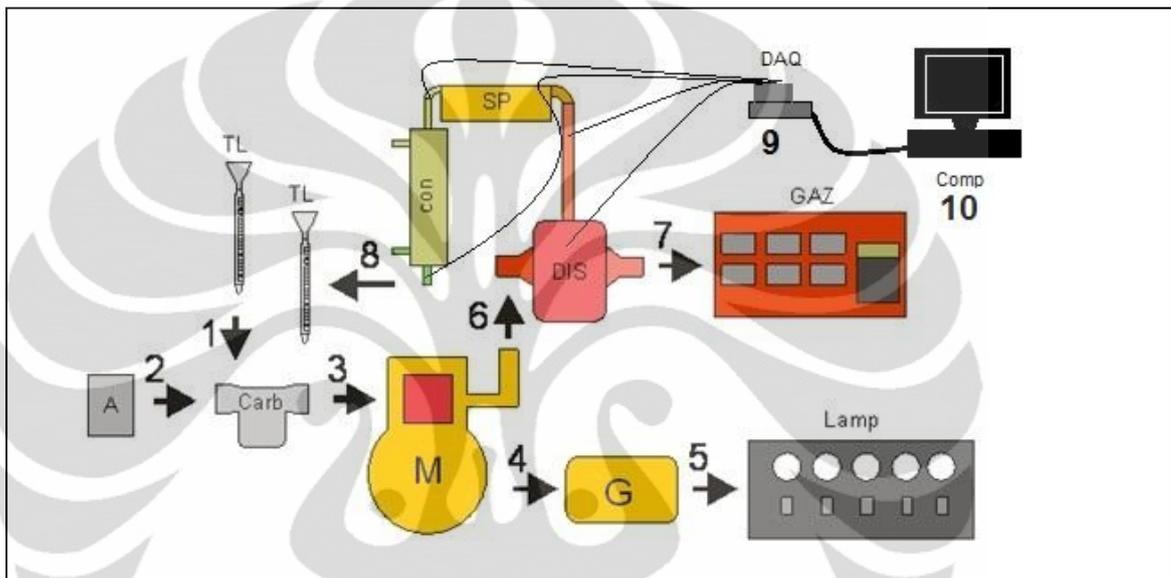
Gambar 3.1. Skema pengukuran Arus dan Tegangan pada lampu panel

Keterangan :

V = Volt meter

A = Ampere meter

- L = Lampu @ 100 Watt
- S = Saklar
- AC = Sumber listrik dari generator



Gambar 3.2. Skema alat uji dengan compact distillator

Keterangan :

- A = Air box filter
- M = Motor bakar
- G = Generator
- Gr = Penampung bahan bakat + timbangan digital
- TL = Tube level
- Carb = Karburator
- GAZ = Gaz analyzer
- Trm = Termo couple

Mlt = Multi meter

Lamp = Lampu panel

DIS = Kolom distilator

SP = *Sparator*

Con = kondensor

DAQ =Data Acquisition

Com =Komputer

1. Bahan bakar dari *tube level* mengalir ke karburator. Laju penurunan volume bahan bakar nantinya diukur per satuan waktu menggunakan *stop watch*.
2. Udara mengalir dan tercampur dengan bahan bakar di karburator.
3. Campuran bahan bakar-udara dari karburator mengalir ke ruang bakar untuk dikonversikan menjadi daya.
4. Daya yang dihasilkan pada putaran poros langsung di *couple* dengan generator tanpa rasio roda gigi.
5. Pada generator daya putar diubah menjadi energy listrik dan dipakai untuk membangkitkan lampu panel sebagai factor pembabanan *engine*. Kemudian daya diukur dengan multi meter.
6. Gas buang hasil pembakaran diruang bakar digunakan untuk memanaskan kolom distilator.
7. keluar dari kolom distilator gas buang dianalisa menggunakan *gaz analyzer* untuk mengetahui komposisinya.
8. *Low grade ethanol* didistilasi, kemudian *high grade ethanol* hasil distilasi di uji untuk mengetahui kadar dan juga laju destilasi.
9. Pada saat destilasi penelitian ini memakai Data Acquisition untuk mengetahui temperatur pada alat destilasi.

10. Hasil Data Acquisition diolah oleh komputer dan menghasilkan grafik temperatur selama proses destilasi terjadi.



*Gambar 3.3. Foto Alat uji dengan compact distillator*

#### **6.4 PROSEDUR PENGUJIAN**

Penelitian dilakukan di laboratorium termodinamika terapan lantai satu gedung Laboratorium Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia Kampus baru Depok.

3.4.1 Persiapan dan pengaturan peralatan kerja.

3.4.2 Persiapan Bahan Bakar

Bahan bakar terdiri dari bensin dan etanol yang didapat dari toko kimia dengan kadar 95% untuk mendapatkan variasi kadar etanol kita dapat menambahkan pengotor berupa air distilasi/aquadest dengan menggunakan gelas dan pipet tetes kemudian kita ukur kadarnya menggunakan alkohol meter.

3.4.3 Persiapan Mesin

1. Cek kondisi oli mesin, ganti bila perlu
2. Cek kondisi busi, ganti bila perlu



*Gambar 3.4. Mengecek kondisi busi*

3. *Running engine*, dimana engine beroperasi dengan sistem otomatis pada 3200 RPM.

#### 3.4.4 Persiapan *Gas Analyzer*

1. Nyalakan saklar power
2. Warming up  $\pm$  15 menit
3. Auto zero (kalibrasi otomatis) akan terulang dengan selang waktu tertentu secara otomatis
4. Stand by kondisi alat siap pakai
5. Masukkan probe sensor minimal 20 cm kedalam lubang muffler
6. Tekan tombol on (tombol deretan atas paling kiri)
7. Setelah selesai dan alat tidak akan dipakai dalam waktu lama tekan tombol off pump (tombol deretan atas kedua dari kiri)
8. Alat gas analyzer dalam kondisi stand by

#### 3.4.5 Persiapan Termo Couple dan Data Acquisition

1. Pasang termo couple pada alat destilasi.
2. Letakkan batang termo couple di modul DAQ.
3. Pembacaan temperatur dapat dilihat di layar komputer, tunggu sampai temperature constant ditandai dengan terjadinya keseragaman temperature yg terbaca.

### 3.4.6 Persiapan distilator (saat pengujian *engine* dengan *compact distillator*)

1. Isi kolom distilator dengan *low grade ethanol* sesuai kadar yang akan diuji.
2. Nyalakan pompa air kondensor.

### 3.4.7 Pengambilan data

1. Laju konsumsi bahan bakar

Untuk pengambilan data laju konsumsi bahan bakar kita menggunakan timbangan digital dan stop wach. Perubahan volume yang terukur kita catat persatuan waktu yaitu tiap 10 ml dihitung berapa detik waktu yang dibutuhkan.



Gambar 3.5. Pengukuran laju konsumsi bahan bakar

2. Data Aquisition

Pada data aquisition termocouple dipasang di berbagai bagian alat destilator dan temperatur dapat di lihat pada display komputer yang sudah terinstal program data aquisition, pada saat melakukan penelitian setiap bagian destilator diseragamkan dahulu temperaturnya sebelum di uji kembali agar suhu awal pengujian sama.



*Gambar 3.6. Data Aquisition*



*Gambar 3.7. Program Data Aquisition*

### 3. Komposisi gas buang dan temperature

Catat harga masing-masing komposisi gas buang tiap kali penggantian beban/ variasi beban. Ambil data tersebut saat display pada gas analyzer dalam kondisi konstan. Untuk temperature gas buang dapat dilihat pada display fluke thermo couple.



Gambar 3.8. Komposisi gas buang pada display gas analyzer

## 6.5 PETUNJUK K3L

Ada beberapa poin bahaya yang dapat mengancam, dan berikut prosedur yang harus dilakukan untuk menghindari bahaya tersebut.

