



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN KONTROL PANAS *EVAPORATOR*  
PADA *COMPACT DESTILATOR***

**SKRIPSI**

**DWI HARIYANTO**

**0906605290**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN KONTROL PANAS EVAPORATOR  
PADA COMPACT DESTILATOR**

**SKRIPSI**

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

**DWI HARIYANTO**

**0906605290**

**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 : Dwi Hariyanto**

**NPM : 0906605290**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 5 Juli 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Dwi Hariyanto

NPM : 0906605290

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : rancang bangun kontrol panas evaporator pada compact destillator

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. Agus Pamitran, ST.,M Eng.

Penguji : Dr.Ir. Adi Suryosatyo, M Eng.

Penguji : Ridho Irwansyah, S.T.,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 “rancang bangun kontrol panas evaporator pada compact destillator.”

Penulis menyadari, bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai masa penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan pemikiran-pemikiran yang mencerahkan, serta tenaga dan biaya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Mesin FTUI yang telah banyak membantu selama masa perkuliahan
3. Orang tua, kakak, adik yang telah luar biasa mendukung dan banyak membantu dalam berbagai hal.
4. Teman-teman mahasiswa PPSE 2009 tetap semangat men.
5. Teman skripsi (mas Hariyadi, mas Kari, mas Eko)
6. Teman-teman kosan sepuh (mas Rino, mas Puji, mas Daya, mas Azmi).
7. Sitalia Ulfa Al-Fiah terima kasih supportnya.

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 : Dwi Hariyanto  
NPM : 0906605290  
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

### **RANCANG BANGUN KONTROL PANAS *EVAPORATOR* PADA *COMPACT DESTILATOR***

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal: 5 Juli 2012

Yang menyatakan,



(Dwi Hariyanto)

## ABSTRAK

Nama : Dwi Hariyanto  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Rancang bangun kontrol panas *evaporator* pada  
*compact destilator*

Semakin meningkatnya kebutuhan minyak bumi sebagai sumber energi primer yang tidak terbarukan memaksa manusia untuk menemukan sumber energi alternatif. Energi terbarukan merupakan salah satu solusi untuk menghadapi persoalan ini. Salah satu sumber energi yang terbarukan adalah Bioethanol. Dalam penelitian ini, dilakukan rancang bangun kontrol panas *evaporator* pada *compact destilator* dengan memanfaatkan gas buang dari motor bakar dinamik sebagai alat utama pengolahan *ethanol*. Tujuannya adalah ingin menghasilkan produk *ethanol* yang layak menjadi bahan bakar *ethanol* dengan kadar diatas 85%. Oleh karena itu dilakukan pembuatan dan pengujian alat untuk mengontrol panas pada *evaporator*, dengan harapan dapat menjaga temperatur *evaporator* tidak melebihi 80°C sehingga dapat dihasilkan *ethanol* dengan kadar di atas 85%.

*Kata kunci:*

*Kontrol panas evaporator, Low grade ethanol, bioetanol, destilasi, compact destilator.*

**ABSTRACT**

*Name : Dwi Hariyanto*  
*Study Program : Mechanical Engineering*  
*Title : Design of thermal control evaporator in compact distillation*

**Abstract**

*The increasing needs for petroleum as primary energy sources is not renewable, forcing people to find alternative energy sources. Renewable energy is a solution to solve this issues. Are if the sources renewable energy is bioethanol. In this study, conducted heat control evaporator design in compact distillation utilizing flue gas from combustion dynamics as the primary means of processing ethanol. The purpose is to reduce a viable ethanol product to ethanol fuel with levels above 85%.*

**Keyword :**

*Thermal controll evaporatoe, low grade ethanol, bioethanol, distilation, compact destilator.*



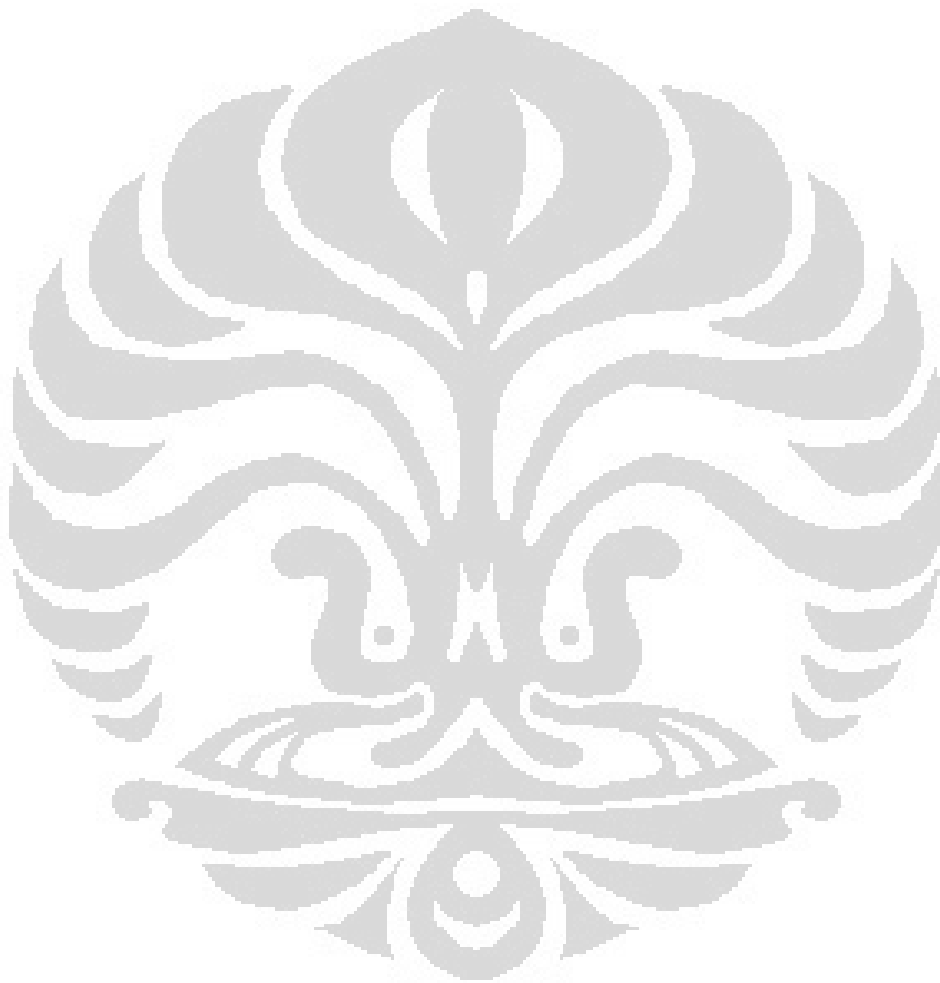
## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
PENGESAAAN .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTARLAMPRAN.....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Penelitian .....	4
1.5 Metodologi Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	<b>7</b>
2.1 Motor Otto .....	7
2.1.1. Siklus Kerja Motor Otto .....	8
2.2 Pengertian Bioethanol .....	11
2.2.1. Pembuatan Ethanol Secara Fermentasi.....	12
2.3. Distilasi.....	14
2.3.1. Teori Dasar Distilasi .....	15
2.3.2. Proses Distilasi .....	15
2.4. Pindah Panas.....	17
2.5 Bioethanol Sebagai Bahan Bakar.....	18
2.5.1 Penggunaan Bioethanol Pada Mesin Pembakaran Dalam .....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>22</b>

3.1. Metode Penelitian .....	22
3.2. Desain Proses pembuatan Alat Kontrol Panas Evaporator .....	23
3.3. Peralatan Uji .....	27
3.3.1. Skematik Peralatan Uji .....	29
3.4. Prosedur dan Standar Pengujian.....	30
3.5. Petunjuk K3L .....	31
<b>BAB IV PERANCANGAN DAN PENGOLAHAN DATA .....</b>	<b>34</b>
4.1. Analisa Material dan Desain Alat Compact Destilator .....	34
4.1.1. Evaporator .....	34
4.1.2. Separator .....	36
4.1.3. Heat Exchanger .....	38
4.1.4. Exhaust Pipe .....	38
4.2. Dasar Pemilihan Dimensi Alat Compact Destilator .....	40
4.2.1. Ruang pada Motor Uji .....	40
4.2.1. Kebutuhan Etanol .....	41
4.2.3. Panas Gas Buang yang Dihasilkan .....	41
4.3. Perhitungan Kalor .....	41
4.3.1. Perhitungan Panas Yang Tersedia Pada Gas Buang.....	41
4.3.2. Perhitungan Kalor Untuk Menjaga Temperatur Cairan Pada Evaporator 85°C.....	43
4.3.3. Perhitungan Perpindahan Panas Pada Kondensor .....	44
4.4. Uji Performance Exhaust Pipe Modifikasi .....	45
4.4.1. Hasil Pengujian Power, Torque, AFR Motor Bakar Dinamik .....	45
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>48</b>
5.1 Kesimpulan .....	48
5.2 Saran.....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>50</b>

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Konversi Biomassa Menjadi Bioethanol.....	13
Tabel 3.1. Spesifikasi Bahan Bakar Premium.....	27
Tabel 3.2. Spesifikasi Sepeda Motor Thunder 125cc .....	27
Tabel 3.3. Spesifikasi Engine Dynamometer .....	28

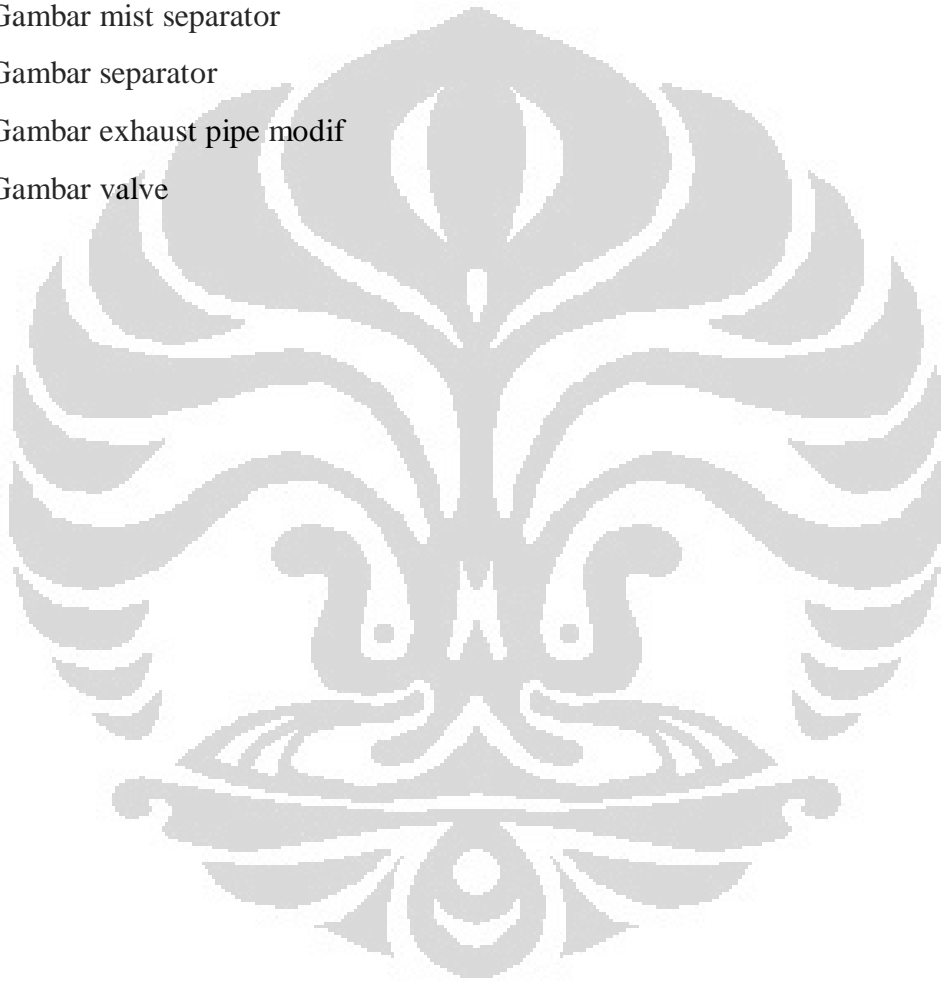


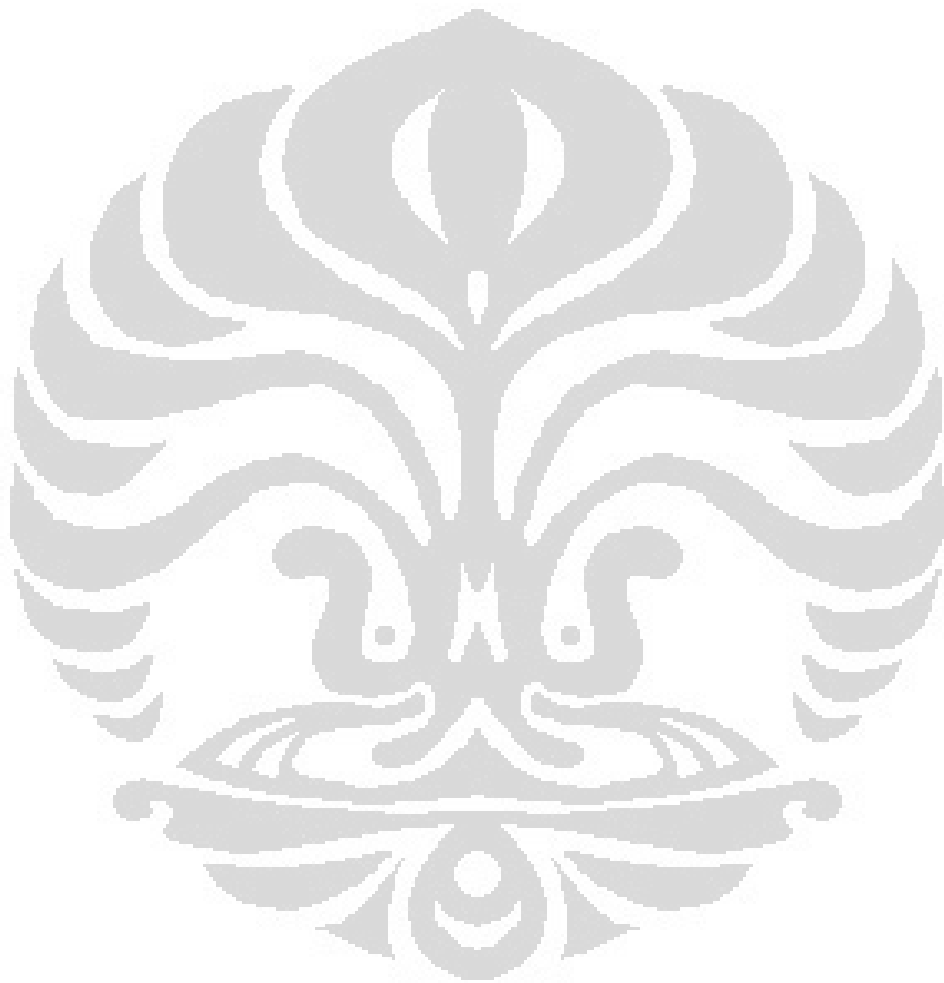
## DAFTAR GAMBAR

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 .....	14
Gambar 2.4. Gambaran dan penjelasan mengenai fraksi massa dan cair .....	16
Gambar 2.5. Skema proses perpindahan massa pada peristiwa destilasi.....	17
Gambar 3.1 Flow Chart.....	22
Gambar 3.2 Engine dyno .....	29
Gambar 3.3. Mengecek kondisi engine .....	30
Gambar 3.4. Ear plug safety.....	31
Gambar 3.5 Sarung tangan.....	32
Gambar 3.6. masker.....	33
Gambar 4.1 Gambar 3D Evaporator.....	35
Gambar 4.2 Gambar 2D Evaporator.....	35
Gambar 4.3 Thermo Control.....	36
Gambar 4.4 3D Separator.....	37
Gambar 4.5 2D Separator.....	37
Gambar 4.6 Heat exchanger .....	38
Gambar 4.7 Valve exhaust pipe.....	39
Gambar 4.8 3D Gas buang melalui evaporator .....	39
Gambar 4.9 3D Gas buang melalui by pass .....	40
Gambar 4.1 Grafik power tiap putaran mesin terhadap saluran gas buang .....	45
Gambar 4.2 Grafik torsi tiap putaran mesin terhadap saluran gas buang .....	46
Gambar 4.3 Grafik AFR tiap putaran mesin terhadap saluran gas buang .....	47

