



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**UNJUK KERJA *COMPACT DISTILLATOR LOW GRADE ETHANOL*  
DENGAN MENGONTROL TEMPERATUR PANAS GAS BUANG  
MOTOR BAKAR DINAMIS**

**SKRIPSI**

**EKO BUDHI RAHARJO**

**0906604741**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**UNJUK KERJA *COMPACT DISTILLATOR LOW GRADE ETHANOL*  
DENGAN MENGONTROL TEMPERATUR PANAS GAS BUANG  
MOTOR BAKAR DINAMIS**

**SKRIPSI**

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

**EKO BUDHI RAHARJO**

**0906604741**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JULI 2012**

**Universitas Indonesia**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Eko Budhi Raharjo

NPM : 0906604741

Tanda Tangan :



Tanggal : 5 Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Eko Budhi Raharjo  
NPM : 0906604741  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : unjuk kerja *compact distilator low grade ethanol* dengan mengontrol temperatur panas gas buang motor bakar dinamis

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 : Dr.Ir. Adi Suryosatyo, M Eng.

Penguji : Dr. Agus Pamitran, ST., M Eng.

Penguji : Ridho Irwansyah, ST., MT

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 5 Juli 2012

## 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 “unjuk kerja *compact distilator low grade ethanol* dengan mengontrol temperatur panas gas buang motor bakar dinamis ”

Penulis menyadari, selesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan saran dari berbagai pihak, baik langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu sebagai ungkapan rasa syukur penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan pemikirannya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Tim penguji skripsi, atas koreksi perbaikan dan sarannya.
3. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin FTUI yang telah banyak membantu selama masa perkuliahan.
4. Ibu dan Bapak serta adik – adikku yang telah memberikan dukungan moril maupun materil serta untaian doa yang tak pernah berhenti.
5. Teman – teman mahasiswa PPSE 2009 (Hariyanto, Hariyadi dan carry), atas semangat dan kerjasama kalian, serta teman – teman *kosan sepuh* untuk dukungan dan bantuannya.
6. Sahabat dan teman SMU (Icha, Weli, Kafi, & Rodi), serta Braderz *spidey crew* (Sodiq, Adiet, & Heru) untuk bantuan dan dukungan yang luar biasa serta doanya.
7. Teman – teman *MOR<sup>+</sup>* (k'Rico, Ilham, Anggay, Ipunk, Ari dll) atas saran, dukungan dan bantuannya.
8. Serta semua pihak yang telah membantu namun tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Depok, Juli 2012

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Eko Budhi Raharjo  
NPM : 0906604741  
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

**UNJUK KERJA COMPACT DISTILLATOR LOW GRADE ETHANOL  
DENGAN MENGONTROL TEMPERATUR PANAS GAS BUANG  
MOTOR BAKAR DINAMIS**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/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 : Juli 2012

Yang menyatakan,



(Eko Budhi R)

## Abstrak

Nama : Eko Budhi Raharjo  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Unjuk kerja *compact distillator low grade ethanol* dengan mengontrol temperatur panas gas buang motor bakar dinamis

Konsumsi minyak bumi sebagai bahan bakar semakin tinggi setiap tahunnya. Untuk mencegah krisis dan langkanya sumber energi ini diperlukan energi alternatif baru. Energi terbarukan merupakan pilihan tepat dalam menangani persoalan krisis energi ini. Sayangnya pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia masih sangat minim dan belum diberdayakan secara optimal. Salah satu energi terbarukan adalah bioethanol yang didapat dari tebu, gandum, umbi dan jagung. Bioethanol sangat cocok digunakan sebagai energi alternatif karena bahan baku pembuatannya mudah tumbuh subur di iklim tropis Indonesia. Dalam penelitian ini menggunakan *compact distillator* dengan mengontrol temperatur panas gas buang dari motor bakar dinamis sebagai alat pengolahan ethanol. Tujuan pengujian ini untuk menghasilkan produk ethanol dari kadar rendah sampai menjadi kadar yang sempurna untuk dipakai sebagai bahan bakar yaitu ethanol dengan kadar diatas 85%. Dari hasil penelitian ini diharapkan *compact distillator* mampu meningkatkan destilasi *low grade ethanol* secara maksimal sehingga mampu memenuhi kebutuhan konsumsi bahan bakar Sepeda Motor Suzuki thunder 125 cc.

Kata kunci:

Bioethanol, *Low grade Ethanol*, distilasi, *compact distillator*, laju konsumsi bahan bakar.

## Abstract

Name : Eko Budhi Raharjo  
Study Program : Mechanical Engineering  
Title : *Performance of compact distillator low grade ethanol with controlling thermal gases exhaust temperature at dynamic internal combustion engine.*

*Consumption of petroleum as fuel higher each year. To prevent crisis and the scarcity of energy sources is a new alternative energy necessary. The new energy is the right choice of dealing with this energy crisis. Unfortunately, the use of renewable energy in indonesia is still very minimal and not in an optimal empower. Renewable energy is one of bioethanol derived from sugar cane, wheat, maize and corn. Bioetanol is suitable as an alternative energy for the manufacturing of raw material are easy to grow abundantly in tropical indonesia. In this riset using compact distillation by controlling the temperature of the exhaust heat from the motor as a dynamic fuel ethanol processing. Purpose of this riset to produce ethanol from low levels to a level that is perfect for use as fuel in the ethanol to levels to a level that is perfect for use as fuel in the ethanol to levels above 85 %. Of the results of this study is expected to increase distillate compact low grade ethanol to the maximum so as to meet the needs of motorcycle fuel consumption suzuki thunder 125 cc*

*Key words: bioethanol, low grade ethanol, distillation, compact distillator, the rate of fuel consumption*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....	iii
PENGESAHAN .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH .....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH .....	2
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 BATASAN PENELITIAN.....	3
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	3
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>6</b>
2.1 MOTOR OTTO.....	6
2.1.1. Klasifikasi Engine Motor Otto .....	6
2.1.2. Prinsip Kerja Motor Otto.....	8
2.2 PENGERTIAN BIOETHANOL.....	10
2.2.1. Pembuatan Ethanol Secara fermentasi .....	12
2.2.2. Destilasi Bioethanol.....	14
2.3 BIOETHANOL SEBAGAI BAHAN BAKAR .....	17
2.3.1. Penggunaan Bioethanol Pada Kendaraan.....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>21</b>
3.1 FLOW CHART.....	21
3.2 INSTALASI COMPACT DESTILATOR PADA KENDARAAN.....	22
3.3 PERALATAN UJI.....	24
3.4 SKEMATIK PERALATAN UJI .....	29

3.5	PROSEDUR da STANDART PENGUJIAN.....	30
3.5.1	Persiapan Dan Pengaturan Alat.....	30
3.5.2	Persiapan Bahan Bakar.....	31
3.5.3	Persiapan Bahan Destilasi.....	31
3.5.4	Persiapan Mesin dan Alat Ukur.....	31
3.5.5	Persiapan <i>Thermo MeterControl</i> .....	32
3.5.6	Persiapan Distilator.....	32
3.5.7	Pengambilan Data.....	32
3.6	PETUNJUK K3L.....	34
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DATA PENELITIAN DAN PENGOLAHAN DATA.....</b>	<b>37</b>
4.1	HASIL PENGUJIAN.....	37
4.1.1	Laju Perubahan Volume Bahan Bakar Terhadap Laju Destilasi Pada Putaran 1800 Rpm dan Putaran 4500 Rpm.....	39
4.1.2	Perbedaan Kadar Hasil Destilasi.....	40
4.2	PENGUJIAN DENGAN THERMOMETER.....	42
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>46</b>
5.1	KESIMPULAN.....	46
5.2	SARAN.....	47
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>48</b>

## DAFTAR TABEL

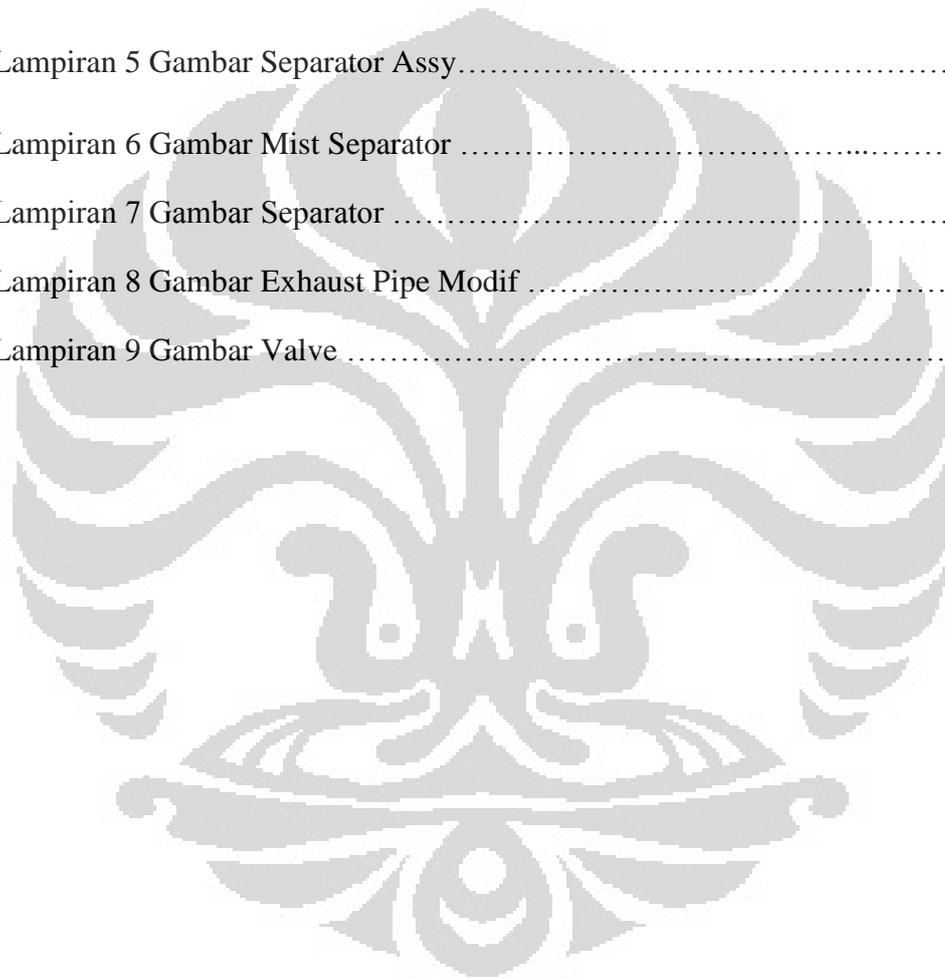
Tabel 2.1 Konversi Biomassa Menjadi Bioethanol .....	13
Tabel 3.1 Spesifikasi Bahan Bakar Premium.....	24
Tabel 3.2 Spesifikasi Bahan Bakar Ethanol.....	24
Tabel 3.3 Spesifikasi Bahan Pengotor Ethanol.....	25
Tabel 3.4 Spesifikasi Sepeda Motor Thunder 125cc .....	25
Tabel 3.5 Spesifikasi Pulse Engine Tachometer .....	26
Tabel 3.6 Spesifikasi <i>Thermometer</i> .....	26
Tabel 3.7 Spesifikasi Gelas Ukur.....	27
Tabel 3.8 Spesifikasi Pipet Tetes .....	27
Tabel 3.9 Spesifikasi Alkohol Meter .....	27
Tabel 3.10 Spesifikasi <i>Stop Watch</i> .....	28
Tabel 3.11 Spesifikasi Timbangan digital.....	28
Tabel 4. 1 Daftar bobot jenis dan kadar ethanol farmakope Indonesia.....	41

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagan Klasifikasi Engine .....	7
Gambar 2.2 Urutan siklus kerja motor bakar 4 langkah .....	8
Gambar 2.3 Diagram P-V dan T-S ideal motor Otto empat langkah.....	9
Gambar 2.4 Diagram Alir Fermentasi Ethanol dan berbagai bahan baku .....	14
Gambar 2.5 Proses destilasi sederhana .....	15
Gambar 3.1 Flow Chart.....	21
Gambar 3.2 Skema pengujian Dengan Compact Distilator .....	29
Gambar 3.3 Proses Pencampuran Ethanol dengan Pengotor .....	31
Gambar 3.4 Mengecek Kondisi Mesin .....	32
Gambar 3.5 Infrared Thermometer Digital .....	33
Gambar 3.6 Ear Plug Safety.....	34
Gambar 4.1 Diagram Laju Volume Bahan Bakar dengan Variasi Rpm terhadap Satuan Waktu .....	37
Gambar 4.2 Grafik Laju volume destilasi dengan variasi Rpm tanpa pengontrolan temperatur .....	38
Gambar 4.3 Diagram Laju Volume Destilasi Pada Putaran Rpm Rendah Dengan Kebocoran Terjadi Pada <i>Compact Distillator</i> .....	39
Gambar 4.4 Perbandingan Konsentrasi Alkohol Pada Beberapa Putaran.....	41
Gambar 4.5 Pengukuran Temperatur pada <i>Compact distillator</i> .....	43
Gambar 4.6 Diagram Laju Volume Destilasi Pada Putaran 1800 rpm .....	44
Gambar 4.7 Diagram Laju Volume Destilasi Pada Putaran 4500 rpm .....	45

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik konsentrasi gas buang berdasar AFR .....	50
Lampiran 2 Kesetimbangan Uap-Cair campuran etanol dengan air .....	51
Lampiran 3 Properties of fuel .....	52
Lampiran 4 Gambar evaporator 2D .....	53
Lampiran 5 Gambar Separator Assy.....	54
Lampiran 6 Gambar Mist Separator .....	55
Lampiran 7 Gambar Separator .....	56
Lampiran 8 Gambar Exhaust Pipe Modif .....	57
Lampiran 9 Gambar Valve .....	58



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Meningkatnya populasi penduduk Indonesia saat ini berdampak pula terhadap tingginya konsumsi bahan bakar minyak (BBM). Ketergantungan penduduk terhadap energi fosil menyebabkan cadangan minyak bumi semakin menipis dan terjadi ketidak stabilan harga akibat laju permintaan yang lebih besar dari produksi minyak bumi. Untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri maka pemerintah perlu mengimport minyak baik dalam bentuk minyak mentah maupun produk hasil pengolahan minyak bumi seperti minyak solar atau ADO (Automotive Diesel Oil), premium atau bensin, atau FO (Fuel Oil), dan minyak tanah.