### 1. Bahaya listrik

Tegangan listrik yang dihasilkan oleh genset Sumura ET 1500 adalah 220 Volt nilai yang cukup tinggi untuk membuat orang terluka/terkejut yang berakibat lemas dan bahkan kematian.

Prosedur :

- a. Pastikan tidak ada jaringan listrik/kabel yang terbuka, jika ada segera diisolasi
- b. Tempatkan jaringan listrik/kabel pada area yang tidak digunakan untuk beraktifitas
- c. Usahakan rangkayan listrik terletak berdekatan antara sumber (generator), lamp board, dan multi tester. Agar area bahaya makin sempit.
- d. Hindarkan/jauhkan dari bahan-bahan yang bersifat konduktor seperti peralatan mekanik (sebaiknya setelah digunakan tool langsung dimasukkan kedalam tool box), air hujan agar terhindar dari konsleting (cari area yang beratap).

## 2. Bahaya kebisingan

Dari engine decibel (loudness) comparison chart ([www.gcaudio.com](http://www.gcaudio.com)) engine umum memiliki taraf kebisingan 100 dbel, untuk table OSHA daily permissible noise level exposures menunjukkan pada taraf kebisingan 100 dbel dianjurkan waktu kerja per harinya adalah 2 jam kerja.

Prosedur :

- a. Arahkan muffler engine kearah areal yang kosong (tidak ada aktifitas manusia)
- b. Memberi bahan tambah pada muffler, dengan harapan suara bias teredam.
- c. Gunakan air plug
- d. Beri jeda waktu kerja maksimal 1 jam tiap kerja.

## 3. Bahaya panas

Panas yang ditimbulkan oleh pembakaran engine tersebar di beberapa bagian mesin, yaitu rumah silinder, exhaust manifold dan muffler. Tingkatan temperature yang terukur bervariasi, pada rumah silinder terdapat fin yang diberi hembusan udara dari blower engine terukur 70-85 °C, pada exhaust manifold terukur 150-300 °C, pada muffler 100-250 °C. temperature tersebut dapat mengancam bahaya luka bakar pada operator.

Prosedur :

- a. Tempatkan engine pada area bebas dari aktifitas manusia/daerah lalulalang.
- b. Buat garis/pagar pembatas bila perlu.
- c. Gunakan sarung tangan kulit (bahan isolator) bila perlu.
- d. Untuk operator yang sensitive bias menggunakan apron untuk melindungi dari radiasi panas.

## 4. Bahaya gas beracun

Beberapa gas berbahaya yang dihasilkan oleh gas buang dari engine ini diantaranya adalah karbon monoksida, Hidro Karbon, dan Nitro Oksida. NO<sub>x</sub> mempunyai dua bentuk yang berbeda sifat yaitu NO<sub>2</sub> dan NO. untuk NO dan CO bersifat tidak berbau dan tidak berwarna sehingga cukup sulit

untuk terdeteksi. NO dalam kadar tertentu dapat mengakibatkan gangguan saraf yang mengakibatkan kejang-kejang hingga kelumpuhan. Dalam tubuh hemoglobin lebih kuat menyerap CO daripada O<sub>2</sub> sehingga tubuh akan mengalami kekurangan O<sub>2</sub> secara bertahap, yang mengakibatkan lemas hingga bisa berujung kematian.

Prosedur :

- a. Arahkan muffler keareal bebas dari aktifitas manusia.
- b. Beri bahan tambah pada muffler dengan harapan beberapa persen kadar racun menempel pada bahan tambah tersebut.
- c. Gunakan masker.
- d. Basuh daerah kulit yang terbuka setelah selesai melakukan pengujian dengan air bersih, serta daerah dalam lubang hidung.
- e. Konsumsi susu segar bila perlu.

#### 5. Bahaya kebakaran

Potensi bahaya kebakaran ada pada bahan bakar yang dipakai baik bensin maupun etanol.

Prosedur :

- a. Simpan bahan bakar ditempat bertemperatur ruangan
- b. Jauhkan dari sumber api
- c. Jangan merokok didekat bahan bakar.
- d. Cek instalasi pasokan bahan bakar dari kebocoran.
- e. Siapkan apar bila perlu.

#### 6. Lindung lingkungan

Beberapa poin yang harus diperhatikan dalam aktifitas percobaan ini agar tetap terjaga kesehatan dan kelestarian lingkungan.

- a. Tampung bahan bakar sisa pada jerigen (jangan buang bahan bakar disembarang lingkungan).
- b. Arahkan muffler engine gas buang pada area kosong yang bebas aktifitas manusia dan lingkungan hidup.

Tambahkan filter atau bahan tambah yang mampu mengikat kadar racun gas buang.

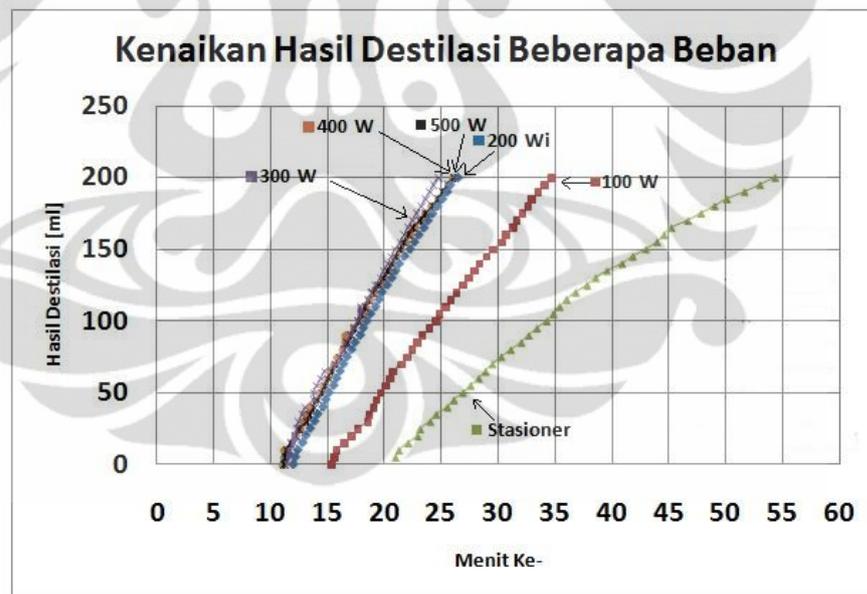
## BAB IV

### ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 11 HASIL PENGUJIAN KONSUMSI BAHAN BAKAR

Pengujian ini bertujuan untuk mengurangi atau mengkonversi penggunaan bahan bakar minyak. Sedangkan pemanfaatan panas gas buang pada motor Otto 4 langkah untuk pemanasan distillator bioethanol ini digunakan agar mampu mengolah *low grade ethanol* menjadi *high grade ethanol* secara mandiri dengan mengoptimalkan sumber-sumber energi yang tersisa dari pembakaran. Pengaruh pemanfaatan gas buang untuk pemanasan distillator ditinjau berdasarkan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang.

Percobaan dilakukan pada motor Otto berbahan bakar bioethanol dengan variasi konsentrasi ethanol pada beban yang beragam dengan pemanfaatan gas buang untuk pemanas distillator.



