



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH VARIASI BEBAN PADA EVAPORATOR 90°C  
TERHADAP LAJU DISTILASI ETHANOL LOW GRADE PADA  
“*COMPACT DISTILATOR*”**

**SKRIPSI**

**RAKSA AULIA RAHMAN**

**0806368805**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JULI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH VARIASI BEBAN PADA EVAPORATOR 90°C  
TERHADAP LAJU DISTILASI ETHANOL LOW GRADE  
PADA “COMPACT DISTILATOR”**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**RAKSA AULIA RAHMAN**

**0806368805**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**KEKHUSUSAN TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JULI 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 : RAKSA AULIA RAHMAN

NPM : 0806368805

Tanda Tangan :



Tanggal : 12 Juli 2011

## PENGESAHAN

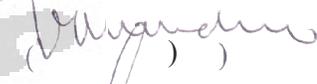
Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : RAKSA AULIA RAHMAN  
NPM : 0806368805  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : **PENGARUH VARIASI BEBAN PADA  
EVAPORATOR 90°C TERHADAP LAJU  
DISTILASI ETHANOL LOW GRADE PADA  
"COMPACT DISTILATOR"**

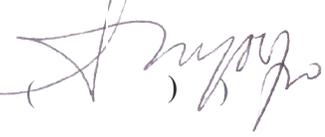
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing: Prof. Dr. Ir. H. Bambang Sugiarto M. Eng (  )

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

Penguji: Dr. Ir. Danardono A. S. DEA. (  )

Penguji: Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M.Eng. (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 12 Juli 2011

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Prof. Dr. Ir. H. Bambang Sugiarto M. Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- 2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
- 3) Syaehul Akbar dan Fahriza Indrianto yang telah bekerjasama dengan baik selama pengerjaan skripsi ini.
- 4) Sahabat PPSE Mesin 2008 yang telah banyak membantu memberikan dukungan dan semangat hingga terselesainya pengerjaan skripsi ini.
- 5) Kerabat dan rekan kerja yang telah mendukung penuh untuk menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap semoga Allah SWT. berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 11 Juli 2011

Penulis

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

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : RAKSA AULIA RAHMAN  
NPM : 0806368805  
Program Studi : 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 VARIASI BEBAN PADA EVAPORATOR 90<sup>0</sup>C TERHADAP  
LAJU DISTILASI ETHANOL LOW GRADE  
PADA “COMPACT DISTILATOR”***

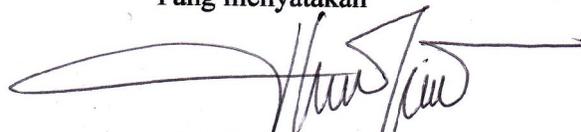
beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 11 Juli 2011

Yang menyatakan

  
( RAKSA AULIA RAHMAN )

## ABSTRAK

Nama : RAKSA AULIA RAHMAN  
Program Studi : TEKNIK MESIN  
Judul : PENGARUH VARIASI BEBAN PADA EVAPORATOR 90°C  
TERHADAP LAJU DISTILASI ETHANOL LOW GRADE PADA  
“COMPACT DISTILATOR”

Bioethanol merupakan salah satu bahan bakar terbarukan yang potensial untuk menjadi energi alternatif. Dalam penelitian sebelumnya telah dilakukan rancang bangun *compact distillator* dengan memanfaatkan gas buang dari motor bakar sebagai alat utama pengolahan ethanol untuk menghasilkan produk ethanol yang layak menjadi bahan bakar yaitu ethanol dengan kadar diatas 90%. Untuk mengetahui performa dari produk *low grade ethanol* yang didistilasi ini dilakukan pengujian unjuk kinerja bahan bakar dengan parameter laju konsumsi bahan bakar dan kondisi gas buang. Dan didapat kesimpulan pada beban statis di 300W dan evaporator optimal bekerja pada temperatur 90°C. Maka penelitian ini menganalisa bagaimana hubungan variasi beban kerja pada temperatur 90°C dengan memanfaatkan gas buang dari motor bakar sebagai alat utama pengolahan etanol. Tujuannya adalah ingin menghasilkan produk etanol dengan konsentrasi dengan jumlah etanol yang lebih tinggi. Oleh karena itu dilakukan pengembangan alat destilator untuk mengatur gas buang dari motor bakar yang diserap evaporator. Sehingga pemanfaatan *bioethanol* dengan kadar rendah (*low grade ethanol*) dapat digunakan lebih baik sebagai bahan bakar karena laju distilasi yang dihasilkan dapat mencapai laju konsumsi bahan bakar pada berbagai variasi beban ( 100, 200, 300, 400, 500)Watt.

Kata kunci:

Ethanol, konsumsi bahan bakar, unjuk kerja motor, pengembangan, emisi gas buang

## ABSTRACT

Name : RAKSA AULIA RAHMAN  
Study Program : MECHANICAL ENGINEERING  
Title : EFFECT OF LOAD VARIATION AT EVAPORATOR 90°C  
FOR LOW GRADE ETHANOL DISTILLATION ON  
"COMPACT DISTILATOR"

Bioethanol is one of the renewable fuel with the potential to become alternative energy. In previous research has been done, distillator with compact design utilize flue gas from the combustion engine as the main tool of processing of ethanol to produce a decent product ethanol into fuel which is ethanol with a concentration above 90%. To know the performance of low-grade ethanol product which is distilled was carried out for performance testing of the fuel with the fuel consumption rate parameters and conditions of the exhaust gas. And it could be concluded on the static load on the 300W and optimum evaporator working at 90°C temperature. Thus this study analyzes how relationships load variations in temperature 90°C using the exhaust gas from motor fuels to ethanol processing. The goal is to produce ethanol with a concentration with a higher amount of ethanol. Therefore, made a new tool for controlling destilator combustion engine exhaust gas is absorbed from the evaporator. So the use of bioethanol with low content (low grade ethanol) can be used better as a fuel because the rate of distillation produced can reach the rate of fuel consumption at various loads (100, 200, 300, 400, 500) Watt.

Keywords:

Ethanol, fuel consumption, engine performance, development, emissions

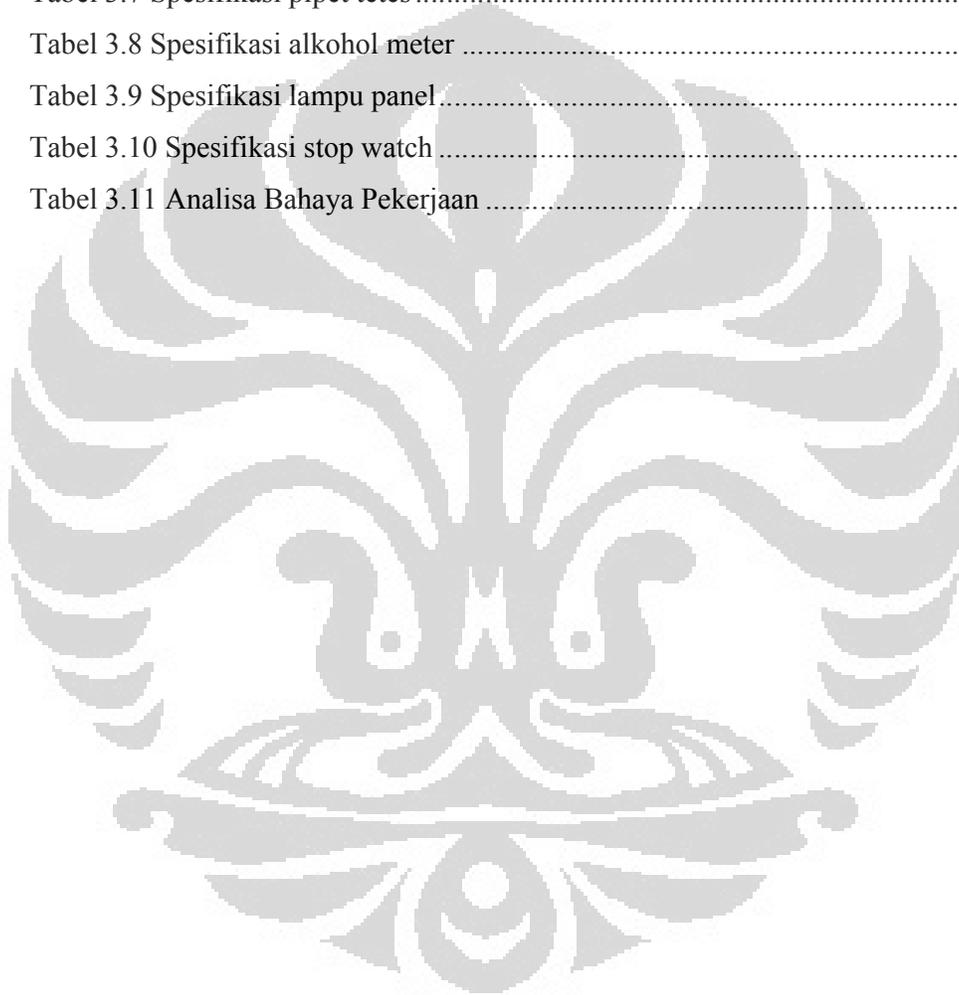
## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
PENGESAHAN .....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I     PENDAHULUAN .....	1
1.1    LATAR BELAKANG .....	1
1.2    PERUMUSAN MASALAH.....	3
1.3    TUJUAN PENELITIAN .....	3
1.4    MANFAAT PENELITIAN .....	3
1.5    BATASAN PENELITIAN .....	4
1.6    METODOLOGI PENELITIAN .....	4
1.7    SISTEMATIKA PENULISAN .....	6
BAB II    DASAR TEORI .....	7
2.1    MOTOR OTTO .....	7
2.1.1    Siklus Kerja Motor Otto .....	8
2.2    PENGERTIAN <i>BIOETHANOL</i> .....	11
2.2.1    Pembuatan Ethanol Secara Fermentasi .....	11
2.2.2 <i>Bioethanol</i> Sebagai Bahan Bakar .....	13
2.2.3    Penggunaan <i>Bioethanol</i> Pada Mesin Pembakaran Dalam.....	14
2.4    PARAMETER KINERJA MOTOR.....	17
2.4    POLUTAN PADA ALIRAN GAS BUANG .....	18
2.4.1    Karbon Monoksida (CO).....	18
2.4.2    Hidrokarbon (HC) .....	18
2.4.3    Nitrogen Oksida (NOx).....	19
2.4.4    Udara Berlebih ( <i>Excess Air</i> ).....	20

BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1	PENELITIAN.....	21
3.2	LOKASI DAN PERALATAN PENGUJIAN.....	21
3.2.1	Tempat Pengujian.....	21
3.2.2	Peralatan Pengujian.....	21
3.3	RANGKAIAN SKEMATIK PERALATAN PENGUJIAN.....	26
3.4	PROSEDUR PENGUJIAN.....	27
3.4.1	Tujuan Prosedur Pengujian.....	27
3.4.2	Ruang lingkup pengujian.....	27
3.4.3	Tahapan Pengujian.....	28
BAB IV	ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	33
4.1	HASIL PENGUJIAN KONSUMSI BAHAN BAKAR.....	33
4.1.1	<i>Fuel Consumption (FC)</i> .....	33
4.1.2	Laju Produksi Distilasi.....	34
4.1.3	Konsentrasi kandungan alkohol.....	41
4.1.4	Perbandingan Laju konsumsi bahan bakar (FC) dan Laju Distilasi.....	42
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
5.1	KESIMPULAN.....	49
5.2	SARAN.....	49
	DAFTAR PUSTAKA.....	51
	LAMPIRAN.....	52