Penggunaan dari energi fosil minyak bumi yang tak terbarukan, diperkirakan jika digunakan terus menerus dan tidak dikurangi pemakaiannya cadangan minyak bumi dapat habis. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu mengembangkan energi alternatif dan terbarukan yang ramah lingkungan. Energi terbarukan tersebut adalah energi non fosil yang berasal dari alam, pemanfaatan dapat terus menerus dan tidak akan habis untuk waktu yang lama. Energi terbarukan dibedakan menjadi tiga kategori yaitu pertama adalah energi yang sudah dikembangkan secara komersial, seperti biomassa, panas bumi dan tenaga air. Yang kedua, energi yang sudah dikembangkan tetapi masih secara terbatas, yaitu energi surya dan energi angin, dan yang terakhir, energi yang sudah dikembangkan, tetapi baru sampai pada tahap penelitian, misalnya energi pasang surut. Salah satu sumber energi alternatif adalah energi biomassa yang berasal dari bahan organik dan sangat beragam jenisnya. Sumber energi biomassa dapat berasal dari tanaman perkebunan atau pertanian, hutan, peternakan atau bahkan sampah. Energi dari biomassa dapat digunakan untuk menghasilkan panas, membuat bahan bakar dan membangkitkan listrik. Teknologi pemanfaatan energi biomassa yang telah dikembangkan terdiri dari pembakaran langsung dan konversi biomassa menjadi bahan bakar. Hasil konversi biomassa ini dapat berupa gas biomassa, bioetanol, biodiesel dan bahan bakar cair (Sudaryanto, 2007).

Bioethanol merupakan energi alternatif bahan bakar yang tidak mencemari lingkungan, karena bebas dari emisi polutan bahan tercemar. Selain bioethanol dikenal pula gasohol, yang merupakan campuran bioethanol dengan premium. Gasohol BE-10 misalnya, mengandung bioethanol 10% sisanya dengan premium. Keuntungan lain dari bioethanol adalah nilai oktannya lebih tinggi dari bensin sehingga dapat menggantikan fungsi bahan aditif, seperti metil tertiary butyl ether dan tetra ethil lead. Kedua aditif tersebut telah dipilih menggantikan timbal pada bensin. Bioethanol dapat langsung dicampur dengan bensin pada berbagai komposisi sehingga untuk meningkatkan efisiensi dan emisi gas buang dapat lebih ramah lingkungan. ( BPPT, 2007 )

Saat ini pemanfaatan bioethanol sebagai bahan bakar alternatif di Indonesia relatif masih minim, umumnya ethanol hanya digunakan sebagai salah satu bahan baku pada sektor industri farmasi, kesehatan, minuman serta kebutuhan akademis. Ethanol yang digunakan untuk bahan bakar dapat digunakan sebagai bahan bakar murni (E100) atau dicampur dengan bensin dalam kuantitas yang bervariasi.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Dalam penelitian sebelumnya mengenai unjuk kerja motor pembakaran dalam dinamis dengan memanfaatkan panas gas buang pembakaran, masih perlu penyempurnaan dan pengembangan compact distilasi agar proses distilasi bioethanol lebih baik. Untuk itu penelitian ini akan membahas mengenai unjuk kerja compact destilator dengan mengontrol temperatur panas gas buangnya. Penelitian ini menyempurnakan penelitian yang lalu dengan mengontrol pemanfaatan 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 putaran *engine* yang diberikan.

### 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan sebagai studi lanjutan pemanfaatan panas gas buang motor pembakaran dalam dinamis menggunakan bahan bakar bensin. Perubahan distilator dengan mengontrol panas gas buang pada proses distilasi bioethanol untuk meningkatkan konsentrasi bioethanol dari *Low Grade Bioethanol* menjadi *High Grade Bioethanol* pada alat *Compact Distillator*.

### 1.4 BATASAN PENELITIAN

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

1. Motor bakar dinamis yang akan digunakan adalah Motor Suzuki Thunder 4 langkah 125 cc produksi tahun 2007 dengan kondisi mesin 80% .
2. Alat evaporator sama dengan penelitian sebelumnya tetapi dengan membuat *by pass* atau cabang dan menambahkan alat control seperti *valve in-out* untuk mengatur panas gas buang kendaraan pada proses destilasi bioethanol.
3. Etanol yang digunakan adalah jenis *low grade ethanol* dengan kadar 30% baik berupa produk minuman keras, produk farmasi maupun produk teknik destilat yang ada dipasaran.
4. Jika etanol yang ada berkadar tinggi maka diberi pengotor air distilasi (aquadest).
5. Putaran *engine* dijaga konstan pada putaran 1800 rpm dan putaran 4000 rpm.
6. Variasi pembebanan pada posisi tanpa road test (posisi motor distandar).

### 1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, metode untuk mengumpulkan sumber data dan informasi adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur, metode yang digunakan melalui referensi penelitian sebelumnya, selain itu juga dengan tinjauan kepustakaan berupa buku-buku yang ada di perpustakaan, jurnal-jurnal tertulis maupun *online*, serta referensi artikel yang terdapat di internet.

2. Melakukan persiapan dan pengujian alat *compact destilator* dengan motor pembakaran dalam.
3. Melakukan pengambilan data *compact destilator* ini pada motor bakar dinamik.
4. Melakukan analisa dan membuat kesimpulan serta saran.

## 1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Skripsi ini disusun menjadi 5 bagian pokok, yaitu:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan 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**

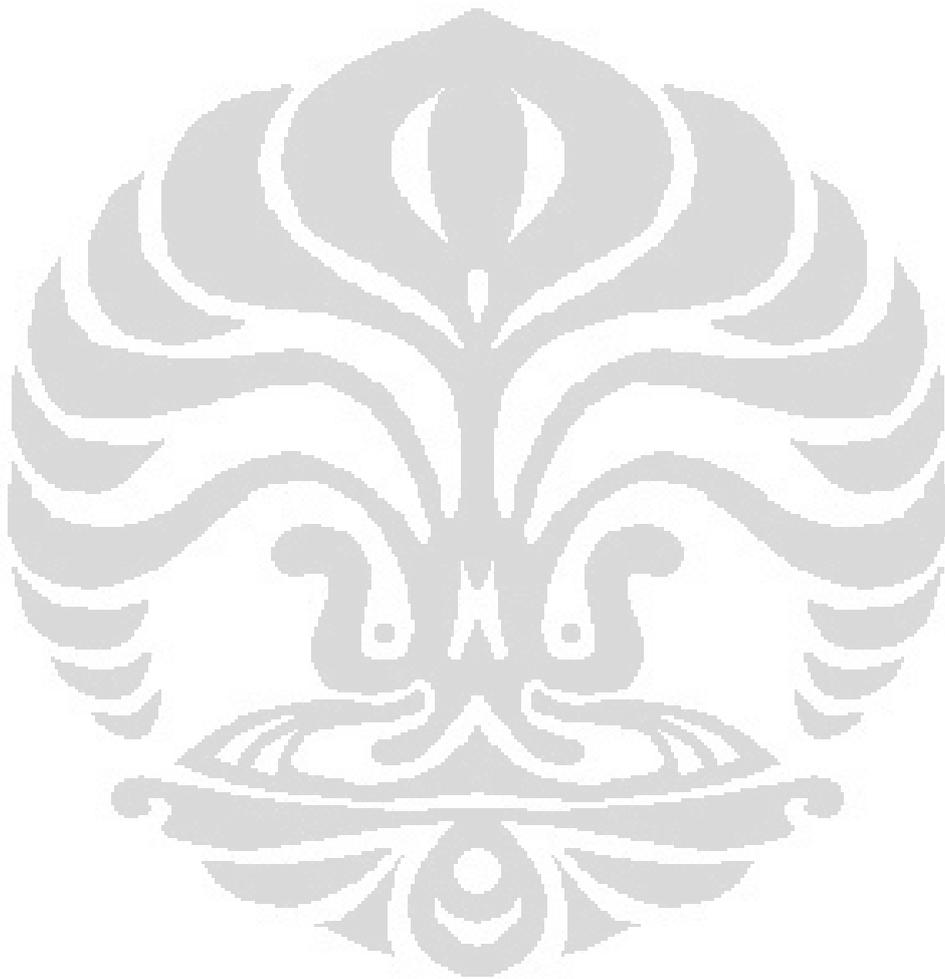
Bagian ini memaparkan urutan proses instalasi alat uji, persiapan pengujian, tahapan pengujian, serta prosedur pengambilan data.

- **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 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

#### 2.1 MOTOR PEMBAKARAN DALAM

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 (*piston*), batang torak (*connecting rod*) dan poros engkol (*crank shaft*).

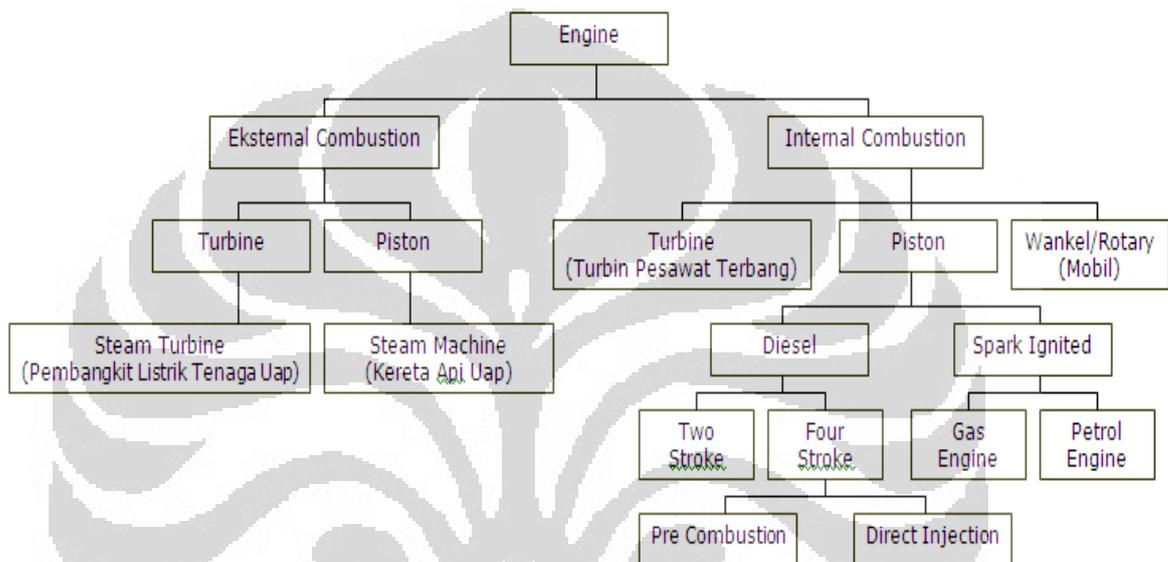
Berdasarkan proses kerjanya motor Otto dan Diesel termasuk dalam motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Motor Otto menggunakan bensin sebagai bahan bakar, dan proses penyalaan campuran bahan bakar-udara pada proses pembakaran menggunakan busi (*spark plug*) sedangkan motor Diesel bahan bakar menggunakan solar dan penyalaannya dengan kompresi yang tinggi dimana bahan bakar solar akan terbakar saat diinjeksikan di ruang bakar. Dalam proses pembakaran tersebut, bagian-bagian mesin seperti torak (*piston*), batang torak (*connecting rod*) dan poros engkol (*crank shaft*) 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. Peralatan uji yang digunakan adalah motor *Otto* berbahan bakar bensin Premium dengan kerja 4 langkah (dikenal dengan empat tak). 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 Klasifikasi Engine (Mesin Otto)

Saat ini sudah banyak *engine* yang dirancang dan dibuat oleh manusia untuk mempermudah dan membantu mengerjakan berbagai macam jenis pekerjaan. Secara umum penggolongan berbagai jenis *engine* dapat dilihat pada bagan berikut ini:



Gambar 2.1 Bagan Klasifikasi Engine

Dari bagan tersebut *engine* dibagi berdasarkan tempat terjadinya proses pembakaran dan tempat perubahan energi panas menjadi energi gerak. Apabila proses pembakaran terjadi dalam ruang bakar yang sama maka *engine* tersebut dikategorikan sebagai *engine* dengan jenis *internal combustion*. Sedangkan apabila ruang tersebut terpisah maka *engine* tersebut dikategorikan sebagai *engine eksternal combustion*.

*Eksternal combustion engine* dibagi menjadi dua golongan, yaitu: *turbine* dan *piston*. Pada *engine* jenis *internal combustion* penggolongan *engine* terdiri dari: *engine piston*, *turbine* dan *wenkel* atau *rotary*. Berdasarkan perlu tidaknya percikan bunga api untuk proses pembakaran maka *engine piston* dibagi menjadi dua jenis, yaitu: *engine diesel* dan *engine spark ignited*. Berdasarkan langkah yang diperlukan untuk mendapat satu langkah *power* maka *diesel engine* dibagi

menjadi *engine diesel* dua langkah (*two stroke*) dan empat langkah (*four stroke*). Selanjutnya *engine diesel* empat langkah dibagi lagi berdasarkan cara pemasukan bahan bakar ke dalam ruang bakar yaitu: *engine* dengan system *pre-combustion chamber* dan *direct injection*. Pada *spark ignited engine* penggolongan didasarkan pada jenis bahan bakar yang digunakan, yaitu: *engine* berbahan bakar gas dan bensin.

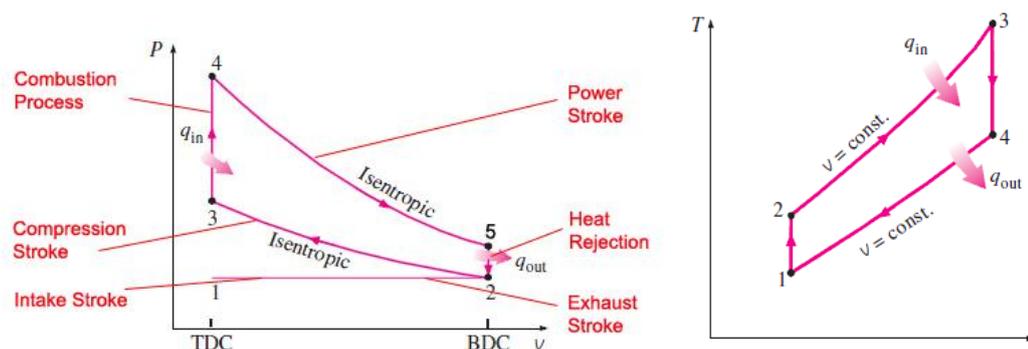
### 2.1.2 Prinsip Kerja Motor Otto

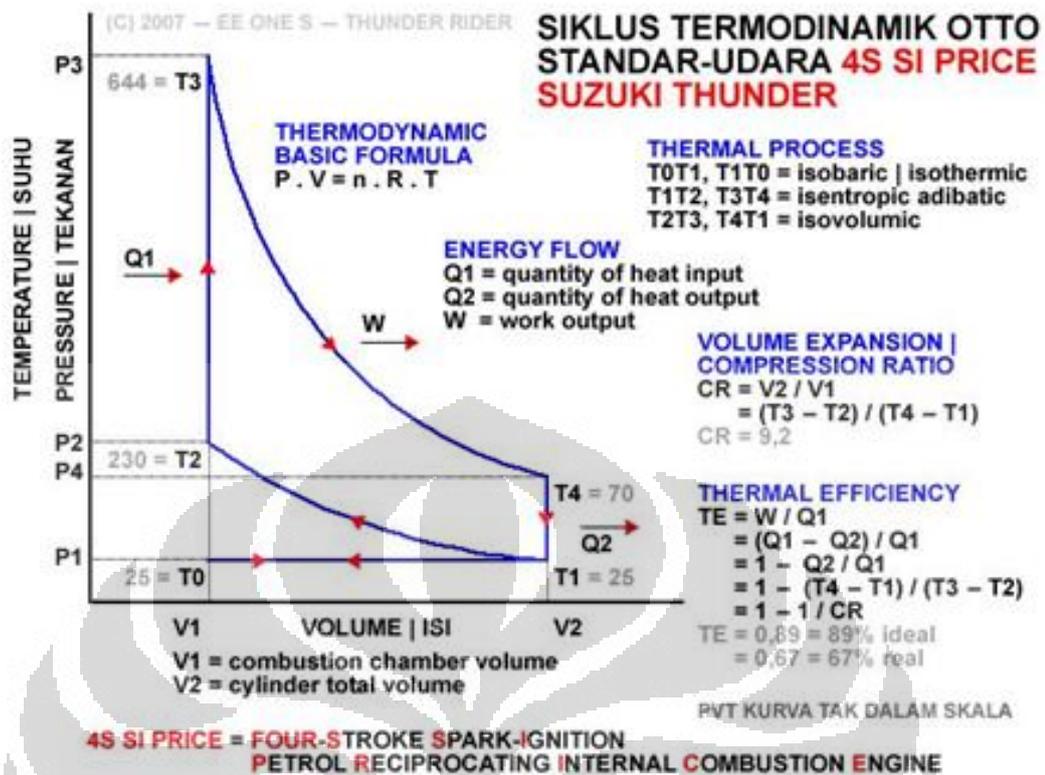
Pada mesin 4 langkah, torak bergerak bolak-balik dalam silinder dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB) sebanyak 4 kali atau 2 putaran engkol untuk memenuhi 1 siklus kerja. Jarak yang ditempuh torak selama gerakan bolak-balik disebut dengan *stroke* atau langkah torak. Langkah-langkah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