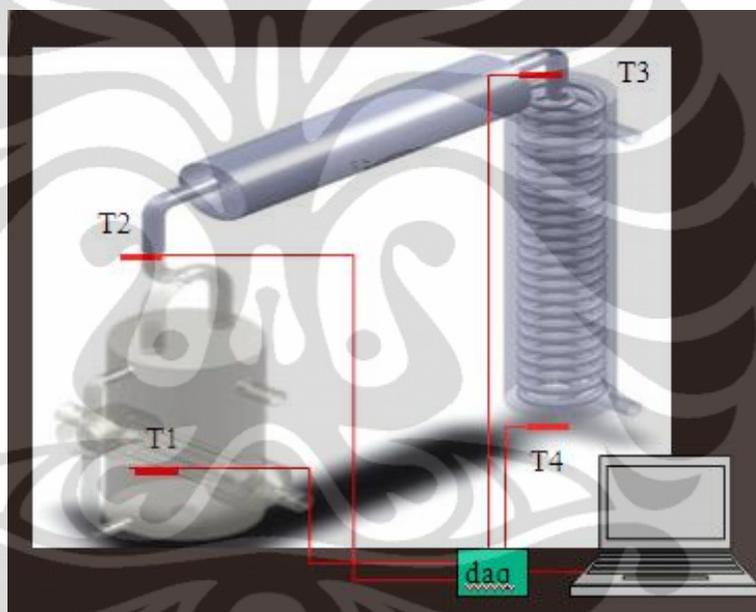
Gambar 4.1 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi beban tanpa pengontrolan temperatur.

Dari diagram diatas dapat dilihat bahwa pada pembebanan pada 300W mampu menghasilkan laju destilasi yang paling cepat. Dimana pada penelitian sebelumnya juga mendapat kesimpulan bahwa pembebanan pada beban 300 W

mampu menghasilkan laju destilasi yang maksimal. Dengan demikian maka pada penelitian selanjutnya menggunakan beban maksimal pada 300W dengan variasi temperatur yang berbeda agar diketahui hasil maksimal dari laju konsumtion berbanding hasil distilasi yang akan dicapai.

#### 4.2 PENGUJIAN DENGAN MENGGUNAKAN DATA AQUITION

Pada pengujian ini kami menggunakan data aquition guna untuk mengetahui temperatur di tiap-tiap bagian dari compact distillator.



Gambar 4.2 Pemasangan data aquition pada compact distillator.

Adapun penempatan termokopel dibagi menjadi empat bagian yaitu:

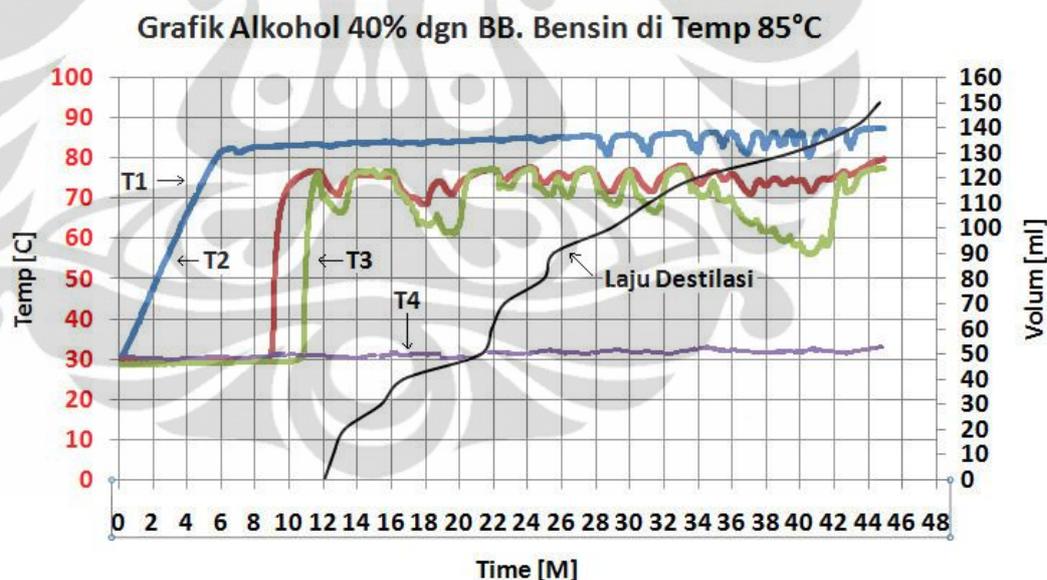
1. T1 : termokopel yang ditempatkan pada evaporator.
2. T2 : termokopel yang di tempatkan diantara evaporator dan separator.
3. T3 : termokopel yang ditempatkan diantara separator dan kondenser.
4. T4 : termokopel yang ditempatkan pada ujung keluaran kondenser.

Disini kami melakukan penelitian terhadap 18 (delapan belas) percobaan yaitu :

1. Bahan bakar bensin dan mendestilasi ciu.
2. Bahan bakar bensin dan mendistilasi alkohol 40%.
3. Bahan bakar alkohol 80% dan mendistilasi ciu.
4. Bahan bakar alkohol 80% dan mendistilasi alkohol 40%.
5. Bahan bakar alkohol 90% dan mendistilasi ciu.
6. Bahan bakar alkohol 90% dan mendistilasi alkohol 40%.

Dimana pada enam penelitian ini divariasi temperaturnya menjadi tiga yaitu 85°C, 90 °C dan 95 °C sehingga menjadi delapan belas percobaan.

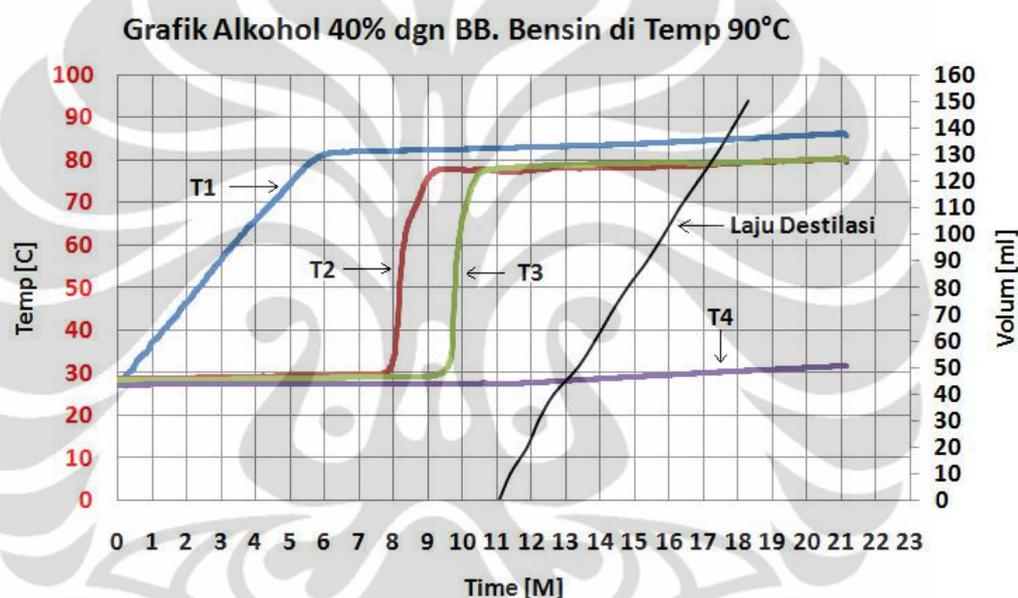
Berikut merupakan salah satu contoh grafik yang dihasilkan data aquistion pada temperatur 85°C, 90 °C dan 95 °C dengan bahan bakar bensin dengan mendestilasi alkohol 40%.



Gambar 4.3 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi bahan bakar dan variasi destilat pada temperatur 85°C.