**DAFTAR LAMPIRAN**

- Kesetimbangan Uap-Cair campuran etanol dengan air
- Properties of fuel
- Nilai kira-kira koefisiensi perpindahan kalor konveksi
- Sifat-sifat air (zat cair jenuh)
- Gambar evaporator 2D
- Gambar separator assy
- Gambar mist separator
- Gambar separator
- Gambar exhaust pipe modif
- Gambar valve





# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Krisis minyak dan melonjaknya harga minyak dunia belakangan ini sangat berpengaruh terhadap kebutuhan energi dan perekonomian banyak negara. Dari sisi lingkungan, melonjaknya harga minyak dan semakin menipisnya persediaan minyak dunia akan mengurangi tingkat emisi karbon, yang belakangan ini menjadi topik diskusi yang intensif di berbagai belahan dunia. Berbagai skema diupayakan untuk mengurangi emisi karbon, antaranya 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. Perubahan cuaca yang sangat ekstrim tiga tahun terakhir ini sering dinisbatkan sebagai akibat dari pemanasan global.

Penggunaan BBN sebagai bahan bakar, disebut sebagai *biofuel*, akan menghasilkan dua keuntungan. Keuntungan pertama berupa jaminan ketersediaan yang langgeng di masa depan (*renewable*). Berbeda dengan minyak fosil yang diperoleh dengan cara menambang dan lama-lama habis sejalan waktu, *biofuel* diperoleh dari berbagai bahan nabati yang ditumbuhkan, seperti halnya produk pertanian. Penggunaan *biofuel* sebagai bahan bakar berarti menggalakkan sektor pertanian dan mampu menyerap jutaan tenaga kerja. Seperti diketahui, sektor pertanian selama ini kurang mendapatkan perhatian karena kurang kompetitif dibandingkan dengan sektor industri. Akibatnya, pertanian terbengkalai. Banyak lahan kritis yang dibiarkan merana karena bertani dianggap tidak memberikan keuntungan secara ekonomi. Dengan peralihan *biofuel* untuk menggantikan minyak fosil, maka sektor pertanian kembali hidup. Masyarakat tidak lagi berbondong-bondong meninggalkan desa menuju kota, karena kesempatan kerja di sektor pertanian terbuka lebar.

Keuntungan kedua, *biofuel* adalah energi hijau yang tidak mencemari lingkungan. Berbagai penelitian menunjukkan terjadinya reduksi emisi dari gas buang hasil pembakaran mesin. Biodiesel B10 mampu menurunkan emisi CO<sub>2</sub>

diudara hingga 15% (tolong koreksi bila salah). Penggunaan *bioethanol* dalam bentuk gasohol E15 mampu mereduksi secara signifikan emisi gas buang, terutama CO dan NOX serta senyawa-senyawa polutan yang lain. Disisi lain, biofuel adalah bahan bakar yang diperoleh dari recycle CO<sub>2</sub> di alam oleh tumbuhan. Jelasnya, tumbuhan menyerap CO<sub>2</sub> di udara dan H<sub>2</sub>O dari tanah dan mengubahnya menjadi senyawa kimia yang berguna bagi kehidupan dengan bantuan energi matahari. Dengan menggunakan *biofuel*, maka jumlah CO<sub>2</sub> di udara tetap, karena CO<sub>2</sub> yang dilepaskan pada pembakaran akan diserap kembali oleh tumbuhan selanjutnya diubah menjadi senyawa kimia yang merupakan bahan baku biofuel. Berbeda dengan minyak berbasis fosil, biofuel bersifat karbon netral dan karenanya tak membahayakan lingkungan.

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.

Meskipun alkohol sebagai bahan bakar sangat ramah lingkungan, namun penggunaan dalam skala ekonomi untuk bahan bakar mesin akan memunculkan dua masalah mendasar, yaitu:

- 1) Pengalihan penggunaan bahan pangan sebagai bahan baku alkohol, sehingga berpotensi menimbulkan krisis pangan. Bahan baku utama alkohol saat ini adalah tepung kanji dan gula yang sebenarnya adalah bahan pangan.
- 2) Proses produksi alkohol mengkonsumsi energi tinggi, sebanding dengan kandungan energi output yang dihasilkan. Berdasarkan kajian literatur, untuk memproduksi 1 unit energi yang terkandung pada alkohol murni



berkadar 99.5% atau lebih, diperlukan energi sebesar 0.5-1.5 unit yang variasinya tergantung dari jenis bahan baku dan proses produksinya. Penggunaan tersebut mulai dari biaya pengolahan lahan pertanian, pupuk, transportasi bahan baku ke pabrik dan distribusi ke pengguna. Karenanya, meski penggunaan *bioethanol* sebagai pengganti bensin sangat ramah lingkungan, tingginya konsumsi energi yang diperlukan untuk memproduksi dan mengolah bahan baku menjadi *ethanol* murni terus memicu debat publik. Bahkan di Amerika sendiri, hingga kini penggunaan *bioethanol* masih memunculkan kontroversi.

- 3) Sifat alkohol yang sangat higroskopik, menjadikan alkohol sulit dialirkan dengan menggunakan pipa. Transportasi alkohol dari pabrik yang memproduksi ke pengguna selalu menggunakan angkutan khusus. Demikian juga media penyimpanannya. Terkait karakter alkohol yang sangat higroskopik tersebut, kadar tertinggi yang dapat diperoleh dari penyulingan (destilasi) hanyalah 95%. Untuk menjadi alkohol dengan kadar 100%, diperlukan teknis 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 industri atau usaha mikro kecil menengah (UMKM).

Problem pertama diatasi dengan menyediakan sumber-sumber karbohidrat atau gula nonpangan untuk bahan alkohol. Penguraian *ligno-selulosa* pada *biomass* menjadi *selulosa* dengan bantuan *enzim* tertentu potensial untuk diterapkan. Cara lain adalah dengan metode *thermal depolymerization* yang memecah molekul lignin menjadi molekul berantai lebih pendek. Disamping itu, pembudi-dayakan jenis *algae* tertentu yang menghasilkan karbohidrat tinggi layak untuk dikembangkan. Riset ini sekarang sangat gencar dilakukan di berbagai belahan bumi.

Problem kedua dan ketiga sulit diatasi mengingat karakter alkohol yang sangat higroskopik (menyerap air). Jika alkohol berkadar 100% ditempatkan di udara, maka alkohol tersebut akan menyerap uap air uap sehingga menurunkan kemurniannya. Karenanya, penggunaan E100 atau gasohol mensyaratkan tangki

bahan bakar yang kedap udara. Kebocoran tangki yang sedikit akan mampu menyerap molekul air di udara yang pada gilirannya menjadikan gumpalan air mengendap di bagian bawah tangki. Hal ini menjadikan tangki berkarat dan mesin terganggu kinerjanya bila air tersebut terserap ke dalam mesin.

Oleh karena itu, dalam penulisan skripsi ini akan dibahas tentang “Rancang bangun kontrol panas *evaporator* pada *compact destilator*” untuk mendapatkan alkohol yang dapat di manfaatkan sebagai bakar kendaraan bermotor (*fuel internal combustion motor vehicles*).

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Melihat dari latar belakang yang telah dipaparkan, maka penelitian difokuskan untuk membuat suatu alat *compact destilator* dengan pengontrolan gas buang dari pembakaran motor dinamik. Penelitian dilakukan dengan membuat control panas pada *evaporator*, sehingga kadar *ethanol* yang di hasilkan tinggi.

## 1.3. TUJUAN PENELITIAN

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

## 1.4 BATASAN PENELITIAN

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

1. Dalam perancangan, alat *compact destilator* yang telah terpasang pada unit motor di modifikasi dengan menambahkan kontrol panas pada *evaporator*.
2. Melakukan perhitungan panas bahan bakar dapat menjaga temperatur kerja *evaporator* atau tidak..
3. Membandingkan kinerja *muffler* standar dengan *muffler* modifikasi.
4. Motor bakar dinamik yang akan digunakan adalah Motor Suzuki Thunder 4 langkah 125 cc produksi tahun 2007.

## 1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Pada pelaksanaannya penelitian ini dilakukan dengan metodologi sebagai berikut:

### a. Studi literatur

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya yang juga membahas tentang *BIOETHANOL DISTILLATOR* dan *BIOETHANOL ENGINE*, oleh karena itu dalam pelaksanaan penelitian ini ada beberapa hal yang menjadi dasar pengembangan alat pada skripsi tersebut sehingga dihasilkan alat yang memiliki kapasitas produksi yang mampu mencapai laju konsumsi bahan bakar motor serta membantu dalam proses analisa unjuk kinerja motor.

### b. Pembuatan dan modifikasi alat *compact distillator*.

Pada tahap ini, konsumsi waktu yang digunakan cukup banyak dalam pelaksanaan penelitian ini. Pembuatan dan modifikasi komponen-komponen *compact distillator* ini diawali dengan konsultasi dengan dosen pembimbing mengenai rancangan komponen-komponen tersebut agar lebih *compact* serta dapat diaplikasikan pada *engine test*. Tahapan selanjutnya adalah pencarian material-material yang dibutuhkan, untuk kemudian dilakukan proses pembuatan komponen. Pembuatan komponen-komponen ini cukup memberikan tantangan tersendiri karena memerlukan wawasan yang cukup luas dalam proses fabrikasi, metode pembentukan serta perlakuan bahan agar bentuk yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan dengan ketersediaan alat yang ada dan efektifitas pengerjaannya.

### c. Pengambilan data unjuk kerja *muffler* modifikasi

Proses pengambilan data ini dilakukan dengan test pada *engine dyno*, hasil test *muffler* modifikasi di bandingkan dengan *muffler* standar dengan variasi gas buang yang dilewatkan *evaporator* dan *bypass*.

## 1.6 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, asumsi-asumsi yang digunakan, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

- **BAB II DASAR TEORI**

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

- **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

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

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

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

- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

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

## BAB II DASAR TEORI

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

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

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

## Siklus Kerja Motor Otto

Komponen-komponen utama dari sebuah motor otto adalah:

1. Katup Masuk (*intake valve*)

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

2. Katup Buang (*exhaust valve*)

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

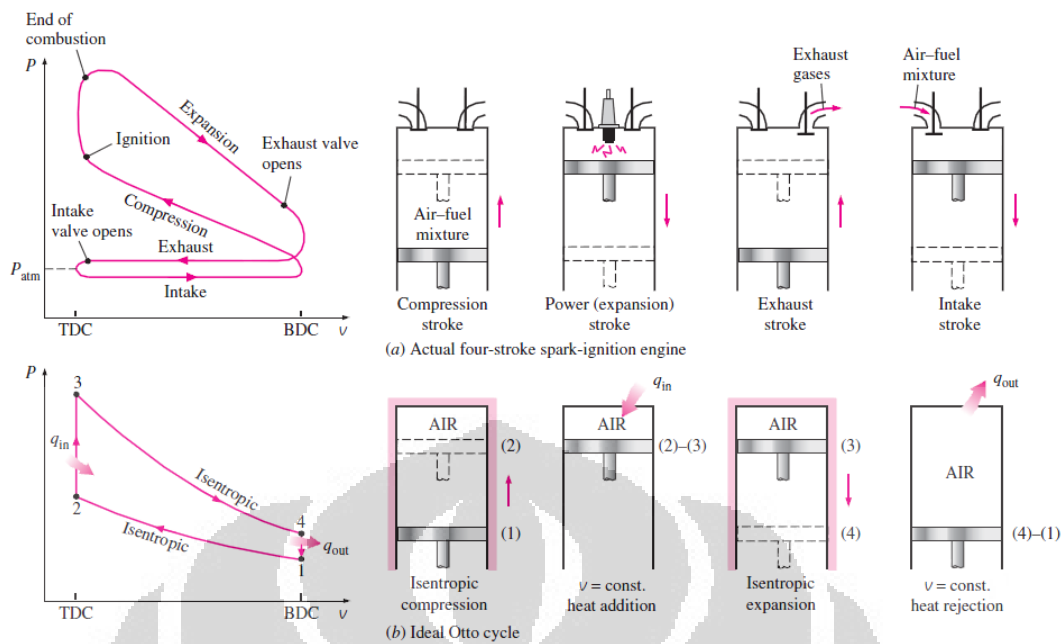
3. Torak

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

4. Busi

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

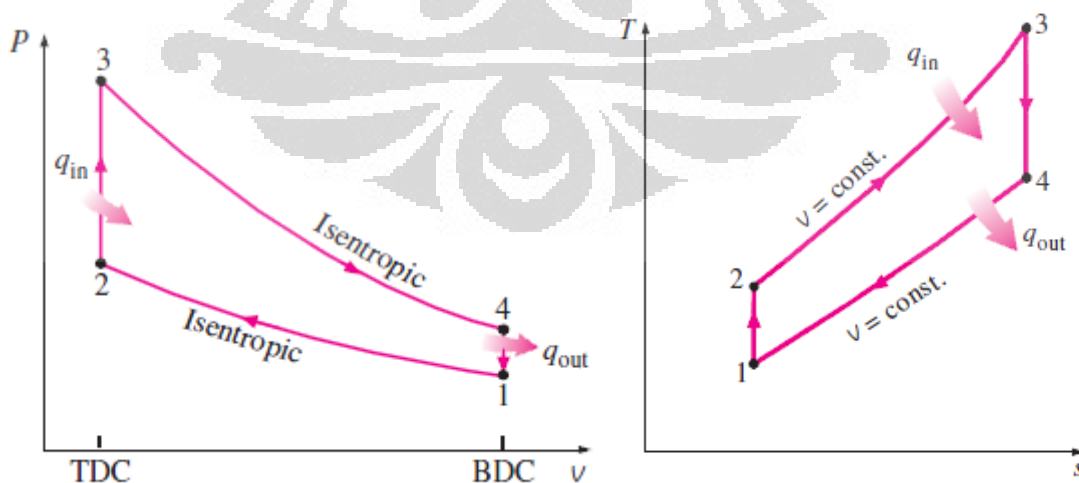
Pada mesin 4 langkah, torak bergerak bolak-balik dalam silinder dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB) sebanyak 4 kali atau 2 putaran engkol untuk memenuhi 1 siklus kerja. Jarak yang ditempuh torak selama gerakan bolak-balik disebut dengan *stroke* atau langkah torak. Langkah-langkah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