## DAFTAR TABEL

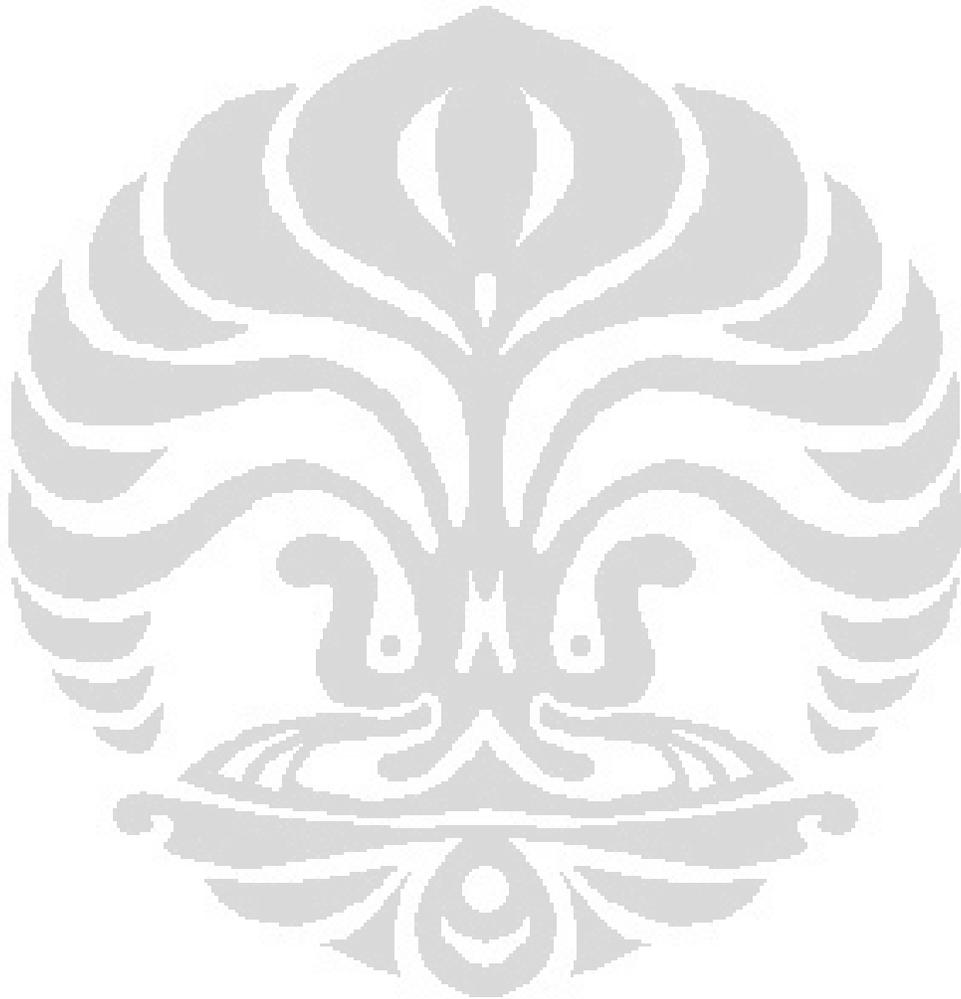
Tabel 2.1 Konversi Biomassa Menjadi <i>Bioethanol</i> .....	12
Tabel 3.1 Spesifikasi Generator Set Sumura ET1500 .....	22
Tabel 3.2 Spesifikasi Gas Analyzer.....	23
Tabel 3.5 Spesifikasi tube level.....	24
Tabel 3.6 Spesifikasi gelas ukur.....	25
Tabel 3.7 Spesifikasi pipet tetes .....	25
Tabel 3.8 Spesifikasi alkohol meter .....	25
Tabel 3.9 Spesifikasi lampu panel.....	26
Tabel 3.10 Spesifikasi stop watch .....	26
Tabel 3.11 Analisa Bahaya Pekerjaan .....	28



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Urutan siklus kerja motor bakar 4 langkah .....	9
Gambar 2.2 Diagram P-V dan T-S ideal motor Otto empat langkah .....	9
Gambar 2.3 Diagram Alir Fermentasi Ethanol dan Berbagai Bahan Baku .....	13
Gambar 3.1 Diagram pengukuran arus dan tegangan panel lampu.....	26
Gambar 3.2 Ilustrasi rangkaian compact distillator pada motor generator set.....	27
Gambar 4.1 Grafik laju konsumsi bahan bakar terhadap perubahan beban .....	34
Gambar 4.2 Grafik perubahan temperatur dan laju destilasi minuman fermentasi37%.....	36
Gambar 4.3 Grafik laju destilasi minuman fermentasi37% pada variasi beban ..	37
Gambar 4.4 Perbandingan Grafik laju destilasi minuman fermentasi37% pada variasi beban.....	38
Gambar 4.6 Grafik laju destilasi alkohol 40% pada variasi beban.....	40

## DAFTAR LAMPIRAN



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Minyak bumi pada saat ini mendominasi untuk sumber utama bahan bakar untuk motor bakar. Ketersediaan bahan bakar minyak bumi yang tidak terbarukan memaksa manusia untuk mencari sumber energi alternatif. Dari sisi lingkungan, melonjaknya harga minyak dan semakin menipisnya persediaan minyak dunia akan mengurugi tingkat emisi karbon, yang belakangan ini menjadi topik diskusi yang intensif di berbagai belahan dunia. Berbagai skema diupayakan untuk mengurangi emisi karbon, diantaranya adalah penggunaan bahan bakar nabati (BBN) untuk menggantikan minyak fosil. Dari sisi lingkungan, penggunaan minyak fosil akan menyebabkan akumulasi gas rumah kaca di atmosfer yang berakibat pemanasan global.

Krisis minyak juga terjadi karena kebutuhan bahan bakar yang terus meningkat. Kebutuhan bahan bakar premium pada tahun 2004 sejumlah 16.418 ribu KL ini dapat dipenuhi oleh kilang didalam negeri sebesar 11.436 ribu KL dan sisanya sebesar 4.982 ribu KL diimpor. 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.

Di Indonesia berbagai upaya dilakukan oleh pemerintah untuk menanggulangi persoalan ini. Diantaranya adalah pada tahun 1980-an, pemerintah pernah menggelar secara intensif dan extensif program bahan bakar alternative, Kepres 43/1991 tentang konservasi energi. Sehingga saat ini penggunaan BBN sebagai bahan bakar, yang disebut sebagai bioefuel (diantaranya biodiesel dan bioethanol), akan menghasilkan beberapa keuntungan. Diantaranya berupa

jaminan ketersediaan yang tidak habis di masa depan (renewable). Biofuel diperoleh dari berbagai bahan nabati dari produk pertanian. Dengan peralihan biofuel untuk menggantikan minyak fosil, maka sektor pertanian akan kembali maju.

Di Indonesia, penggunaan bioethanol sebagai bahan bakar umumnya diberikan dalam bentuk campuran antara gasoline dengan alkohol. Dilihat dari potensi yang ada di Indonesia, potensi penggunaan bioethanol sebagai campuran bahan bakar minyak sangat besar. Hanya, pengembangan bioethanol dan biodiesel ke arah komersial saat ini masih terhambat subsidi bahan bakar fosil yang diberikan pemerintah. Dengan masih diberikannya subsidi bagi bahan bakar fosil, bioethanol tidak akan mampu bersaing secara ekonomi dengan harga bensin (gasoline), kecuali jika harga minyak bumi sudah diatas US \$ 100,-/barel. Namun dengan semakin mahalnya bahan bakar minyak fosil, dan tuntutan untuk menggunakan bahan bakar yang ramah lingkungan dan bersifat karbon netral, prospek bioethanol ke depan tampaknya akan semakin cerah.

Kadar tertinggi yang dapat diperoleh dari penyulingan (destilasi) hanyalah 95%. Untuk menjadi alkohol dengan kadar 100%, diperlukan teknik khusus yang memerlukan biaya tinggi. Karenanya, alkohol dengan kemurnian 100% hanya diproduksi di pabrik-pabrik besar, sedang alkohol dengan kemurnian di bawah 95% umumnya dapat diproduksi di *home industry* atau usaha mikro kecil menengah (UMKM).

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.

Oleh karena itu, dalam penulisan skripsi ini akan dibahas tentang **“PENGARUH VARIASI BEBAN PADA EVAPORATOR 90°C TERHADAP LAJU DISTILASI ETHANOL LOW GRADE PADA “COMPACT DISTILATOR”** yang merupakan lanjutan dari penelitian sebelumnya.

## **1.2 PERUMUSAN MASALAH**

Untuk mengembangkan serta mengaplikasikan proses distilasi *bioethanol* yang mandiri pada motor statis dengan memanfaatkan panas gas buang, maka dalam penelitian ini akan membahas mengenai dampak yang terjadi pada unjuk kerja motor bakar, yang dipengaruhi oleh variasi beban 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 variasi beban yang diberikan.

## **1.3 TUJUAN PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan sebagai studi lanjutan pemanfaatan panas gas buang motor pembakaran dengan berbahan bakar *bioethanol* yang digunakan sebagai sumber energi panas pada proses distilasi *bioethanol* untuk meningkatkan laju destilasi dan konsentrasi *bioethanol* dari *Low Grade Bioethanol* menjadi *High Grade Bioethanol* pada alat *Compact Distillator*.

## **1.4 MANFAAT PENELITIAN**

Dengan terlaksananya tujuan penelitian ini diharapkan dapat membantu mendorong minat industri untuk mengembangkan rancangan *compact distillator* pada motor pembakaran dalam yang lebih handal serta efisien, sehingga dihasilkan produk yang ramah lingkungan. Disamping itu, dengan mengembangkan penggunaan *low grade bioethanol* diharapkan dapat mengurangi konsumsi bahan bakar minyak (BBM) di dalam negeri dan mendorong program diversifikasi (penganeka ragam) energi, serta mendorong terciptanya pemanfaatan energi yang berwawasan lingkungan, mendorong terciptanya

lapangan kerja di daerah, meningkatkan pertumbuhan ekonomi daerah, serta tidak menghentikan lapangan kerja produsen minuman keras tradisional.

### **1.5 BATASAN PENELITIAN**

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

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.

Sebagai data pembanding dilakukan pengujian terhadap bahan bakar bensin Serta variasi destilat yang berbeda yaitu alkohol 40% dan minuman keras fermentasi (Ciu37%).

Motor bakar statis yang akan digunakan adalah Genset 4 langkah 80 cc yang dijaga konstan pada putaran 3200 rpm dengan toleransi sebesar 50 rpm.

Variasi pembebanan pada stasioner, 100W, 200W, 300Watt, 400W, 500W, dengan evaporator dijaga pada temperatur 90°C.

### **1.6 METODOLOGI PENELITIAN**

Pada pelaksanaannya penelitian ini dilakukan dengan metodologi sebagai berikut:

#### **Studi literatur**

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya yang juga membahas tentang *bioethanol distillator* dan unjuk kerja *bioethanol engine*, 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 dengan konsentrasi alkohol yang tinggi.

#### **Pembuatan program dan pemasangan instrumen pengukuran data akuisisi untuk pengujian alat *compact distillator*.**

Tahap ini terlebih dahulu menganalisa kebutuhan data yang diperlukan untuk penelitian. Kemudian mempersiapkan komponen – komponen yang diperlukan, yaitu sensor temperatur, data akuisisi produk National Instrumen (NI),

dan untuk pembuatan program menggunakan *software* Labview 8.5 yang dapat digunakan pada data akuisisi dari produk NI.

Tahapan selanjutnya adalah membuat program untuk pengambilan data yang diperlukan. Kemudian pemasangan sensor temperatur kepada alat uji dan data akuisisi yang dihubungkan ke komputer. Instrumentasi pengukuran ini untuk penyimpanan data dan monitoring fenomena yang terjadi secara langsung. Pengujian alat *compact distillator* dengan motor otto dilakukan berulang kali untuk mencegah serta mengoreksi terjadinya data yang salah.

### **Modifikasi evaporator**

Evaporator dimodifikasi dengan menambahkan aliran *bypass* dan *gate valve* agar panas yang diterima evaporator dapat dikontrol.

### **Pengambilan data unjuk kerja motor otto generator set**

Proses pengambilan data ini dilakukan dengan mengukur konsentrasi campuran *ethanol* yang akan dijadikan bahan untuk didistilasikan pada *compact distillator* pada volume dan variasi konsentrasi tertentu. Kemudian *engine* dioperasikan 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 untuk mengetahui nilai kandungan yang terdapat pada gas buang yang dihasilkan. Interval waktu pengukuran data dilakukan dengan menggunakan alat ukur waktu (*stop watch*) untuk mempertahankan konsistensi pengambilan data. Variasi beban genset pada penelitian ini memanfaatkan peralatan panel lampu yang merupakan hasil penelitian terdahulu. Kenaikan temperatur evaporator dapat dilihat secara aktual dari display monitor dan besarannya dikontrol oleh bukaan katup.

### **Melakukan analisa dan membuat kesimpulan serta saran.**

## 1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Skripsi ini disusun menjadi 5 bagian pokok, yaitu:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang, permasalahan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batas-batas penelitian, 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 berfungsi untuk mengetahui kondisi unjuk kerja peralatan penelitian.

- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

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

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 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 penyalaan 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 *ethanol* 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.

### 2.1.1 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.

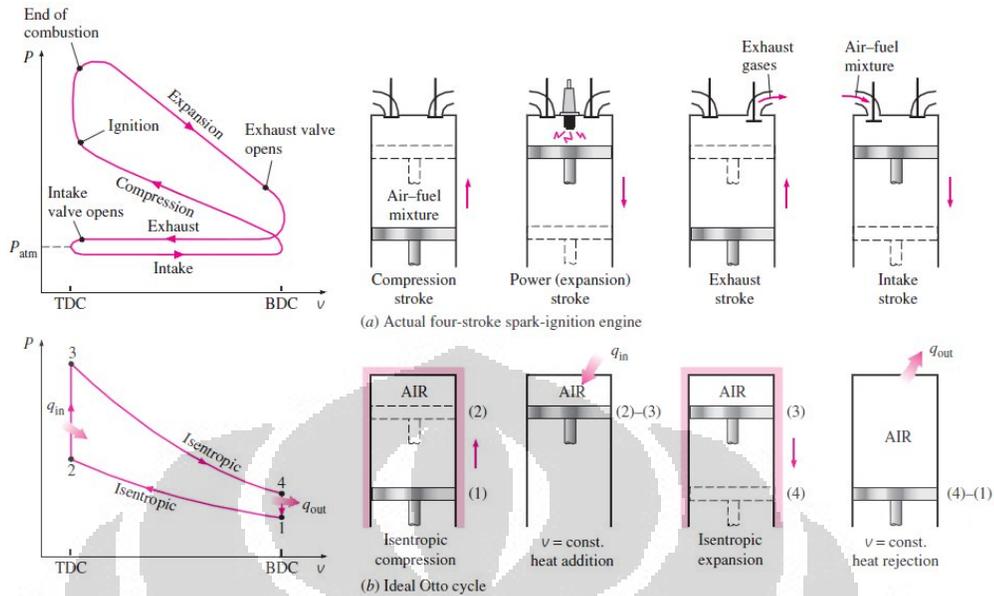
3. Torak

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.