Gambar 2.2 Urutan siklus kerja motor bakar 4 langkah

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





Gambar 2.3 Diagram P-V dan T-S ideal motor Otto empat langkah

Langkah-langkah pada mesin Otto 4 langkah dapat dilihat pada gambar 2.2. 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. Campuran bahan bakar dan udara diinjeksikan keruang bakar melalui katup masuk karena adanya daya isap dari piston yang bergerak dari TMA ke TMB. Langkah isap berakhir ketika torak telah mencapai TMB.

2. Langkah kompresi (*compression*)

langkah kompresi torak bergerak kembali dari TMA ke TMB, katup masuk dan katup buang 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*)

Hasil dari proses pembakaran campuran udara-bahan bakar mengakibatkan torak terdorong menjauhi TMA ke TMB. Katup masuk dan katup buang masih dalam keadaan tertutup. Dengan Bergeraknya torak menuju TMB, volume silinder meningkat sehingga temperatur dan tekanan dalam ruang bakar turun.

### 5. Langkah buang (*exhaust*)

Ketika torak telah mencapai TMB katup buang terbuka, katup masuk masih tertutup. Torak terus bergerak kembali menuju TMA sehingga gas hasil pembakaran tertekan keluar dari ruang bakar melalui katup buang.

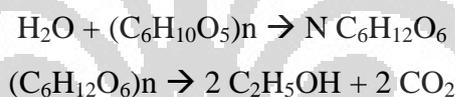
## 2.2 PENGERTIAN BIOETHANOL

Bioethanol ( $C_2H_5OH$ ) disebut juga dengan etil alkohol adalah larutan kimia yang diproduksi dari fermentasi bahan baku tanaman yang mengandung pati seperti ubi kayu, ubi jalar, jagung, dan sagu. Ubi kayu, ubi jalar, dan jagung merupakan tanaman pangan yang banyak ditanam hampir di seluruh wilayah Indonesia, sehingga jenis tanaman tersebut merupakan tanaman yang potensial untuk dikembangkan sebagai sumber bahan baku pembuatan bioethanol atau gasohol.

Secara umum ethanol/bioethanol dapat digunakan sebagai bahan baku industry turunan alkohol, campuran untuk miras, bahan dasar industri farmasi, campuran bahan bakar untuk kendaraan. Mengingat pemanfaatan ethanol/bioethanol beraneka ragam, sehingga grade ethanol yang dimanfaatkan harus berbeda sesuai dengan penggunaannya. Untuk ethanol/bioethanol yang mempunyai *grade* 90-96,5% vol dapat digunakan pada industri, sedangkan ethanol/bioethanol yang mempunyai *grade* 96-99,5% vol dapat digunakan sebagai campuran untuk miras dan bahan dasar industri farmasi. Lain halnya dengan

besarnya *grade* ethanol/bioethanol yang dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar untuk kendaraan kadar alkoholnya mempunyai *grade* sebesar 99,5-100% vol.

Produksi ethanol/bio-ethanol (alkohol) dengan bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat, dilakukan melalui proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air. 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 bioethanol secara sederhana disajikan pada reaksi berikut :



Selain bioethanol 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 bioethanol dari selulosa tidak perlu direkomendasikan. Meskipun teknik produksi bioethanol merupakan teknik yang sudah lama diketahui, namun bioethanol untuk bahan bakar kendaraan memerlukan etanol dengan karakteristik tertentu dan saat ini mengenai proses produksi bioethanol tersebut masih diperlukan penelitian lebih lanjut. Secara singkat teknologi proses produksi bioethanol 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 %. 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  $\frac{1}{2}$  -1 % piridin dan diberi warna memakai 0,0005% metal violet.

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

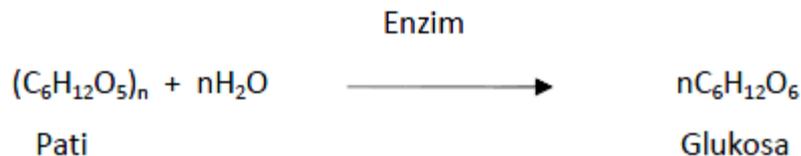
Digunakan terutama untuk kepentingan farmasi dan konsumsi misal untuk minuman keras.

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

Digunakan di dalam pembuatan sejumlah besar obat-obatan dan juga sebagai bahan antara 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.

### 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:

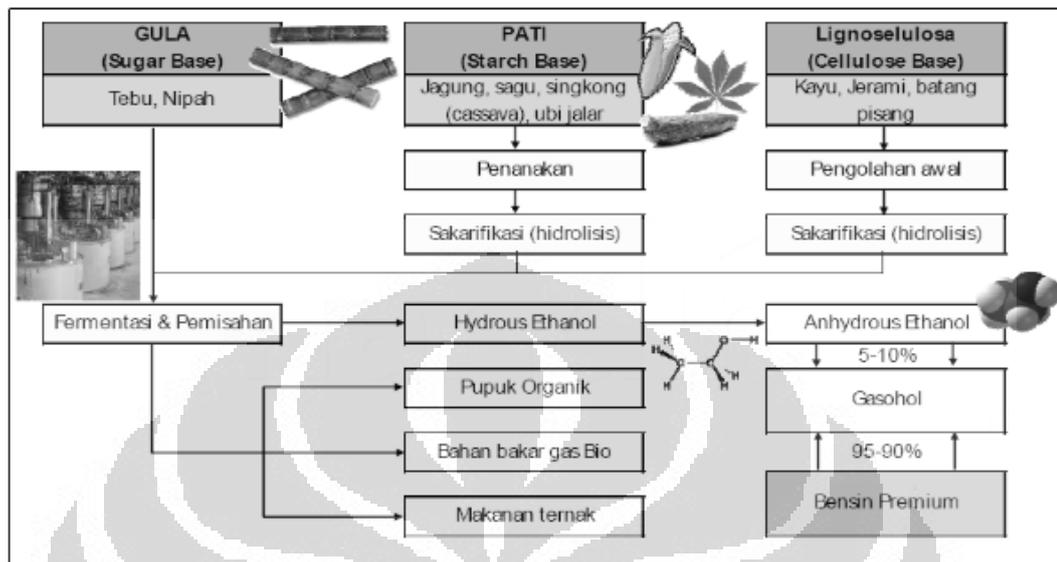
- Bahan bergula (sugary materials) :  
Tebu dan sisa produknya (molase, bagase), gula bit, tapioca, kentang manis, sorghum manis, dan sebagainya.
- Bahan-bahan berpati (starchy materials) :  
Tapioka, maizena, barley, gandum, padi, kentang, jagung dan ubi kayu
- *Bahan-bahan lignoselulosa (lignosellulosic 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.

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. Biaya pengolahan bioetanol dari jagung atau bahan berpati biasanya relatif mahal karena membutuhkan proses dan peralatan tambahan sebelum proses fermentasi.

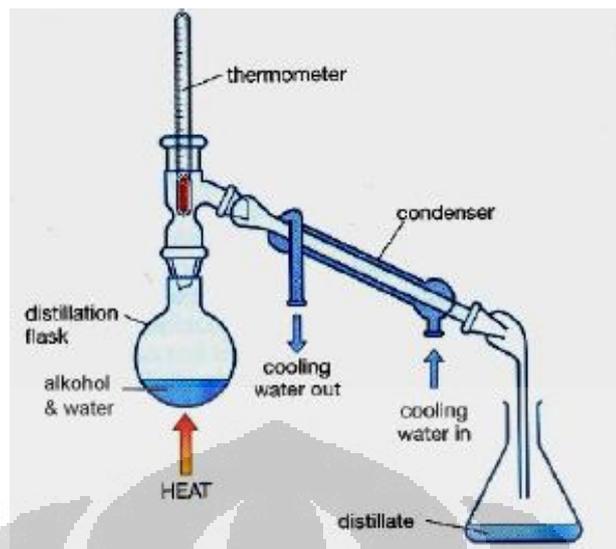


Gambar 2.4 Diagram Alir Fermentasi Ethanol dan Berbagai Bahan Baku

## 2.2.2 Destilasi Bioethanol

Secara sederhana distilasi adalah proses pemisahan bahan cairan berdasarkan perbedaan titik didihnya. Distilasi etanol berarti memisahkan etanol dengan air. Air mendidih pada suhu 100°C. Pada suhu ini air yg berada pada bentuk/fase cair akan berubah menjadi uap/fase gas. Bila terus dipanaskan suhu air tidak akan naik (asal tekanan sama). Air akan terus berubah jadi uap dan lama kelamaan habis. Etanol mendidih pada suhu 79°C. Seperti halnya air, etanol berubah dari cair menjadi uap. Ada perbedaan suhu cukup besar dan ini dijadikan dasar untuk memisahkan etanol dari air.

Jadi prinsip kerja distilasi etanol sebagai berikut pertama cairan alkohol dan air murni dipanaskan sampai suhu titik didih etanol dengan alat evaporasi. Kurang lebih 79°C, tapi biasanya pada suhu 80-81°C. Etanol akan menguap dan melewati Kondenser (*heat exchanger*,) suhu uap etanol diturunkan sampai di bawah titik didihnya. Etanol akan berubah lagi dari fase gas ke fase cair. Selanjutnya etanol yang sudah mencair ditampung di tabung penampungan.



Gambar 2.5 Proses destilat sederhana

Kalau kita perhatikan, termometer akan bergerak ke suhu kesetimbangan air-etanol, sekitar 80°C. Jarum termometer akan tetap pada suhu ini sampai kadar etanolnya berkurang. Jarum termometer akan bergerak naik, ini menunjukkan kalau kadar etanolnya mulai berkurang. Dalam proses ini pengaturan suhu adalah bagian paling penting. Kalau kita bisa mempertahankan suhu pada titik didih etanol, kadar etanol yang diperoleh akan semakin tinggi. Meskipun kita sudah mempertahankan suhu sebaik mungkin. Uap air akan selalu terbawa, ada sedikit air yang ikut menguap. Ini yang menyebabkan distilasi tidak bisa menghilangkan semua air. Kadar maksimal yang bisa diperoleh sekitar 95%. Ini dikerjakan oleh tenaga yang sudah trampil. Kalau operatornya belum berpengalaman bisa lebih rendah dari itu. Sisa air yang 5% bisa dihilangkan dengan proses dehidrasi.

Meskipun tampaknya prinsip distilasi etanol tampak sederhana, pada prakteknya tidaklah mudah. Apalagi dalam skala yang besar. Mendesain distilator merupakan tantangan tersendiri. Saat ini banyak desain distilator di pasaran. Distilator yang baik adalah distilator yang bisa menghasilkan etanol dengan tingkat kemurnian tinggi. Selain itu lebih efisien dalam penggunaan energi.

### ❖ **Evaporator**

Evaporator adalah alat penukar kalor yang digunakan untuk menguapkan dua jenis fluida cair yang berbeda seperti alkohol dengan air murni. Dalam proses destilasi, evaporator memiliki peranan penting dalam memisahkan dua fluida cair yang berbeda titik didihnya. Fluida dengan titik didih lebih rendah akan menguap lebih awal dan uap tersebut kemudian disalurkan ke kondenser. Dalam kondenser ini suhu panas uap diturunkan temperaturnya hingga fluida berubah kembali menjadi fase cair. Fase cair yang terbentuk akan memiliki konsentrasi lebih tinggi karena air murni dengan titik didih lebih tinggi belum menguap. Apabila air murni ikut menguap maka konsentrasi fluida alkohol menjadi rendah.

### ❖ **Separator**

Separator merupakan alat untuk memisahkan fluida yang tidak saling larut karena perbedaan densitasnya. Pada umumnya dalam destilasi separator bukanlah komponen utama, namun dapat ditambahkan dalam proses destilasi guna mendapatkan kadar pemurnian yang lebih baik. Dalam penelitian ini destilasi yang dipakai adalah dengan metode gravitasi / laju aliran vertical.

Dalam keadaan murni air memiliki titik didih  $100^{\circ}\text{C}$ , sedangkan etanol  $78,4^{\circ}\text{C}$ . ketika campuran air dan etanol dididihkan, maka etanol akan menguap lebih dahulu dari pada air. Etanol yang telah menjadi uap akan melewati separator, air yang densitasnya lebih tinggi ( $1\text{ kg/L}$ ) dibandingkan dengan etanol ( $0,785\text{ kg/L}$ ) akan berada dibawah. Jaring - jaring yang terpasang pada separator akan menghambat partikel air lewat. Sehingga nantinya kadar etanol hasil destilasi menjadi lebih tinggi.

### ❖ **Kondenser**

Kondenser memiliki fungsi seperti alat penukar panas (*heat exchanger*), yaitu untuk memindahkan panas etanol dengan fase uap sehingga fase etanol menjadi fase cair kembali.

## 2.3 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*).

Selain ethanol, methanol juga tercatat digunakan sebagai bahan bakar alkohol 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.