Gambar 2.1 Urutan siklus kerja motor bakar 4 langkah

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

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



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

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

1. Langkah Isap (*Intake*)

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

2. Langkah kompresi (*compression*)

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

3. Pembakaran (*combustion*)

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

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

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

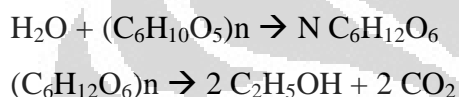
5. Langkah buang (*exhaust*)

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



## 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 :



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

Etanol memiliki berat jenis sebesar 0,7937 g/mL (15oC) dan titik didih sebesar 78,32oC 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 25-30oC dan kadar gula 10-18 %. Etil-Alkohol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) dikenal

juga dengan nama alkohol adalah suatu cairan tidak berwarna dengan bau yang khas. Di dalam perdagangan kualitas alkohol di kenal dengan beberapa tingkatan.

#### 1. Alkohol Teknis (96,5°GL)

Digunakan terutama untuk kepentingan industri sebagai bahan pelarut organik, bahan baku maupun bahan antara produksi berbagai senyawa organik lainnya. Alkohol teknis biasanya terdenaturasi memakai  $\frac{1}{2}$  -1 % piridin dan diberi warna memakai 0,0005% metal violet.

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

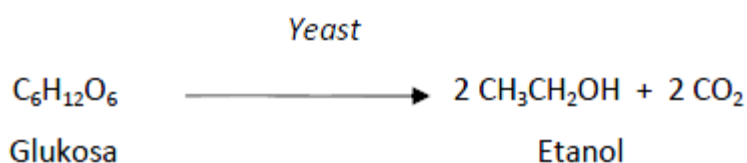
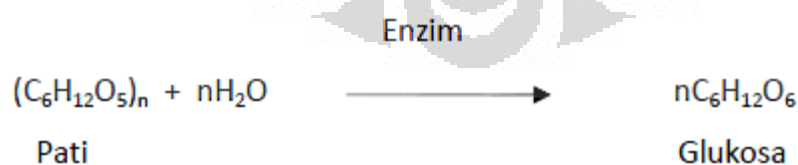
Digunakan terutama untuk kepentingan farmasi dan konsumsi misal untuk minuman keras.

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

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

### 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:



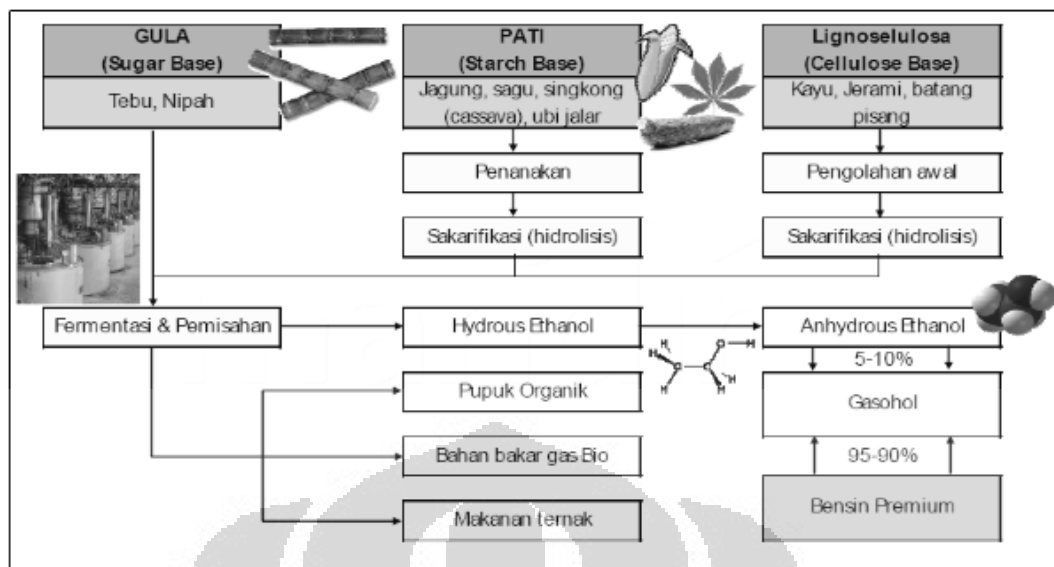
Bahan Baku yang sering digunakan untuk pembuatan etanol dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu:

- 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. 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

### 2.3. Distilasi

Istilah distilasi sederhana umumnya berkaitan dengan pemisahan suatu campuran yang terdiri dari dua atau lebih cairan melalui pemanasan. Pemanasan dimaksudkan untuk menguapkan komponen-komponen yang lebih mudah menguap (titik didih lebih rendah) dan kemudian uap yang diperoleh dikondensasi kembali menjadi cair dan kemudian ditampung dalam suatu bejana penerima (Cook dan Cullen, 1986).

Unit operasi distilasi merupakan metode yang digunakan untuk memisahkan komponen-komponen yang terdapat dalam suatu larutan atau campuran dan tergantung pada distribusi komponen-komponen tersebut antara fasa uap dan fasa cair. Semua komponen tersebut terdapat dalam fasa cairan dan uap. Fasa uap terbentuk dari fasa cair melalui penguapan (evaporasi) pada titik didihnya (Geankoplis, 1983). Syarat utama dalam operasi pemisahan komponen-komponen dengan cara distilasi adalah komposisi uap harus berbeda dari komposisi cairan dengan terjadi keseimbangan larutan-larutan, dengan komponen-komponennya cukup dapat menguap.

Suhu cairan yang mendidih merupakan titik didih cairan tersebut pada tekanan atmosfer yang digunakan (Geankoplis, 1983). Distilasi dilakukan melalui tiga tahap: evaporasi yaitu memindahkan pelarut sebagai uap dari cairan; pemisahan uap cairan di dalam kolom, untuk memisahkan komponen dengan titik

didih lebih rendah yang lebih volatil dari komponen lain yang kurang volatil; dan kondensasi dari uap, untuk mendapatkan fraksi pelarut yang lebih volatil.

### **2.3.1. Teori Dasar Distilasi**

Titik didih dapat didefinisikan sebagai nilai suhu pada tekanan atmosfer atau pada 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).

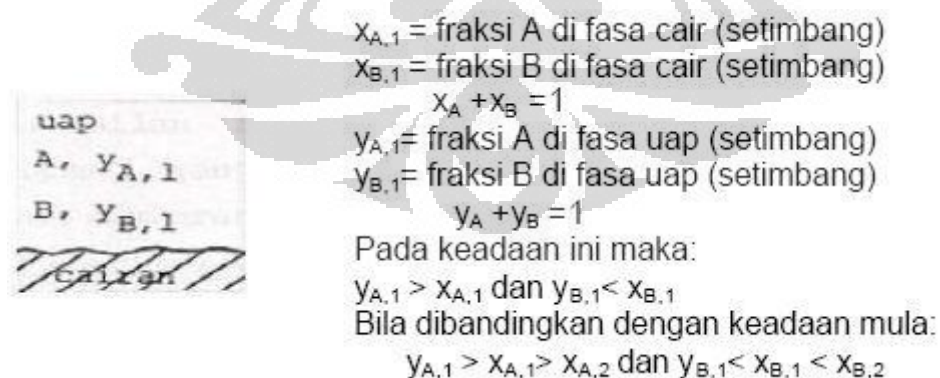
Kondensasi atau proses pengembunan uap menjadi cairan, dan penguapan suatu cairan menjadi uap melibatkan perubahan fase cairan dengan koefisien pindah panas yang besar. Kondensasi terjadi apabila uap jenuh seperti *steam* bersentuhan dengan padatan yang temperaturnya di bawah temperatur jenuh sehingga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

### **2.3.2. 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

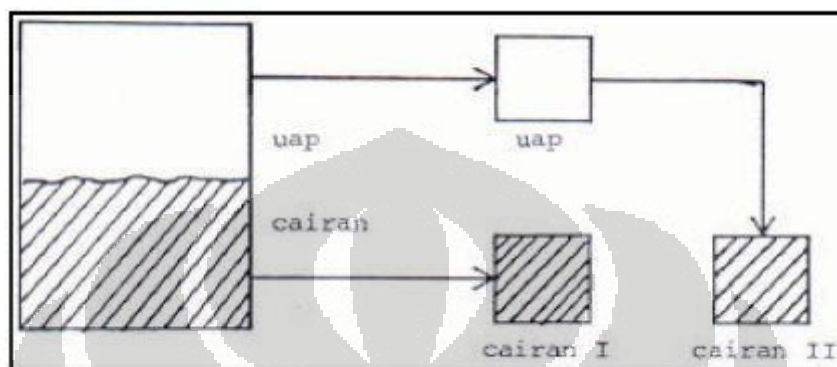
1. Mula-mula, pada cairan terdapat campuran A dan B, dimana karakteristik dari komponen-komponen tersebut adalah komponen A lebih mudah menguap (volatil) dibanding komponen B. Komposisi dari kedua komponen tersebut dinyatakan dengan fraksi mol. Untuk fase cair komponen A dinyatakan dengan  $x_A$ , sedangkan komponen B dinyatakan dengan  $x_B$ .



Gambar 2.4. Gambaran dan penjelasan mengenai fraksi massa dan cair

[www.chem-is-try.org](http://www.chem-is-try.org)

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 2.5. 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 Pindah Panas

Pindah panas adalah proses yang dinamis yaitu panas dipindahkan secara spontan dari satu bahan ke bahan lain yang lebih dingin (Earle, 1969). Kecepatan pindah panas tergantung pada perbedaan suhu antara kedua bahan, semakin besar perbedaan suhu antara kedua bahan, maka semakin besar kecepatan pindah panas antara kedua bahan tersebut. Perbedaan suhu antara sumber panas dan penerima panas merupakan gaya tarik dalam pindah panas.

Peningkatan perbedan suhu akan meningkatkan gaya tarik sehingga meningkatkan kecepatan pindah panas. Perpindahan panas dapat melalui tiga cara yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduksi adalah transfer energi dari partikel yang memiliki energy lebih besar ke partikel yang berenergy lebih kecil yang merupakan interaksi antara partikel-partikel (Cengel, 2003). Konduksi dapat terjadi pada benda padat, cair, dan gas. Contoh konduksi adalah pindah panas melalui dinding padat pada ruangan pendinginan.

Konveksi adalah cara pindah panas dengan pergerakan sekelompok molekul di dalam bahan cair (Earle, 1969). Kumpulan molekul tersebut mungkin bergerak akibat perubahan kerapatan atau akibat pergerakan bahan cair. Contoh pindah panas secara konveksi adalah proses pemanasan air didalam kuili tertutup tanpa pengadukan, perubahan kerapatan menyebabkan pindah panas dengan konveksi alamiah. Apabila dengan pengadukan, maka pindah panas terjadi secara paksa.

## 2.5 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 Kementrian Lingkungan Hidup Jepang telah menargetkan pada tahun 2008 campuran gasolin + ethanol 10kan digunakan untuk menggantikan gasolin di seluruh Jepang. Kementrian 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 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.

### 2.5.1 Penggunaan Bioethanol Pada Mesin Pembakaran Dalam

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

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

Angka oktan pada bahan bakar mesin Otto menunjukkan kemampuannya menghindari terbakarnya campuran udara-bahan bakar sebelum waktunya (selfignition). Terbakarnya campuran udara-bahan bakar di dalam mesin Otto sebelum waktunya akan menimbulkan fenomena ketuk (knocking) yang berpotensi menurunkan daya mesin, bahkan bisa menimbulkan kerusakan serius pada komponen mesin. Selama ini, fenomena ketuk membatasi penggunaan rasio kompresi (perbandingan antara volume silinder terhadap volume sisa) yang tinggi pada mesin bensin. Tingginya angka oktan pada ethanol memungkinkan penggunaan rasio kompresi yang tinggi pada mesin Otto. Korelasi antara efisiensi dengan rasio kompresi berimplikasi pada fakta bahwa mesin Otto berbahan bakar

ethanol (sebagian atau seluruhnya) memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar gasoline (Yuksel dkk, 2004), (Al-Baghdadi, 2003). Untuk rasio campuran ethanol:gasoline mencapai 60:40 tercatat peningkatan efisiensi hingga 10 Yuksel dkk, 2004).

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

Rendahya 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.