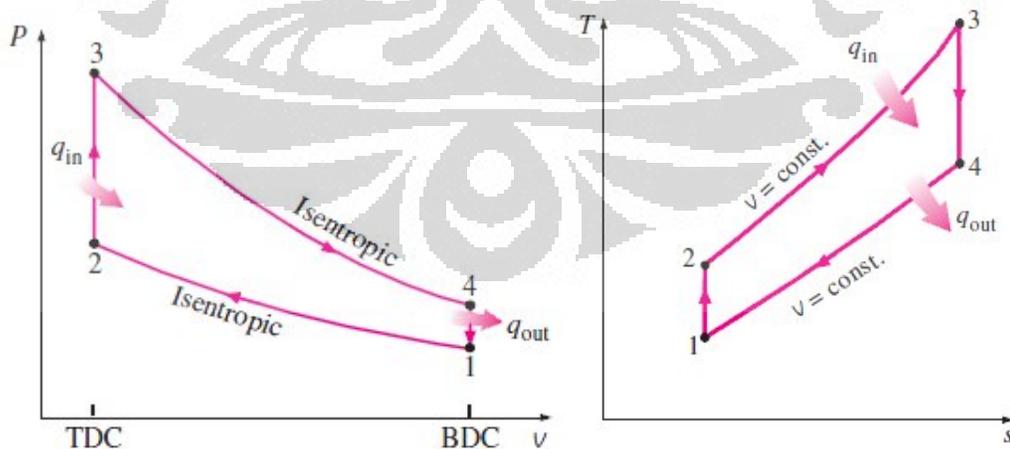
Pada mesin 4 langkah, torak bergerak bolak-balik dalam silinder dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB) sebanyak 4 kali atau 2 putaran engkol untuk memenuhi 1 siklus kerja. Jarak yang ditempuh torak selama gerakan bolak-balik disebut dengan *stroke* atau langkah torak. Langkah-langkah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

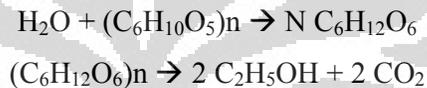
Tekanan tinggi hasil dari proses pembakaran campuran udara-bahan bakar mengakibatkan torak terdorong menjauhi TMA. Dorongan ini merupakan kerja keluaran dari siklus mesin otto. Dengan Bergeraknya torak menuju TMB, volume silinder meningkat sehingga temperatur dan tekanan dalam ruang bakar turun.

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.

## 2.2 PENGERTIAN *BIOETHANOL*

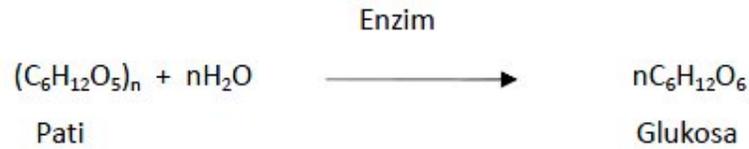
Glukosa dapat dibuat dari pati-patian, proses pembuatannya dapat dibedakan berdasarkan zat pembantu yang dipergunakan, yaitu hidrolisis asam dan hidrolisis enzim. Berdasarkan kedua jenis hidrolisis tersebut, saat ini hidrolisis enzim lebih banyak dikembangkan, sedangkan hidrolisis asam (misalnya dengan 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 :



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.

### 2.2.1 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) :

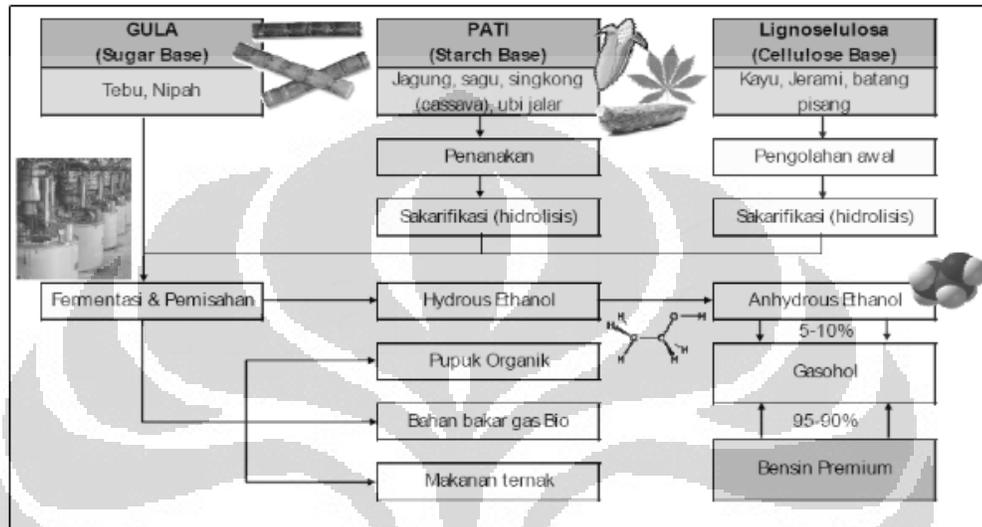
Sumber selulosa dan lignoselulosa berasal dari limbah pertanian dan kayu. Dari berbagai bahan baku tersebut akan dipilih bahan baku yang paling efisien untuk dibuat bioetanol. Salah satu pertimbangan yang sering digunakan adalah besarnya konversi biomassa menjadi bioetanol seperti yang disajikan pada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

Tabel 2.1 Konversi Biomassa Menjadi *Bioethanol*

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 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

### 2.2.2 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 alkohol 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).

Pemerintah Indonesia, dalam hal ini Kementrian 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.

### **2.2.3 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. 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).

### 2.3 Teori Dasar Distilasi

Titik didih dapat didefinisikan sebagai nilai suhu pada tekanan atmosfer atau ada tekanan tertentu lainnya, dimana cairan akan berubah menjadi uap atau suhu pada tekanan uap dari cairan tersebut sama dengan tekanan gas atau uap yang berada di sekitarnya. Jika dilakukan proses penyulingan pada tekanan atmosfer maka tekanan uap tersebut akan sama dengan tekanan air raksa dalam kolom setinggi 760 cmHg. Berkurangnya tekanan pada ruangan di atas cairan akan menurunkan titik didih. Sebaliknya peningkatan tekanan di atas permukaan cairan akan menaikkan titik didih cairan tersebut (Guenther, 1987).

Perbedaan sifat campuran suatu fase dengan campuran dua fase dapat dibedakan secara jelas jika suatu cairan menguap, terutama dalam keadaan mendidih. Pada suhu tertentu molekul-molekul cairan tersebut memiliki energi tertentu dan bergerak bebas secara tetap dan dengan kecepatan tertentu. Tetapi setiap molekul dalam cairan hanya bergerak pada jarak pendek sebelum dipengaruhi oleh molekul-molekul lain, sehingga arah gerakannya diubah. Setiap molekul pada lapisan permukaan yang bergerak ke arah atas akan meninggalkan permukaan cairan dan akan menjadi molekul uap. Molekul-molekul uap tersebut akan tetap berada dalam gerakan yang konstan, dan kecepatan molekul-molekul dipengaruhi oleh suhu pada saat itu

(Guenther, 1987). Kondensasi atau proses pengembunan uap mejadi cairan, dan penguapan suatu cairan menjadi uap melibatkan perubahan fase cairan dengan koefisien pindah panas yang besar. Kondensasi terjadi apabila uap jenuh seperti *steam* bersentuhan dengan padatan yang temperaturnya di bawah temperatur jenuh sehingga membentuk cairan seperti air (Geankoplis, 1983).

#### 2.3.1. Proses Distilasi

Menurut Brown (1984) dalam prakteknya ada berbagai macam proses distilasi. Hal ini disebabkan oleh keadaan-keadaan tertentu untuk pemisahan komponen dalam suatu campuran seperti perbedaan titik didih antar komponen yang cukup besar atau kecil dan tingkat kamurnian yang diinginkan terhadap produk yang dihasilkan. Proses-proses distilasi yaitu proses distilasi normal, proses distilasi bertingkat dan proses distilasi vakum. Proses distilasi normal yaitu

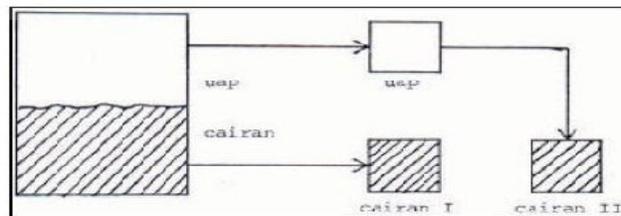
suatu proses distilasi dengan menggunakan tekanan atmosfer. Pada proses ini titik didih campuran cukup besar perbedaannya, sehingga proses pemisahannya mudah dikerjakan.

Proses distilasi bertingkat yaitu suatu proses distilasi dengan letak pengambilan hasil bertingkat-tingkat atau setelah didistilasi, hasilnya didistilasi lebih lanjut untuk memperoleh konsentrasi yang lebih baik. Proses ini banyak dipakai dalam bidang minyak bumi, juga pada proses distilasi campuran azeotrop dengan menambahkan komponen ketiga yang dapat larut dalam salah satu komponen pada campuran tersebut.

Proses distilasi vakum yaitu suatu proses distilasi dengan menggunakan tekanan yang sangat rendah (vakum), pada proses ini titik didih campuran yang akan dipisahkan mendekati sehingga pemisahannya menjadi sulit. Kemudian dengan jalan mengubah tekanan operasi akan memberikan perubahan tekanan uap masing-masing komponen, sehingga pemisahan dapat dijalankan

Proses perpindahan massa pada proses destilasi melalui 3 tahapan yaitu:

1. Mula-mula, pada cairan terdapat campuran A dan B, dimana karakteristik dari komponen-komponen tersebut adalah komponen A lebih mudah menguap (volatil) dibanding komponen B. Komposisi dari kedua komponen tersebut dinyatakan dengan fraksi mol. Untuk fase cair komponen A dinyatakan dengan  $x_A$ , sedangkan komponen B dinyatakan dengan  $x_B$ .
2. Campuran diuapkan sebagian, uap dan cairannya dibiarkan dalam keadaan setimbang.
3. Uap dipisahkan dari cairannya dan dikondensasi, maka didapat dua cairan, cairan I dan cairan II. Cairan I mengandung lebih sedikit komponen A (lebih mudah menguap) dibandingkan cairan II.



Gambar 2.10. Skema proses perpindahan massa pada peristiwa destilasi

Pada kondisi diatas, dari campuran dua komponen cairan (campuran biner) akan didapat dua cairan yang relatif murni. Hal ini dapat terlaksana, apabila beda titik didih dari kedua komponen tersebut relatif besar.

## 2.4 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:

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

$$BFC = \frac{V_f \times 3600}{t \times 1000} \dots\dots\dots (2.1)$$

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 ( $\dot{m}_f$ )

$$\dot{m}_f = \frac{BFC}{3600} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

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

BFC = konsumsi bahan bakar (L/jam)

= massa jenis bahan bakar (kg/m<sup>3</sup>)

### Laju Aliran Massa Udara ( $\dot{m}_a$ )

$$\dot{m}_a = \frac{AFR \times BFC}{3600} \dots\dots\dots (2.3)$$

AFR = rasio massa udara-bahan bakar (kg udara per kg bahan bakar)

$\dot{m}_a$  = laju aliran massa udara (kg/s)

BFC = konsumsi bahan bakar (L/jam)

= massa jenis bahan bakar (kg/m<sup>3</sup>)

## 2.4 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.

### 2.4.1 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida selalu terdapat di dalam gas buang pada saat proses penguraian dan hanya ada pada knalpot kendaraan. CO merupakan produk dari pembakaran yang tidak tuntas yang disebabkan karena tidak seimbangnya 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.

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.

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.

### 2.4.2 Hidrokarbon (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 pemceahan 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, 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.

