



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN *COMPACT DESTILATOR LOW GRADE*  
*ETHANOL* DENGAN MEMAMFAATKAN GAS BUANG  
MOTOR BAKAR**

**SKRIPSI**

**ANDRINALDI**

**0806368401**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
DESEMBER 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN *COMPACT DESTILATOR LOW GRADE*  
*ETHANOL* DENGAN MEMAMFAATKAN GAS BUANG  
MOTOR BAKAR**

**SKRIPSI**

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

**ANDRINALDI**

**0806368401**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
DESEMBER 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Andrinaldi**

**NPM : 0806368401**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : Desember 2010**

## PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Andrinaldi

NPM : 0806368401

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Rancang bangun *compact destilator low grade ethanol*  
dengan memanfaatkan gas buang motor bakar

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

### DEWAN PENGUJI

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

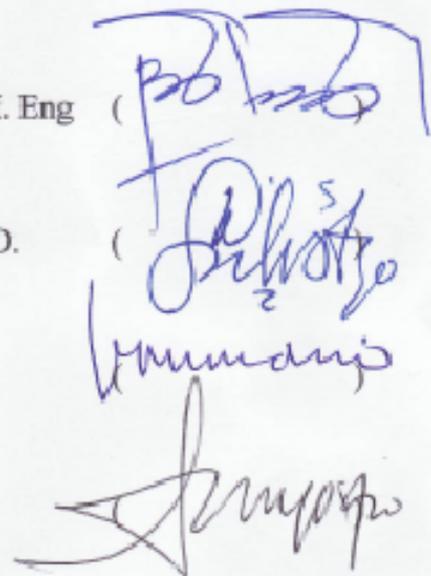
Penguji: Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D.

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

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 8 Januari 2010



## 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 compact destilator low grade ethanol dengan memanfaatkan gas buang motor bakar .”

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. **Ketua Departemen Kimia FMIPA UI** yang telah mengizinkan saya untuk menggunakan alat gas chromatography laboratorium afiliasi
4. **Asisten-asisten laboratorium afiliasi** yang telah bersedia member bimbingan tentang penggunaan alat gas chromatography beserta analisis hasil datanya.
5. **Orang tua, kakak, saudara-saudara, serta teman-teman SMA saya** yang telah luar biasa mendukung dan banyak membantu dalam berbagai hal.
6. Teman-teman mahasiswa PPSE 2008 dan semua pihak yang telah membantu namun tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Depok, Desember 2010

Penulis

( Andrinaldi )

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

---

---

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

Nama : Andrinaldi  
NPM : 0806368401  
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 *COMPACT DESTILATOR LOW GRADE*  
*ETHANOL* DENGAN MEMAMFAATKAN GAS BUANG  
MOTOR BAKAR**

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 : Desember 2010

Yang menyatakan,

(Andrinaldi)

## ABSTRAK

Nama : Andrinaldi  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : Rancang bangun *compact destilator low grade ethanol*  
dengan memanfaatkan gas buang motor bakar

Ketersediaan bahan bakar minyak bumi yang tidak terbarukan memaksa manusia untuk sumber energi alternatif. Saat ini minyak bumi mendominasi untuk sumber utama bahan bakar untuk motor bakar. Energi yang terbarukan merupakan salah satu solusi untuk menghadapi persoalan ini. Salah satu sumber energi yang terbarukan adalah Bioethanol.. Dalam penelitian ini, dilakukan rancang bangun *compact destilator* dengan memanfaatkan gas buuang dari motor bakar sebagai alat utama pengolahan etanol. Tujuannya adalah ingin menghasilkan produk etanol layak menjadi bahan bakar yaitu etanol dengan kadar diatas 90%. Oleh karena itu dilakukan pembuatan dan pengujian alat destilator yang kemudian dapat di aplikasikan ke motor bakar statik. Bioethanol yang diproses adalah bioethanol low grade kadar 10%, 20%, 30%, dan 40 % yang di jadikan umpan balik destilator. Dari hasil penelitian didapatkan volume output bioethanol dan konsentrasi dari bioethanol outputnya.. Berdasarkan pengujian di dapat waktu operasi minimum sebesar 12 menit dengan debit aliran output 18,20 ml/menit. Dari penelitian didapatkan konsentrasi distilat sangat bergantung dengan waktu operasi. Semakin lama waktu operasi maka semakin kecil komposisi etanol pada distilat.