### 2.3.1 Penggunaan Bioethanol Pada Kendaraan

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 kemungkinan 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,

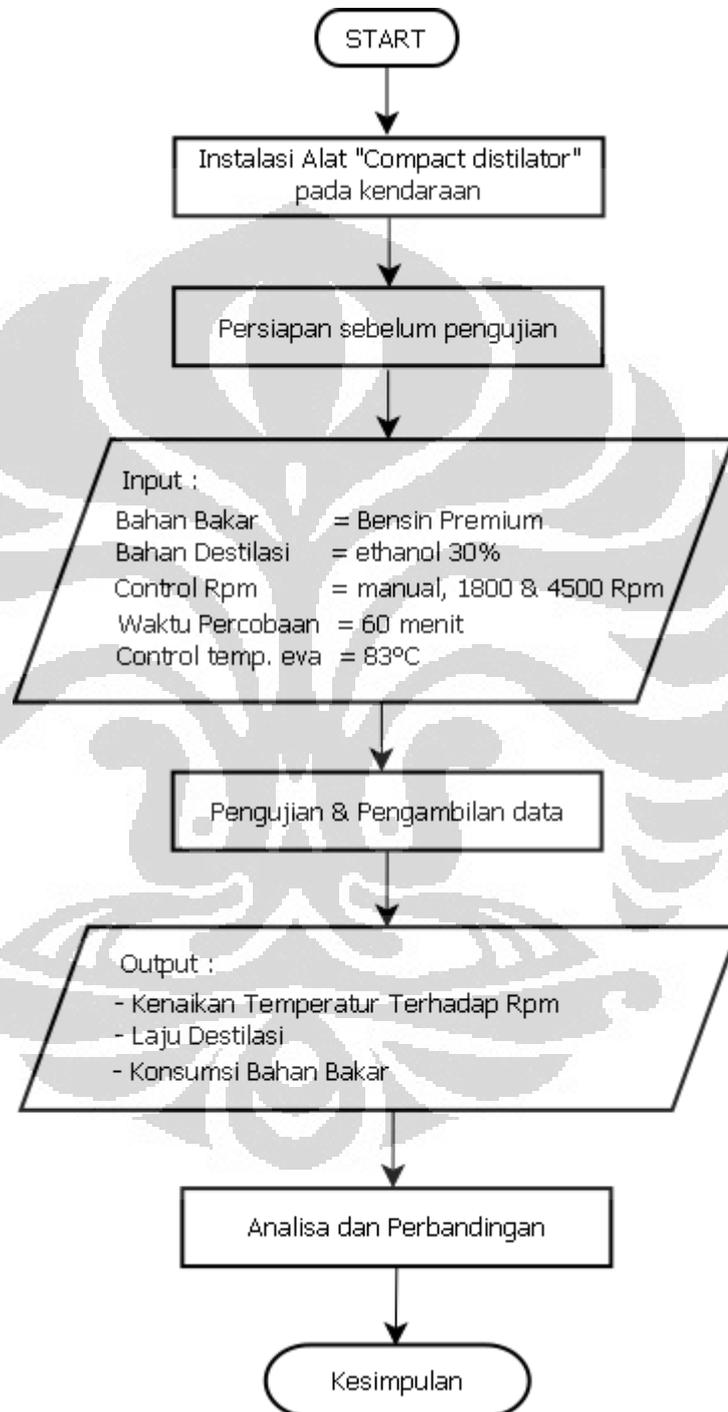
TEL adalah salah satu zat aditif yang digunakan untuk meningkatkan angka oktan bensin dan zat ini telah dilarang di berbagai negara di dunia karena sifat racunnya. Keberadaan sulfur juga menjadi perhatian di USA dan Eropa karena dampak yang ditimbulkannya bagi kesehatan.

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.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Flow Chart



Gambar 3.1 Flow Chart

### 3.2 INSTALASI COMPACT DESTILATOR PADA KENDARAAN

Sebelum melakukan percobaan maka perlu dilakukan pemasangan alat compact distilator dan pengecekan terhadap kondisi mesin, apakah mesin dapat berfungsi dengan baik atau terdapat masalah di dalamnya. Hal yang dilakukan adalah *warming up*, yaitu menyalakan mesin terlebih dahulu sebelum percobaan. Hal ini penting karena jikalau saat mesin bermasalah atau bahkan sampai mati pada saat pengambilan data, maka akan mengganggu data yang diperoleh terutama data yang menggunakan waktu sebagai acuan.

Begitupula dengan distilator, perlu di cek antar bagian evaporator, separator dan kondenser terutama pada alat penghubungnya. Pastikan selang yang menghubungkan antara evaporator dan separator terpasang kencang dan tidak terdapat kebocoran. Dalam pengujian ini tentunya menemui berbagai kendala yang dikarenakan keterbatasan beberapa faktor penunjang sehingga mempengaruhi keakuratan hasil penelitian yang diantaranya :

1. Kondisi sepeda motor dan alat-alat ukur yang digunakan.
2. Ketidaktepatan hasil dari alat-alat yang masih bersifat manual.
3. Keterbatasan waktu pengujian dan biaya pengujian.

#### Gambar dan Evaluasi Desain

Setelah dilakukan analisa terhadap dimensi yang tersedia di motor uji dan diidentifikasi model *compact distilator* yang paling sederhana maka didapatkan dimensi maksimal dari alat *compact distilator* yang disesuaikan dengan dimensi yang ada. Dimana didapatkan dimensi maksimal dari komponen-komponen *compact distilator* yaitu:

Spesifikasi Evaporator :

- Dimensi tabung dalam : Ø 88,9 mm
- Dimensi tabung luar : Ø 90,2 mm
- Jumlah pipa Ø 14 mm : 2 buah
- Jumlah shock lurus 1/4" : 1 buah
- Jumlah L-Bow 1/2" : 1 buah
- Kapasitas kolom : 1.4 liter
- Material utama : Stainless Steel 316L

Spesifikasi kolom destilasi (Separator) :

- Dimensi tabung dalam : Ø 109 mm
- Tinggi : 200 mm
- Jumlah join : 2 buah
- Plat *Perforate* #3 SS316
- Material utama : *Stainless Steel*
- Dimensi tabung luar : Ø 110 mm

Spesifikasi Heat Exchanger (Kondensor):

- Lebar : 140 mm
- Tinggi : 180 mm
- Jumlah join : 2 buah
- Material Fin : Aluminium
- Material tube : Aluminium

### **Pembuatan, Penggunaan dan Pengujian alat**

Pembuatan dari alat compact distillator yang sudah dirancang dan digambar dilakukan di beberapa workshop yang khusus menangani setiap bagian-bagian dari pembentuk alat compact distillator.

- Untuk pembuatan unit evaporator dan separator dilakukan di Workshop Luxxona (Aluminium, Stainless Steel & Interior Decoration) yang beralamat di Jl. Sumur Batu Raya, Komplek Griya Agung Permai B/18, Kemayoran -Jakarta Pusat. Pemilihan lokasi pembuatan disesuaikan dari material yang dipakai untuk membuat komponen evaporator dan separator yaitu dengan menggunakan bahan stainless steel 304.
- Modifikasi leher knalpot dilakukan di bengkel knalpot.
- Sedangkan untuk Heat Exchanger (kondensor), menggunakan radiator motor bakar dinamik yang ada di pasaran. Dipilih alat tersebut karena bentuk dan ukuran sesuai tidak mengganggu saat diinstalasi pada kendaraan.

Setelah masing-masing komponen sudah selesai diproduksi kemudian dilakukan perakitan di media motor uji, selanjutnya dilakukan pengujian terhadap kebocoran pada setiap sambungan dari alat *compact distillator*. Setelah dilakukan uji alat dari kebocoran kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data sesuai dengan beberapa putaran mesin berbeda.

Hasil dari pengambilan data kemudian dilakukan analisa untuk disesuaikan dengan fungsi dari alat yang dirancang. Pada analisa inilah kemudian akan didapatkan sebuah catatan yang dapat digunakan untuk melakukan optimasi pada alat yang dirancang guna mendapatkan hasil yang diinginkan yaitu mendapatkan kadar ethanol yang bisa digunakan untuk bahan bakar tambahan pada kendaraan yaitu ethanol kadar tinggi diatas 95%

### 3.3. 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 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 Sepeda Motor Suzuki Thunder 125 cc

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

Tabel 3.4. Spesifikasi Sepeda Motor Thunder 125cc

Generator	
Jenis	4 Langkah, berpendingin udara, OHC
Silinder	1 (Tunggal)
Diameter	57.0 mm
Langkah Piston	48.8 mm
Volume Silinder	124 cm <sup>3</sup>
Perbandingan Kompresi	9.2 : 1
Karburator	Tipe Mikuni BS26SS
Saringan Udara	Elemen Busa Polyurethane
Sistem Starter	Listrik
Sistem Pelumasan	Terendam ( <i>Wet Sump</i> )
Bahan Bakar	Bensin tanpa timbale
Jenis Pengapian	Pengapian Elektronik (Transistor)
Busi	NGK CR8E
Celah Busi	0.6-0.7 mm
Celah Katup (Mesin Dingin)	Katup Hisap : 0.04-0.07 mm Katup Buang : 0.13-0.18 mm
Oli Mesin	Klasifikasi SG dan Viskositas SAE 20W-50
Tekanan Angin Ban	Ban Depan : 175 kPa

	Ban Belakang : 225 kPa
Battery	12V 28.8kc 7Ah 10HR

### 5 Pulse Engine Tachometer

Alat untuk mengukur kecepatan putaran (*Rpm*) pada mesin (*engine*).

*Tabel 3.5. Spesifikasi Thermometer*

Model	PET-2100DX
Metode	<i>Count Pulses</i>
Akurasi	$\pm 10$ Rpm
Dimensi	44x61x12 mm
Berat	30 g

### 6 Thermometer

*Thermometer* digunakan untuk mengamati perubahan temperatur yang terjadi selama proses distilasi.

*Tabel 3.6. Spesifikasi Thermometer*

Merek	Krisbow
Model	KW06-304
Jenis	Thermometer
Waktu respon	<1 detik
Power off	Otomatis setelah 7 detik
Temperatur Operasi	0 °C ke 50 °C
Ketelitian Termometer	$\pm 2$ °C
Satuan Temperature	°C, °F
Berat	290 g
Sumber Tegangan	1 Baterai @ 9 Volt
Ukuran	100 x 56 x 230 mm

## 7 Gelas Ukur

Tabel 3.7. Spesifikasi Gelas Ukur

Merek	Pyrex
Model	Iwaki Measuring Cylinder
Jenis	Gelas Ukur
Negara Pembuat	Amerika
Kapasitas	500 ml, 100ml
Ketelitian	$\pm 5$ ml

## 8 Pipet Tetes

Tabel 3.8. Spesifikasi Pipet Tetes

Merek	Pyrex
Model	Iwaki Glass under lic
Jenis	Pipet tetes
Negara Pembuat	Amerika
Kapasitas	2 ml
Ketelitian	$\pm 0.01$ ml

## 9 Alkohol Meter

Digunakan untuk mengukur konsentrasi bioethanol sebelum dan sesudah proses distilasi.

Tabel 3.9. Spesifikasi Alkohol Meter

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

### 10 *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 3.10. Spesifikasi Stop Watch*

Merek	Butterfly
Jenis	Sport Timer
Ketelitian	0.01 S
Negara Pembuat	China

### 11 *Timbangan Digital*

Alat ini digunakan untuk mengukur bobot jenis dari hasil destilasi

*Tabel 3.11. Spesifikasi Timbangan digital*

Merek	Electronic Balance
Jenis	Digital
Kapasitas	200g x 0.01g

### 3.4 SKEMATIK PERALATAN UJI



Gambar 3.2 Skema pengujian dengan compact destilator

1. Bahan bakar yang ditampung dalam botol infus kapasitas 500ml mengalir ke karburator. Laju penurunan level bahan bakar dapat terbaca pada skala yang terdapat pada permukaan infus, setiap 50ml konsumsi 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 dikompresikan dan dibakar dengan bantuan busi (*spark plug*).
4. Hasil pembakaran di ruang bakar nantinya akan menghasilkan torsi mesin dan panas serta gas buang yang melewati knalpot (*muffler*).
5. Gas buang yang melewati knalpot akan digunakan untuk memanaskan unit distilator yang sudah terisi oleh bahan distilat dengan kadar etanol rendah (*low grade ethanol*).
6. Karena adanya panas dari gas buang hasil pembakaran maka terjadi perpindahan panas pada permukaan knalpot keruang evaporator. Akibatnya dalam evaporator akan merubah fase ethanol menjadi uap.

7. Dipasang *valve butterfly* pada cabang (*bypass*) evaporator yang dikendalikan oleh *choke* pada handle motor.
8. Ketika panas sudah mencapai 80°C yang terlihat pada alat temperatur control yang terhubung pada probe di evaporator, *choke* pada handle sebelah kiri ditarik kebawah guna menutup aliran panas gas buang ke ruang evaporator dengan *valve butterfly*. Aliran panas gas buang akan mengalir ke saluran cabang atau *bypass* . Akibatnya panas dari evaporator dapat ditahan dan tidak naik secara signifikan.
9. Uap dari bahan distilat dengan kadar etanol tinggi akan mengalir menuju separator, dengan mekanisme didalam separator diharapkan uap air yang ikut menguap akan terpisah dengan uap etanol.
10. Uap etanol dari hasil distilasi ini akan mengalir ke Kondenser (*Heat Exchanger*).
11. Di Kondenser uap etanol akan diubah menjadi cair kembali, cairan inilah yang akan menjadi bahan bakar tambahan dengan nilai kadar etanol tinggi (*high grade ethanol*)

### 3.5 PROSEDUR dan STANDAR PENGUJIAN

Untuk melakukan pengujian dilakukan dengan pendekatan prosedur pengujian sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu dengan mengikuti prosedur sebagai berikut:

#### 3.5.1 Persiapan dan pengaturan peralatan kerja.

*Pulse Engine Tachometer* dijepit pada kabel busi, pastikan alat menyala sebagaimana fungsinya.

Kabel *Probe* pada evaporator dihubungkan pada *temperature control*. Pastikan pemasangan benar, kemudian nyalakan *temperature control* dengan menyambungkan kabel ke aki, display akan menyala dan akan menunjukkan temperature suhu ruangan.

Siapkan kawat rem untuk dipasang pada *valve butterfly* dan kawat tersebut dirangkai pada *choke handle*. Pastikan *valve butterfly* bekerja dengan baik dengan menarik kebawah dan keatas pada *choke handle*.

### 3.5.2 Persiapan bahan bakar

Bahan bakar yang dipakai adalah jenis premium, yang ditampung menggunakan alat infus yang mempunyai skala kapasitas 500 ml, alat tersebut berfungsi untuk mengetahui laju aliran konsumsi bahan bakar per satuan waktu.