Pada grafik ini terlihat laju hasil destilasi sangat lambat, pada saat awal penetesan di menit ke 12 dan akhir pengujian di menit 44 dengan tujuan menghasilkan destilat sebesar 150cc, temperatur di evaporator (T1) di jaga 85°C

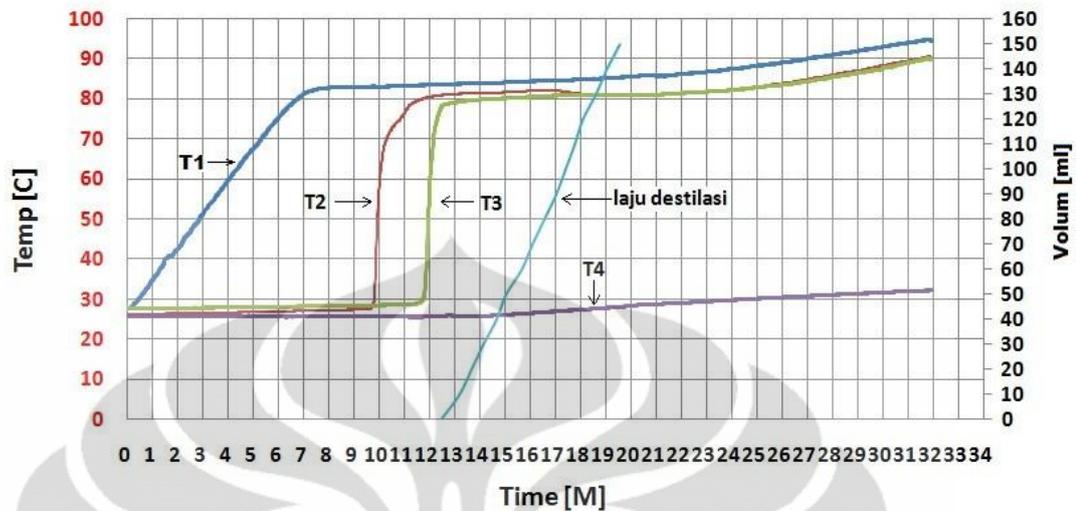
dan ini berpengaruh pada temperatur pada T2, T3. Disaat tempertur di T3 berada pada 78°C hasil destilasi mulai dihasilkan, pada saat menit ke 18 pada temperatur di T3 terjadi penurunan yang disebabkan oleh pendinginan evaporator yang masih manual yaitu dengan menghembuskan udara bertekanan dari kompresor ke permukaan evaporator, akibatnya laju destilasi menjadi semakin lambat ditandai dengan landainya grafik laju destilasi, semakin landai grafik laju destilasi maka semakin lambat hasil destilasi yang dihasilkan. Pada menit ke 35 sampai 45 terjadi juga penurunan yang juga mempengaruhi grafik laju destilasi yang landai.



Gambar 4.4 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi bahan bakar dan variasi destilat pada temperatur 90°C.

Pada grafik data aquision di temperatur 90, laju destilasi berlangsung cepat ditandai semakin tegaknya grafik laju destilasi, dimana awal penetasan di menit 11 dan akhir pengujian di menit 18 dengan hasil destilat sebanyak 150cc. pada grafik pengontrolan temperatur di 90°C ini temperatur pada T1

Grafik Alkohol 40% dgn BB. Bensin di Temp 95°C

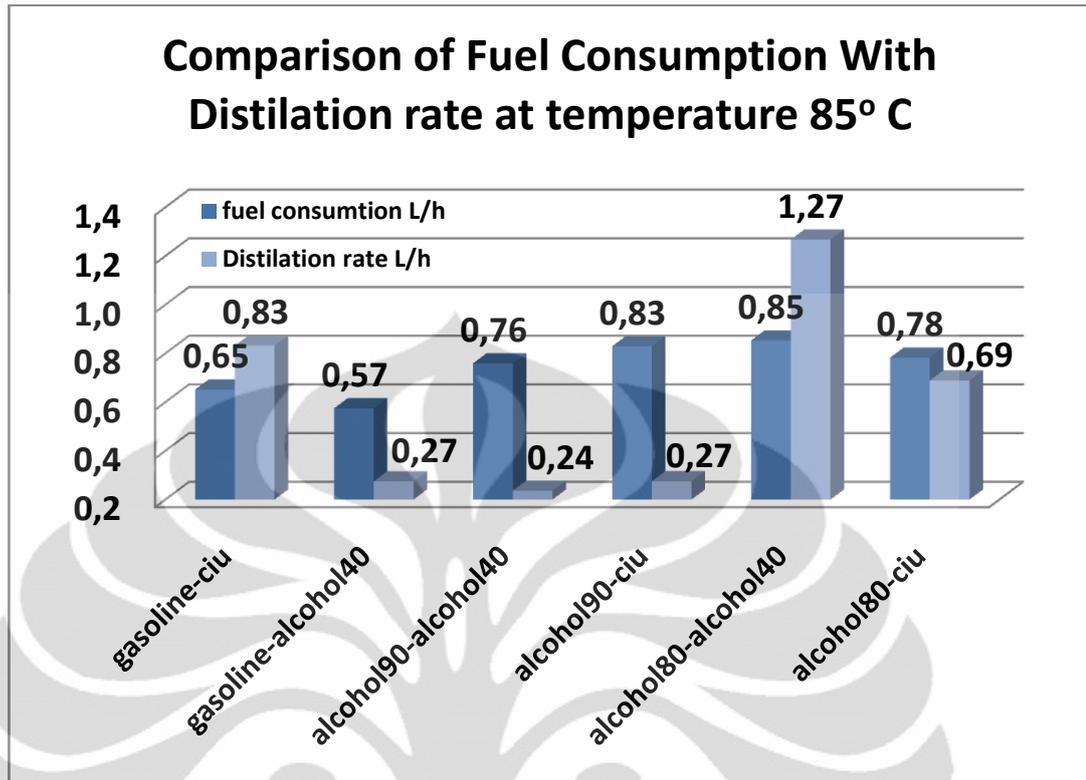


Gambar 4.5 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi bahan bakar dan variasi destilat pada temperatur 95°C.

Pada grafik data acquisition di temperatur 95°C laju destilasi lebih cepat dibandingkan dengan temperatur-temperatur sebelumnya. Yaitu antara di menit ke 12,5 sampai menit ke 19,5 untuk menghasilkan destilasi alkohol sebanyak 150cc. Dikarenakan temperatur pada evaporator tinggi sehingga laju penguapan semakin cepat. Pada temperatur 95°C temperatur tidak dikontrol namun di biarkan dikarenakan pada temperatur tersebut cukup untuk mendistilasikan alkohol. Alkohol mendidih pada temperatur 78 °C ditandai dengan mulai menetesnya hasil destilat pada temperatur 78 °C di T3.