Kata kunci:

Bioethanol, distilasi, kolom distilasi, konsentrasi, *feed*, distilat, jatuh tekanan, debit aliran, waktu operasi minimum.

## ABSTRACT

Name : Andrinaldi  
Study Program : Mechanical Engineering  
Title : Design and Manufacture compact distilator low grade ethanol  
utilize hot from exhaust manifold engine static.

The availability of petroleum fuels in the worldwide which are not renewable force people to find alternative energy sources. Currently petroleum dominated for the main source of fuel for combustion engine. The renewable energy is one solution to deal with this issue. One source of renewable energy is Bioethanol .. In this research, a compact design compact distilator to utilize gas from the motor fuels as a primary tool of ethanol processing. The goal is to produce decent products into fuel ethanol is ethanol with a concentration above 90%. Therefore carried out the manufacture and testing destilator tool which can then be applied to static engine. Bioethanol The bioethanol is processed low grade levels of 10%, 20%, 30%, and 40 % are made in destilator feedback. From the results, the output volume of bio-ethanol and bio-ethanol concentration of output .. Based on testing to the minimum operating time of 12 minutes with the output flow rate 18,20 mL/minute. This research has shown the concentration of distillate quite dependent on the time of surgery. The longer operating time, the smaller the composition of ethanol in the distillate.

Keyword:

Bioethanol, distillation, distillation column, concentration, feed, distillate, pressure drop, flowrate, CFD, simulation, minimum operating time.

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
PENGESAHAN .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Perumusan Masalah .....	4
I.3 Tujuan Penelitian .....	4
I.4 Pembatasan Masalah.....	5
I.5 Metodologi Penelitian.....	5
I.6 Sistematika Penulisan .....	5
BAB II DASAR TEORI .....	7
II. 1 Bioethanol.....	7
II.1.1. Pembuatan Etanol secara Fermentasi .....	8
II.1.2. Bioethanol sebagai bahan bakar .....	12
II.1.3. Penggunaan bioethanol pada mesin pembakaran dalam.....	16
II.1.4. Pengaruh terhadap lingkungan.....	20
II.1.5. Mengukur Kadar Bioetanol .....	21
II.2. Azeotrop .....	22
II.3. Distilasi.....	24
II.3.1 Teori Dasar Distilasi .....	25