### 3.5.3 Persiapan bahan distilasi

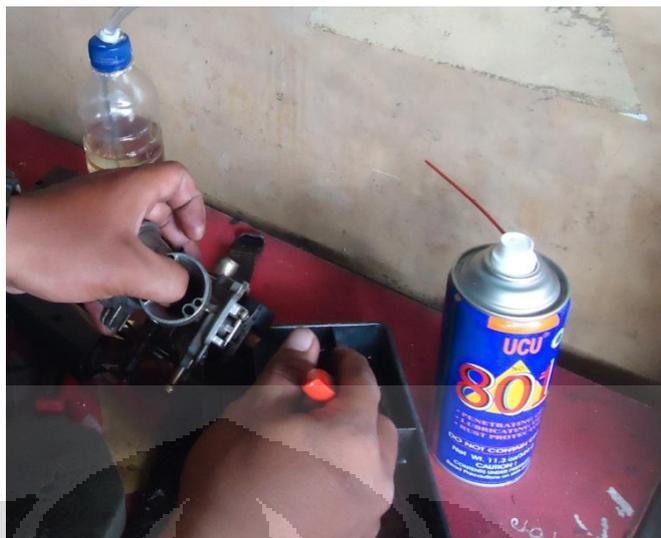
Bahan distilasi kita dapatkan dari toko kimia dengan kadar 95% untuk mendapatkan variasi kadar etanol kita dapat menambahkan pengotor berupa air distilasi/aquadest dengan menggunakan gelas dan pipet tetes kemudian kita ukur kadarnya menggunakan alkohol meter sampai kadar yang dibutuhkan. Kadar yang dipakai untuk bahan distilasi yaitu *low grade ethanol* (kadar 30%).



Gambar 3.3. Proses Pencampuran etanol dengan pengotor (aquadest)

### 3.5.4 Persiapan Mesin dan Alat Ukur

1. Cek kondisi oli mesin, ganti bila perlu
2. Cek kondisi Busi dan karburator untuk menghindari mesin mati saat pengambilan data.



*Gambar 3.4. Mengecek kondisi engine*

3. *Running engine* pada putaran rendah (<2000rpm)
4. Dalam setiap pengambilan data dilakukan pada saat temperature control menunjukkan temperatur 42°C.

#### 3.5.5 Persiapan *thermo meter control*

1. Setel temperatur display pada satuan °C pada tombol seting.
2. Atur temperatur yang ingin di control, yaitu dari temperature 80-83 °C pada menu seting.

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

1. Isi unit evaporator dengan *low grade ethanol* sesuai kadar yang akan diuji (alkohol industry 30%).
2. Siapkan gelas ukur untuk menampung hasil high grade ethanol yang dihasilkan oleh alat *compact distillator*.

#### 3.5.7 Pengambilan data

1. Laju konsumsi bahan bakar

Untuk pengambilan data laju konsumsi bahan bakar menggunakan botol infus dengan kapasitas skala 500ml dan *stop watch*. Perubahan level bahan bakar yang terukur dicatat

persatuan waktu yaitu tiap 50 ml dihitung berapa detik waktu yang dibutuhkan.

## 2. Temperatur alat *Compact Distilator*

Untuk mendapatkan nilai suhu pada alat *compact distilator* yang dapat langsung terukur digunakan *infrared thermometer digital (noncontact infrared thermometer)*. Temperatur yang ingin diketahui temperaturnya yaitu pada saluran keluar evaporator, saluran masuk separator, dan saluran masuk Kondenser) kemudian nilai yang terbaca pada display *infrared thermometer digital* dicatat setiap 1 menit.



*Gambar 3.5. Infrared Thermometer digital*

Selain itu untuk mengetahui temperature pada evaporator dipasang alat probe yang terhubung dengan *temperature control* sebagai pengendali temperatur evaporator. Pada saat temperatur sudah mencapai 80 °C yaitu suhu penguapan ethanol, saluran masuk gas buang yang melewati evaporator ditutup dengan menggunakan *valve butterfly*, pengaturan buka tutup valve butterfly ini diatur oleh choke pada handle motor, untuk menutup saluran gas buang agar tidak melewati evaporator maka choke pada handle ditarik kebawah, sebaliknya untuk membukanya choke pada handle didorong keatas.

### 3.6 PETUNJUK K3L

Untuk menjaga keamanan dan keselamatan peneliti dari bahaya, maka harus diketahui prosedur yang harus dilakukan untuk menghindari bahaya tersebut.

#### 1. 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. Lakukan pengambilan data diruang terbuka dan sepi untuk menghindari kebisingan dan mencegah lingkungan terganggu.
- 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.



Gambar 3.6. Ear plug safety

#### 2. 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 engine terukur mencapai 70-85 °C, pada exhaust manifold

terukur 100 °C, pada muffler 100-170 °C. temperature tersebut dapat mengancam bahaya luka bakar pada operator.

Prosedur :

- a. Tempatkan engine pada area bebas dari aktifitas manusia/daerah lalu lintas.
- 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.

### 3. Bahaya gas beracun

Beberapa gas berbahaya yang dihasilkan oleh gas buang dari engine ini diantaranya adalah karbon monoksida, Hidro Karbon, dan Nitro Oksida. NOx 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.

### 4. 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.

#### 5. Lindungi 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.
- c. Tambahkan filter atau bahan tambah yang mampu mengikat kadar racun gas buang.

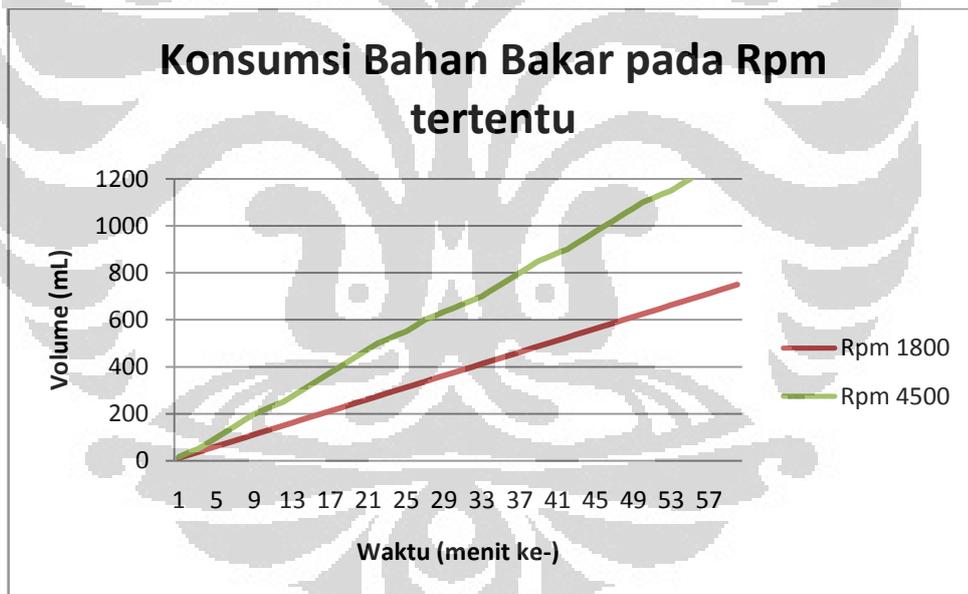
## BAB IV

### HASIL DATA PENELITIAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1 HASIL PENGUJIAN

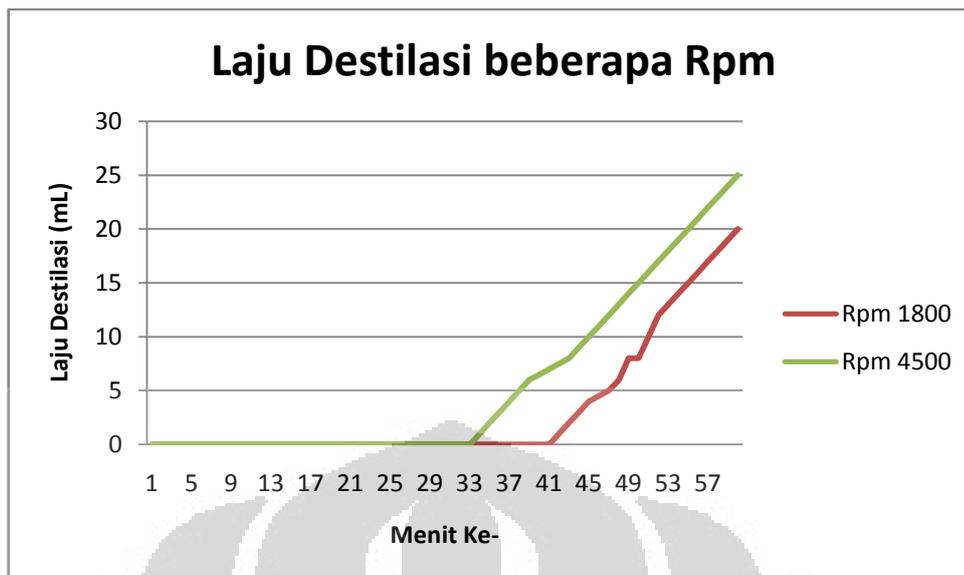
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pemanfaatan panas gas buang kendaraan pada evaporator yang telah dipasang *valve butterfly* sebagai pengontrol panas. Pengontrolan panas pada *distilator bioethanol* ini digunakan agar mampu mengolah *low grade ethanol* menjadi *high grade ethanol* secara optimal. Pengaruh pengontrolan temperatur pada evaporator agar proses pengupuan dari etanol tetap stabil tanpa adanya pengupuan dari air.

Dari percobaan yang dilakukan pada motor Otto berbahan bakar Premium (sepeda motor Suzuki Thunder 125cc) diperoleh data konsumsi bahan bakar sebagai berikut :



Gambar 4.1 Diagram laju volume bahan bakar dengan variasi Rpm terhadap satuan waktu.

Dari diagram diatas konsumsi bahan bakar yang digunakan pada motor Otto untuk pengujian menunjukkan bahwa dari perbedaan putaran *engine* akan mempengaruhi konsumsi bahan bakar. Semakin tinggi putaran *engine* maka konsumsi bahan bakar akan semakin besar dan mempengaruhi laju destilasi pada *compact destilator*. Seperti ditunjukkan dalam grafik dibawah ini.



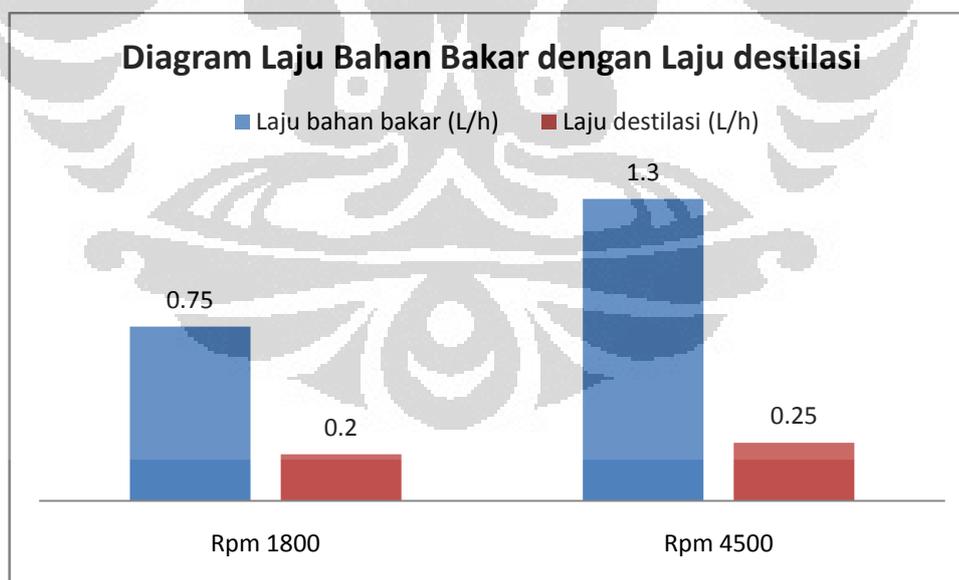
Gambar 4.2 Diagram laju volume distilasi dengan variasi Rpm tanpa pengontrolan temperatur.

Dari diagram diatas pada putaran *engine* 4500 rpm mampu menghasilkan laju destilasi yang paling cepat dan pada putaran 1800 rpm sebaliknya membutuhkan waktu cukup lama untuk menghasilkan distilasi. Dari data tersebut menunjukkan dalam waktu satu jam yang dibutuhkan untuk mendistilasi *low grade ethanol* menjadi *high grade ethanol* dan laju volume destilasinya berbanding lurus dengan putaran engine yang digunakan untuk melakukan pengujian alat *compact distilator*. Hal tersebut memberitahukan bahwa panas gas buang yang digunakan sebagai sumber energi distilasi dipengaruhi oleh putaran engine. Semakin tinggi putaran engine maka panas diknalpot juga akan semakin tinggi dan dampaknya penguapan destilat *low grade ethanol* yang ada diruang evaporator semakin cepat. Kenaikan suhu yang terlampau tinggi dan tidak bisa dikontrol dari gas buang inilah yang tidak diharapkan, karena itu dilakukan modifikasi pada saluran knalpot dengan memberikan *valve butterfly* dan jalur cabang (*bypass*) agar temperatur evaporator dapat dikendalikan pada temperatur penguapan etanol. Hasil dari penguapan destilat yang terkontrol ini diharapkan mampu mendapatkan sedikit kadar air yang ikut menguap sehingga *compact distilator* mampu menghasilkan kadar *high grade ethanol*. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian yang lalu proses untuk menghasilkan destilasi dan kapasitas volumenya dalam satu jam masih cukup lama dan hasil yang diperoleh dari destilasi masih

sedikit. Hal ini diketahui setelah pengujian destilasi berakhir ternyata pada separator banyak menampung fluida cair. Bentuk separator yang vertikal dan memiliki volume yang cukup besar ternyata tidak mampu menyalurkan fluida uap dari evaporator secara maksimal. Selain itu penghubung antara evaporator, separator dan kondenser masih menggunakan media yang kurang baik dalam menyalurkan panas. Pada saat etanol sudah mencapai titik penguapan, berubah fase dari cair (*liquid*) menjadi uap (*vapor*) yaitu temperature  $80^{\circ}\text{C}$  selanjutnya uap etanol tersebut akan mengalir ke separator melewati selang penghubung. Tetapi saat melewati selang penghubung ini ternyata uap tersebut ada yang berubah menjadi titik titik air atau berubah fase dari uap menjadi fase cair.

#### 4.1.1 Laju perubahan volume bahan bakar terhadap laju destilasi pada putaran 1800 Rpm, dan putaran 4500 Rpm dengan menggunakan bahan bakar premium.

Dari penelitian tentang konsumsi bahan bakar yang diukur berdasarkan waktu setiap perubahan 50 ml bahan bakar dan laju destilasi yang dihasilkan pada tiap putaran engine. Didapatkan variasi diagramnya sebagai berikut



Gambar 4.3 Diagram perbandingan laju volume bahan bakar dengan hasil destilat pada putaran 1800, dan putaran 4500.

Dari diagram diatas dapat terlihat bahwa semakin tinggi putaran mesin maka semakin besar perbandingan antara laju konsumsi bahan bakar yang diperlukan dengan laju destilasi yang dihasilkan oleh alat *compact distilator*. Hasil laju destilasi pada putaran engine yang berbeda selama satu jam tidak terlalu jauh kapasitas volumenya. Hal ini menunjukkan ada pengaruh dari unit destilator yang dipakai seperti alat separator yang vertikal, bentuk kandenser dengan tube lurus serta pemakaian penghubung dari evaporator, separator dan kondenser yang masih belum sesuai. Selain itu juga pemasangan valve butterfly masih terdapat kebocoran gas buang sehingga panas gas buang yang melewati evaporator tidak maksimal sehingga mengganggu proses pengupan ethanol pada evaporator.