### 11.1.1 Laju perubahan volume bahan bakar terhadap laju destilasi pada temperatur 85°C

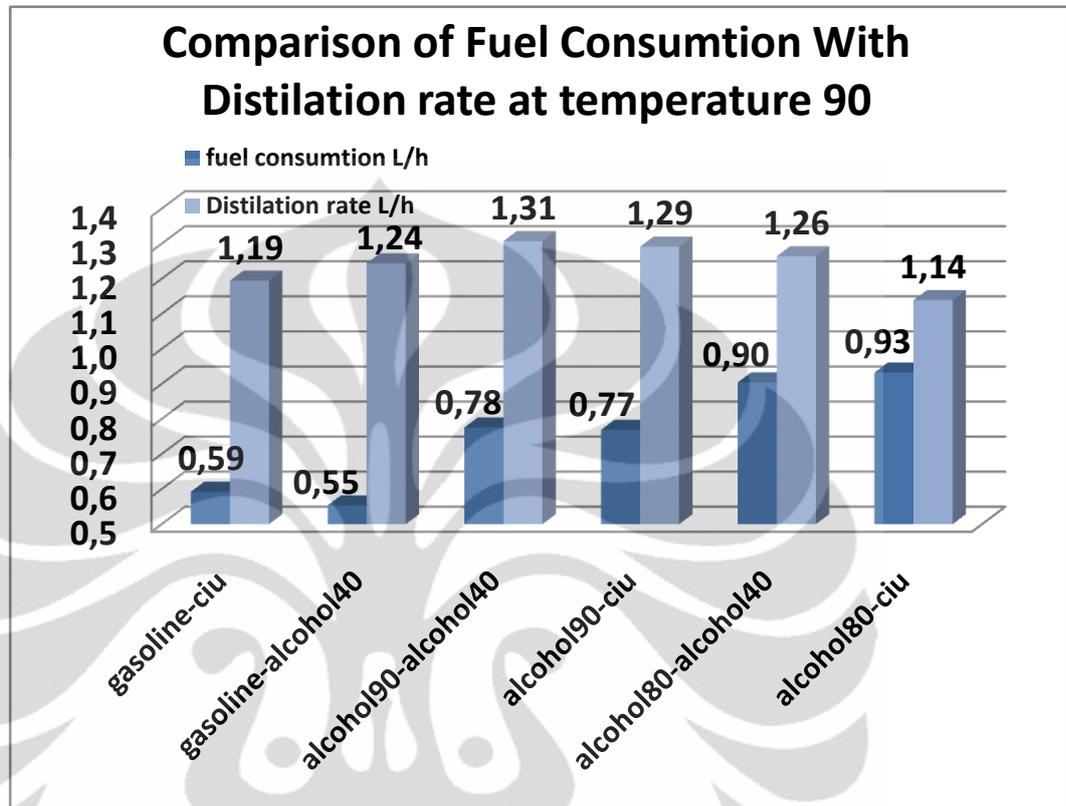
Pada penelitian ini nilai  $m_f$  dihasilkan dari pengukuran laju penurunan volume bahan bakar terhadap satuan waktu. Pengukuran dilakukan berdasarkan lamanya waktu konsumsi bahan bakar oleh motor setiap perubahan 10 ml bahan bakar. Kemudian data tersebut dikonversikan menjadi L/h lalu diplotting ke dalam diagram batang untuk mengetahui besarnya konsumsi yang terjadi pada setiap variasi bahan bakar serta variasi destilat.



Gambar 4.6 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi bahan bakar dan variasi destilat pada temperatur 85°C.

Pada diagram perbandingan di atas dapat dilihat pada umumnya laju distilasi pada temperatur 85 °C tidak mencukupi fuel consumption. Tetapi pada bahan bakar bensin dan destilasi ciu serta pada bahan bakar alkohol 80% dan destilasi alkohol 40% dapat mencukupi.

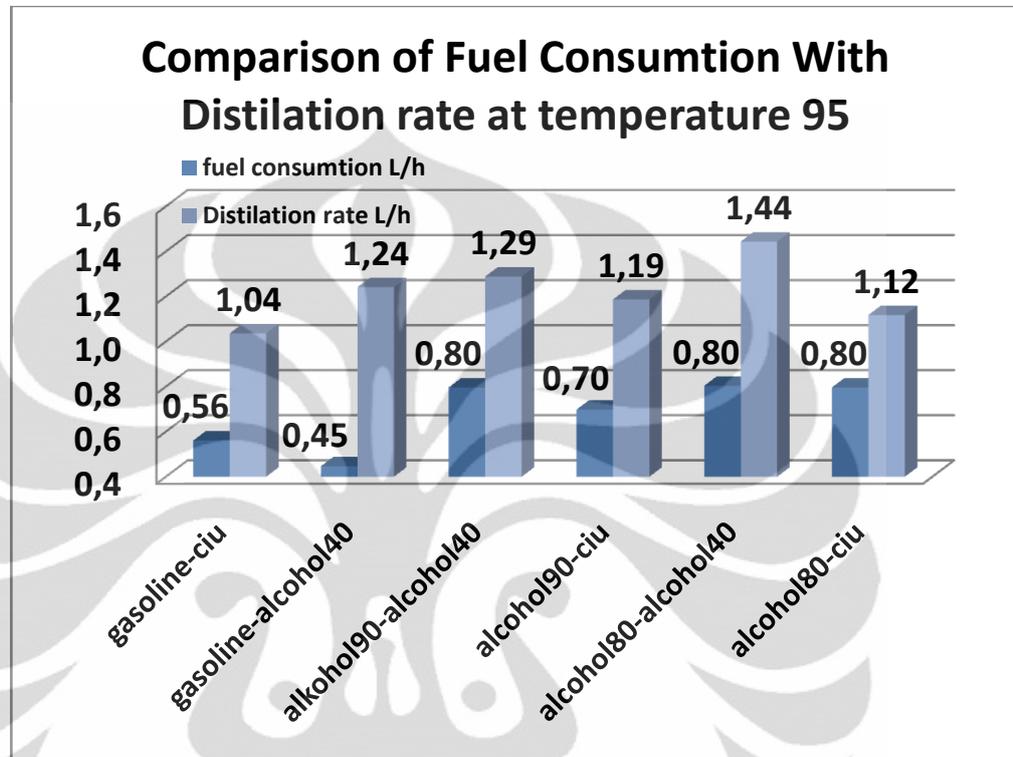
### 11.1.2 Laju perubahan volume bahan bakar terhadap laju destilasi pada temperatur 90°C



Gambar 4.7 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi bahan bakar dan variasi destilat pada temperatur 90°C.

Pada diagram laju volume berbanding fuel consumption pada temperatur 90 °C rata-rata mencukupi dimana laju hasil destilasi paling tinggi pada bahan bakar alkohol 90% dengan mendestilasi alkohol 40%. Sedangkan untuk selisih terbesar hasil destilasi dengan fuel konsumsi pada temperatur 90 °C didapat oleh bahan bakar bensin dan destilasi alkohol 40%, selisih disini dapat diartikan sebagai kemampuan atau sisa bahan bakar yang dapat disimpan.

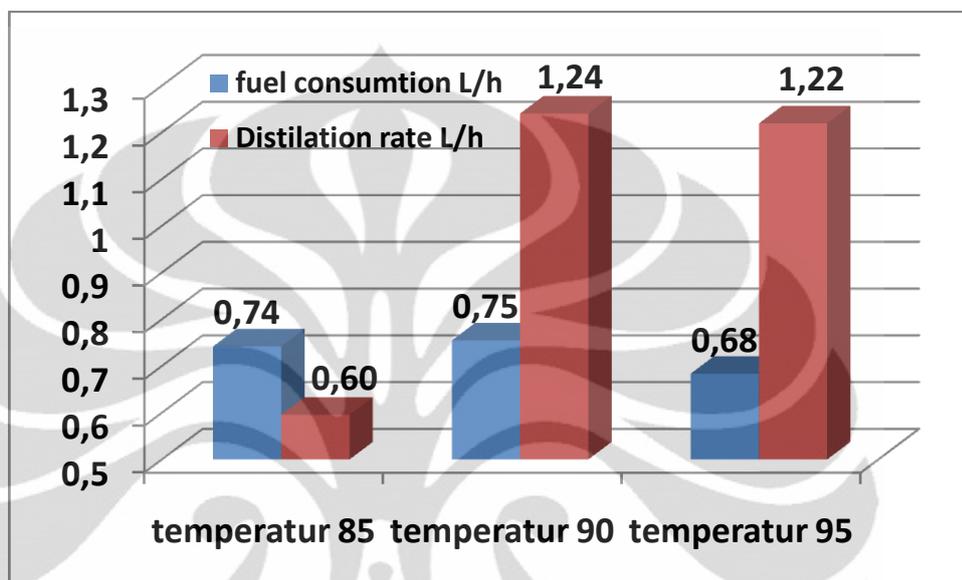
### 11.1.3 Laju perubahan volume bahan bakar terhadap laju destilasi pada temperatur 95°C



Gambar 4.8 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi bahan bakar dan variasi destilat pada temperatur 95°C.