#### 2.4.3 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<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> pada temperatur lebih dari 1800 °C, akan terjadi reaksi pembentukan gas NO sebagai berikut:

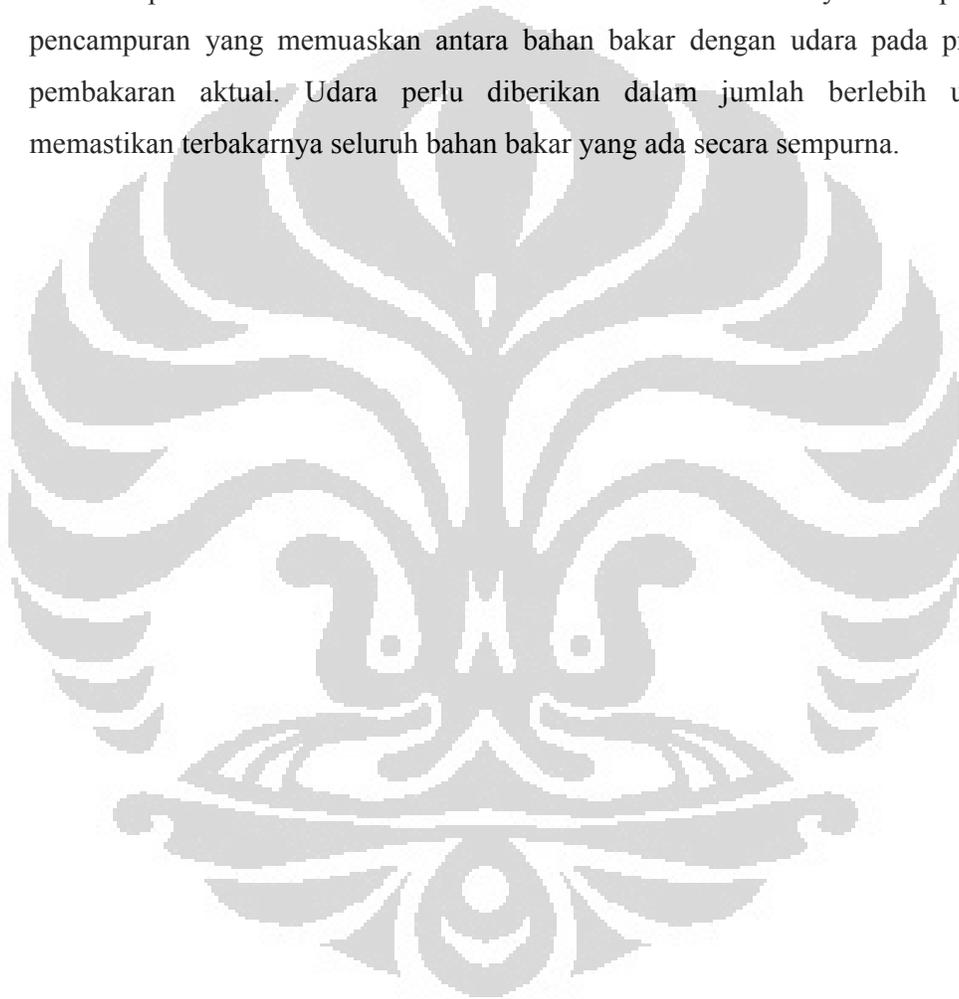


Di udara, NO mudah berubah menjadi NO<sub>2</sub>. Komposisi NO<sub>x</sub> di dalam gas buang terdiri dari 95% NO, 3-4% NO<sub>2</sub>, dan sisanya adalah N<sub>2</sub>O serta N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

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<sub>2</sub> dapat menimbulkan iritasi terhadap paru-paru.

#### 2.4.4 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**

#### **3.1 PENELITIAN**

Agar tujuan penelitian dapat tercapai maka dalam penelitian ini digunakan metode penelitian eksperimental, yaitu metode yang dapat dipakai untuk menguji pengaruh unjuk kinerja motor berbahan bakar *bioethanol* dengan memanfaatkan panas gas buang sebagai sumber energi pemanas *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 bahan bakar bensin, sedangkan umpan destilat menggunakan minuman fermentasi tradisional *ciu* 37% dan Alkohol teknik 40%. Variasi beban dari stasioner, 100W, 200W, 300W, 400W, 500W. Pengukuran gas buang yang dihasilkan. Serta laju konsumsi bahan bakar terhadap laju produksi distilasi *bioethanol*.

#### **3.2 LOKASI DAN PERALATAN PENGUJIAN**

##### **3.2.1 Tempat Pengujian**

Pengujian unjuk kinerja mesin dilaksanakan di Laboratorium Termodinamika Terapan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang berada di lantai I Gedung Departemen Mesin Kampus Baru UI Depok.

##### **3.2.2 Peralatan Pengujian**

Peralatan pengujian yang digunakan pada penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Bahan bakar premium  
Bahan bakar premium tanpa timbal dengan nilai kalor spesifik 8.308 Kkal/liter digunakan pada motor otto sebagai data pembanding unjuk kinerja motor bakar.
2. Bahan campuran larutan *bioethanol*

Bahan campuran larutan *bioethanol* ini menggunakan *distillite water/aquades* dengan nilai kalor spesifik 0,979 Kkal/liter. 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*.

### 3. Motor Generator Set Sumura ET 1500

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

Tabel 3.1 Spesifikasi Generator Set Sumura ET1500

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 timbal
Oli	SAE 15W-40SF
Fuel Tank	5.5 L
Capacity	
Dimensi	450 x 350 x 365 (mm)
Berat Bersih	26 Kg

### 4. Gas Analyzer

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



Tabel 3.2 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 dities	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

5. Thermocouple

*Thermocouple* digunakan untuk mengamati perubahan temperatur yang terjadi selama proses distilasi. *Thermocouple* yang digunakan jenis wire tipe K.

6. Data akuisisi

Sistim akuisisi data dapat didefinisikan sebagai suatu sistem yang berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan dan menyiapkan data, hingga memprosesnya untuk menghasilkan data yang dikehendaki



Merek	National Instrumen
Model	Modul 9211:4chanel dan cdaq 9174 :4 slot

7. Tube level

Alat ukur ini digunakan untuk mengukur laju konsumsi bahan bakar.

Tabel 3.5 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

Gelas ukur ini digunakan untuk menentukan konsentrasi *bioethanol* berdasarkan perbandingan volume ethanol terhadap *distilite water*.

Tabel 3.6 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

Pipet tetes digunakan sebagai alat ukur untuk mengukur densitas bahan bakar berdasarkan volume.

Tabel 3.7 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 3.8 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 3.9 Spesifikasi lampu panel

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

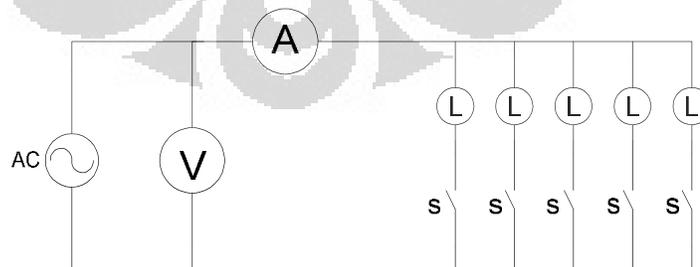
### 12. Stop watch

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

Tabel 3.10 Spesifikasi stop watch

Merek	Alba
Jenis	Sport Timer
Ketelitian	0.01 S
Negara Pembuat	China

## 3.3 RANGKAIAN SKEMATIK PERALATAN PENGUJIAN

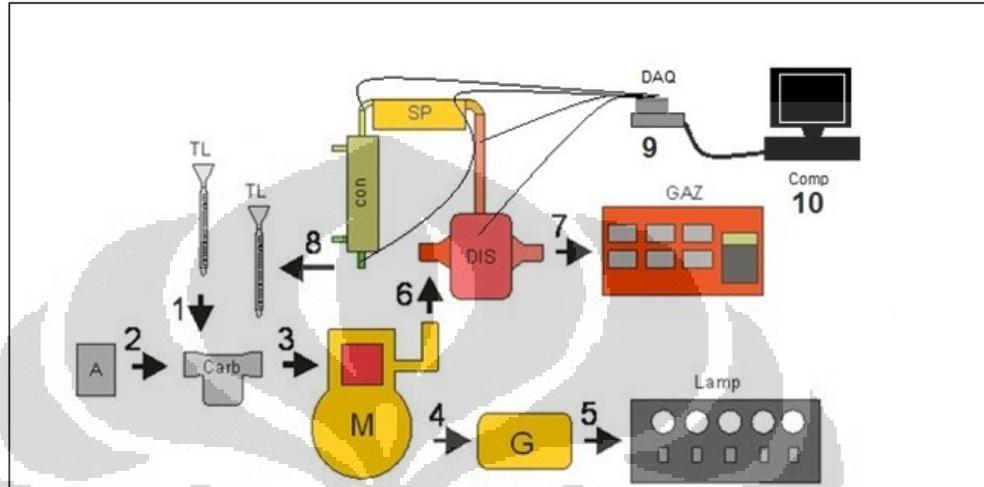


Gambar 3.1 Diagram pengukuran arus dan tegangan panel lampu

Keterangan:

V = Pengukuran tegangan yang dihasilkan dengan multimeter

- A = Pengukuran arus yang dihasilkan dengan multimeter  
 L = Lampu panel yang dirangkai secara parallel  
 S = Saklar pemutus arus & tegangan  
 AC = Daya yang dihasilkan dari motor-generator set



Gambar 3.2 Ilustrasi rangkaian compact distillator pada motor generator set

Keterangan:

- |                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| GAZ = Gas Analyzer       | TL = Tube Level         |
| A = Intake Air Cleaner   | Carb = Karburator motor |
| M = Motor Otto 4 langkah | Trm = Termokopel        |
| G = Generator            | Lamp = Panel lampu      |
| DAQ = Data Akuisisi      |                         |

### 3.4 PROSEDUR PENGUJIAN

#### 3.4.1 Tujuan Prosedur Pengujian

Pembuatan prosedur pengujian bertujuan agar proses pengujian yang berupa pemasangan dan pengaturan alat uji, pengukuran dan pencatatan data dapat terlaksana dengan aman dan hasil pengujian yang diperoleh dapat sesuai dengan yang diharapkan.

#### 3.4.2 Ruang lingkup pengujian

Pengujian peralatan dilakukan berdasarkan metode-metode yang dianjurkan pada langkah pengujian berikut. Pemasangan dan pengaturan alat uji harus

dilakukan dengan baik dan benar untuk mengurangi terjadinya kerugian-kerugian yang tidak diharapkan.

### 3.4.3 Tahapan Pengujian

#### Persiapan Pengujian

Sebelum pelaksanaan pengujian alat, perlu dilakukan persiapan untuk meyakinkan agar setiap langkah pengujian diikuti dengan benar untuk menghasilkan proses pengujian sesuai dengan yang diharapkan. Hal ini akan mempengaruhi kehandalan kinerja peralatan serta kualitas data yang diperoleh. Langkah persiapan dapat dimulai dari diskusi kelompok sebelum pelaksanaan pengujian dan analisa bahaya yang dapat terjadi serta tindakan pencegahannya sehingga resiko kemungkinan terjadinya bahaya dapat dihindari.

Tabel 3.11 Analisa Bahaya Pekerjaan

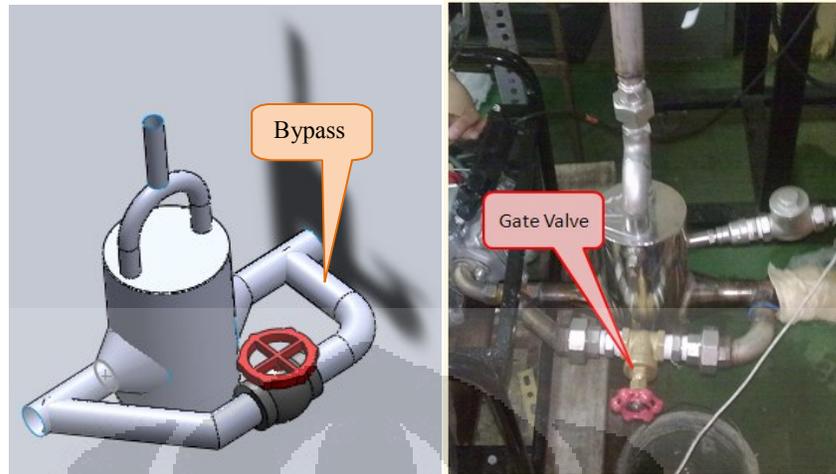
<b><u>Analisa Bahaya Pekerjaan</u></b>	
Potensi bahaya	Tindakan pencegahan
- Listrik (Tersengat listrik)	- Matikan aliran listrik pada saat persiapan dan pengaturan alat uji. Pastikan tubuh bebas dari air pada saat menghubungkan aliran listrik.
- Panas (Kulit terbakar)	- Lakukan pengukuran temperatur peralatan dahulu sebelum/sesudah pengaturan alat. Gunakan sarung tangan dan pakaian lengan panjang. Hindari penempatan bahan bakar yang dekat dengan sumber panas.
- Kimia (Iritasi kulit, kontak dengan mata, gangguan pernapasan)	- Ikuti petunjuk yang tertera pada MSDS ( <i>Material Safety Data Sheet</i> ). Cuci tangan dengan sabun setelah melakukan