#### 4.1.2 Perbedaan kadar hasil destilasi pada putaran 1800, dan putaran 4500 dengan menggunakan bahan bakar premium.

Dari hasil destilasi yang didapat kemudian menentukan kadar ethanol yang diperoleh. Karena destilasi yang dihasilkan kurang dari 100 ml maka untuk menentukan kadar ethanol ditetapkan berdasarkan bobot jenis destilat menggunakan bobot jenis dan kadar pada farmakope Indonesia.

$$\text{Bobot jenis } (p) = \frac{W_2 - W_0}{W_1 - W_0}$$

Dimana  $p$  : bobot jenis

$W_0$  : bobot wadah kosong (ml)

$W_1$ : bobot wadah yang berisi air suling (ml)

$W_2$  : bobot wadah yang berisi destilasi (ml)

Dari penimbangan didapatkan hasil sebagai berikut:

Volume wadah : 12 ml

Bobot wadah kosong : 3.73 gr

Bobot wadah + air aquades : 7.73 gr

Bobot wadah + air destilat (1800 rpm) : 7.28 gr

Bobot wadah + air destilat (5000 rpm) : 7.40 gr

- Bobot jenis destilat pada 1800 rpm

$$\text{Bobot jenis } (p) = \frac{7.28 - 3.73}{7.73 - 3.73} = \frac{3.55}{4} = 0.8775$$

- Bobot jenis destilat 4500 rpm

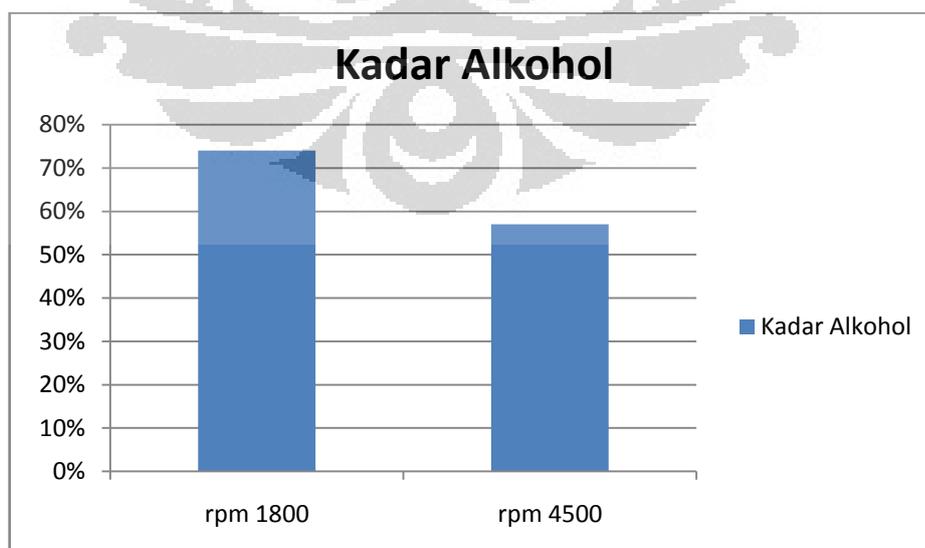
$$\text{Bobot jenis } (p) = \frac{7.40-3.73}{7.73-3.73} = \frac{3.67}{4} = 0.9175$$

Tabel 4.1 Daftar bobot jenis dan kadar ethanol farmakope Indonesia

Persentase	Bobot jenis
95 %	0.8115 – 0.8143
90 %	0.8304 – 0.8314
80 %	0.8596 – 0.8618
70 %	0.8860 – 0.8881
60 %	0.9096 – 0.9115
50 %	0.9304 – 0.9325
20 %	0.9750 – 0.9756

Berdasarkan tabel daftar bobot jenis dan kadar etanol pada farmakope Indonesia edisi pertama hal 389-340, diperoleh hasil perhitungan dengan interpolasi untuk bobot jenis 0.8775 memiliki kadar ethanol sebesar 74% dan untuk bobot jenis 0.9175 kadar ethanolnya sebesar 57%.

Dari data tersebut dapat disimpulkan kecepatan putaran *engine* dijadikan pembandingan terhadap kadar ethanol dari hasil destilasi.



Gambar 4.4 Perbandingan konsentrasi alkohol pada beberapa putaran.

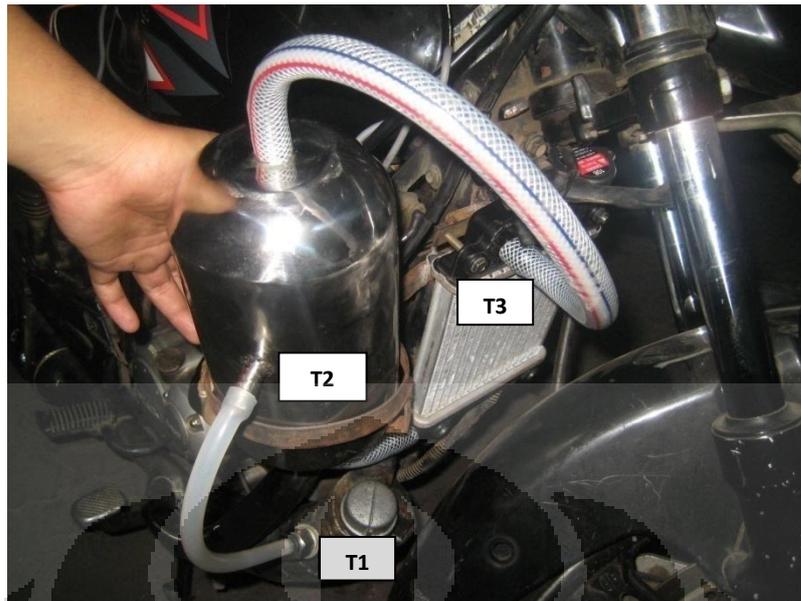
Dari diagram di atas diketahui nilai konsentrasi alkohol dari tiap putaran, dimana konsentrasi alkohol paling tinggi dicapai oleh putaran 1800 rpm dengan persentase sebesar 74%, pada rpm tersebut air pada distilasi fasenya belum berubah menjadi uap sehingga alkohol yang dihasilkan pada saat distilasi mempunyai kadar 74%. Hal ini disebabkan karena gas buang yang dihasilkan pada putaran rendah relative konstan sehingga panas yang ditimbulkan pada knalpot juga relative mengalami kenaikan secara perlahan dan akan sangat berpengaruh terhadap bahan yang akan didistilasi pada *compact distillator*. Sedangkan pada putaran 4500 kadarnya relatif rendah dikarenakan air yang terdistilasi sudah ada yang berubah fasenya dan terdistilasi bersama alkohol sehingga menghasilkan kadar yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan oleh kenaikan temperature pada gas buang yang signifikan karena pembakaran didalam ruang bakar.

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat, kadar ethanol dari hasil destilasi masih tergolong rendah dan belum bisa digunakan sebagai bahan campuran bahan bakar pada kendaraan, karena pemakaian ethanol dengan kadar rendah akan mengganggu performance pada mesin kendaraan. Campuran yang dapat digunakan sebagai tambahan bahan bakar yaitu ethanol yang mempunyai kadar 95% keatas. Untuk itu diperlukan penelitian berikutnya guna menyempurnakan alat dan mendapatkan hasil pengujian *low grade ethanol* menjadi *high grade ethanol* agar sesuai dengan yang diharapkan.

#### **4.2 PENGUJIAN DENGAN THERMOMETER**

Pada pengujian ini digunakan *infrared thermometer digital* dan probe termokopel untuk mengetahui temperatur di tiap-tiap bagian dari compact distillator. Adapun pengambilan temperatur dengan *infrared thermometer digital* dan probe termokopel dibagi menjadi empat bagian yaitu:

1. T1 : Temperatur di output evaporator.
2. T2 : Temperatur pada input separator.
3. T3 : Temperatur pada input kondenser.
4. T4 : Temperatur pada ruang evaporator.



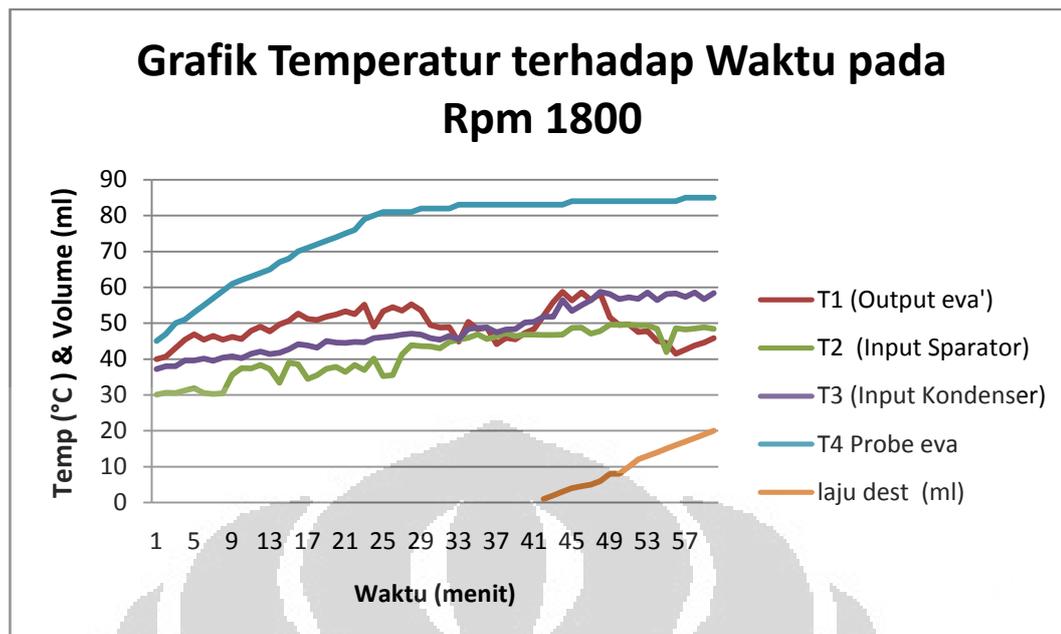
*Gambar 4.5 Pengukuran temperatur pada compact distillator.*

Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali percobaan yaitu:

1. Bahan bakar bensin dan alkohol 30% dalam evaporator dengan putaran 1800 rpm
2. Bahan bakar bensin dan alkohol 30% dalam evaporator dengan putaran 4500 rpm.

Pengambilan data dilakukan dengan dua data perbandingan putaran *engine* dengan menggunakan media uji yang sama yaitu sepeda motor suzuki thunder 125cc. Pengambilan data dilakukan pada saat kondisi temperatur alat uji dalam keadaan yang sama yaitu pada kisaran suhu 40°C sampai 42°C, hal ini untuk menjaga putaran engine tetap stabil sehingga tidak mati saat dilakukan pengujian.

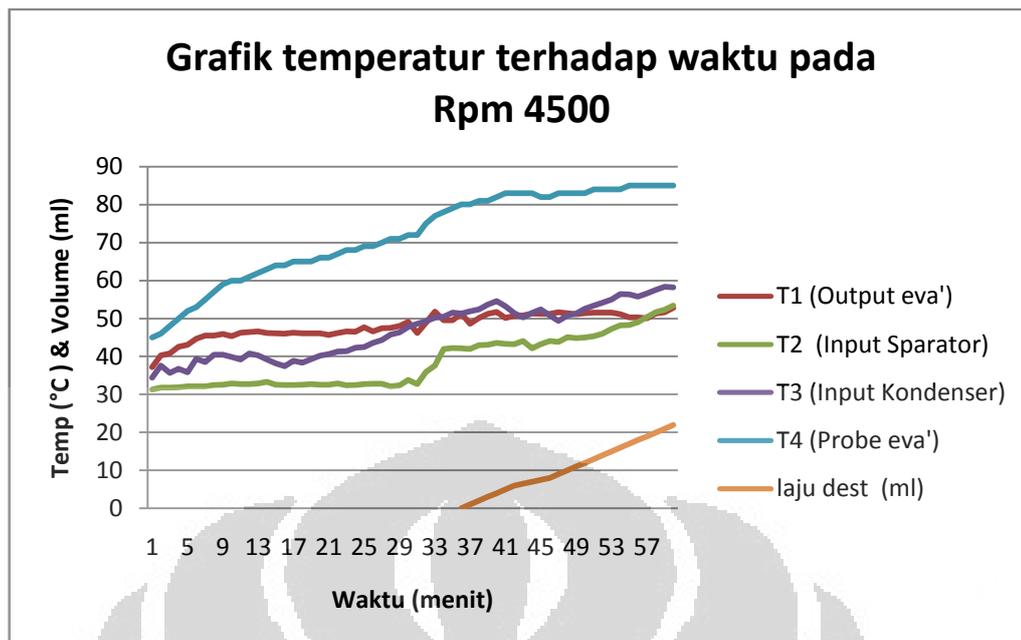
Berikut adalah grafik yang dihasilkan dari pengambilan data dengan pengukuran temperatur pada beberapa titik *compact distillator* pada saat *engine* motor dalam kondisi putaran 1800 rpm. Pengambilan data dilakukan menggunakan bahan bakar bensin dan dengan mendestilasi alkohol 30% pada *compact distillator*.



Gambar 4.6 Diagram laju volume destilasi pada putaran 1800 rpm

Pada grafik tersebut terlihat bahwa temperatur (T4) pada ruang evaporator mulai dikontrol pada 81°C, panas gas buang yang melalui evaporator di pindahkan ke saluran cabang knalpot yaitu dengan menutup *valve butterfly* yang diatur dengan menarik kebawah *choke* pada *handle* sehingga panas gas buang tidak melewati ruang evaporator. Untuk mendapatkan tetesan awal dari laju hasil destilasi membutuhkan waktu yang cukup lama sekitar menit ke 41. Hasil destilat sampai menit ke 60 dengan putaran konstan engine 1800 Rpm hanya mampu menghasilkan laju destilat kurang lebih 20 ml.

Kenaikan temperatur pada probe yang terukur dari *temperature control* relatif lambat hal ini di sebabkan adanya kebocoran dari tempat *valve butterfly* oleh karena itu panas dari knalpot sebagai sumber panas evaporator tidak maksimal sehingga menyebabkan temperatur dalam evaporator lama meningkat. Selanjutnya akan mempengaruhi laju destilasi yang dihasilkan, dari waktu untuk menghasilkan tetesan juga membutuhkan waktu yang cukup lama. Selain itu kapasitas hasil destilatnya juga tidak banyak akibat pengaruh pemakaian unit yang digunakan dalam *compact destilator* masih kurang tepat.