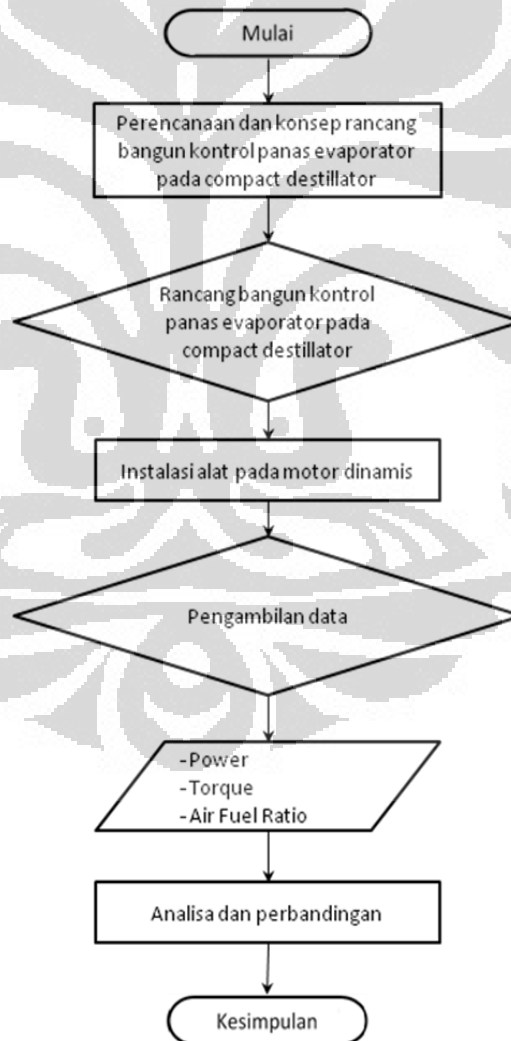
Namun perlu dicatat bahwa emisi aldehide lebih tinggi pada penggunaan ethanol, meski bahaya emisi aldehide terhadap lingkungan adalah lebih rendah daripada berbagai emisi gasolin (Yuksel dkk, 2004). Selain itu, pada prinsipnya emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan pada pembakaran ethanol juga akan dipergunakan 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 METODE PENELITIAN

Penelitian ini digunakan metode penelitian eksperimental untuk mendapatkan tujuan dari penelitian ini. Penelitian eksperimental yaitu metode yang dapat dipakai untuk rancang bangun kontrol panas *evaporator* pada *compact destillator* dengan pemanfaatan panas gas buang motor bakar dinamik. Pemanfaatan panas gas buang motor sebagai sumber pemanas *distillator* dikontrol untuk mendapatkan hasil destilasi dengan kadar alkohol yang di inginkan.



Gambar 3.1 Flow Chart

Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan di engine *dynamometer* dengan *engine* menggunakan bahan bakar premium dengan dipasang knalpot modifikasi dan knalpot standar.

### 3.2 DESAIN PROSES PEMBUATAN ALAT KONTROL PANAS *EVAPORATOR*

#### Identifikasi dan Konsep Desain

Tujuan: Identifikasi dan evaluasi menghasilkan konsep desain kontrol panas *evaporator*

Metode: *Problem Statement*  
*Quality Function Deployment (QFD)*  
*Product Design Specification (PDS)*  
*Functional Decomposition*  
*Morphological Chart*

Keluaran: Teridentifikasi permasalahan dan dihasilkan model kompak destilator yang dilengkapi system pendingin udara.



#### Gambar dan Evaluasi Desain

Tujuan : Penggambaran setiap komponen kontrol panas *evaporator*

Metode : CAD

Keluaran: Gambar alat kontrol panas *evaporator*.



#### Pembuatan dan Pengujian prototipe

Tujuan : Menghasilkan sistim kontrol panas *evaporator*.

Metoda : Uji teknis dan lapangan

Keluaran : Diketahui kinerja dan kapasitas kerja kontrol panas *evaporator* serta perbaikan komponen.

## Identifikasi dan konsep desain

Metode:

### 1. *Problem statement*

Semakin tinggi kadar etanol, semakin bagus performanya sebagai bahan bakar. Tetapi, etanol bersifat higroskopis (mudah menarik molekul air dari kelembaban udara). Karena Indonesia berudara lembab, hal ini dapat menjadi masalah serius. Semakin tinggi kadar etanol, semakin banyak kadar air yang ikut tercampur. Hal inilah yang menyebabkan masalah serius pada mesin kendaraan. Kandungan air yang tinggi pada bioetanol bukan hanya menyebabkan masalah karat di tangki, bila air masuk ke *fuel line*, proses pengapian akan terganggu sehingga kendaraan menjadi sulit untuk dihidupkan. Di samping itu, etanol yang dihasilkan masih mengandung kadar glukosa sekitar 5 %. Adanya impuritas juga menyebabkan menurunnya performa mesin dan kerusakan alat. Dengan demikian, penggunaan bahan bakar bioetanol masih membutuhkan suatu penerapan teknologi pemurnian bahan bakar bioetanol dan sosialisasi penyiapan bahan bakar tersebut kepada masyarakat. Pada saat ini, proses produksi bioetanol dengan fermentasi menghasilkan yield sebesar 9-11%. Untuk proses pemurniannya digunakan metode distilasi. Tetapi metode destilasi hanya bisa digunakan bila yield yang dihasilkan minimal sebesar 9%. Sedangkan untuk *yield* di bawah 9%, belum ada metode memadai untuk proses pemurniannya.

Dari fakta-fakta yang telah dipaparkan di atas dalam penggunaan bioetanol, dapat dirumuskan beberapa permasalahan untuk diselesaikan seperti berikut ini:

- Bagaimana cara pemurnian bioetanol dengan metode adsorpsi hidrofobik (Adsorpsi merupakan suatu peristiwa terkontakannya partikel padatan dan cairan pada kondisi tertentu sehingga sebagian cairan terjerap di permukaan padatan dan konsentrasi cairan yang tidak terjerap mengalami perubahan (Brown, 1950).).
- Apa adsorbent yang paling tepat digunakan dalam pemurnian bioetanol.
- Bagaimana pengaruh waktu terhadap hasil pemurnian bioetanol.
- Bagaimana pengaruh ukuran adsorbent (evaporator) terhadap hasil pemurnian bioetanol.

## 2. *Quality Function Deployment (QFD)*

Metode *Quality Function Deployment* adalah suatu metodologi pengembangan yang kuat dengan cakupan aplikasi yang luas. Tujuan utama QFD dalam studi ini untuk menerapkan konstruksi suatu metode desain yang berorientasi kepada pemakaian alat dan menguji kemampuan aplikasi QFD dalam perancangan desain dan proses alat kontrol panas evaporator. Contohnya yaitu pemilihan material pembuat alat compact destilator yang disesuaikan dengan karakteristik dari ethanol sebagai media yang akan didestilasi.

## 3. *Product Design Specification (PDS)*

PDS (*Product Design Specification*) merupakan dokumen formal yang mengaitkan antara fungsi alat destilasi secara ekonomi dan fungsi teknik. Tujuan PDS disini adalah untuk mengkonversikan kebutuhan alat kontrol panas evaporator yang diidentifikasi menjadi fungsi-fungsi dan batasan-batasan desain produk, pabrikasi dan kemampuan untuk diproduksi. PDS merupakan dokumen yang berpotensi untuk dikembangkan dimana seluruh desain bergantung pada isi dan fungsi penggunaannya.

## 4. *Functional Decomposition*

Metodologi Pemecahan Fungsional ini menekankan pada pemecahan dari sistem ke dalam subsistem-subsistem yang lebih kecil, sehingga akan lebih mudah untuk dipahami. Pada perancangan kontrol panas evaporator dilakukan pemecahan dari komponen-komponen alat untuk mengidentifikasi dan menentukan bentuk dari alat dengan menyesuaikan dimensi ruang yang tersedia dan dengan memperhatikan fungsi dari setiap komponen yang membentuk kontrol panas evaporator.

## 5. Morphological Chart

Morphological Chart adalah suatu daftar atau ringkasan dari analisis perubahan bentuk secara sistematis untuk mengetahui bagaimana bentuk suatu produk dibuat. Didalam chart ini dibuat kombinasi dari berbagai kemungkinan solusi untuk membentuk produk – produk yang berbeda atau bervariasi.

Kombinasi yang berbeda atau bervariasi. Kombinasi yang berbeda dari sub solusi dapat dipilih dari chart, mungkin dapat menuju solusi baru yang belum teridentifikasi sebelumnya. Morphological Chart berisi elemen – elemen , komponen – komponen atau sub – sub solusi yang lengkap yang dapat dikombinasikan.

Langkah – langkahnya adalah sebagai berikut :

- 1) Mendaftar / membuat daftar yang penting bagi sebuah produk. Daftar tersebut haruslah meliputi seluruh fungsi pada tingkat generalisasi yang tepat dari komponen kontrol panas *evaporator*.
- 2) Daftar setiap fungsi yang dapat dicapai yang menentukan komponen apa saja untuk mencapai fungsi. Daftar tersebut meliputi gagasan baru sebagaimana komponen – komponen yang ada dari bagian solusi.
- 3) Menggambar dan membuat sebuah chart untuk mencantumkan semua kemungkinan – kemungkinan hubungan solusi.
- 4) Identifikasi kelayakan gabungan / kombinasi sub – sub solusi dari perancangan alat compact distillator. Jumlah total dari kombinasi tersebut mungkin sangat banyak, sehingga pencarian strategi mungkin harus berpedoman pada konstrain atau kriteria.

### **Gambar dan Evaluasi Desain**

Setelah dilakukan analisa terhadap dimensi yang tersedia di motor uji dan diidentifikasi model *compact distillator* yang paling sederhana maka didapatkan dimensi maksimal dari alat compact distillatory yang disesuaikan dengan dimensi yang ada.

### **Pembuatan dan Pengujian prototype**

Pembuatan dari alat kontrol panas evaporator yang sudah dirancang dan digambar dilakukan di beberapa workshop yang khusus menangani setiap bagian-bagian dari pembentuk alat kontrol panas evaporator.

- Modifikasi leher knalpot dilakukan di bengkel knalpot.
- Pembuatan butterfly valve dilakukan di bengkel knalpot.
- Sedangkan untuk *Heat Exchanger* (kondensor), menggunakan radiator motor bakar dinamik yang ada di pasaran.



Setelah masing-masing komponen sudah selesai diproduksi dan kemudian bisa untuk dilakukan perakitan di media motor uji, maka selanjutnya dilakukan pengujian di engine dynamometer untuk pengambilan data power, torsi dan air fuel ratio (AFR).

Hasil dari pengambilan data kemudian dilakukan analisa untuk disesuaikan dengan target fungsi dari alat yang dirancang, dan pengaruh modifikasi saluran bypass dengan pengontrol katup. Pada analisa inilah kemudian akan didapatkan sebuah catatan yang dapat digunakan untuk melakukan optimasi pada alat yang dirancang guna mendapatkan target yang diinginkan yaitu mendapatkan kadar ethanol yang layak digunakan untuk bahan bakar tambahan pada kendaraan yaitu *ethanol* kadar tinggi diatas 80%.

### 3.3 PERALATAN UJI

#### 1 Bahan Bakar Premium

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

*Tabel 3.1. Spesifikasi Bahan Bakar Premium*

Jenis	Bensin tanpa Timbal
Nilai Kalor Spesifik	11973 Kkal/Kg

*Sumber : Wikipedia*

#### 2 Sepeda Motor Suzuki Thunder 125 cc

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

*Tabel 3.2. 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

### 3 Engine Dynamometer

Alat ukur ini digunakan untuk mengukur power, torsi, dan Air Fuel Ratio (AFR).

Tabel 3.3. Spesifikasi Engine Dynamometer

Applicable Vehicle	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rear wheel drive</li> <li>• Front wheel drive</li> <li>• Sport utility vehicles</li> <li>• Light commercial vehicles</li> <li>• Motorcycles</li> </ul>
Maximum power graphing	675 kW (900 HP)
Max. tractive effort graphing	20,700 N (4,650 lb)
Max. roller torque graphing	2,250 Nm (1,650 ft lb) km/h (150MPH)*
Max. axle torque graphing	6,150 Nm (4,500 ft lb)
Max. engine torque graphing	2,100 Nm (1,500 ft lb)

Max. power steady speed	450 KW (600 HP)
Max. tractive effort steady speed	13,800 N (3,100 lb)
Max. roller torque steady speed	1,500 Nm (1,100 ft lb)
Max. axle torque steady speed	4,100 Nm (3,000 ft lb)
Max. engine torque steady speed	1,400 Nm (1,000 ft lb)
Max road speed	200 km/h (120 MPH) 250 km/h (150MPH)*

### SKEMATIK PERALATAN UJI



**Gambar 3.2 Engine dyno**

1. Bahan bakar dari tangki mengalir ke karburator.
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 *spark plug*.
4. Hasil pembakaran di ruang bakar nantinya akan menghasilkan torque dan power.

5. Selain itu, Pembakaran bahan bakar diruang bakar juga akan menghasilkan gas buang yang dialirkan keluar ruang bakar melewati mekanisme komponen knalpot (*muffler*) sehingga sensor akan membaca AFR nya.

### 3.4 PROSEDUR dan STANDAR PENGUJIAN

Penelitian dilakukan di PT. Khatulistiwa Suryanusa yang beralamat di jalan pramuka jakarta. Untuk melakukan pengujian dilakukan dengan mengikuti prosedur sebagai berikut:

1. Persiapan dan pengaturan peralatan kerja.
2. Persiapan bahan bakar premium.
3. Persiapan Mesin dan Alat Ukur
  - A. Cek kondisi oli mesin, ganti bila perlu
  - B. Cek kondisi Busi dan karburator untuk menghindari mesin mati saat pengambilan data.



Gambar 3.3. Mengecek kondisi engine

- C. *Running engine* pada putaran 3000-5000 rpm, gigi 2.

### 3.5 PETUNJUK K3L

Ada beberapa poin bahaya yang dapat mengancam, dan berikut 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 menunjukan 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 3.4. 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.



*Gambar 3.5 Sarung tangan*

### 3. Bahaya gas beracun

Beberapa gas berbahaya yang dihasilkan oleh gas buang dari engine ini diantaranya adalah karbon monoksida, Hidro Karbon, dan Nitro Oksida. NO<sub>x</sub> mempunyai dua bentuk yang berbeda sifat yaitu NO<sub>2</sub> dan NO. Untuk NO dan CO bersifat tidak berbau dan tidak berwarna sehingga cukup sulit untuk terdeteksi. NO dalam kadar tertentu dapat mengakibatkan gangguan saraf yang mengakibatkan kejang-kejang hingga kelumpuhan. Dalam tubuh hemoglobin lebih kuat menyerap CO daripada O<sub>2</sub> sehingga tubuh akan mengalami kekurangan O<sub>2</sub> secara bertahap, yang mengakibatkan lemas hingga bisa berujung kematian.

Prosedur :

- a. Arahkan muffler keareal bebas dari aktifitas manusia.
- b. Beri bahan tambah pada muffler dengan harapan beberapa persen kadar racun menempel pada bahan tambah tersebut.
- c. Gunakan masker.



*Gambar 3.6. 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 racungasbuang.