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bising (Suara motor-generator set)</li> <li>- Gravitasi (Kaki terjatuh peralatan)</li> <li>- Gerak (Tersandung, terpeleset)</li> </ul>	<p>pengujian.</p> <p>Bilas dengan aliran air bersih bila bahan bakar terkena mata.</p> <p>Gunakan alat pelindung pernapasan (masker)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gunakan pelindung pendengaran pada saat pengujian.</li> <li>- Gunakan sepatu pada saat pengujian.</li> <li>- Perhatikan arah langkah, jaga kerapihan peralatan dan segera bersihkan jalan dari bahan bakar dan cairan yang tertumpah.</li> </ul>
---	--

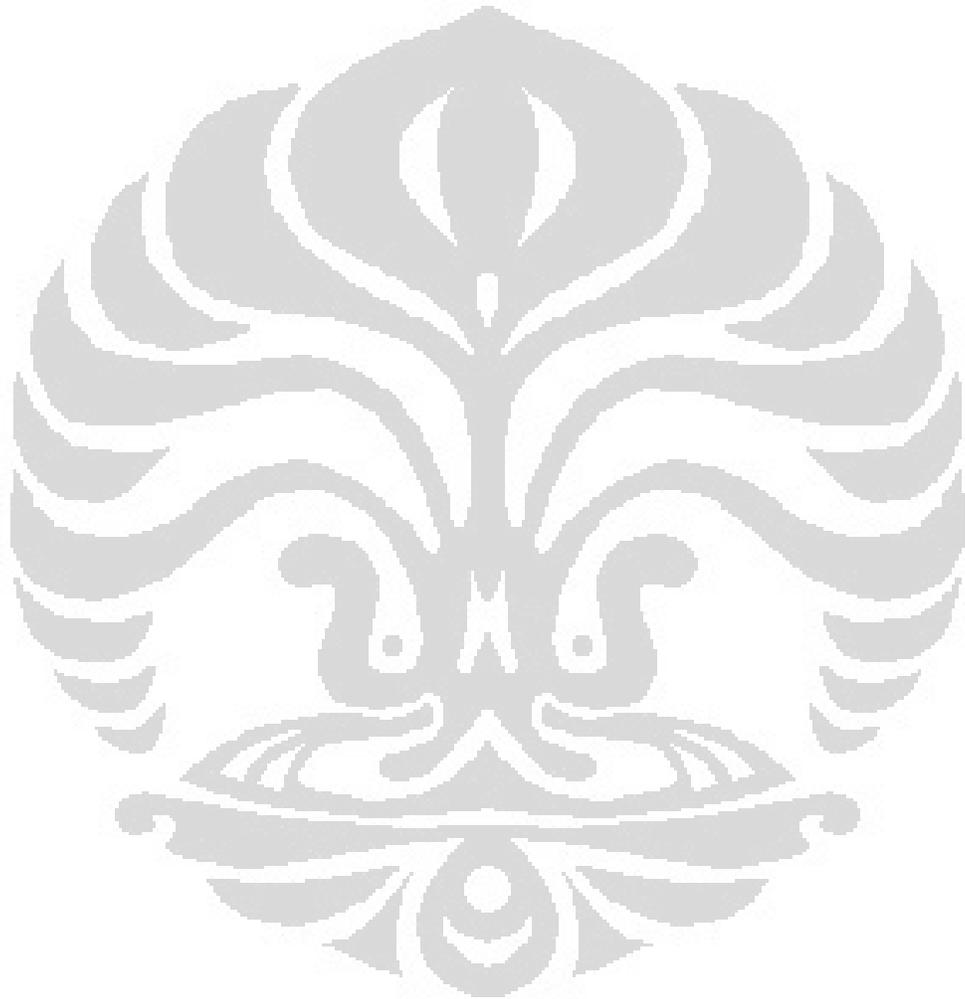
### **Pelaksanaan Pengujian**

1. Persiapan dan pengaturan peralatan kerja
2. Pengaturan komposisi bahan bakar *bioethanol*
  - Masukkan *bioethanol* dengan kadar 95% ke dalam gelas ukur sesuai dengan volume yang akan diujikan. Lalu tambahkan aquades/air distilasi ke dalam gelas ukur tersebut untuk menurunkan kadar *bioethanol* dari 95% menjadi *low grade ethanol* (40%). Masukkan alkohol meter ke dalam gelas ukur untuk mengukur konsentrasi campuran *bioethanol*. Tambahkan air distilasi atau *bioethanol* dengan pipet tetes bila konsentrasinya belum sesuai dengan konsentrasi sampel yang diujikan. Lakukan pengukuran campuran *bioethanol* tersebut dengan timbangan digital untuk mengetahui nilai densitas sampel.
3. Persiapan dan pengaturan kondisi motor-generator set
  - Lakukan pengecekan kondisi minyak pelumas genset. Tambahkan minyak pelumas bila kurang dari level minimum. Ganti minyak pelumas bila kualitasnya sudah menurun.

- Lakukan pengecekan kondisi busi.  
Ganti busi bila pengapian yang terjadi sudah lemah.
  - Operasikan motor-generator set tanpa beban dan lakukan pengaturan karburator dengan memutar screw hingga tercapai campuran udara-bahan bakar yang sesuai berdasarkan putaran motor maksimum.
  - Lakukan pengaturan bukaan katup gas hingga mencapai putaran optimum 3200 rpm. Setelah itu biarkan engine beroperasi tanpa beban selama kurang lebih 10 menit.
4. Pengaturan Gas Analyzer
- Tekan saklar power untuk mengoperasikan gas analyzer dan biarkan beroperasi selama 15 menit.
  - *Autozero* (kalibrasi otomatis) akan terulang dengan selang waktu tertentu secara otomatis.
  - Masukkan probe sensor kurang lebih 20cm ke dalam lubang gas buang.
  - Tekan tombol **ON** untuk memulai pengukuran data.
  - Setelah selesai pengambilan data, tekan tombol **OFF** untuk menghentikan proses pengambilan data.
  - Sekarang kondisi peralatan sudah dalam keadaan *standby* dan siap digunakan untuk pengukuran gas buang berikutnya.
5. Pengaturan penggunaan Thermocouple dan DAQ
- Kalibrasi kabel thermocouple yang telah las pada tembaga saat pembuatan probe sensor temperatur yang dipasang pada destilator.
  - Pasang kabel *thermocouple* pada DAQ, dan hubungkan ke komputer.
  - Pastikan kabel DAQ terkoneksi dengan komputer dan tekan power “ON”.
  - Buka program Labview 8.5.
  - Pastikan proram dalam kondisi ready dan siap tekan “Run” pada program labview untuk monitorng dan penyimpanan data temperatur.
6. Pengaturan Temperatur dievaporator tidak melebihi 90°C dengan cara memonitor kenaikan temperatur pada PC yang terhubung pada data akusisi. Pengaturan dilakukan dengan memutar *gate valve* agar gas buang dari motor melewati aliran bypass.



7. Pengukuran laju konsumsi bahan bakar dan laju destilasi
  - Wadah penampungan bahan bakar berskala yang disalurkan menuju ruang bakar, harus sejajar dengan pandangan mata. Hal ini dilakukan agar pengukuran laju konsumsi bahan bakar terhadap perubahan volume dapat lebih teliti. Pencatatan data pengukuran dilakukan berdasarkan banyaknya waktu yang dibutuhkan setiap perubahan massa 10 ml.
  
8. Pengukuran komposisi gas buang
  - Pengukuran dilakukan dengan mencatat nilai yang tampil pada layar gas analyzer setiap melakukan perubahan beban.



## BAB IV

### ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1 HASIL PENGUJIAN KONSUMSI BAHAN BAKAR

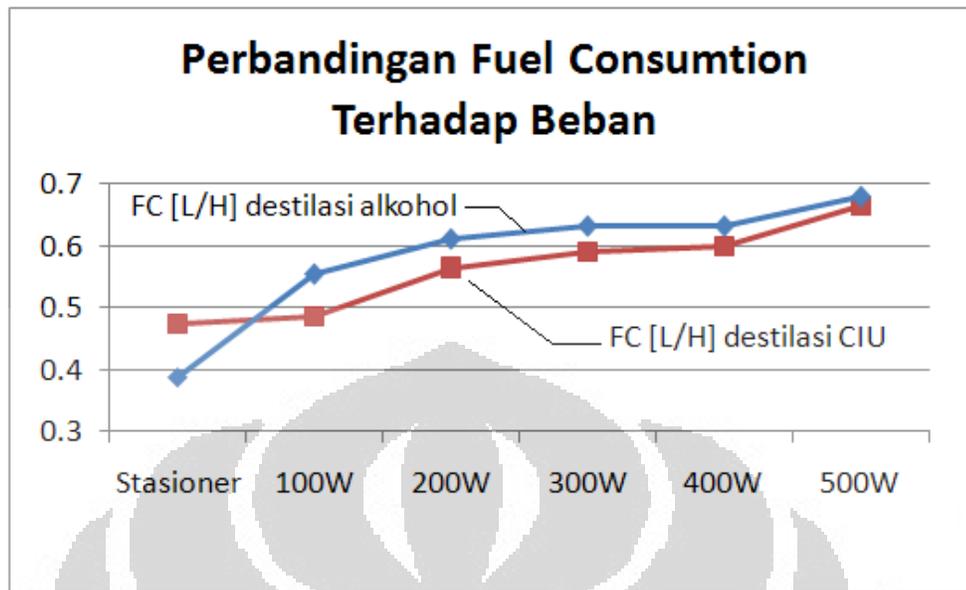
Pemanfaatan panas gas buang pada motor Otto 4 langkah untuk pemanasan distillator *bioethanol* ini digunakan agar mampu mengolah *low grade ethanol* menjadi *high grade ethanol* secara mandiri dengan mengoptimalkan sumber-sumber energi yang tersisa dari pembakaran. Pengaruh pemanfaatan gas buang untuk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

Percobaan dilakukan pada motor Otto berbahan bakar *bioethanol* pada variasi beban yang beragam dengan pemanfaatan panas gas buang untuk pemanas destilator yang dijaga temperatur di evaporator tidak melebihi 90°C. Parameter kinerja motor pembakaran dalam dapat ditinjau dari data pengujian berupa *Fuel Consumption (FC)* dan parameter kinerja distilator berupa laju distilasi dan konsentrasi kandungan ethanol hasil distilasi.

##### 4.1.1 *Fuel Consumption (FC)*

Pada penelitian ini nilai FC dihasilkan dari pengukuran laju penurunan volume bahan bakar terhadap satuan waktu. Tangki bahan bakar yang diletakkan diatas timbangan digital bertujuan untuk mengukur laju konsumsi bahan bakar yang terjadi saat motor mulai dioperasikan. 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 grafik untuk mengetahui besarnya konsumsi yang terjadi pada setiap variasi beban.

$$\frac{3600}{1000}$$



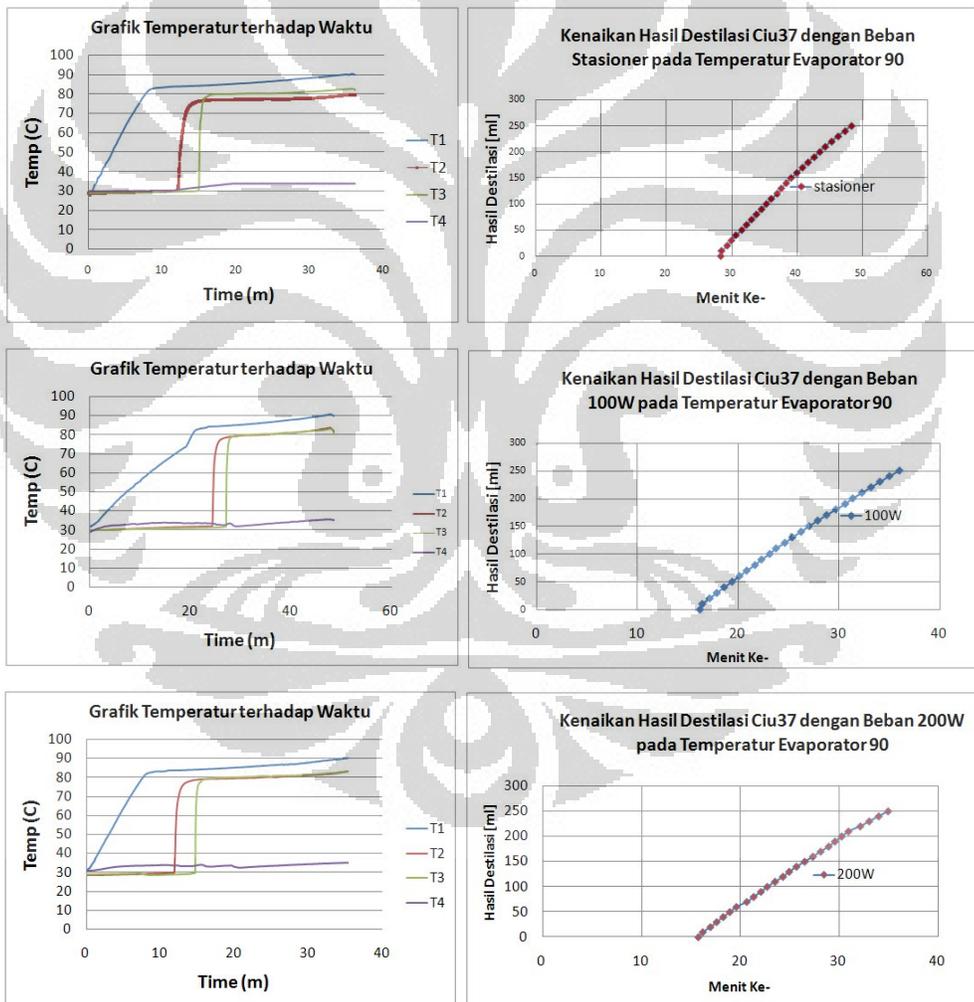
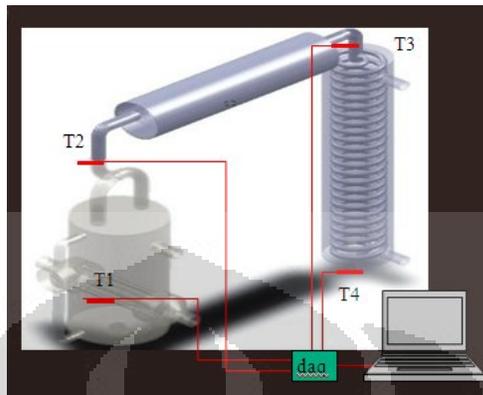
Gambar 4.1 Grafik laju konsumsi bahan bakar terhadap perubahan beban