Pada grafik temperatur 95 °C umumnya hampir sama dengan grafik temperature 90 °C dimana disini dapat dilihat pada semua percobaan laju hasil destilasi mengajar laju fuel consumption. Dimana selisih terbesar kembali dicapai oleh bahan bakar bensin dengan destilasi alcohol 40%.

#### 11.1.4 Perbandingan perubahan volume bahan bakar terhadap laju destilasi pada temperatur 85°C, 90°C dan 95°C



Gambar 4.9 Diagram perbandingan laju volume bahan bakar dengan hasil destilat pada temperatur 85°C, 90°C dan 95°C.

Pada diagram rata-rata laju volume dan hasil destilat pada temperatur 85 °C menunjukkan bahwa hasil destilasi tidak mencukupi fuel consumption. Dimana pada temperatur 85 °C alkohol belum terjadi perubahan fasa seluruhnya sehingga laju destilasi menjadi lambat.

Pada temperatur 90 °C hasil destilasi memenuhi fuel consumption dalam artian jika hasil destilasi digunakan sebagai bahan bakar maka penggunaannya bisa kontinu, bahkan sisa atau selisihnya bisa di simpan sebagai cadangan untuk mendestilasikan kembali dikarenakan untuk menghasilkan destilasi memerlukan waktu untuk penetasan awal.

Pada diagram rata-rata laju destilasi berbanding fuel consumption pada temperature 95 °C juga memenuhi fuel consumption. Dimana laju distilasi lebih besar dibandingkan fuel consumption.

### 11.1.5 Perbedaan kadar hasil destilasi pada temperatur 85°C, 90°C dan 95°C

Berikut ini merupakan hasil kadar destilasi pada beberapa temperatur dimana terdapat delapan belas data yang dihasilkan :

Kadar persentase pada temperatur 85°C

*Tabel 4.1 Persentase alkohol pada temperatur 85 °C*

kadar persentase alkohol 150ml pada temperatur 85	
bb bensin des ciu	80
bb bensin des alkohol	85
bb alkohol des alkohol	84
bb alkohol des ciu	83
bb alkohol des alkohol	80
bb alkohol des ciu	80
rata-rata	82

Kadar persentase pada temperatur 90°C

*Tabel 4.2 Persentase alkohol pada temperatur 90 °C*

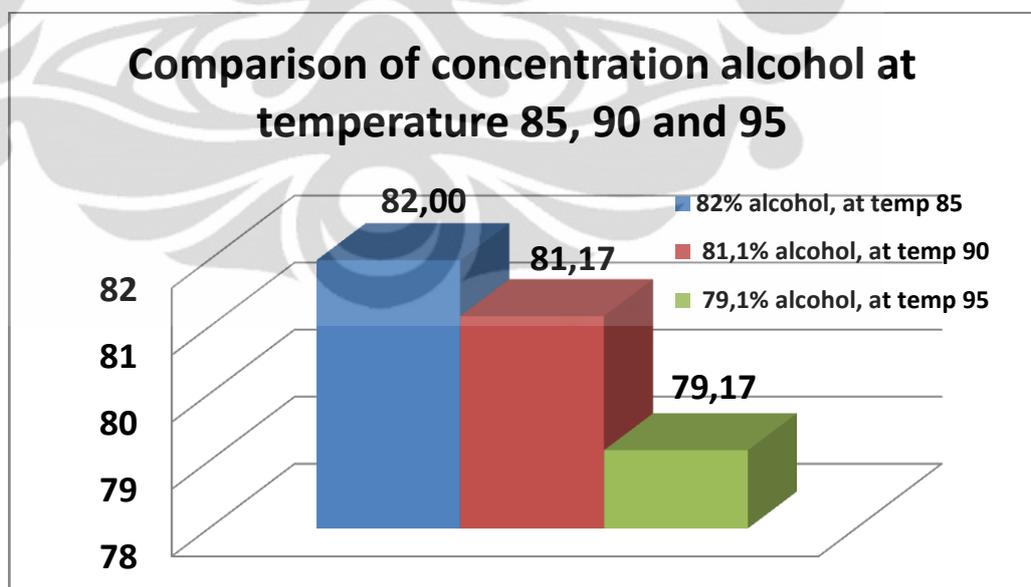
kadar persentase alkohol 150ml pada temperatur 90	
bb bensin des ciu	80
bb bensin des alkohol	83
bb alkohol des alkohol	80
bb alkohol des ciu	81
bb alkohol des alkohol	83
bb alkohol des ciu	80
rata-rata	81,16666667

Kadar persentase pada temperatur 95°C

Tabel 4.3 Persentase alkohol pada temperatur 95°C

kadar persentase alkohol 150ml pada temperatur 95	
bb bensin des ciu	80
bb bensin des alkohol	81
bb alkohol des alkohol	81
bb alkohol des ciu	76
bb alkohol des alkohol	80
bb alkohol des ciu	77
rata-rata	79,1666667

Setelah diketahui maka setiap temperatur di rata-ratakan untuk kadar persentase alkoholnya untuk dijadikan perbandingan pada temperatur berapa kadar alkohol yang dihasilkan mempunyai kadar yang tinggi.



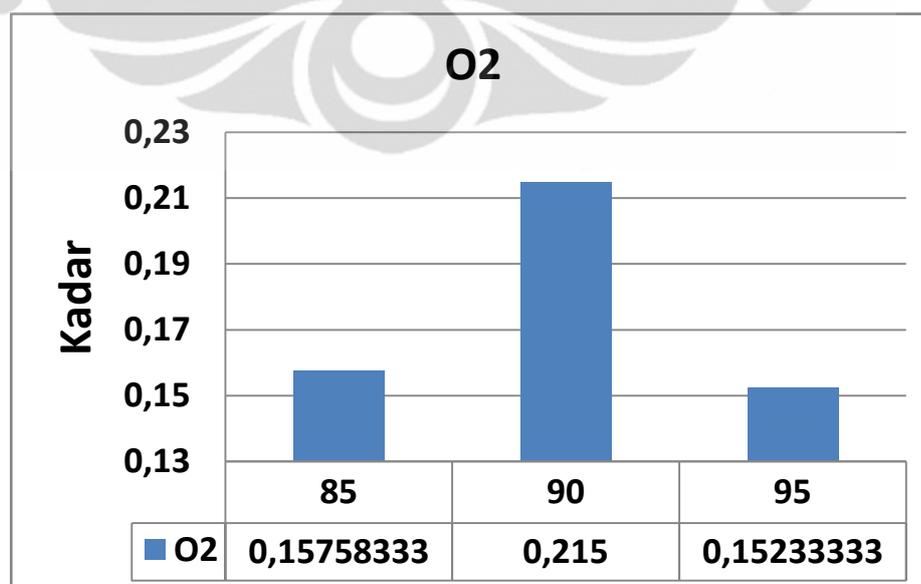
Gambar 4.10 Perbandingan konsentrasi alkohol pada temperatur 85°C, 90°C dan 95°C

Dari diagram di atas diketahui nilai rata-rata konsentrasi alkohol dari tiap temperatur, dimana konsentrasi alkohol paling tinggi dicapai oleh temperatur 85°C dengan persentasi sebesar 82%, pada temperatur 85 °C menghasilkan konsentrasi alkohol yang lebih tinggi disebabkan karena pada temperatur tersebut air yang di distilasi fasennya sepenuhnya belum berubah, sedangkan alkohol sudah berubah fase sehingga sebagian besar yang dihasilkan pada compact distilator adalah alkohol. Pada temperatur 90 °C juga sama halnya demikian tetapi alkohol yang didistilasi lebih cepat berubah fasanya sehingga persentasinya juga cukup tinggi, sedangkan pada temperatur 95 °C kadarnya relatif lebih rendah dikarenakan air yang terdistilasi sudah ada yang berubah fasanya dan terdistilasi bersama alkohol sehingga menghasilkan kadar yang lebih rendah.