II.3.2. Proses Distilasi.....	26
II.4. Pindah Panas.....	27
II.4.1 Perhitungan untuk distilasi kontinyu pada sistem biner .....	28
II.4.2 Operation Line .....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	31
III.1 Metode Penelitian.....	31
III.1.1 Proses perancangan <i>compact destilator</i> .....	32
III.2. Melakukan instalasi <i>compact destilator</i> ke motor bakar.....	35
III.3. Persiapan pengujian .....	36
III.4. Petunjuk K3L .....	46
BAB IV HASIL DATA PENELITIAN DAN ANALISIS DATA.....	49
IV.1. Analisa pemakaian bioethanol low grade di motor bakar.....	49
IV.2. Analisa Data Hasil Destilasi Low Grade Ethanol Pada Motor Bakar Statik.....	52
IV.2.1. Data Hasil Pengukuran.....	52
IV.2.2 Data hasil Destilasi dengan volume 50 ml.....	53
IV.2.3 Data hasil Destilasi Volume yang diambil dari 1000ml .....	54
IV.3. Data Perhitungan Efisiensi Termal .....	55
IV.3.1 Data Sebelum dan Sesudah proses destilasi untuk ethanol teknik .....	55
IV.4. Analisa hasil data destilasi .....	57
BAB V PENUTUP .....	65
V.1 Kesimpulan.....	65
V.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA .....	66
LAMPIRAN.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Sumber <i>Bioethanol</i> .....	9
Tabel 3.1 Spesifikasi Bahan Bakar Premium .....	36
Tabel 3.2 Spesifikasi Bahan Bakar Bio Ethanol .....	36
Tabel 3.3 Spesifikasi Bahan Pengotor Ethanol.....	36
Tabel 3.4 Spesifikasi Genset Sumura ET 1500.....	36
Tabel 3.5 Spesifikasi Gas Analyzer .....	37
Tabel 3.6 Spesifikasi Multimeter .....	38
Tabel 3.7 Spesifikasi Timbangan Digital.....	39
Tabel 3.8 Spesifikasi Tube Level.....	39
Tabel 3.9 Spesifikasi Gelas Ukur.....	39
Tabel 3.10 Spesifikasi Pipet Tetes .....	40
Tabel 3.11 Spesifikasi Alkohol meter.....	40
Tabel 3.12 Spesifikasi lamp board.....	40
Tabel 3.13 Spesifikasi stop watch.....	40
Tabel 4.1 Low Grade Bioethanol teknik yang dicampur Aquades untuk mendapatkan feed 10%, 20%, 30%, dan 40% .....	52
Tabel 4.2 Low Grade Bioethanol dari fermentasi minuman.....	53
Tabel 4.3 Volume hasil destilasi dalam 50 ml untuk Low Grade Bioethanol teknik.....	53
Tabel 4.4 Volume hasil destilasi dalam 50 ml untuk Low Grade Bioethanol fermentasi minuman .....	54
Tabel 4.5 Volume yang diambil dari 1000ml untuk Low Grade Bioethanol teknik .....	54
Tabel 4.6 Volume yang diambil dari 1000ml untuk Low Grade Bioethanol fermentasi minuman.....	54
Tabel 4.7 propertis sample .....	55
Tabel 4.8 Data Sebelum dan Sesudah proses destilasi untuk ethanol teknik.....	55
Tabel 4.9 Data Perhitungan ethanol teknik.....	56
Grafik 4.1 Grafik hubungan laju output dan waktu yang dibutuhkan ethanol.....	57
Grafik 4.2 Grafik hubungan laju output dan waktu yang dibutuhkan ethanol fermentasi minuman.....	58

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram Alir Fermentasi Etanol dari Berbagai Bahan Baku.....	10
Gambar 2.2 Urutan siklus kerja motor bakar 4 langkah .....	14
Gambar 2.3 Diagram P-V dan T-S ideal motor Otto empat langkah.....	15
Gambar 2.4 Skala pada <i>alkoholometer</i> .....	21
Gambar 2.6. <i>Constant boiling mixture</i> .....	22
Gambar 2.7. Diagram kesetimbangan sistem etanol-air .....	23
Gambar 2. 8. Diagram titik didih etanol-air.....	24
Gambar 2.9. Gambaran dan penjelasan mengenai fraksi massa dan cair .....	27
Gambar 2.10. Skema proses perpindahan massa pada peristiwa destilasi.....	27
Gambar 2.11. Diagram untuk mengetahui berapa jumlah stage memakai .....	30
Gambar 3.1 Gambar 3D Evaporator .....	32
Gambar 3.2 Gambar 2D Evaporator .....	32
Gambar 3.3 Proses manufaktur <i>evaporator</i> .....	32
Gambar 3.4 3D Saparator (Sieve Coloum).....	33
Gambar 3.5 2D Saparator (Sieve Coloum).....	33
Gambar 3.6 Proses <i>Saparator</i> .....	33
Gambar 3.7. 3D Kondensor .....	34
Gambar 3.8. 2D Kondensor .....	34
Gambar 3.9 Proses Kondensor.....	34
Gambar 3.10.3D Perakitan <i>compact destilator low grade ethanol</i> dengan memanfaatkan gas buang motor bakar. ....	35
Gambar 3.11 Perakitan <i>compact destilator</i> ke motor bakar.....	35
Gambar 3.13 Skema alat uji dengan kolom distilasi hiter listrik.....	41
Gambar 3.14 Alat pada prosedur pengukuran volume output .....	43