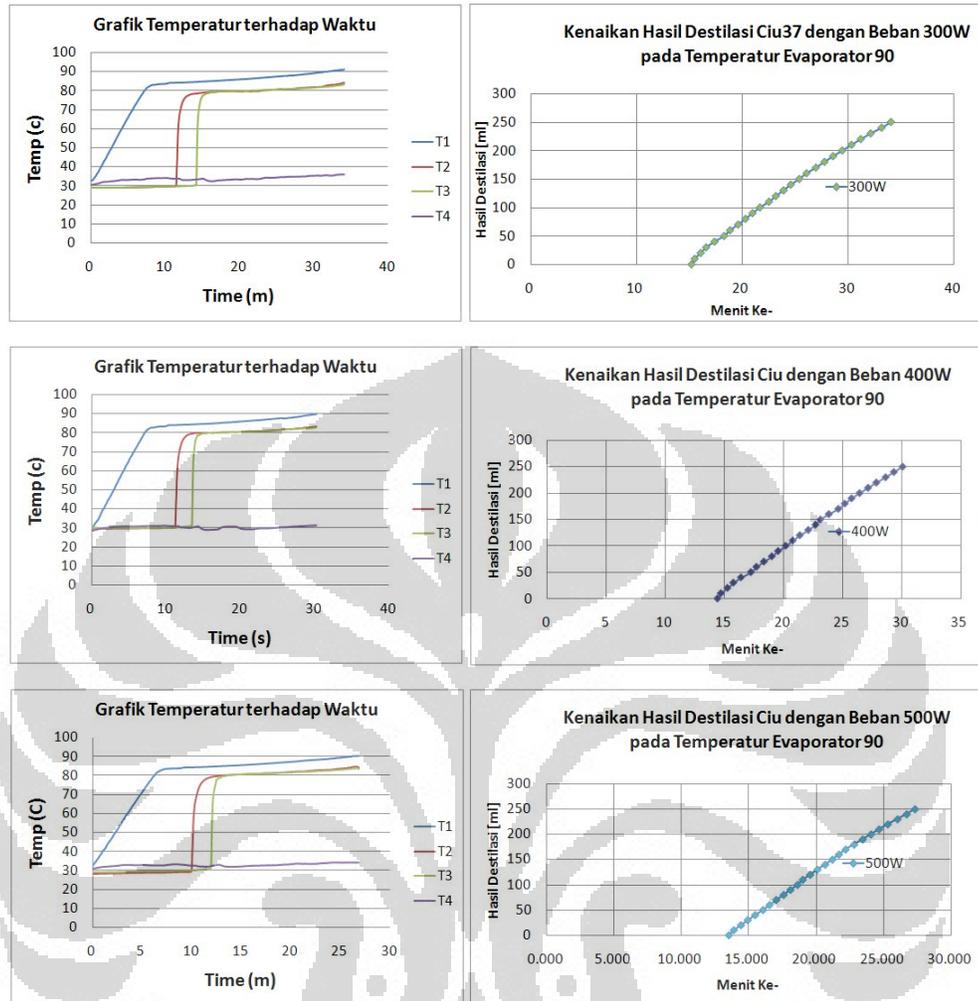
Grafik tersebut memperlihatkan kecenderungan Fuel Consumption (FC) bensin yang terus meningkat dengan bertambahnya beban. Laju konsumsi bahan bakar rata-rata paling rendah dicapai dengan penggunaan bahan bakar bensin untuk mendistilasikan minuman tradisional fermentasi ciu (0,56 L/H), sedangkan untuk distilasi alkohol sebesar (0,58 L/H). Maka dari perbedaan yang relatif kecil (0,02 L/H) tersebut dapat diambil kesimpulan tidak ada pengaruh untuk variasi bahan ditilasi terhadap laju konsumsi distilasi.

#### 4.1.2 Laju Produksi Distilasi

Pada alat distilator terdapat profil kenaikan temperatur terhadap waktu yang berbeda pada tiap *stage* ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$ ) pada setiap variasi bebannya. Pada temperatur awal di setting pada suhu ruangan ( $30^\circ\text{C}$ ) kemudian evaporator dipanaskan dengan memanfaatkan gas buang dari motor. Kenaikan temperatur pada evaporator yang diwakili dengan  $T_1$  terus meningkat hingga temperatur  $90^\circ\text{C}$ . kemudian uap ethanol hasil dari pemanasan di evaporator akan bergerak ke  $T_2$  yang mewakili keluaran evaporator atau temperatur input untuk separator. Dari separator uap terus bergerak ke  $T_3$  dan masuk ke kondenser. Di kondenser uap ethanol diberubah menjadi fase liquid dan mengalir ke  $T_4$ . Dari grafik  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,

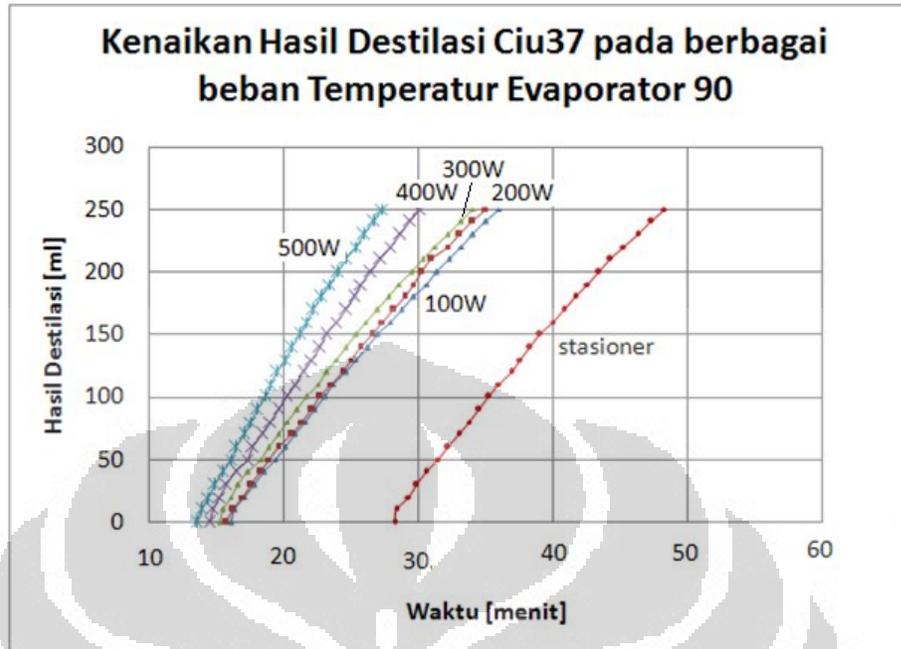
T<sub>4</sub> terlihat perbedaan waktu yang diperlukan saat terjadi kenaikan temperatur seiring dengan bertambahnya beban.





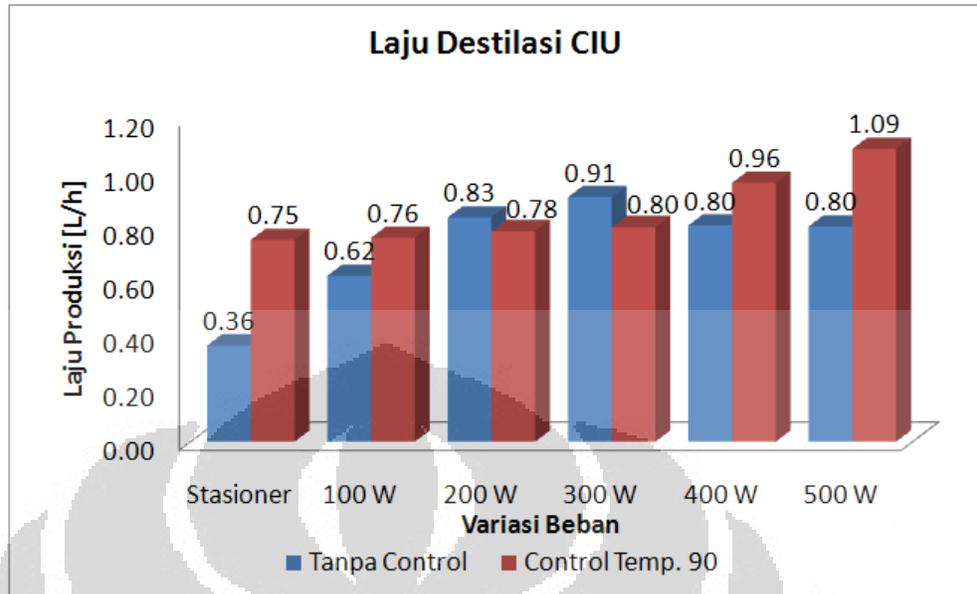
Gambar 4.2 Grafik perubahan temperatur dan laju destilasi minuman fermentasi 37%

Dari grafik kenaikan hasil destilasi Ciu 37% di atas dapat dibandingkan waktu mulainya tetes pertama hingga mencapai 250ml dari produk destilasi. Profil kenaikan volume dengan variasi beban tersebut terlihat pada grafik dibawah ini.



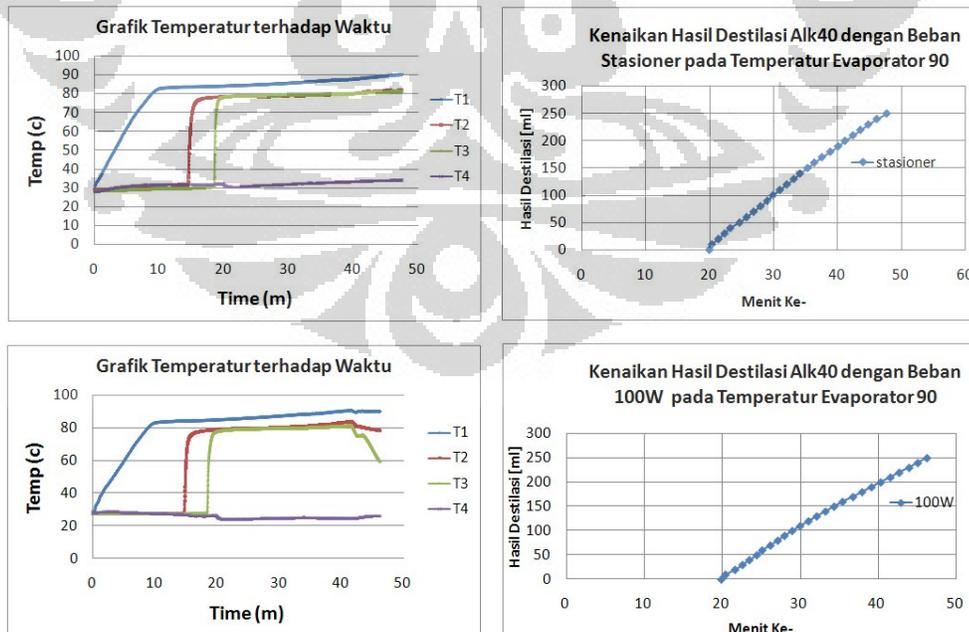
Gambar 4.3 Grafik laju destilasi minuman fermentasi 37% pada variasi beban