## **BAB IV**

### **PERANCANGAN DAN PENGOLAHAN DATA**

#### **4.1 ANALISA MATERIAL DAN DESAIN ALAT COMPACT DESTILATOR.**

Pada penelitian ini pemilihan jenis material dan desain alat compact destilator sangat berpengaruh terhadap proses destilasi dan pencapaian hasil destilasi, yaitu mampu mengolah low grade ethanol menjadi high grade ethanol secara mandiri dengan mengoptimalkan sumber-sumber energi yang tersisa dari pembakaran. Berikut adalah analisa desain alat dan material yang digunakan pada rancang bangun compact destilator.

##### **4.1.1 Evaporator**

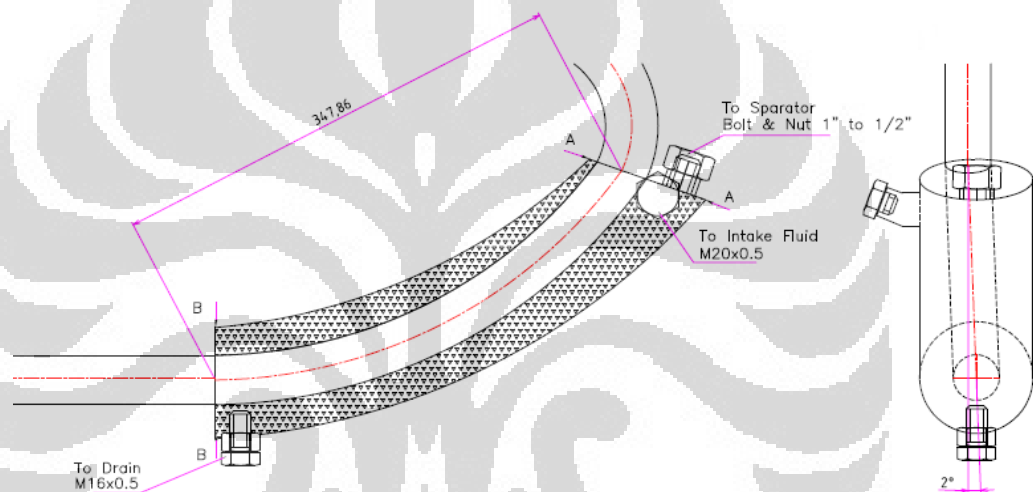
Evaporator berfungsi sebagai wadah uap atau sama halnya dengan boiler pada pembangkit listrik tenaga uap, peran dari evaporator pada penelitian ini adalah untuk menampung destilat yang terdiri dari alkohol dan air dalam kadar yang ditentukan dan nantinya akan menerima panas dari batang muffler sampai destilat berubah fase menjadi uap kemudian diteruskan ke separator. Evaporator pada compact destilator ini dirancang untuk memiliki volume 1400 *ml*, sehingga sangat memungkinkan dalam pengujian dengan kapasitas volume bahan destilasi 1000 *ml* karena terdapat ruang kosong yang digunakan sebagai wadah pada fase penguapan.

Stainless steel digunakan pada bagian evaporator, karena potensi korosif yang tinggi akibat kondisi bagian dalam evaporator sulit dipantau dan cenderung lembab, stainless steel memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap korosi dibarengi dengan sifat mekanik yang baik sehingga memiliki karakteristik bending untuk di desain mengikuti bentuk leher knalpot yang melengkung.





Gambar 4.1 Gambar 3D Evaporator

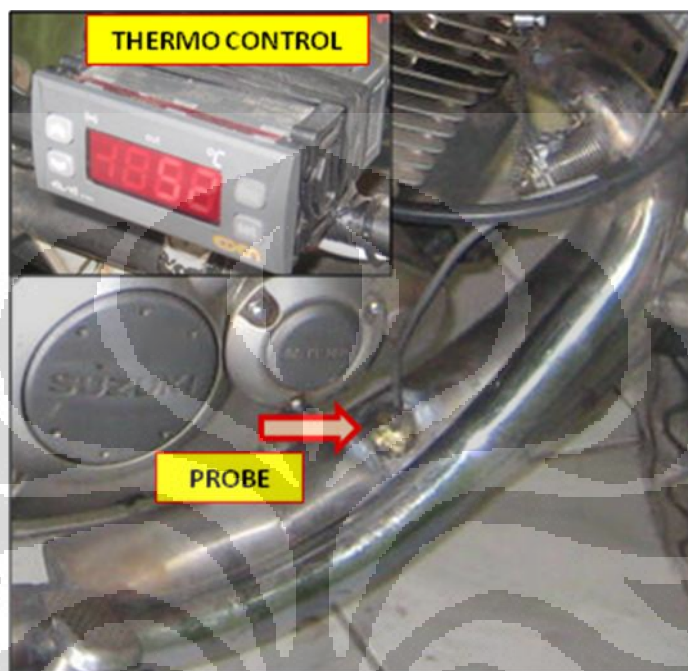


Gambar 4.2 Gambar 2D Evaporator

Spesifikasi destilasi :

- 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 : Stainless Steel 316L

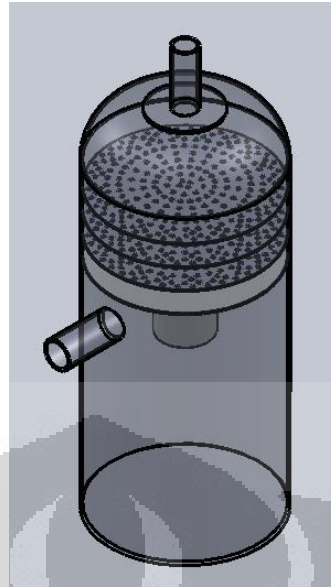
Untuk mengetahui temperatur cairan pada evaporator, ditambahkan *thermo controll* sehingga temperatur evaporator terus termonitoring, *probe thermo controll* di pasang di evaporator dengan las, sedangkan *thermo control* di pasang di *steering handle*.



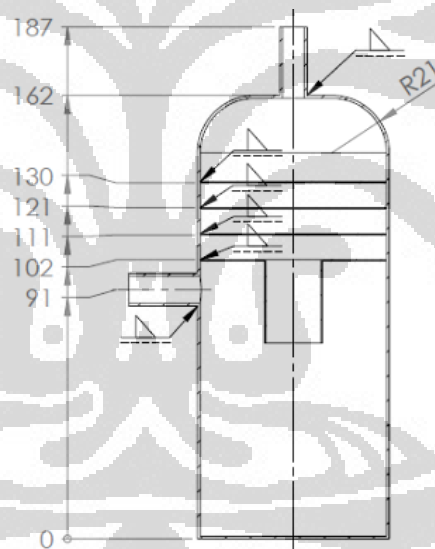
Gambar 4.3 Thermo Control

#### 4.1.2. Separator

Material yang digunakan pada komponen separator adalah stainless steel mengingat pada bagian dalam separator lembab dan sulit dipantau, sehingga potensi korosif pada bagian bagian dalam separator menjadi alasan pada pemilihan material. Desain separator berbentuk tabung *Sieve Coloum*, yaitu terbagi atas 3 kolom *perforate* yang berjarak 10 mm antar perforate. Tujuan pada desain perforate adalah sebagai pemisah kadar air dengan *ethanol*. *Ethanol* akan diteruskan ke heat exchanger sementara air akan menabrak perforate dan jatuh kebawah untuk kemudian di *drain* (ditampung di penampungan).



Gambar 4.4 3D Separator



Gambar 4.5 2D Separator

Spesifikasi kolom separator :

- Dimensi tabung dalam :  $\text{Ø } 68 \text{ mm}$
- Dimensi tabung luar :  $\text{Ø } 70 \text{ mm}$
- Tinggi : 162 mm
- Jumlah join : 2 buah
- Plat *Perforate* #4 SS316
- Material : *Stainless Steel*

### 4.1.3 Heat Exchanger

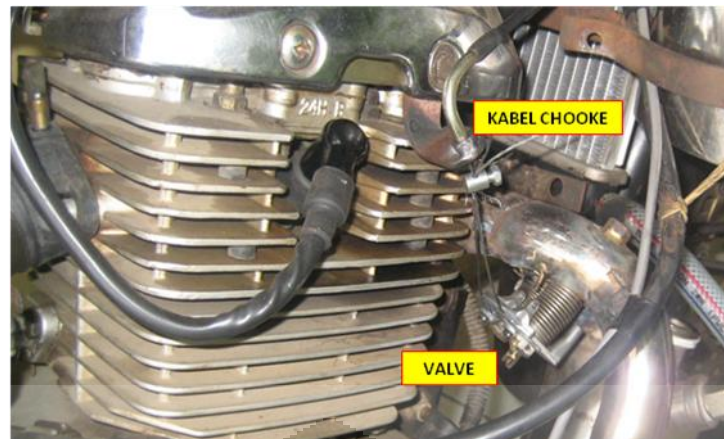
Heat exchanger yang digunakan adalah yang di jual di pasaran (radiator motor), Desain heat exchanger yang digunakan sebagai penukar kalor di compact destilator adalah tipe *Fin and Tube* dengan fluida pendingin udara. Material yang digunakan adalah aluminium baik pada Fin maupun Tube. Pemilihan aluminium karena massanya ringan dan agar menghasilkan perpindahan panas yang baik antara uap ethanol dengan fluida pendingin karena tembaga memiliki nilai konduktivitas termal yang baik yaitu  $238 \text{ k ( W/m.C}^\circ \text{ )}$ . Desain pada heat exchanger ini memanfaatkan gaya gravitasi yaitu pada bagian tube vertikal.



4.6 Gambar Heat exchanger

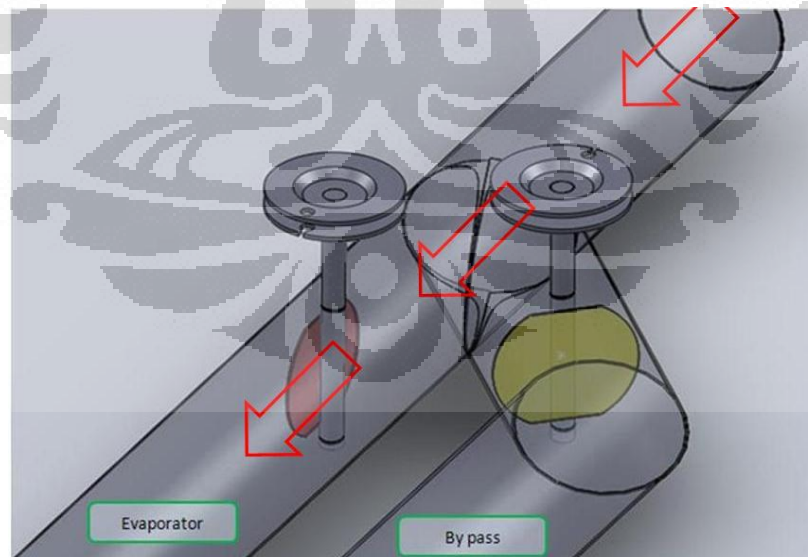
### 4.1.4 Exhaust pipe

Untuk menjaga temperatur *evaporator* perlu pengaturan aliran fluida gas buang motor, sehingga gas buang tidak melewati *evaporator* terus-menerus yang dapat mengakibatkan temperatur *evaporator* terus naik dan akan menyebabkan kadar alkohol yang dihasilkan rendah, karena air dan *ethanol* dalam *evaporator* menguap.



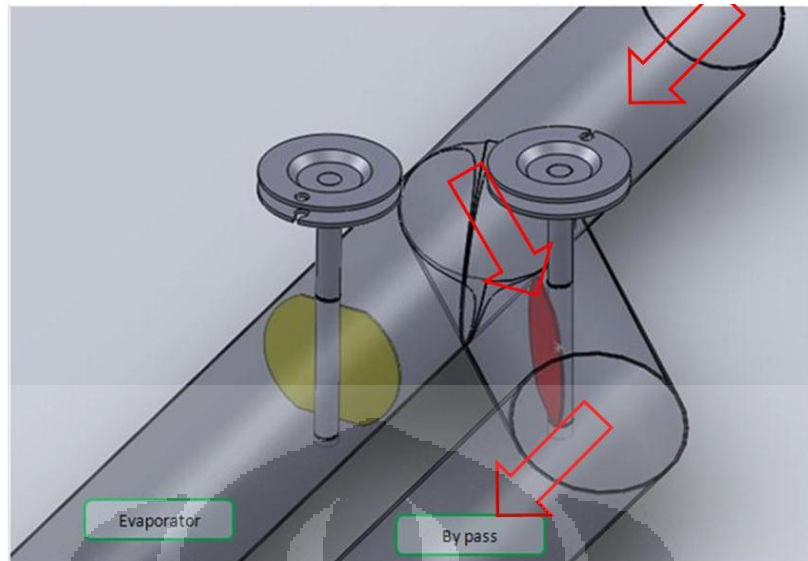
Gambar 4.7 Valve exhaust pipe

Modifikasi *exhaust pipe* dengan menambahkan saluran *by pass*, sehingga ada dua saluran, saluran yang melewati *evaporator* dan saluran *by pass*. Pada saluran tersebut di pasang valve sebagai pengontrol aliran gas buang (Gambar 4.7). Pada saat engine on, gas buang mengalir melewati evaporator sampai mencapai temperatur  $80^{\circ}\text{C}$  (Gambar 4.8) kemudian tuas chooke di tarik untuk menggerakkan valve sehingga aliran gas buang berubah melewati *by pass* (Gambar 4.9).



Gambar 4.8 3D Gas buang melalui evaporator





*Gambar 4.9 3D Gas buang melalui by pass*

## **4.2 DASAR PEMILIHAN DIMENSI ALAT KONTROL PANAS EVAPORATOR.**

Beberapa pertimbangan dalam pemilihan dimensi pada penelitian ini yaitu :

### **4.2.1 Ruang pada motor uji**

Ketersediaan ruang pada motor uji sebagai tujuan penerapan alat control panas evaporator menjadi dasar pemilihan dimensi pada penelitian ini, penyesuaian terhadap kondisi motor uji (dalam hal ini kondisi fisik motor uji berupa rangka motor uji dan dimensi ruang yang tersedia pada motor uji) menjadi prioritas, karena penulis mempunyai tujuan ketika alat control panas evaporator telah di instalasi pada motor uji, maka dimensi pada alat tersebut tidak akan mengganggu fungsi berkendara pada motor uji sehingga motor uji tersebut tetap nyaman digunakan oleh si pengendara sebagaimana mestinya serta tujuan dari penelitian ini tercapai yaitu dapat menghasilkan produk etanol kadar tinggi sebagai bahan bakar tambahan pada motor uji tersebut.