### 4.3 KONDISI GAS BUANG YANG TERUKUR

Bahan pencemar (polutan) yang berasal dari kendaraan bermotor dibedakan menjadi polutan primer atau sekunder. Polutan primer seperti karbon monoksida (CO), sulfur oksida (SO<sub>x</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dan hidrokarbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon (O<sub>2</sub>) adalah polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia, hidrolisis atau oksidasi.

#### 11.2.1 Kadar Oksigen pada temperatur 85°C, 90°C dan 95°C (O<sub>2</sub>)

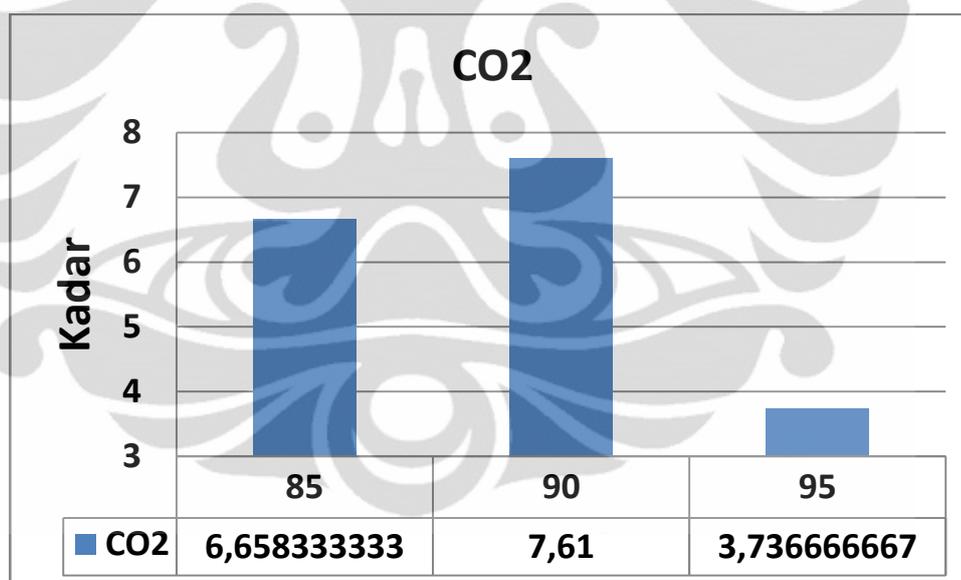


Gambar 4.11 Grafik perbandingan kadar oksigen pada temperature 85°C, 90°C dan 95°C

Ditinjau dari grafik diatas perubahan kadar oksigen yang terukur pada tiap proses perbedaan temperatur, pada temperatur 90 terjadi kenaikan. tingkat kadar oksigen yang terjadi menunjukkan proses pembakaran sudah cukup baik namun belum sempurna. Pada temperatur 90 terjadi kenaikan karena genset bekerja ekstra keras sehingga pembakaran kurang sempurna oleh konsumsi bahan bakar yang makin tinggi untuk menanggapi beban.

### 11.2.2 Kadar Karbon Dioksida pada temperatur 85°C, 90°C dan 95°C (CO<sub>2</sub>)

Pembakaran sempurna ditandai dengan dihasilkannya karbondioksida. Pada temperatur 90 terlihat dalam grafik nilai kadar karbon dioksida dalam persen vol yang konstan tinggi, menggambarkan bahwa sepanjang proses destilasi bahan bakar tersebut dalam kondisi pembakaran yang baik. Sedangkan untuk temperatur 95 terjadi penurunan yang signifikan, menandakan bahwa bahan bakar bensin tidak mampu terbakar sempurna.

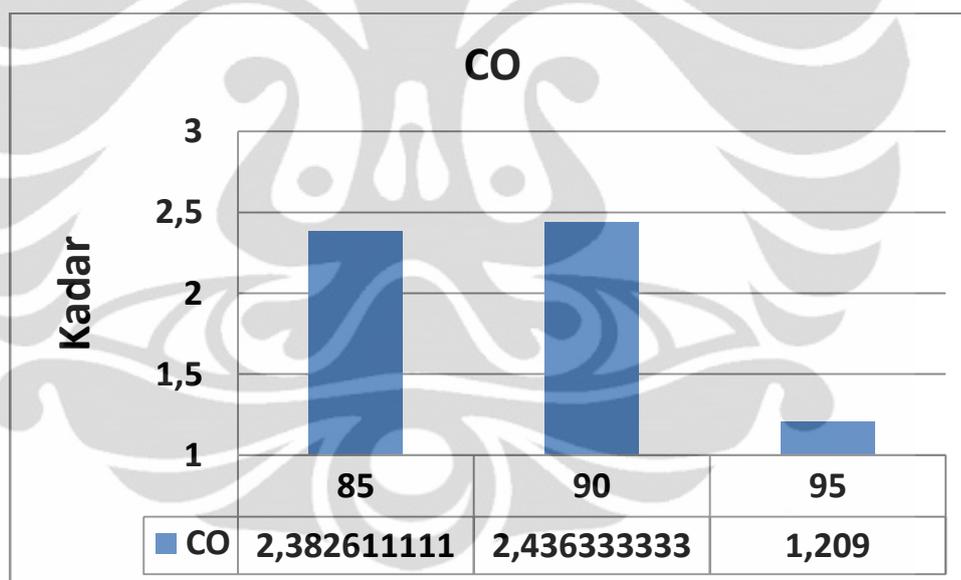


Gambar 4.12 Grafik perbandingan kadar karbon dioksida pada temperature 85°C, 90°C dan 95°C

### 11.2.3 Kadar Karbon Monoksida pada temperatur 85°C, 90°C dan 95°C (CO)

Untuk menurunkan emisi CO dapat dilakukan dengan menjalankan mesin dengan campuran kurus yang menyebabkan hilangnya tenaga atau dengan cara menambahkan alat pada knalpot untuk mengoksidasi CO yang dihasilkan mesin. Secara teoritis, kadar CO pada gas buang dapat dihilangkan dengan menggunakan AFR lebih besar dari 16:1. Namun pada kenyataannya kadar CO akan selalu terdapat pada gas buang walaupun pada campuran yang kurus sekalipun.

CO menghalangi darah dalam mengangkut oksigen sehingga darah kekurangan oksigen dan jantung bekerja lebih berat. Bila seseorang menghirup CO pada kadar tinggi dan waktu tertentu dapat menimbulkan pingsan, bahkan kematian.

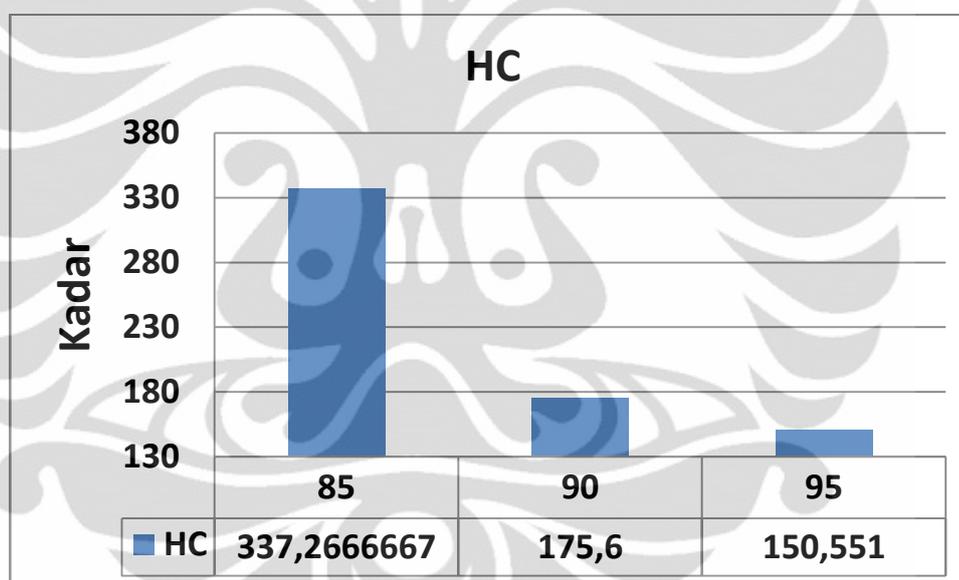


Gambar 4.13 Grafik perbandingan kadar karbon monoksida pada temperature 85°C, 90°C dan 95°C