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Grafik hubungan laju output dan waktu yang dibutuhkan ethanol Teknik.....	57
Grafik 4.2 Grafik hubungan laju output dan waktu yang dibutuhkan ethanol fermentasi minuman .....	58
Grafik 4.3 Grafik kadar hasil destilasi ethanol teknik.....	59
Grafik 4.4 Grafik kadar hasil destilasi ethanol fermentasi minuman.....	59
Grafik 4.5 Grafik temperatur evaporator dengan waktu output ethanol teknik....	60
Grafik 4.6 Grafik temperatur evaporator dengan waktu output ethanol fermentasi.....	60
Grafik 4.7 Efisiensi termal setiap kadar.....	61
Grafik 4.8 Kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan air .....	62
Grafik 4.9 Kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan ethanol .....	63
Grafik 4.10 Kalor yang diserap sampel .....	63

# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Minyak bumi ditemukan pada pertengahan abad 19 dan sejak itu dunia mulai mengalihkan sumber energi primer dari batubara menjadi minyak bumi. Walaupun batubara belakangan banyak dipakai lagi untuk sumber bahan bakar namun tidak bisa dipungkiri ketergantungan dunia terhadap minyak bumi masih sangat dominan. Hal ini karena mudahnya minyak bumi diolah untuk diubah ke dalam bentuk energi yang lain seperti *gasoline* atau premium dan minyak bumi ini banyak digunakan untuk bahan bakar kendaraan bermotor. Berbeda dengan batubara yang sulit diubah ke dalam bentuk energi lain maupun diubah komposisinya jika akan dipergunakan untuk keperluan khusus.

Melonjaknya harga minyak dunia belakangan ini sangat berpengaruh terhadap kebutuhan energi dan perekonomian diberbagai negara. Belakangan mulai ditemukan beberapa alternative untuk untuk mengurangi ketergantungan akan minyak bumi dan salah satunya adalah gas alam. Gas alam bisa disebut sebagai pengganti minyak bumi karena rumus kimia mempunyai kemiripan dengan minyak bumi yang sama-sama hidrokarbon. Selain itu gas alam juga menawarkan polusi udara yang jauh lebih kecil dibanding minyak bumi. Gas alam mempunyai kelemahan yaitu membutuhkan tempat penyimpanan yang sangat khusus sehingga tidak fleksibel dan suatu saat juga akan habis. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sumber energi baru yang kemudahan pemakaian bisa menggantikan minyak bumi, polusi yang ditimbulkan kecil atau bahkan tidak berpolusi, dan yang paling penting adalah terbarukan. Berbagai skema diupayakan untuk mengurangi emisi karbon, antaranya adalah penggunaan bahan bakar nabati (BBN) untuk menggantikan energi fosil (minyak bumi, batu bara, dan gas alam). Dari sisi lingkungan, penggunaan energi fosil akan menyebabkan akumulasi gas rumah kaca di atmosfer yang berakibat pemanasan global.

Di Indonesia berbagai upaya dilakukan oleh pemerintah untuk menanggulangi persoalan ini. Diantaranya adalah pada tahun 1980-an, pemerintah pernah menggelar secara intensif dan ekstensif program bahan bakar alternative, Kepres 43/1991 tentang konservasi energi. Sehingga saat ini penggunaan BBN sebagai bahan bakar, yang disebut sebagai biofuel (diantaranya biodiesel dan bioethanol), akan menghasilkan beberapa keuntungan. Diantaranya berupa jaminan ketersediaan yang tidak habis di masa depan (renewable). Biofuel diperoleh dari berbagai bahan nabati dari produk pertanian. Dengan peralihan biofuel untuk menggantikan minyak fosil, maka sektor pertanian akan kembali maju.

Kemudian 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> udara hingga 15%. 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.

Saat ini salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan untuk dikembangkan di Indonesia adalah bioethanol. Bioethanol dapat digunakan sebagai bahan bakar alternative campuran premium (gasoline) dan pengganti minyak tanah sebagai bahan bakar untuk memasak. Penggunaan etanol ini telah digunakan secara luas di Brazil dan Amerika. Penggunaan bioethanol juga dapat mengurangi pencemaran udara akan CO<sub>2</sub> (Thommes, 2007). Kelebihan ini menjadikan etanol sebagai sumber energi alternative yang menjanjikan.