Gambar 4.7 Diagram laju volume destilasi pada putaran Rpm 4500

Pada grafik tersebut dengan putaran konstan engine 4500 Rpm laju destilasi berlangsung lebih cepat bila dibandingkan saat putaran 1800 Rpm. Pada temperatur (T4) dalam ruang evaporator pengaturan *valve butterfly* pada knalpot ditutup pada saat alat *temperature control* sudah mencapai 81°C, kenaikan suhu dari ruang evaporator yang sudah dikontrol temperaturnya masih dapat dikatakan stabil. Grafik laju destilasi dalam waktu 60 menit menunjukkan penetasan awal hasil destilat pada menit 35. Perbedaan waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan tetesan awal destilasi pada putaran 1800 Rpm dan 4500 Rpm cukup berbeda karena dengan putaran 4500 Rpm panas gas buang dari knalpot juga akan mengalami kenaikan temperatur, sehingga saat terukur pada *temperature control* yang terhubung dengan probe dalam evaporator terjadi kenaikan temperatur yang cukup cepat.

Dapat diamati pada grafik temperatur evaporator masih terjadi kenaikan suhu saat temperatur sudah dikontrol pada 81°C, berarti panas gas buang hasil pembakaran masih dapat melewati *valve butterfly* walaupun hanya sedikit, dampaknya terjadi kenaikan suhu yang diikuti menguapnya ethanol dan air. Oleh karena itu kadar ethanol yang diperoleh dari hasil destilat masih tergolong rendah dan belum baik digunakan sebagai campuran bahan bakar kendaraan bioethanol.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

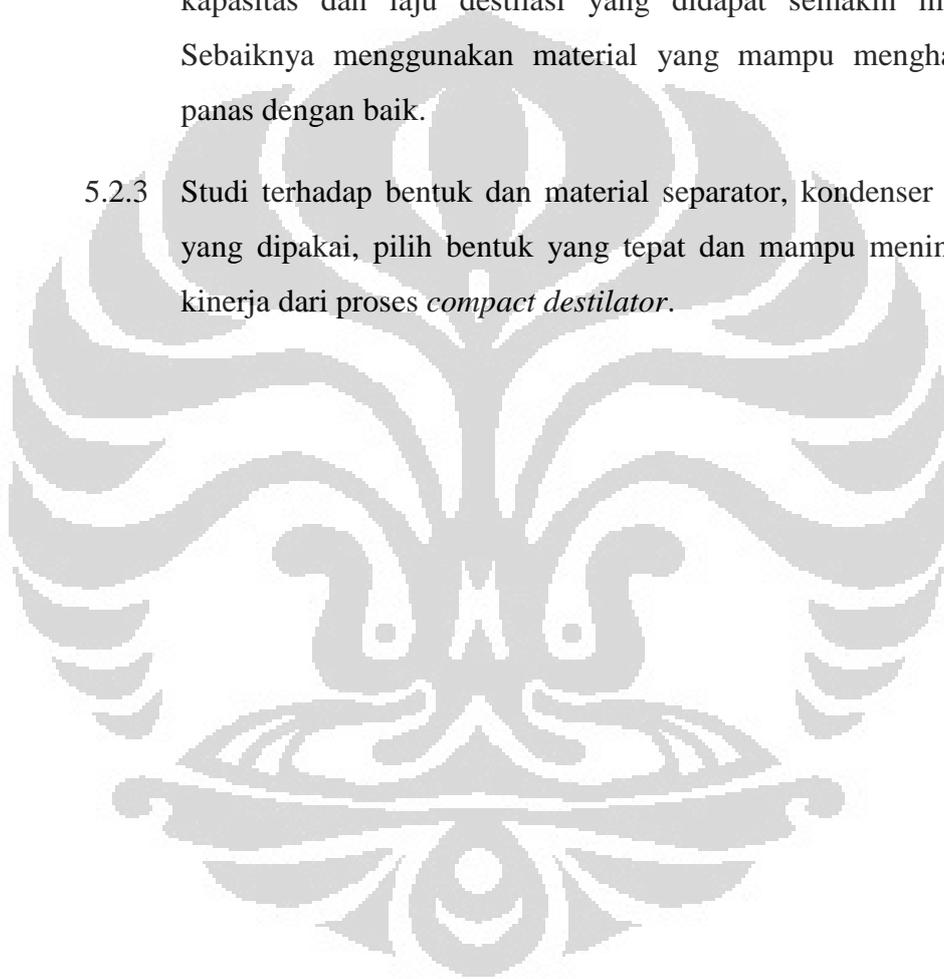
#### 5.1 KESIMPULAN

5.1.1 Pada putaran engine 1800 Rpm & 4500 Rpm laju destilasi untuk mendapatkan *high grade ethanol* belum mampu memenuhi konsumsi bahan bakar disebabkan kadar alkohol yang diperoleh dari hasil destilasi hanya 74% dan 57%, hal ini dikarenakan adanya kebocoran pada *valve butterfly*, sehingga kenaikan suhu evaporator tidak maksimal, pemakaian unit *compact destilator* juga masih belum sesuai guna mendapatkan hasil yang diharapkan. selain itu isi separator setelah pengujian dilakukan banyak menampung fluida cair hal ini menunjukkan unit separator dengan volume dan bentuk vertikal menjadi penghambat proses destilasi.

5.1.2 Pada putaran 1800 dan 4500, untuk menghasilkan tetesan awal guna mendapatkan *high grade ethanol*, sama – sama membutuhkan waktu lebih dari 30 menit. Hal ini disebabkan terjadi berbagai hambatan dalam proses destilasi diantaranya terjadi kebocoran pada *bypass knalpot* yang dimodifikasi menggunakan *valve butterfly*, sehingga panas gas buang dari knalpot yang digunakan untuk membantu menguapkan ethanol dalam evaporator tidak maksimal dan waktu kenaikan temperatur pada evaporator lama. Selain itu juga pada pemakaian selang sebagai alat penghubung dari evaporator, separator dan kondenser masih kurang baik dalam menyalurkan fluida uap dimana bahan selang tergolong penghambat panas.

## 5.2 SARAN

- 5.2.1 Sebaiknya menggunakan valve dengan sistem elaktrik seperti *solenoid valve* karena jika menggunakan *butterfly valve* dengan sistem mekanis rentan dan mudah terjadi kebocoran.
- 5.2.2 Studi terhadap bahan yang dipakai sebagai koneksi atau penghubung antara evaporator, separator dan kondenser. Sehingga kapasitas dan laju destilasi yang didapat semakin maksimal. Sebaiknya menggunakan material yang mampu menghantarkan panas dengan baik.
- 5.2.3 Studi terhadap bentuk dan material separator, kondenser dan alat yang dipakai, pilih bentuk yang tepat dan mampu meningkatkan kinerja dari proses *compact destilator*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Sugiarto Rino.2011. *Unjuk kerja low grade ethanol dari pemanfaatan panas gas buang motor bakar dinamis sebagai sumber energi compact distillator*. Skripsi: DTM FT-UI
- Wibowo Gilang A.2011 *Rancang bangun compact destilator low grade ethanol dengan memanfaatkan panas gas buang motor bakar dinamik*. Skripsi: DTM FT-UI
- Data Skripsi *Low Grade Ethanol Pada Motor Bakar Statis* bimbingan Prof. Dr Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng ,2010-2011, Universitas Indonesia
- Cengel, Yunus A. and Boles, Michael A. 2002. *Thermodynamics*. forth edition. New York: Mc Graw Hill.
- Pulkabek, Willard W. 2004. *Engineering Fundamental Of Internal Combustion Engine*. New Jersey: Upper Saddle River.
- Prasetyo, Bayu P dan Fajar Partriayuda.2009. *Pemakaian Gasohol Sebagai Bahan Bakar Kendaraan Bermotor*. Jurnal skripsi: UNDIP
- Permana, Adhi Dharma dkk. 2009. *Outlook Energi Indonesia*. BPPT, ISBN 978-979-95202-4-1
- Permana, Adhi Dharma dkk. 2011. *Outlook Energi Indonesia*. BPPT, ISBN 978-979-95202-6-5
- Rogowski, A. R. 1979. *Element Of Internal-Combustion Engine*. New York: Mc Graw Hill.
- 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.
- Sugiarto, Bambang. 2003. *Motor Pembakaran Dalam*. ISBN 979-97726-7-2
- Departeman Kesehatan RI.1962. *Farmakope Indonesia I*. Jakarta: DepKes RI
- Universitas Indonesia. *Pedoman Teknis Penulisan Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Indonesia*. (2008). Depok: Universitas Indonesia.

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

<http://zyzaethanolchemical.wordpress.com/product/1-ethanol-96/>

<http://agribisnis.deptan.go.id/xplore/files/PENGOLAHAN-HASIL/BioEnergi-Lingkungan/BioEnergi-Perdesaan/BIOFUEL/Bioetanol/Bioethanol.pdf>

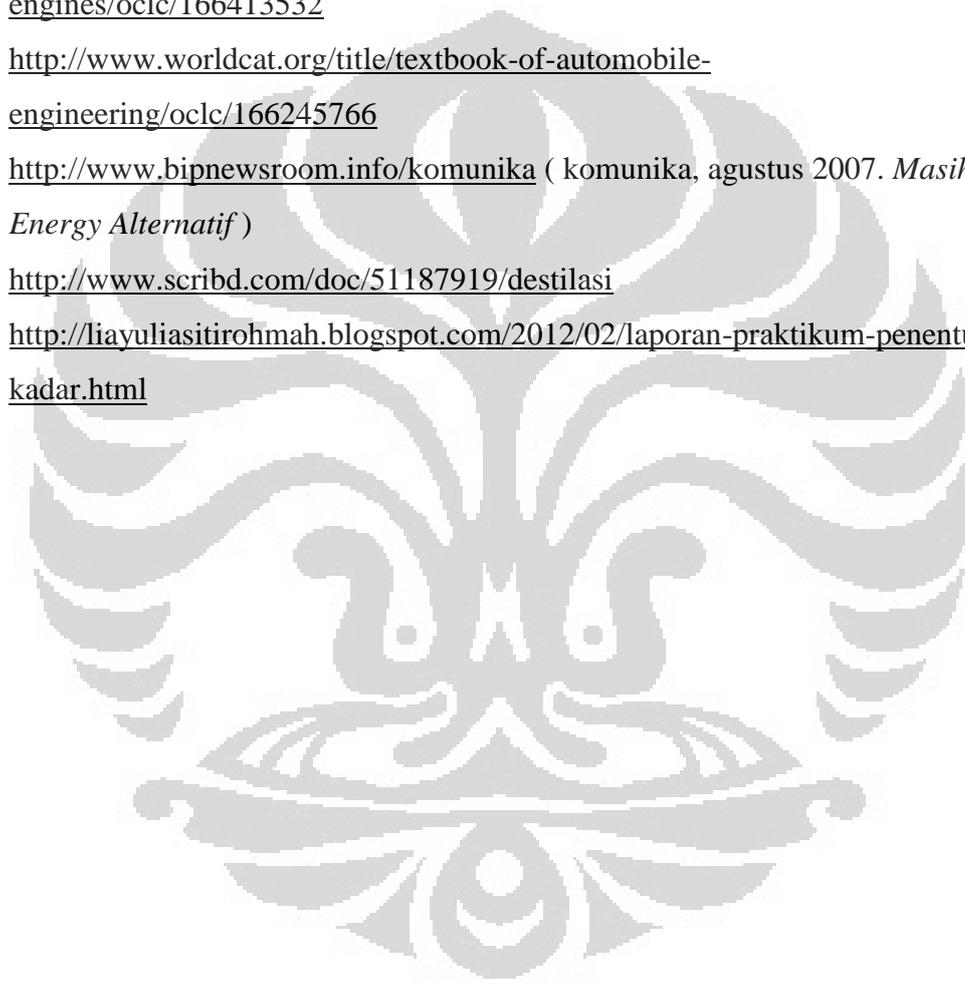
<http://www.worldcat.org/title/fundamentals-of-internal-combustion-engines/oclc/166413532>

<http://www.worldcat.org/title/textbook-of-automobile-engineering/oclc/166245766>

<http://www.bipnewsroom.info/komunika> ( komunika, agustus 2007. *Masih Ada Energy Alternatif* )

<http://www.scribd.com/doc/51187919/destilasi>

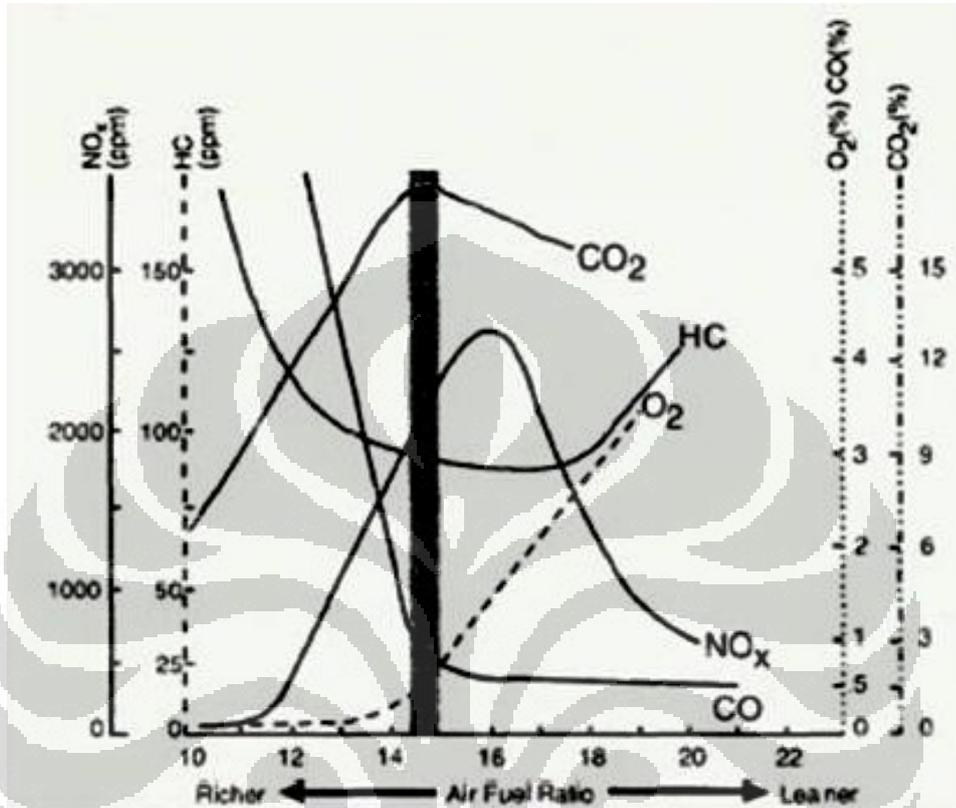
<http://liayuliasitirohmah.blogspot.com/2012/02/laporan-praktikum-penentuan-kadar.html>