#### 4.2.2 Kebutuhan etanol

Persentase kebutuhan etanol kadar tinggi sebagai bahan bakar tambahan pada motor uji juga menjadi dasar pertimbangan pemilihan dimensi pada penelitian ini, peneliti menargetkan etanol kadar tinggi yang dicampur sebagai bahan bakar tambahan pada tangki bahan bakar motor uji yaitu 10% etanol kadar tinggi, berarti perbandingan jumlah presentase yang dicampur ke tangki bahan bakar motor uji adalah 10% etanol kadar tinggi dan 90% premium (premium bahan bakar utama yang digunakan peneliti pada motor uji), sehingga analisa perhitungannya adalah :

-kapasitas tangki motor uji (suzuki thunder 125cc thn 2007) 12 liter.

-presentase etanol yang dibutuhkan sebagai bahan bakar tambahan 10% :

$10/100 \times 12 \text{ liter (kapasitas tangki) liter} = 1,2 \text{ liter etanol dalam tangki motor uji.}$

Sehingga dari pertimbangan dimensi tangki bahan bakar pada motor uji, peneliti merancang dimensi evaporator pada alat compact destilator dengan volume 1,4 liter dengan tujuan dapat menghasilkan kebutuhan ethanol yang diharapkan sebagai bahan bakar tambahan motor uji yaitu 1,2 liter ethanol kadar tinggi.

#### 4.2.3 Panas gas buang yang di hasilkan

Kapasitas mesin menjadi hal yang harus diperhatikan pada dasar pemilihan dimensi alat compact destilator, terutama pada komponen evaporator yang berfungsi sebagai penyerap panas. Karena kapasitas mesin yang berbeda akan menghasilkan energi panas hasil pembakaran motor dalam yang berbeda pula, serta variasi luas permukaan atau dimensi muffler pada setiap jenis kapasitas mesin yang berbeda.

### 4.3 PERHITUNGAN KALOR

#### 4.3.1 Perhitungan panas yang tersedia pada gas buang

Perhitungan panas pada gas buang ini dilakukan untuk membuktikan secara teoritis, apakah panas gas buang dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas pada evaporator atau tidak.

Dengan asumsi :

Kecepatan motor 60 km/jam. Fuel consumption 43 km/L.

Maka pemakaian Bensin/Jam  $\frac{60}{43} = \text{L/jam} = 1,4 \times 10^3 \text{ cm}^3/\text{jam}$

$\rho = 0,715 \text{ gr/cm}^3$

Heating value = 43000 Kj/Kg

✓ Jadi laju aliran massa

$$m_{bb} = V$$

Dimana  $m_{bb} = \text{Laju aliran massa (}$

$V = \text{Pemakaian bensin pe jam}$

$\rho_{bb} = \text{Berat jenis bahan (gr/cm}^3)$

Sehingga

$$= 1,4 \times 10^3 \times 0,715$$

$$= 1001 \text{ gr/jam atau } 2,78 \times 10^{-4} \text{ kg/det}$$

✓ Maka kalor gas buang

$$Q_{bb} = HV \times m_{bb}$$

Dimana  $Q_{bb} = \text{Kalor gas buang (}$

$HV = \text{Heating Value}$

$$m_{bb} = \text{Laju aliran massa } \left( \frac{\text{kg}}{\text{detik}} \right)$$

Sehingga

$$= 43000 \times 2,78 \times 10^{-4}$$

$$= 11,954 \text{ KW}$$

Jadi panas yang dihasilkan gas buang adalah sebesar 11,9 KW. langkah selanjutnya dilakukan perhitungan panas yang dibutuhkan evaporator agar temperatur evaporator terjaga di 80°C, apabila panas yang dibutuhkan untuk menjaga evaporator pada temperatur 80°C melebihi 11,9 KW, maka gas buang



tidak dapat di manfaatkan sebagai sumber panas evaporator, sebaliknya apabila panas yang dibutuhkan untuk menjaga evaporator pada temperatur 80°C kurang dari 11,9 KW, maka gas buang dapat di manfaatkan sebagai sumber panas evaporator.

#### 4.3.2. Perhitungan kalor untuk menjaga temperatur cairan pada evaporator 85°C.

Dengan asumsi temp exhaust pipe 85,55°C, asumsi ini di dapatkan dari data temp exhaust pipe pada penelitian sebelumnya yang di rata-ratakan.

Data Evaporator

Ø exhaust pipe = 35mm      Asumsi temp Exhaust pipe 85,55°C

$h_{air} = 5000 \text{ W/m}^2\text{°C}$

$L_{evap} = 350\text{mm}$

✓ Luas Area

$$A = \pi d L$$

Dimana A= Luas area exhaust pipe yang kontak dengan evaporator

d= Diameter exhaust pipe

L= Panjang exhaust pipe yang kontak dengan evaporator

Sehingga

$$A = \pi \times (35 \times 10^{-3}) \times (350 \times 10^{-3})$$

$$A = 0,038465 \text{ m}^2$$

✓ Jadi perpindahan kalornya

$$Q = h A (T_w - T_{\infty})$$

Dimana h= Koefisien perpindahan kalor konveksi

A= Luas area exhaust pipe yang kontak dengan evaporator

$T_w$ = Temperatur permukaan evaporator

$T_{\infty}$ = Temperatur cairan pada evaporator

Sehingga

$$Q = 5000 \times 0,384 \times (85,55 - 85)$$

$$Q = 1067,40 \text{ W}$$

Panas yang dibutuhkan untuk menjaga temperatur pada evaporator sebesar 1067,40 W, jika dibandingkan dengan panas yang dihasilkan oleh gas buang sebesar 11,9 KW jauh lebih tinggi, sehingga dapat disimpulkan panas yang dihasilkan gas buang bisa di manfaatkan untuk memanaskan evaporator.

### 4.3.3 Perhitungan perpindahan panas pada kondensor

Berdasarkan tabel sifat zat cair jenuh

$$T_f = \frac{77 + 41,4}{2}$$

$$T_f = 59,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\mu_f = 4,77 \times 10^{-4} \text{ kg/m s}$$

$$k_f = 0,653 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_f = 983,64 \text{ kg/m}^3$$

$$h_{fg} = 2316,36 \text{ kJ/kg}$$

Data Kondensor

$$t = 140 \text{ mm}$$

$$\text{lebar plat} = 30 \text{ mm jumlah } 15$$

$$L_{\text{total}} = 450 \text{ mm}$$

$$\text{Temperatur kondensor } 41,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Asumsi temp uap } 77 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dari tabel sifat air jenuh (Uap-Cair)

$$h_{fg} = 2316,36 \text{ kJ/kg}$$

✓ Koefisien perpindahan kalor

$$h = 0,943 \left[ \frac{\rho_f^2 g h_{fg} k_f^3}{L \mu_f (T_g - T_w)} \right]^{1/4}$$

$$h = 0,943 \left[ \frac{(983,64)^2 (9,8) (2,316 \times 10^6) (0,653)^3}{(0,45) (4,77 \times 10^{-4}) (77 - 41,4)} \right]^{1/4}$$

$$= 158,61 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

✓ Maka perpindahan kalornya

$$Q = hA(T_{jenuh} - T_w)$$

$$Q = 158,61 \times (0,45 \times 0,14) \times (77 - 41,4)$$

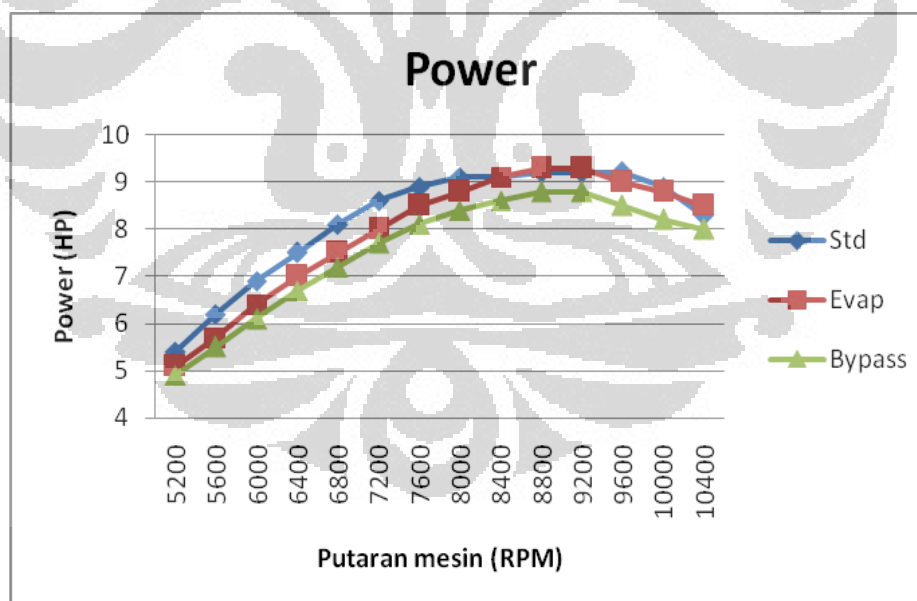
$$Q = 355,73 \text{ W}$$

#### 4.4 Uji Performance Exhaust Pipe modifikasi.

Alat kontrol panas evaporator compact destilator memiliki tingkat efektifitas yang cukup baik, terbukti dari pengujian terhadap alat compact destilator yang di aplikasikan ke motor bakar dinamik menghasilkan beberapa variasi data power dan torsi yang tidak jauh berbeda dengan exhaust standar.

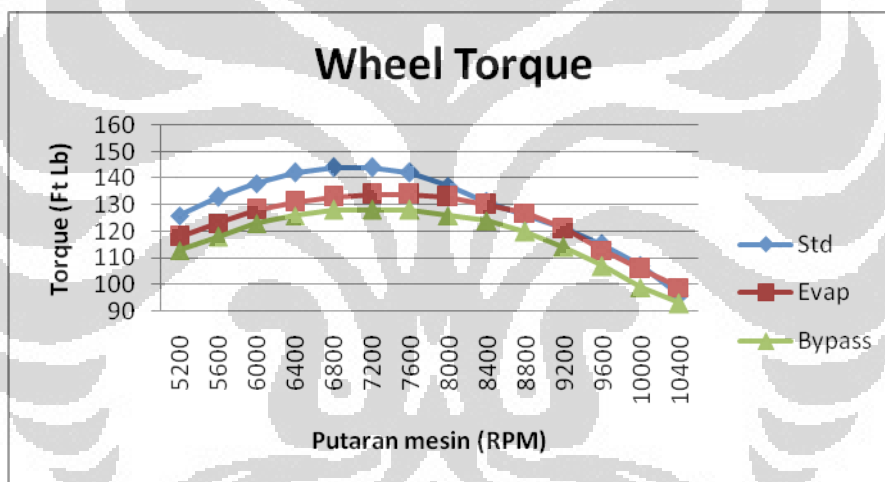
##### 4.4.1 Hasil pengujian power, torque, AFR motor bakar dinamik.

Pengaruh pemanfaatan gas buang untuk pemanasan distillator dengan variasi evaporator, bypass dan knalpot standar terhadap power, torsi dan AFR pada motor. Percobaan dilakukan pada motor Otto berbahan bakar Premium (sepeda motor Suzuki Thunder 125cc) pada beban putaran yang beragam.



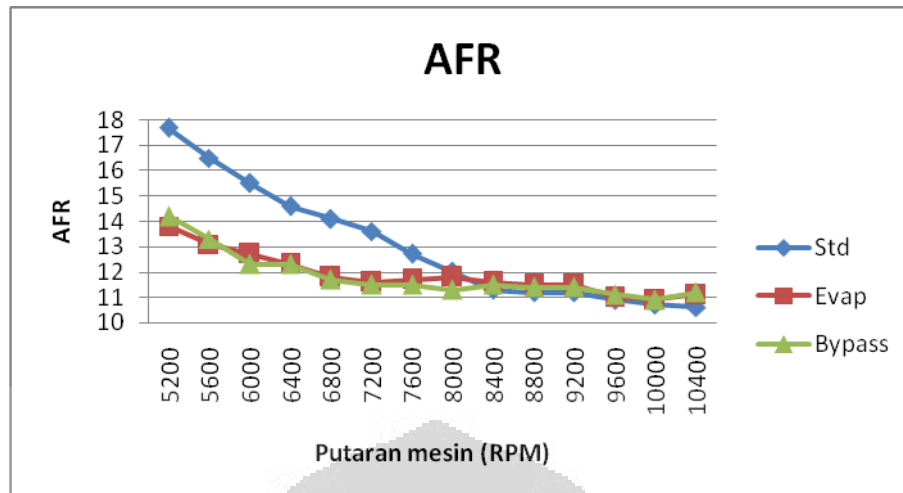
Gambar 4.1 Grafik power tiap putaran mesin terhadap saluran gas buang.

Dari grafik diatas power pada motor Otto yang digunakan untuk eksperimen menunjukkan perbedaan antara gas buang yang di lewatkan evaporator, bypass maupun knalpot standar, perbedaan ini terjadi di peak powernya, peak power gas buang yang dilewatkan evaporator lebih tinggi dari pada peak power gas buang muffler standar maupun by pass, hal ini dikarenakan proses modifikasi menyebabkan diameter dalam exhaust pipe besar sehingga proses pembuangan gas buang hasil pembakaran lebih banyak dan sebanding dengan campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar akan lebih banyak dari pada standarnya yang menyebabkan power naik. Pada saluran by pass peak powernya rendah walaupun diameter dalam lebih besar karena terlalu banyak tahanan atau losses yang di akibatkan oleh banyaknya lekukan-lekukan.



Gambar 4.2 Grafik torsi tiap putaran mesin terhadap saluran gas buang.

Torsi yang dihasilkan pada putaran mesin <8400rpm menunjukkan perbedaan, sedangkan di putaran >8400 rpm kondisi knalpot standar dan gas buang lewat evaporator relatif sama, hal ini dikarenakan adanya perubahan diameter dalam exhaust pipe yang lebih besar sehingga tahanan lebih kecil.



Gambar 4.3 Grafik AFR tiap putaran mesin terhadap saluran gas buang.