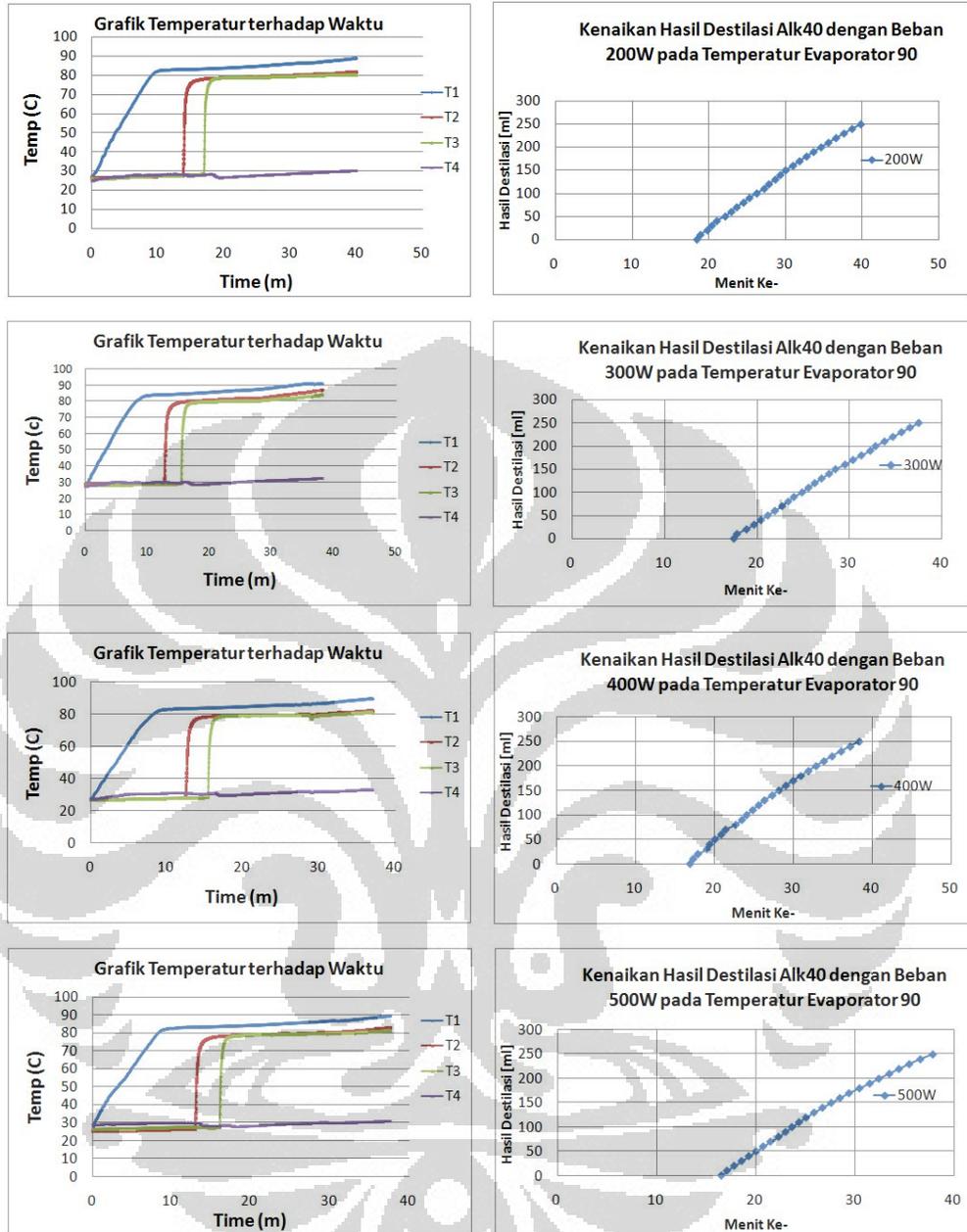
grafik di atas menunjukkan hubungan laju destilasi fermentasi 37% dengan menggunakan *compact destilator* dengan memberikan variasi pembebanan dari 0-500 Watt pada putaran motor 3200 rpm. Grafik tersebut memperlihatkan perbedaan kecepatan menghasilkan destilat ethanol dengan bertambahnya pembebanan. Pada menit ke-13 Laju destilasi dengan beban 500W telah meneteskan tetes pertama, sedangkan dengan beban stasioner baru pada menit ke-28. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rendah beban yang digunakan maka semakin lama hasil destilat yang dihasilkan. Karena waktu untuk mencapai panas di evaporator untuk meguapkan ethanol lebih lama.



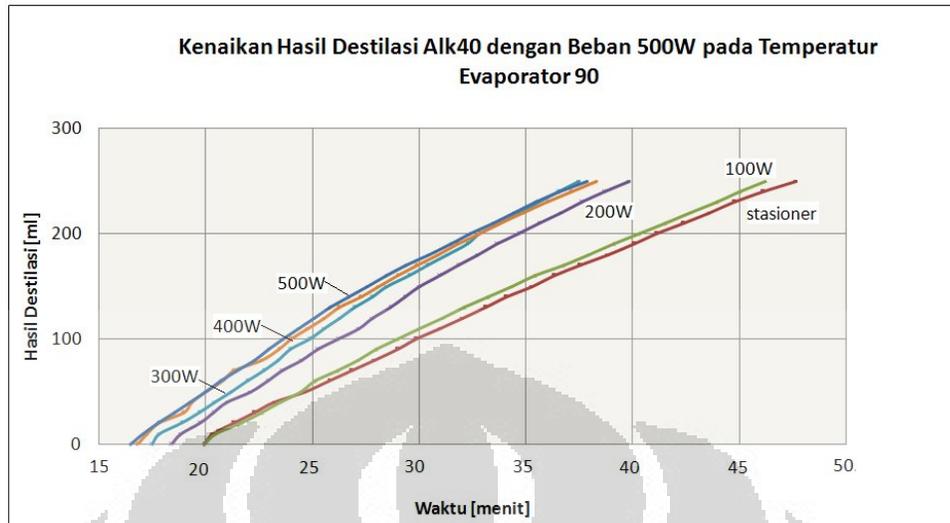
Gambar 4.4 Perbandingan Grafik laju destilasi minuman fermentasi 37% pada variasi beban

Terlihat pada grafik diatas, pada pengaturan temperatur 90°C di evaporator laju produksi destilasi lebih stabil dan merata dengan laju destilasi rata-rata sebesar 0,85 L/h. sedangkan untuk laju destilasi tanpa pengontrolan temperatur di evaporator sebesar 0,72 L/h.





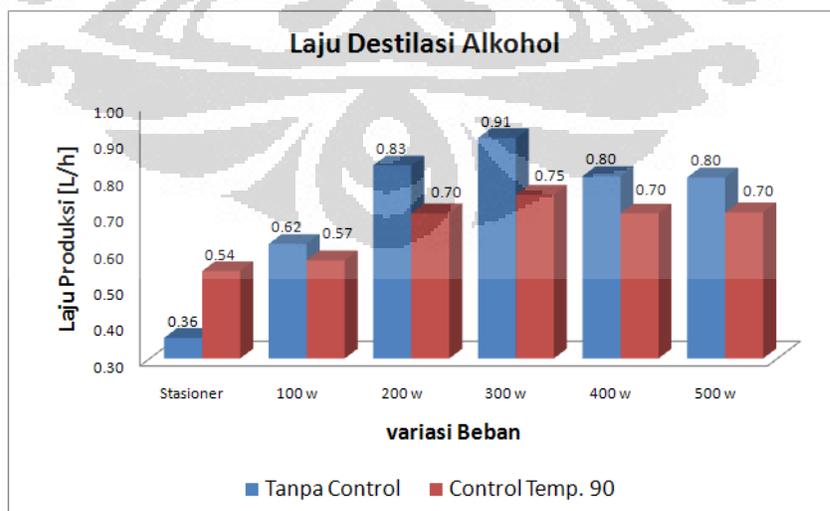
Gambar 4.5 Grafik laju destilasi alkohol 40% pada variasi beban



Gambar 4.6 Grafik laju destilasi alkohol 40% pada variasi beban

Pada grafik di atas menunjukkan hubungan laju destilasi Alkohol teknik 40% dengan metoda pengambilan data yang sama dengan minuman tradisional fermentasi Ciu.

Sebagai perbandingan destilasi pada minuman tradisional fermentasi dengan alkohol teknik. Pada grafik tersebut memperlihatkan destilat alkohol mulai menetes setelah 17menit ketika diberi beban 500W. Sedangkan dengan beban stasioner baru menetes pada menit ke-20. Sehingga semakin rendah beban yang digunakan maka semakin lama hasil destilat yang dihasilkan. Karena untuk mencapai panas di evaporator agar meguapkan ethanol lebih lama.



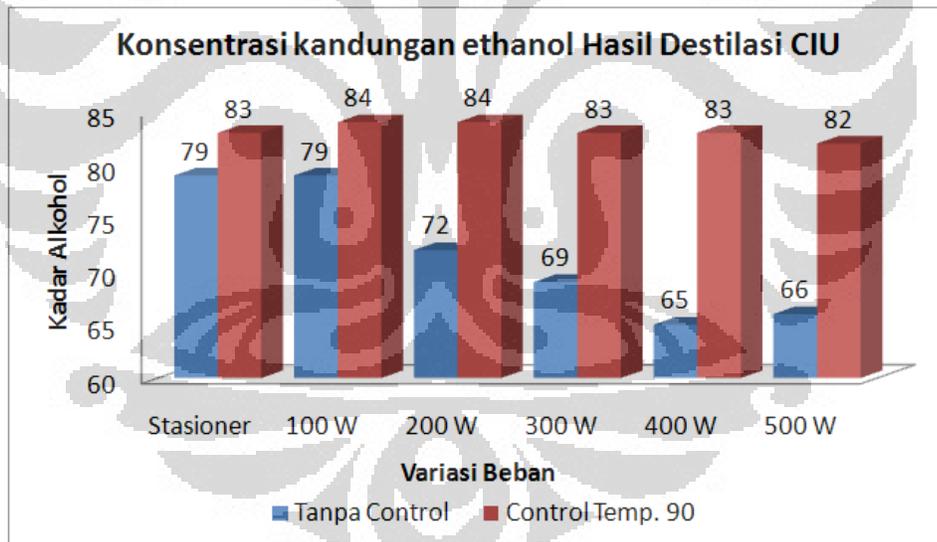
Gambar 4.7 Grafik laju destilasi minuman fermentasi 37% pada variasi beban



Gambar 4.8 Perbandingan Grafik laju distilasi minuman fermentasi 37% dan alkohol 40%

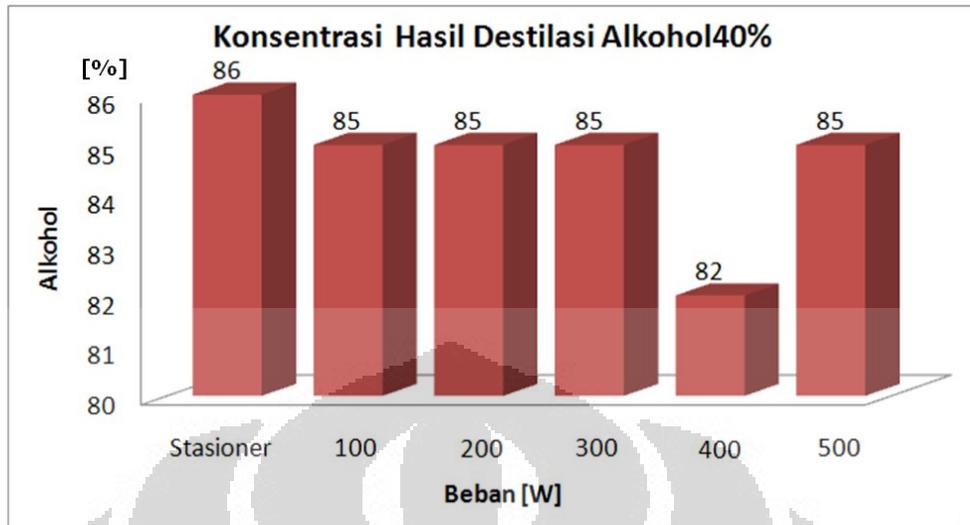
Laju distilasi minuman fermentasi tradisional Ciu 37% lebih tinggi daripada laju distilasi alkohol 40%.

#### 4.1.3 Konsentrasi kandungan alkohol



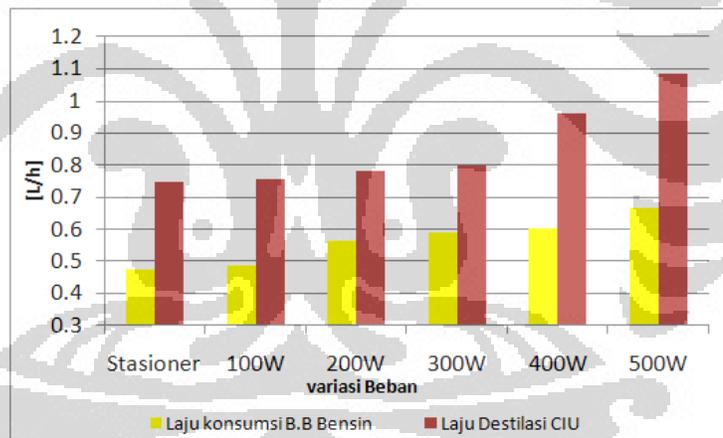
Gambar 4.8 Grafik konsentrasi kandungan ethanol minuman fermentasi 37%

Dengan pengontrolan temperatur evaporasi di 90°C, maka konsentrasi kandungan ethanol dari hasil destilat menunjukkan angka yang lebih baik dan seragam. Dengan rata-rata sebesar 83% sedangkan pada hasil percobaan terdahulu sebelum adanya pengontrolan temperatur evaporasi rata-rata sebesar 71%.