## LAMPIRAN

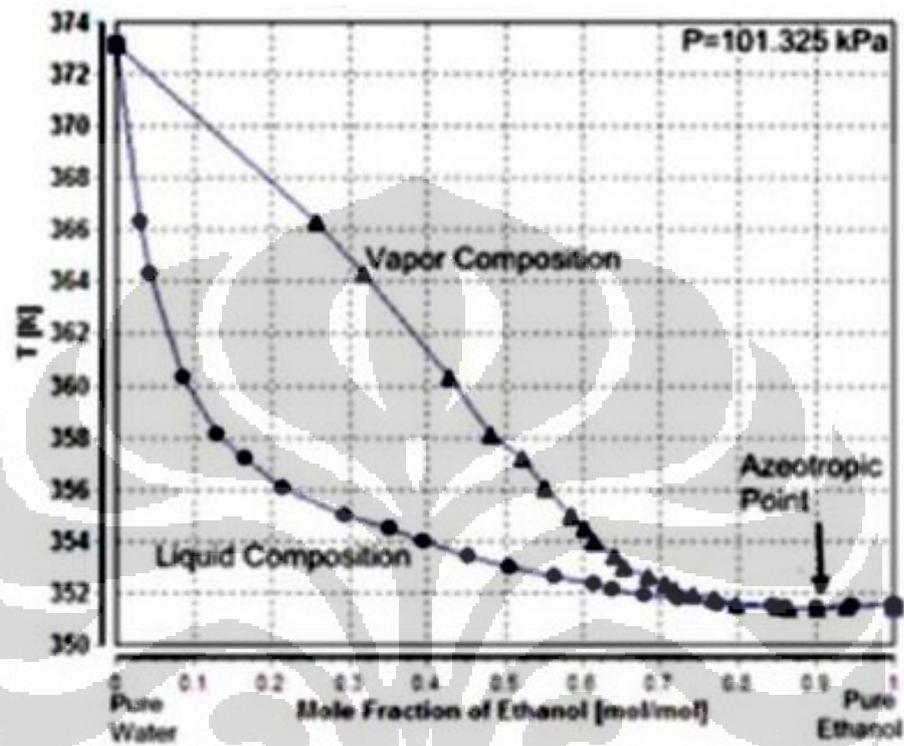
## LAMPIRAN 1

Grafik Konsentrasi Gas Buang Berdasarkan AFR



## LAMPIRAN 2

## Kesetimbangan Uap-Cair Campuran Etanol Dengan Air



## LAMPIRAN 3

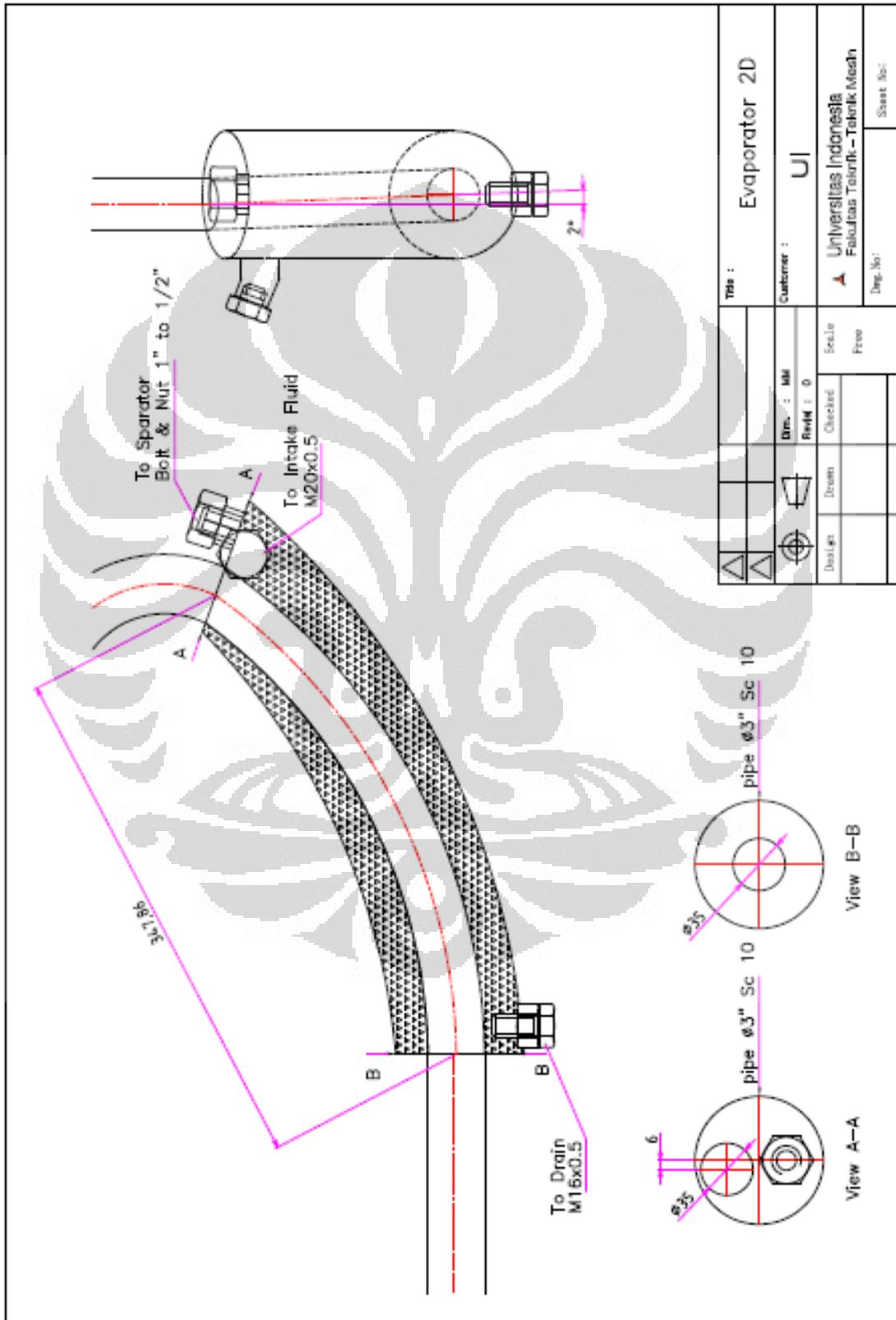
Tabel Properties of Fuels

**TABLE A-2 PROPERTIES OF FUELS**

Fuel	Molecular Weight	Heating Value		Stoichiometric (AF) <sub>s</sub>	Octane Number		Heat of Vaporization (kJ/kg)	Cetane Number
		HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)		MON	RON		
gasoline	111	47300	43000	14.6	80-91	92-99	307	
light diesel	170	44800	42500	14.5	0.068		270	40-55
heavy diesel	200	43800	41400	14.5	0.069		230	35-50
isooctane	114	47810	44300	15.1	0.066	100	290	
methanol	32	22540	20050	6.5	0.155	92	1147	
ethanol	46	29710	26950	9.0	0.111	89	873	
methane	16	55260	49770	17.2	0.058	120	509	
propane	44	50180	46190	15.7	0.064	120	426	
nitromethane	61	12000	10920	1.7	0.588	97	623	
heptane	100	48070	44560	15.2	0.066		316	
cetane	226	47280	43980	15.0	0.066	0	292	100
heptamethylnonane	178			15.9	0.063			15
$\alpha$ -methylnaphthalene	142			13.1	0.076			0
carbon monoxide	28	10100	10100	2.5	0.405			
coal (carbon)	12	33800	33800	11.5	0.087			
butene-1	56	48210	45040	14.8	0.068	80	390	
triptane	100	47950	44440	15.2	0.066	101	288	
isodecane	142	47590	44220	15.1	0.066	92		
toluene	92	42500	40600	13.5	0.074	109	412	
hydrogen	2	141800	120000	34.5	0.029	90		

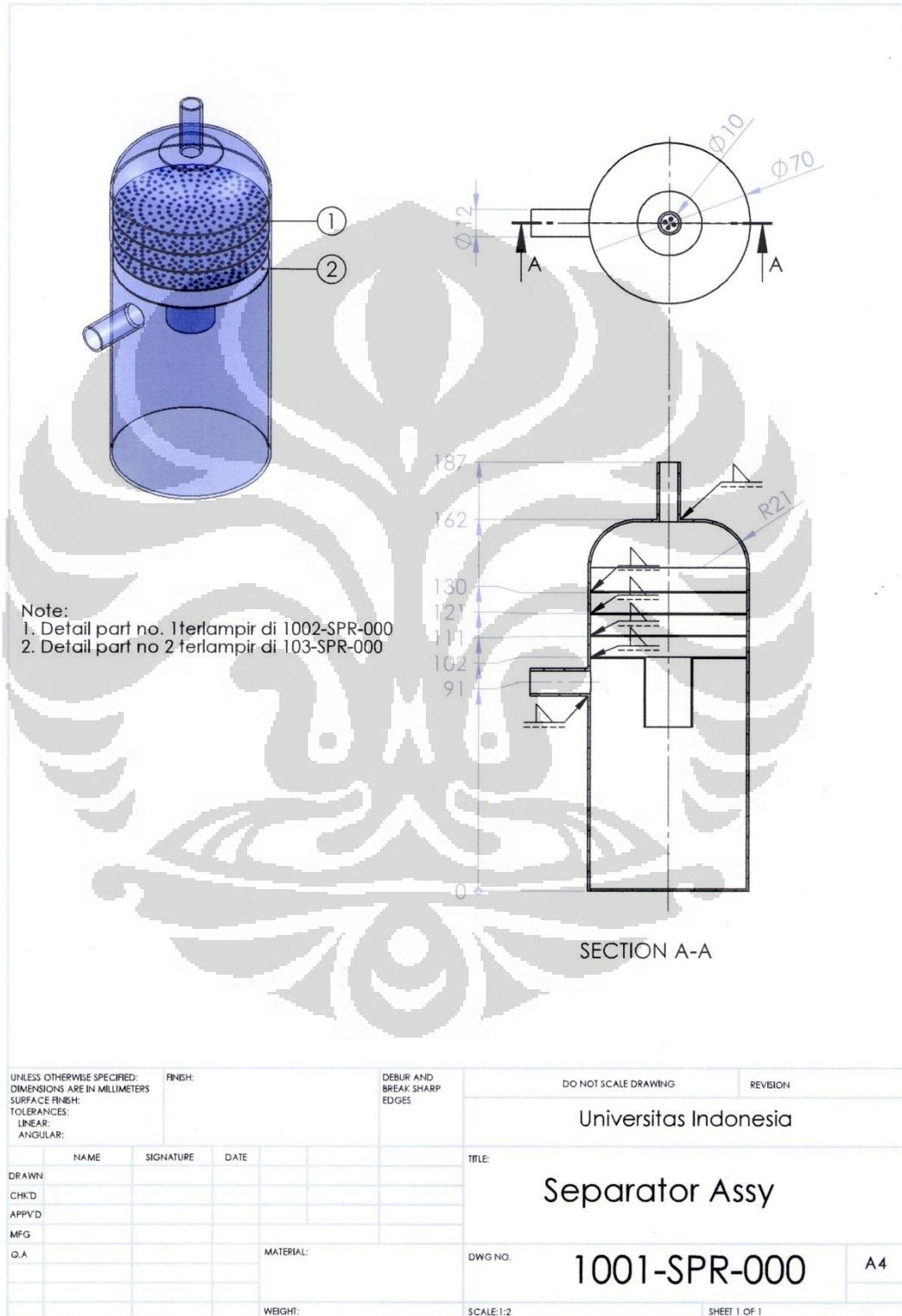
LAMPIRAN 4

Gambar Evaporator 2D



LAMPIRAN 5

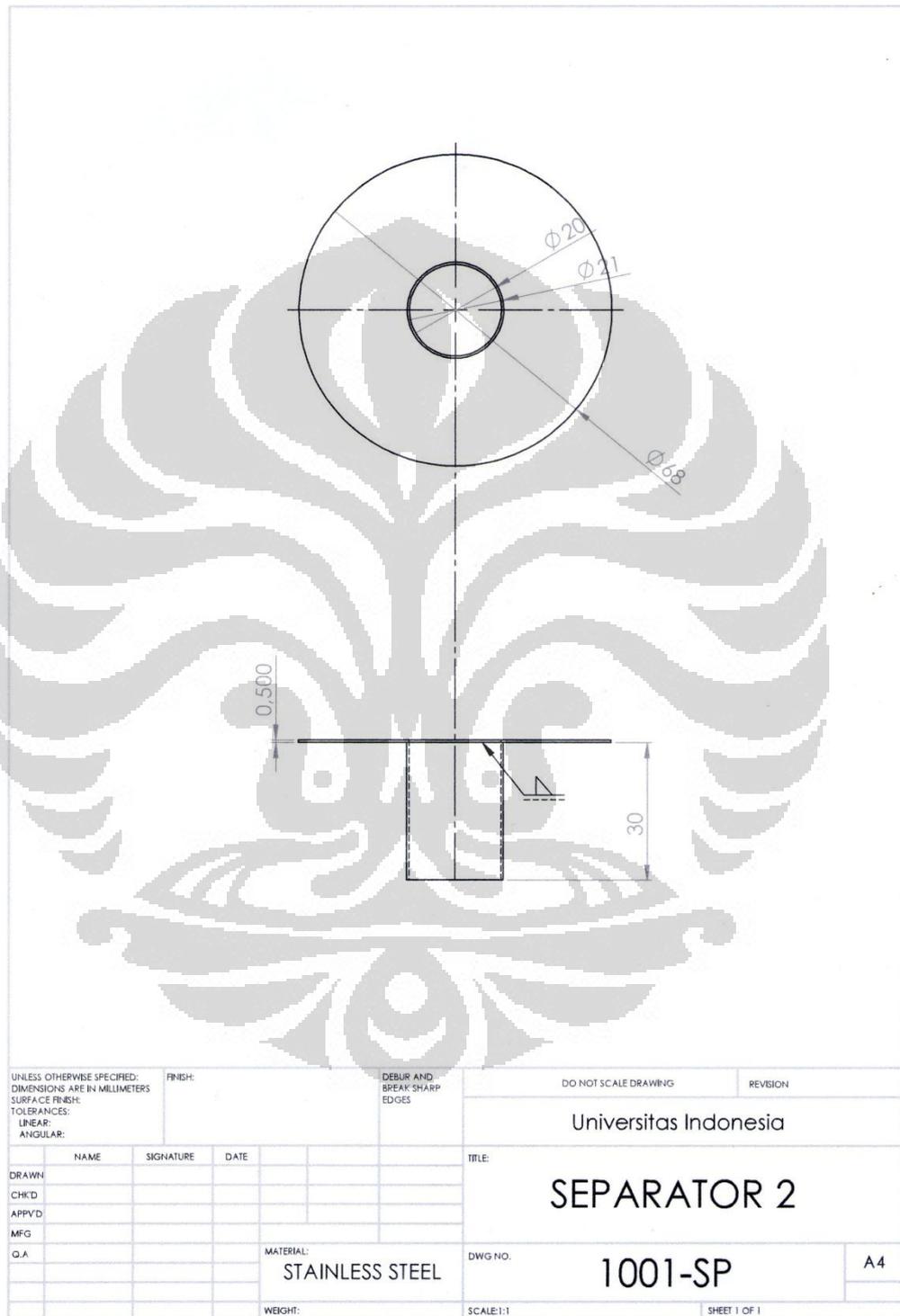
Gambar Separator Assy





## LAMPIRAN 7

## Gambar Separator





LAMPIRAN 9

Gambar Valve