Nilai AFR sebanding dengan power yang dihasilkan, karena ada perubahan diameter exhaust pipe yang lebih besar pada saluran yang melewati evaporator, menyebabkan tahanan pada exhaust pipe lebih rendah, sehingga gas buang yang di keluarkan dari ruang bakar lebih banyak, hal ini berbanding lurus dengan campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar sehingga AFR lebih rendah.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Studi lanjutan mengenai rancang bangun kontrol panas evaporator pada compact destilator dengan memanfaatkan gas buang motor bakar dinamik memiliki kesimpulan sebagai berikut :

- 5.1.1 Analisa karakteristik material dan konsep perancangan serta “*kekompakan*” alat compact destilator pada instalasinya ke motor bakar dinamik menjadi langkah-langkah penting yang harus diperhatikan dalam rancang bangun.
- 5.1.2 Dalam rancang bangun, khususnya modifikasi pipe exhaust memerlukan lebih banyak data atau perhitungan desain terhadap loses dari lekukan-lekukan maupun perbedaan dimensi pipa pada pipe exhaust.
- 5.1.3 Dari data engine dyno knalpot modifikasi pada evaporator menunjukkan power yang lebih tinggi dari pada knalpot bypass dan standar, hal ini dikarenakan losses yang rendah dan perbedaan diameter dalam pipa yang lebih besar, sehingga campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar lebih banyak.
- 5.1.4 Dari data enginedyno, AFR (Air Fuel Ratio) pada knalpot evaporator dan bypass. Lebih rendah dari pada knalpot standar hal ini dikarenakan perubahan diameter exhaust pipe yang lebih besar menyebabkan konsumsi bahan bakar boros.

## **5.2 Saran**

Penelitian ini menunjukkan adanya indikasi positif pembuatan alat *compact* destilator dengan memanfaatkan gas buang dari kendaraan bermotor serta penggunaan low grade etanol sebagai bahan bakar alternatif. Tentu saja dengan beberapa saran untuk penelitian lanjutan sebagai berikut:

1. Perlu pengembangan lebih lanjut dalam hal desain untuk meningkatkan kehandalan peralatan.
2. Untuk pengembangan penelitian lebih lanjut, perlu dilakukan pengecekan dan dokumentasi peralatan sebelum dan setelah pengujian sehingga dapat diketahui lebih dalam lagi dampak yang terjadi terhadap motor dan hasil penelitian yang lebih baik.
3. Dalam hal desain perlu di perhatikan spesifikasi motor agar desain baru tidak mempengaruhi performa motor.

## DAFTAR PUSTAKA

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.

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*.

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.

Data Skripsi Low Grade Ethanol Pada Motor Bakar Statis bimbingan Prof. Dr Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng ,2010-2011, Universitas Indonesia

<http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-9737>

<http://bioethanolmania.multiply.com/journal/item/4>

<http://kuliahitukeren.blogspot.com/2011/03/destilasi-biasa-laporan-pratikum.html>

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

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

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

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

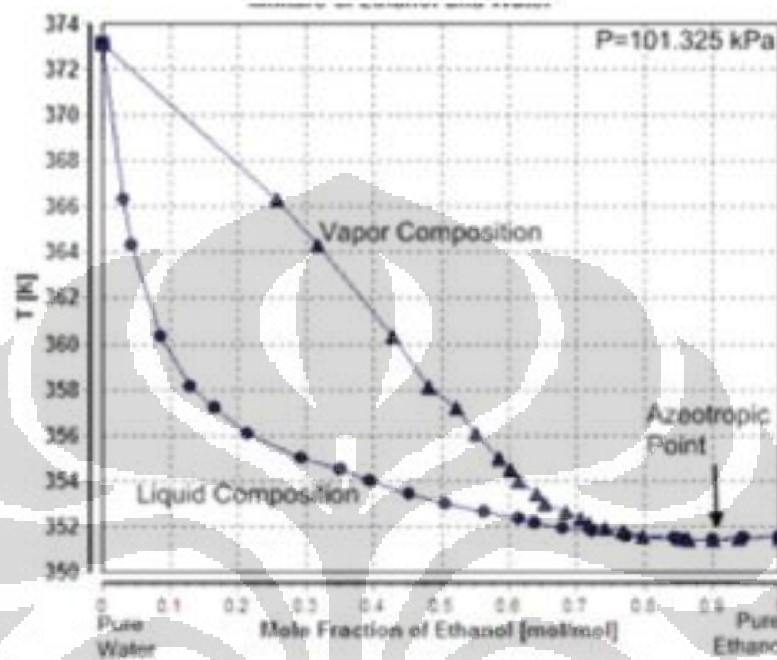
<http://www.scribd.com/doc/9002232/Stainless-Steel-1>

<http://www.scribd.com/doc/6904685/13kalor>



## LAMPIRAN 1

### Keseimbangan Uap-Cair Campuran Etanol Dengan Air



Properties Of Fuel

TABLE A-2 PROPERTIES OF FUELS

Fuel	Molecular Weight	HHV (kJ/kg)	Heating Value LHV (kJ/kg)	Stoichiometric (AF) <sub>s</sub>	Stoichiometric (FA) <sub>s</sub>	Octane Number MON	Octane Number RON	Heat of Vaporization (kJ/kg)	Cetane Number
gasoline	111	47300	43000	14.6	0.068	80-91	92-99	307	40-55
light diesel	170	44800	42500	14.5	0.069			270	35-50
heavy diesel	200	43800	41400	14.5	0.069			230	
isooctane	114	47810	44300	15.1	0.066	100	100	290	
methanol	32	22540	20050	6.5	0.153	92	106	1147	
ethanol	46	29710	26950	9.0	0.111	89	107	873	
methane	16	55260	49770	17.2	0.058	120	129	509	
propane	44	50180	46190	15.7	0.064	97	112	426	
nitromethane	61	12000	10920	1.7	0.588	0	0	623	
heptane	100	48070	44560	15.2	0.066	0	0	316	100
cetane	226	47280	43980	15.0	0.066	0	0	292	15
heptamethylnonane	178			15.9	0.063				0
α-methyl-naphthalene	142			13.1	0.076				
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	99	390	
triptane	100	47550	44440	15.2	0.066	101	112	288	
isodecane	142	47590	44220	15.1	0.066	92	113		
toluene	92	42490	40600	13.5	0.074	109	120	412	
hydrogen	2	141800	120000	34.5	0.029		90		

### LAMPIRAN 3

Daftar 1-2 Nilai Kira-kira Koefisien Perpindahan-Kalor Konveksi

Modus	<i>h</i>	
	W/m <sup>2</sup> · °C	Btu/h · ft <sup>2</sup> · °F
<b>Konveksi bebas, <math>\Delta T = 30^\circ\text{C}</math></b>		
Plat vertikal, tinggi 0,3 m (1 ft) di udara	4,5	0,79
Silinder horisontal, diameter 5 cm di udara	6,5	1,14
Silinder horisontal, diameter 2 cm, dalam air	890	157
<b>Konveksi paksa</b>		
Aliran udara 2 m/s di atas plat bujur sangkar 0,2 m	12	2,1
Aliran udara 35 m/s di atas plat bujur sangkar 0,75 m	75	13,2
Udara 2 atm mengalir di dalam tabung diameter 2,5 cm, kecepatan 10 m/s	65	11,4
Air 0,5 kg/s mengalir di dalam tabung 2,5 cm	3500	616
Aliran udara <i>melintas</i> silinder diameter 5 cm, kecepatan 50 m/s	180	32
<b>Air mendidih</b>		
Dalam kolam atau bejana	2500–35.000	440–6200
Mengalir dalam pipa	5000–100.000	880–17.600
<b>Pengembunan uap air, 1 atm</b>		
Muka vertikal	4000–11.300	700–2000
Di luar tabung horisontal	9500–25.000	1700–4400

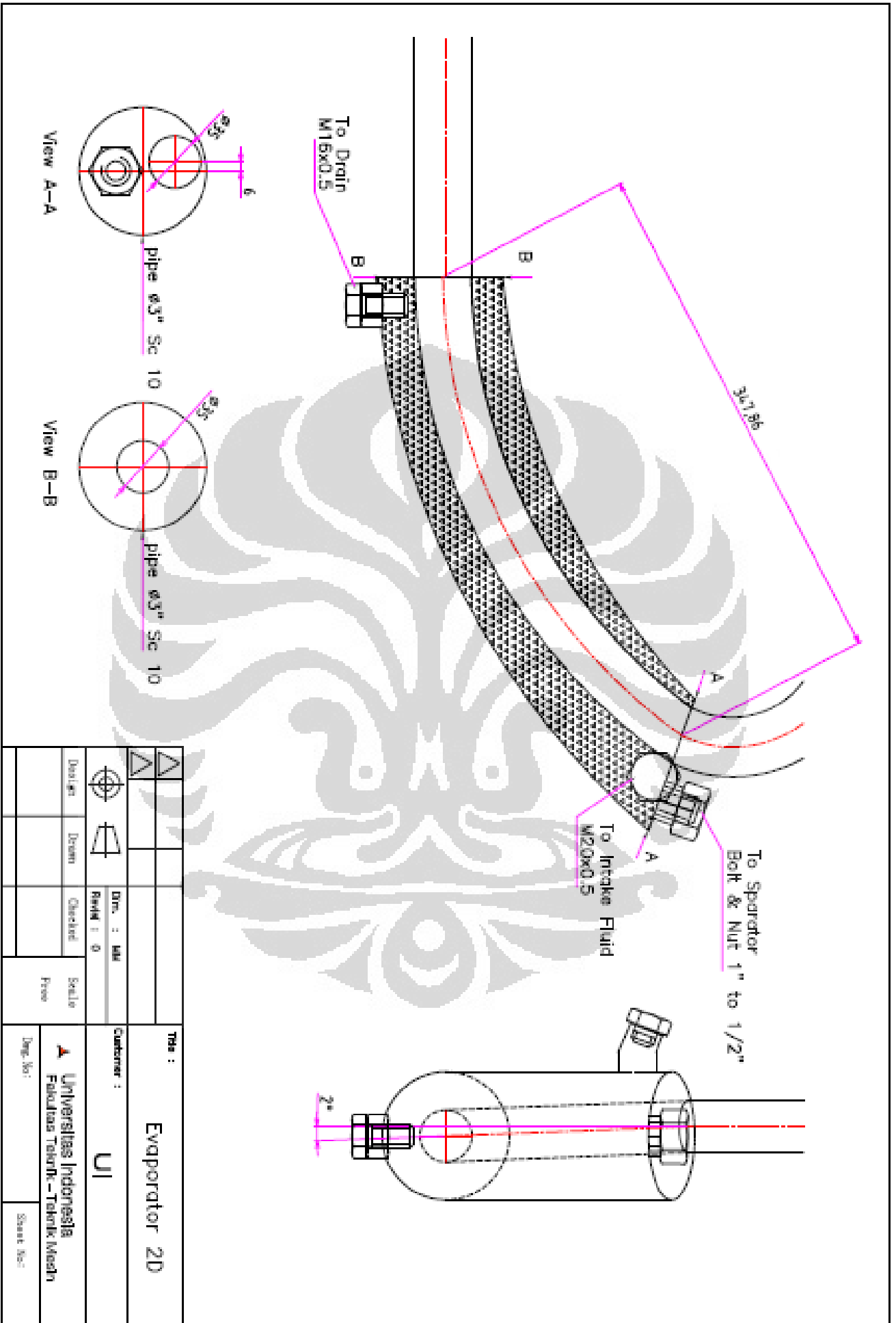


LAMPIRAN 4

Daftar A-9 Sifat-sifat air (zat-cair jenuh)†

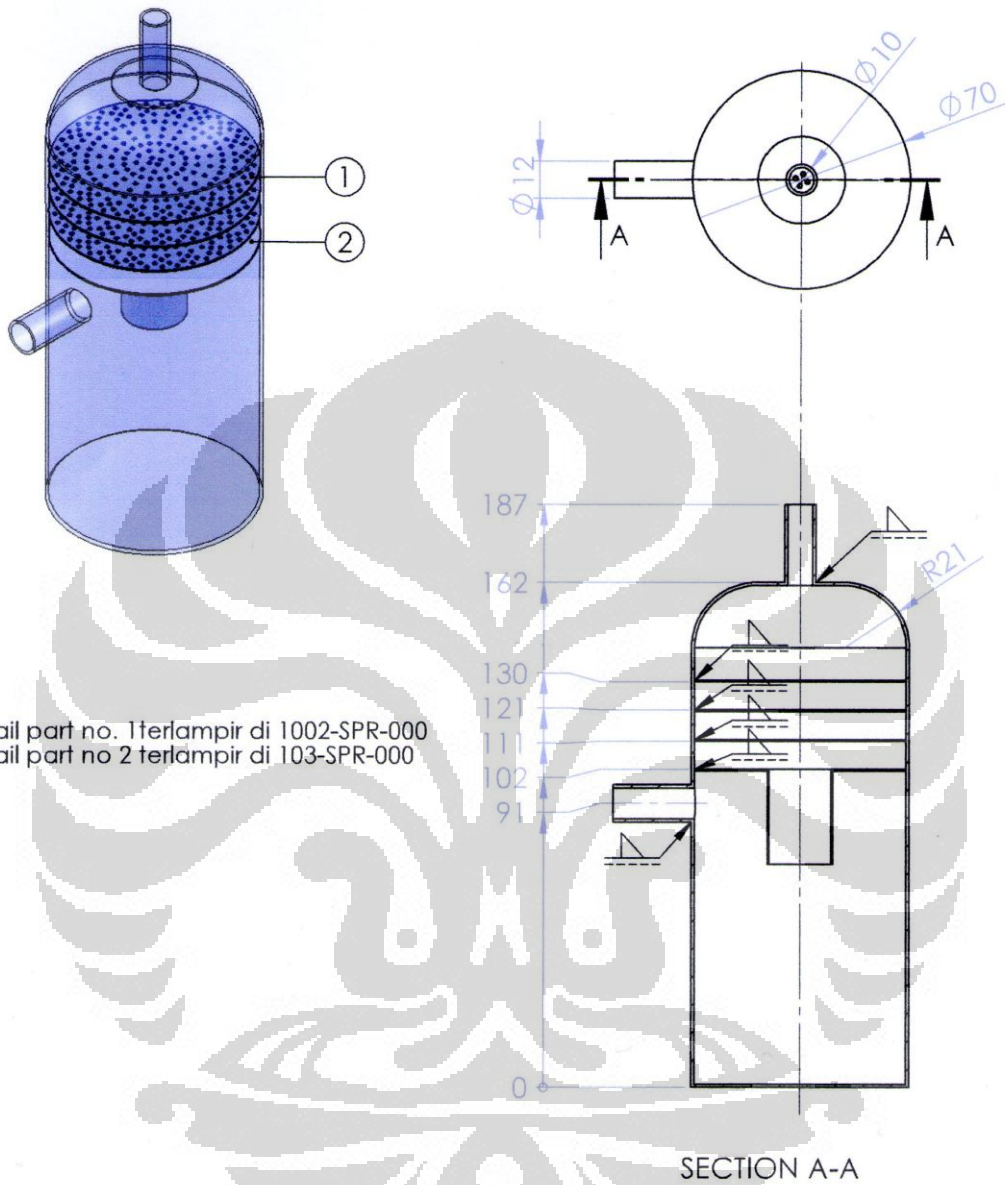
T	°C	$c_p$ kJ/kg·°C	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\mu$ kg/m·s	$k$ W/m·°C	Pr	$\frac{k\beta\rho^2c_p}{\mu}$ 1/m <sup>2</sup> ·°C
32	0	4,225	999,8	$1,79 \times 10^{-3}$	0,566	13,25	$1,91 \times 10^9$
40	4,44	4,208	999,8	1,55	0,575	11,35	$6,34 \times 10^9$
50	10	4,195	999,2	1,31	0,585	9,40	$1,08 \times 10^{10}$
60	15,56	4,186	998,6	1,12	0,595	7,88	$1,46 \times 10^{10}$
70	21,11	4,179	997,4	$9,8 \times 10^{-4}$	0,604	6,78	$1,91 \times 10^{10}$
80	26,67	4,179	995,8	8,6	0,614	5,85	$2,48 \times 10^{10}$
90	32,22	4,174	994,9	7,65	0,623	5,12	$3,3 \times 10^{10}$
100	37,78	4,174	993,0	6,82	0,630	4,53	$4,19 \times 10^{10}$
110	43,33	4,174	990,6	6,16	0,637	4,04	$4,89 \times 10^{10}$
120	48,89	4,174	988,8	5,62	0,644	3,64	$5,66 \times 10^{10}$
130	54,44	4,179	985,7	5,13	0,649	3,30	$6,48 \times 10^{10}$
140	60	4,179	983,3	4,71	0,654	3,01	$7,62 \times 10^{10}$
150	65,55	4,183	980,3	4,3	0,659	2,73	$8,84 \times 10^{10}$
160	71,11	4,186	977,3	4,01	0,665	2,53	$9,86 \times 10^{10}$
170	76,67	4,191	973,7	3,72	0,668	2,33	$1,09 \times 10^{11}$
180	82,22	4,195	970,2	3,47	0,673	2,16	
190	87,78	4,199	966,7	3,27	0,676	2,03	
200	93,33	4,204	963,2	3,06	0,678	1,90	
220	104,4	4,216	955,1	2,67	0,684	1,66	
240	115,6	4,229	946,7	2,44	0,685	1,51	
260	126,7	4,250	937,2	2,19	0,685	1,36	
280	137,8	4,271	928,1	1,98	0,685	1,24	
300	148,9	4,296	918,0	1,86	0,684	1,17	
350	176,7	4,371	890,4	1,57	0,677	1,02	
400	204,4	4,467	859,4	1,36	0,665	1,00	
450	232,2	4,585	825,7	1,20	0,646	0,85	
500	260	4,731	785,2	1,07	0,616	0,83	
550	287,7	5,024	735,5	$9,51 \times 10^{-4}$			
600	315,6	5,703	678,7	8,68			