Pada pengujian ini CO yang dihasilkan pada temperatur 90 kenaikan ini dikarenakan jumlah bahan bakar yang dibakar semakin meningkat oleh laju konsumsi yang meningkat seiring kebutuhan rung bakar untuk mendestilasi ethanol

#### 11.2.4 Kadar Hidro Karbon pada temperatur 85°C, 90°C dan 95°C (HC)

Emisi hidrokarbon yang tidak terbakar merupakan hal berkaitan langsung dengan pembakaran yang tidak sempurna. Bentuk emisi hidrokarbon dipengaruhi oleh banyak variable disain dan operasi. Salah satunya dapat disebabkan karena penyalaan yang tidak stabil (*misfire*). Oksidasi dari hidrokarbon merupakan proses rantai dengan hasil lanjutan berupa aldehid. Beberapa jenis aldehid bersifat stabil dan keluar bersama gas buang. Sumber utama dari pembentukan hidrokarbon adalah *wall quenching* yang diamati pada saat api menjalar ke arah dinding, terdapat lapisan tipis yang tidak terjadi reaksi kimia kecuali terjadinya pemecahan bahan bakar. Lapisan tipis ini mengandung hidrokarbon yang tidak terbakar atau disebut juga *quench distance*



Gambar 4.14 Grafik perbandingan kadar hidrokarbon pada temperature 85°C, 90°C dan 95°C

Besarnya *quench distance* ini bervariasi antara 0,008 sampai 0,038 cm yang dipengaruhi oleh temperatur campuran, tekanan, AFR, temperatur permukaan dinding dan endapan pembakaran. Besarnya konsentrasi hidrokarbon di dalam gas buang sama dengan besar konsentrasi CO, yaitu tinggi pada saat campuran kaya dan berkurang pada titik temperatur tertinggi.

Pada grafik Hidro karbon dengan besaran kadar dalam ppm Vol terlihat pada temperatur 90 dan 95 mengalami penurunan.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **11.3 KESIMPULAN**

1. Pada beban 300 Watt didapatkan hasil maksimal untuk mampu memenuhi kebutuhan konsumsi bahan bakar pada Genset.
2. Pada temperature 90°C yang dikontrol pada evaporator menghasilkan hasil yang maksimal yaitu mampu memenuhi fuel consumption untuk genset.
3. Pada temperature 85°C yang dikontrol pada evaporator menghasilkan kadar alkohol yang tinggi tetapi tidak memenuhi fuel consumption.
4. Pada temperature 90°C dapat disimpulkan didapatkan hasil maksimal dikarenakan dapat memenuhi fuel consumption juga kadar yang cukup tinggi.
5. Gas buang pada temperatur 95°C memiliki Kadar CO rendah ( $\pm 1,2$  % Vol), HC rendah ( $\pm 150$  ppm Vol), tetapi memiliki NOx yang tinggi (95 ppm Vol)

#### **11.4 SARAN**

1. Studi terhadap variasi beban terhadap temperatur 90°C dimana pada temperatur ini dicapai hasil laju destilasi yang besar dan juga kadar persentase alkohol yang tinggi.
2. Studi terhadap pengaruh proses pembakaran bioethanol terhadap material motor pembakaran dalam akan menambah kesiapan bahan bakar bio ethanol sebagai bahan bakar pengganti bahan bakar fosil.

## DAFTAR PUSTAKA

Arismunandar, Wiranto, 2000, *Penggerak Mula: Motor Bakar Torak*, Penerbit ITB, Edisi kelima cetakan kesatu, Bandung.

Arends, BPM., dan Barendschot, H. ,2000, *Motor Bensin*, Penerbit Erlangga Jakarta.

Anonim, 2004, *Petunjuk Praktikum Motor Bakar*, Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik UGM.

Benson, Rowland and N.D Whitehouse. *Internal Combustion Engine Volume I*, Pergamon Press, 1983.

Cengel, Yunus A., dan Boles, Michael A., 1994, *Thermodynamic: An Engineering Approach*, Mc. Graw-Hill Inc., United State of America.

Djojodiharjo, Harijono, 1987, *Termodinamika Teknik : Aplikasi Dan Termodinamika Statistik*, Penerbit Gramedia, Jakarta.

Indartono, Yuli, 2005, *Bioethanol Alternatif Energi Terbarukan : Kajian Prestasi Mesindan Implementasi di Lapangan*.

Pulkrabek, Willard. W, *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, US: Prentice Hall International

Treybal, Robert E, *Mass-Transfer operations*, McGraw-Hill,1981.

Sugiarto, Bambang. *Motor Pembakaran Dalam*. ISBN 979-97726-7-2.

Universitas Indonesia. *Pedoman Teknis Penulisan Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Indonesia*. (2008). Depok: Universitas Indonesia.

<http://www.jevuska.com/topic/dampak+hidrokarbon+bagi+kesehatan.html>

<http://www.jevuska.com/topic/pengertian+dan+efek+karbon+monoksida+co.html>

[http://www.chem-is-try.org/materi\\_kimia/kimia-industri/limbah-industri/unsur-unsur-pencemar-udara/](http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia-industri/limbah-industri/unsur-unsur-pencemar-udara/)

[http://www.chem-is-try.org/tanya\\_pakar/apakah-yang-terkandung-dalam-emisi-mobil/](http://www.chem-is-try.org/tanya_pakar/apakah-yang-terkandung-dalam-emisi-mobil/)

[http://www.chem-is-try.org/materi\\_kimia/kimia\\_fisika1/termokimia/pembakaran-sempurna-dan-tidak-sempurna/](http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia_fisika1/termokimia/pembakaran-sempurna-dan-tidak-sempurna/)

[http://www.chem-is-try.org/materi\\_kimia/kimia\\_fisika1/termokimia/kalor-pembakaran/](http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia_fisika1/termokimia/kalor-pembakaran/)

[http://www.chem-is-try.org/materi\\_kimia/kimia\\_fisika1/termokimia/entalpi-pembakaran/](http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia_fisika1/termokimia/entalpi-pembakaran/)

[http://www.chem-is-try.org/materi\\_kimia/kimia-kesehatan/kecepatan-reaksi-dan-energi/kalor-pembakaran-bahan-bakar/](http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia-kesehatan/kecepatan-reaksi-dan-energi/kalor-pembakaran-bahan-bakar/)

[http://search.who.int/search?q=hydrocarbon&spell=1&client=euro&proxystylesheet=euro&output=xml\\_no\\_dtd&lr=lang\\_en&ie=UTF-8&site=euro&access=p](http://search.who.int/search?q=hydrocarbon&spell=1&client=euro&proxystylesheet=euro&output=xml_no_dtd&lr=lang_en&ie=UTF-8&site=euro&access=p)

<http://www.indobiofuel.com/bioethanol.php>

<http://www.gcaudio.com/resources/howtos/loudness.html>

<http://www.gcaudio.com/resources/howtos/systemnoise.html>

<http://www.docstoc.com/docs/45770871/Pengaruh-Bahan-Bakar-Transportasi-terhadap-Pencemaran-Udara-dan>