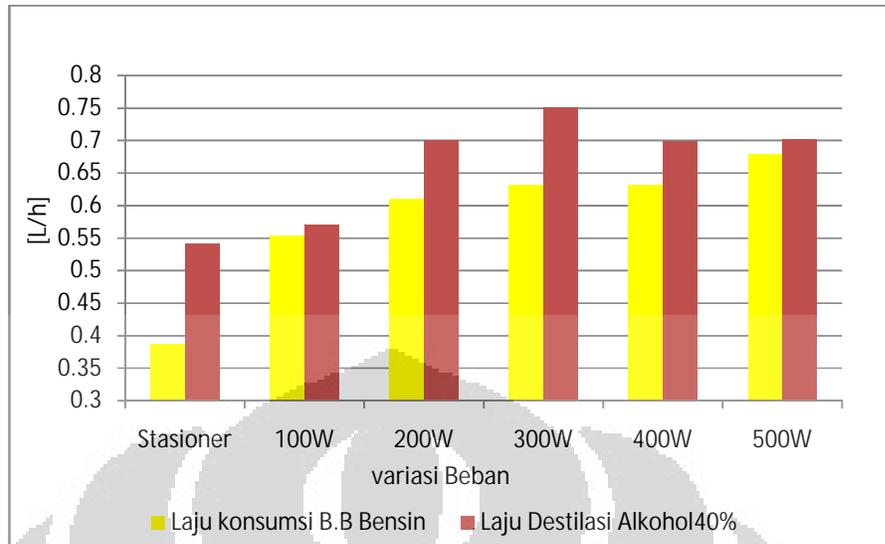
Gambar 4.9 Grafik konsentrasi kandungan ethanol destilasi alkohol 40%

#### 4.1.4 Perbandingan Laju konsumsi bahan bakar (FC) dan Laju Destilasi



Gambar 4.10 Grafik perbandingan laju konsumsi bahan bakar terhadap laju destilasi Ciu

Pemanfaatan *bioethanol* Ciu dengan kadar rendah (*low grade ethanol*) 37% dapat digunakan sebagai bahan bakar karena laju distilasi yang dihasilkan dapat mencapai laju konsumsi bahan bakar pada berbagai variasi beban (stasioner, 100, 200, 300, 400, 500)Watt. Dengan rata-rata laju destilasi yang mencapai 0,85 L/h melebihi angka rata-rata laju konsumsi bahan bakar 0,56 L/h.



Gambar 4.11 Grafik perbandingan laju konsumsi bahan bakar terhadap laju destilasi Alkohol40%

Begitu juga dengan destilasi alkohol40% dengan evaporasi yang dikontrol pada 90°C memperlihatkan rata-rata laju destilasi sebesar 0,66 L/h lebih besar dari rata-rata laju konsumsi bahan bakar sebesar 0,58 L/h.

Sehingga Pemanfaatan *bioethanol* dengan kadar rendah (*low grade ethanol*) dapat digunakan sebagai bahan bakar karena setelah didistilasi secara mandiri konsentrasi alkoholnya bertambah dan laju distilasi yang dihasilkan dapat mencapai laju konsumsi bahan bakar pada berbagai variasi beban (stasioner, 100, 200, 300, 400, 500)Watt

#### 4.1.5 Perhitungan Nilai 'Q'

Perhitungan nilai kalor dimaksudkan untuk mengetahui berapa panas yang dibuang saat kondensasi. Temperature dijaga konstan pada setiap percobaan. Uap etanol yang masuk kedalam kondenser mula-mula pada temperatur 83°C dan keluar berupa tetesan etanol pada temperatur 30°C. dan dari software refrop dapat diketahui nilai entalpi h sehingga dapat dicari nilai Q.

$$= h$$

$$= +$$

$$\begin{aligned}
 &= h_1 - h_2 + h_3 - h_4 \\
 &= (2640,5 - 2659,5) + (125,73 - 328,72) \\
 &= (2640,5 - 2659,5) + (125,73 - 328,72) \\
 &= (-19) + (-202,99)
 \end{aligned}$$

= -222      ∴ nilai (-) menandakan adanya kalor yang terserap oleh air pendingin

Telah diketahui laju destilasi CIU untuk setiap beban memiliki nilai yang berbeda maka  $Q_{\text{etanol}}$  hilang sebesar  $Q_{\text{etanol}}$  dapat ditabulasikan:

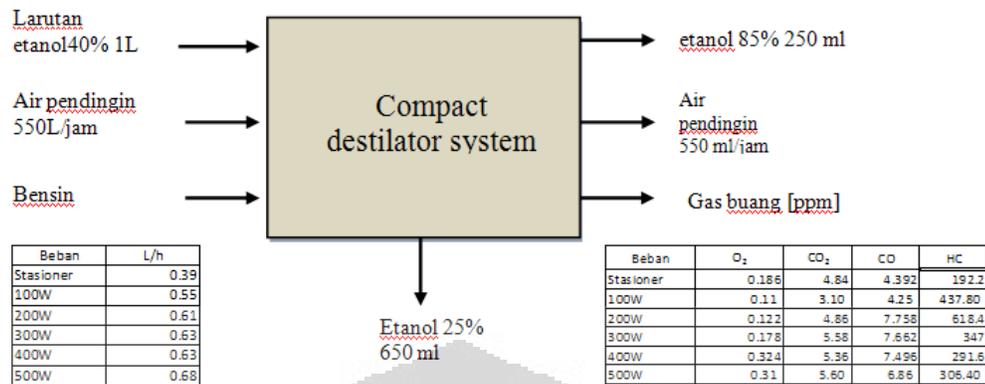


Untuk destilasi alcohol teknik 40% dapat juga dicari nilai laju  $Q$  yang hilang

:

Beban	m [L/h]	m [kg/s]	Q [J/s]
Stasioner	0.39	0.000085	-18.83
100 W	0.55	0.000121	-26.95
200 W	0.61	0.000134	-29.69
300 W	0.63	0.000138	-30.73
400 W	0.63	0.000138	-30.73
500 W	0.68	0.000149	-33.05

Dari table  $Q$  diatas terlihat nilai kalor yang dilapaskan saat destilasi minuman tradisional Ciu lebih besar dari proses kondensasi alcohol teknik 40%.



Larutan etanol 40% sebanyak 1L diumpankan untuk didestilasi dengan memanfaatkan panas gas buang dari motor bakar bensin dengan laju konsumsi bahan bakar yang bervariasi sesuai dengan beban yang diterima. Proses pendinginan untuk kondensasi menggunakan air dengan laju aliran 550L/h. Output dari motor bakar beserta compact destilator ini menghasilkan etanol 250 ml dengan kemurnian yang lebih tinggi sebesar 85%, sedangkan gas buang yang dihasilkan sesuai dengan stoikiometri kimiawi dengan variasi yang berbeda sesuai laju konsumsi karena beban yang diterima.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada motor generator set 4 langkah berbahan bakar campuran *bioethanol*-bensin dengan mengoptimalkan gas buang sebagai sumber energi untuk pemanas distilator, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Tidak ada pengaruh laju konsumsi bahan bakar bensin dengan variasi bahan ditilasi alkohol 40% dan minuman fermentasi tradisional Ciu, perbedaannya relatif kecil (0,02 L/H).
2. Pada temperatur evaporasi 90°C menghasilkan laju destilasi dan kadar yang lebih baik pada setiap beban. Yaitu sebesar 0,85 L/h dan 83% untuk minuman fermentasi tradisional Ciu. Sedangkan untuk alkohol teknik 40% laju destilasi sebesar 0,66 L/h dan konsentrasi produk distilasi sebesar 84%.
3. Pemanfaatan *bioethanol* dengan kadar rendah (*low grade ethanol*) dapat digunakan sebagai bahan bakar karena laju distilasi yang dihasilkan dapat mencapai laju konsumsi bahan bakar pada berbagai variasi beban (stasioner, 100, 200, 300, 400, 500)Watt.
4. Pemasangan data akuisisi yang dapat memonitor secara kontinu saat pengambilan data pengukuran menghasilkan data yang didapatkan lebih baik hasilnya.

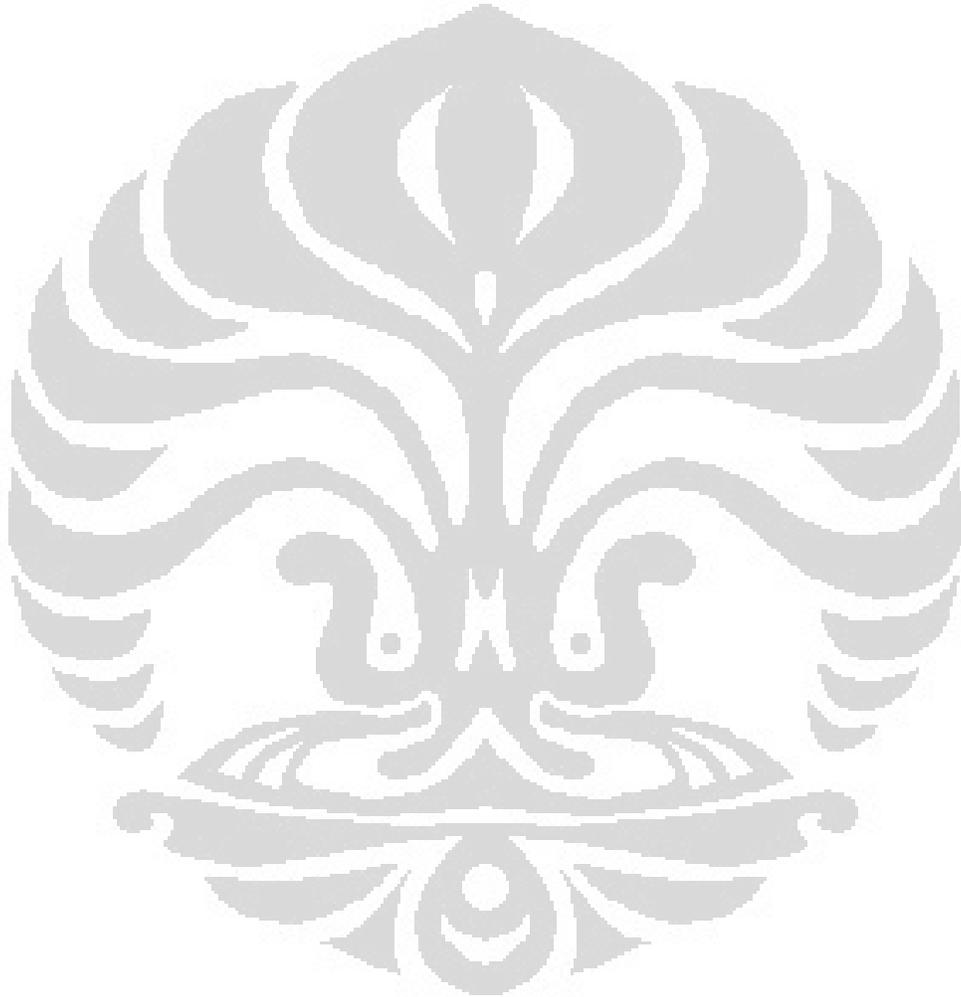
#### **5.2 SARAN**

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian mengenai PENGARUH VARIASI BEBAN PADA EVAPORATOR 90°C TERHADAP LAJU DISTILASI ETHANOL LOW GRADE PADA “COMPACT DISTILATOR”, maka dapat ditarik beberapa saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan analisa lebih dalam mengenai properties bahan bakar yang akan diujikan, bila perlu melibatkan ahli kimia untuk membantu

mengetahui lebih spesifik lagi perubahan yang terjadi terhadap bahan bakar uji setelah dilakukan distilasi maupun konsentrasi bahan bakar campuran.

2. Perlu dilakukan modifikasi alat distilator yang lebih compact dan ringkas dengan acuan hasil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.



## 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.
- Rusdi Umar. (2010). *Uji Karakteristik Low Grade Bioethanol Dengan Mini Destilator Portable Untuk Penggunaan Pada Motor Pembakaran Dalam*. Skripsi: DTM FTUI.
- Andrinaldi, (2010). *Rancang bangun compact destilator low grade ethanol dengan memanfaatkan gas buang motor bakar*. Skripsi: DTM FTUI.
- Panji Restu Fauzi, (2010). *Unjuk Kerja Low Grade Ethanol Dari Pemanfaatan Gas Buang Motor Bakar Statis Sebagai Sumber Energi Compact Distillatory*. Skripsi: DTM FTUI.
- Jarot Prakoso, (2010). *Analisa Kinerja Motor Otto Dengan Pemanfaatan Gas Buang Sebagai Sumber Pemanas "Compact Distillator"*. Skripsi: DTM FTUI.

**LAMPIRAN**