† Adaptasi dari A. I. Brown dan S. M. Marco, "Introduction to Heat Transfer," ed ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1958



Dra. : <b>HA</b> Rev. : 0		Scale Free		Customer : <b>UI</b>		Title : <b>Evaporator 2D</b>					
Designer		Drafter		Checked		Scale		Free		Dept. No. :	
										Sheet No. :	

THIS DRAWING IS PROPERTY OF UNIVERSITAS INDONESIA. IT SHOULD NOT BE COPIED, REPRODUCED, LENT OR COMMUNICATED TO ANY PERSON WITHOUT THE WRITTEN APPROVAL. 11



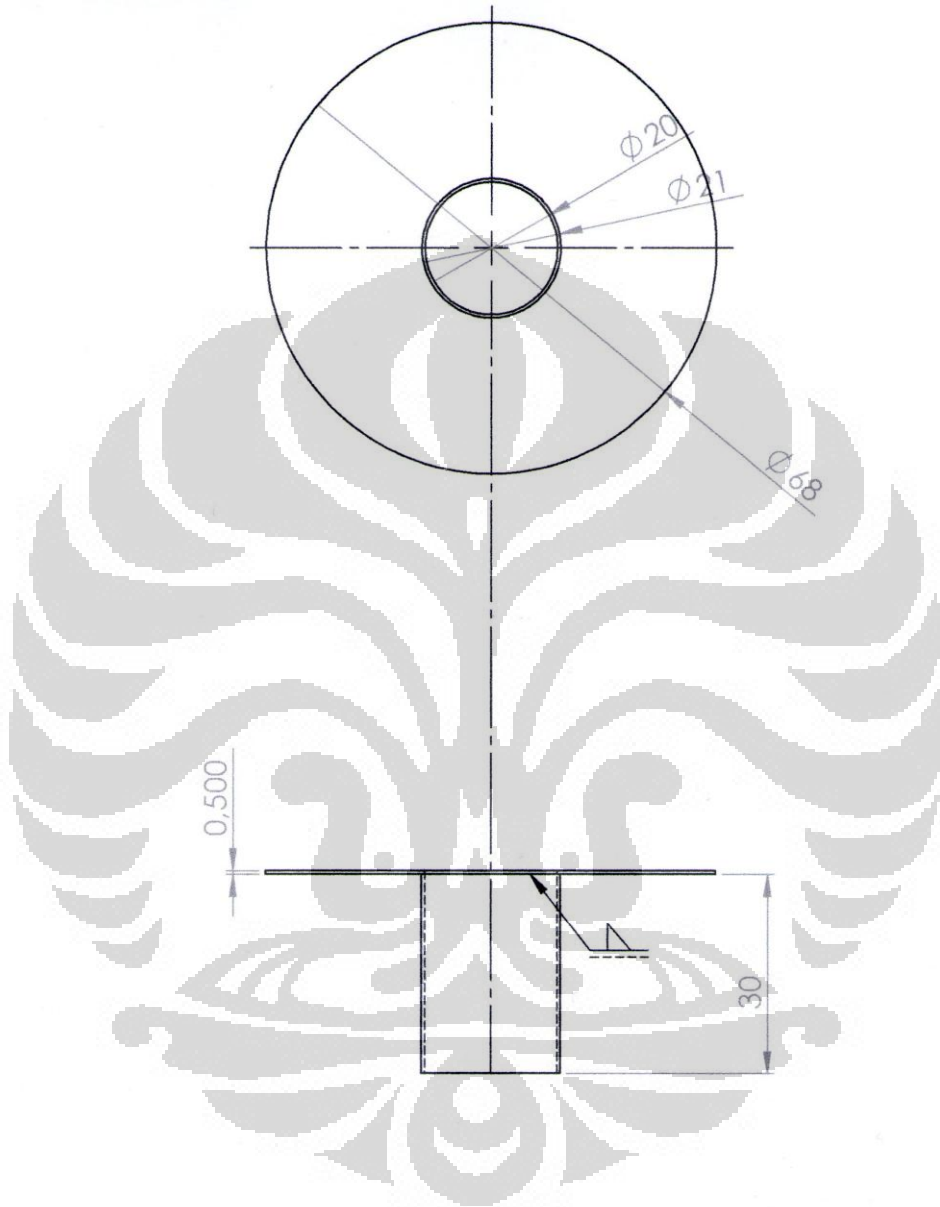
Note:  
 1. Detail part no. 1 terlampir di 1002-SPR-000  
 2. Detail part no 2 terlampir di 103-SPR-000

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:			FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
					Universitas Indonesia	
					TITLE: <b>Separator Assy</b>	
DRAWN			MATERIAL:			DWG NO. <b>1001-SPR-000</b>
CHK'D			WEIGHT:			<b>A4</b>
APP'VD			SCALE: 1:2			SHEET 1 OF 1
MFG						
O.A.						



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:		FINISH:	DEBUR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
					Universitas Indonesia	
NAME	SIGNATURE	DATE	TITLE:			
DRAWN			MIST			
CHK'D						
APPV'D						
MFG						
Q.A			MATERIAL: Stainless steel	DWG NO.	1002-SPR-000	A4
			WEIGHT:	SCALE: 1:1	SHEET 1 OF 1	





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
BREAK SHARP  
EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Universitas Indonesia

NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN		
CHK'D		
APP'VD		
MFG		
Q.A		
MATERIAL: STAINLESS STEEL		
WEIGHT:		

TITLE:

SEPARATOR 2

DWG NO.

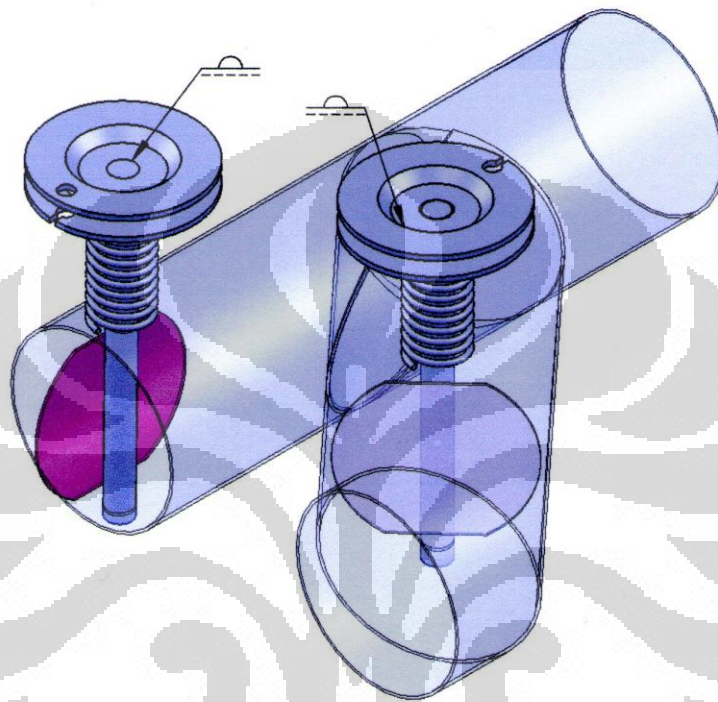
1001-SP

A4

SCALE:1:1

SHEET 1 OF 1





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 SURFACE FINISH:  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 ANGULAR:

FINISH:

DEBUR AND  
 BREAK SHARP  
 EDGES

DO NOT SCALE DRAWING

REVISION

Universitas Indonesia

NAME	SIGNATURE	DATE

DRAWN

CHK'D

APP'VD

MFG

O.A

MATERIAL:

WEIGHT:

TITLE:

**EXHAUST PIPE MODIF**

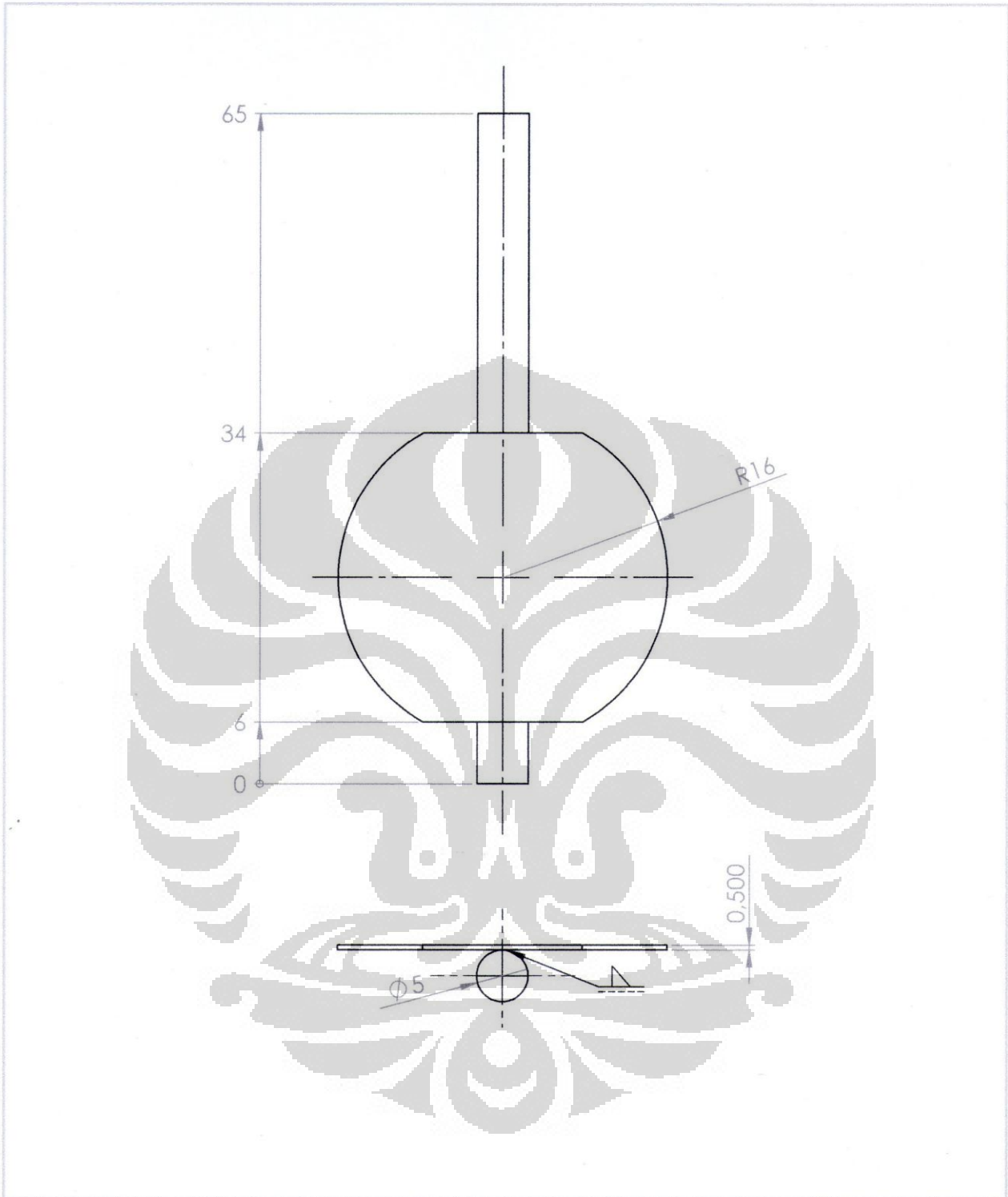
DWG NO.

**1200-PIP-000**

A4

SCALE:1:2

SHEET 1 OF 1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS			FINISH:			DEBUR AND BREAK SHARP EDGES			DO NOT SCALE DRAWING			REVISION		
SURFACE FINISH:									Universitas Indonesia					
TOLERANCES:									TITLE:					
LINEAR:									VALVE					
ANGULAR:									DWG NO.			1101-VLV-000		
DRAWN			NAME			SIGNATURE			DATE			MATERIAL:		
CHK'D												WEIGHT:		
APPV'D												SCALE: 2:1		
MFG												SHEET 1 OF 1		
Q.A												A4		