Walaupun Bioethanol sebagai bahan bakar sangat ramah lingkungan dan terbarukan, namun penggunaan dalam skala ekonomi masalah mendasar, yaitu:

- a. Penggunaan bahan pangan sebagai bahan baku Bioethanol, sehingga berpotensi menimbulkan krisis pangan.
- b. Produksi bioethanol mengkonsumsi energi tinggi, sebanding dengan kandungan energi output yang dihasilkan. Untuk memproduksi bioethanol diperlukan biaya mulai dari pengolahan lahan pertanian, pupuk, transportasi bahan baku ke pabrik dan distribusi ke pengguna.
- c. Sifat Bioethanol yang sangat higroskopik, menjadikannya 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.

Untuk mengatasi masalah di atas ada beberapa solusi yang dapat dilakukan yaitu dengan;

- a. Untuk penggunaan bahan pangan sebagai bahan baku bioethanol dapat diatasi dengan menyediakan sumber-sumber karbohidrat atau gula nonpangan untuk bahan alkohol. Penguraian ligno-selulosa pada biomass bantuan enzim, kemudian dengan pembudidayaan jenis *algae* tertentu yang menghasilkan karbohidrat tinggi.
- b. Untuk biaya produksi yang tinggi dapat diatasi dengan program pemerintah yang mendukung kegiatan produksi ini. Mulai dari subsidi, transportasi, sampai dengan riset untuk alat produksi agar menghasilkan efisiensi yang tinggi.
- c. Untuk masalah bioethanol yang sangat mudah untuk menyerap air maka harus dilakukan design khusus untuk distribusi dan penyimpanan produk alkohol ini karena melihat prospek bioethanol ini yang cukup bagus.

Untuk metode yang bisa dipakai untuk menghasilkan etanol dengan tingkat konsentrasi tinggi dapat dilakukan mulai dari yang sederhana seperti model packing column dengan pengisian berbagai macam benda ke dalam kolom sehingga luas permukaan kontak menjadi besar, pengembangan dari packing column adalah *structured packing column* yaitu membuat struktur yang rapi untuk meningkatkan luas permukaan kontak. ada juga dengan model *tray column*. tray column memiliki banyak jenis yang banyak dipakai seperti sieve column, bubble-cap column, dll. penggunaannya tergantung dari kebutuhan akan produk yang ingin dihasilkan.

Dalam penelitian ini dilakukan design dan pembuatan alat *Compact destilator* untuk engine statik dan melakukan uji karakteristik bioethanol dengan kadar 10%, 20%, 30%, 40% dan bioethanol dari fermentasi buah lainnya sehingga dapat diketahui bahwa alat compact distilator dapat di aplikasikan untuk motor bakar statik.

## **I.2 Perumusan Masalah**

Melihat dari latar belakang yang telah dipaparkan, maka penelitian difokuskan untuk membuat suatu alat *compact destilator* dengan memanfaatkan gas buang dari pembakaran motor untuk pemanasan. Penelitian dilakukan dengan membuat compact destilator lalu melakukan percobaan dan pengambilan data dengan kondisi sesuai dengan objek penelitian.

## **I.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian bertujuan untuk melakukan pembuatan alat *compact destilator* yang dapat di aplikasikan pada motor bakar static dan membandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu *mini portable destilator*.

#### **I.4 Pembatasan Masalah**

Peneliti membatasi karya tulis ini pada pembuatan dan pengujian alat compact destilator pada motor bakar statik untuk *bioethanol low grade* kadar 10%, 20%, 30%, 40% dan *bioethanol low grade* dari berbagai jenis minuman fermentasi.

#### **I.5 Metodologi Penelitian**

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

1. Studi literatur, metode yang digunakan dalam pencarian studi literatur ini dengan tinjauan kepustakaan berupa buku-buku yang ada di perpustakaan, jurnal-jurnal tertulis maupun *online*, serta referensi artikel yang terdapat di internet.
2. Melakukan *design* alat berdasarkan mesin yang akan di aplikasikan dengan mencari beberapa referensi baik itu online maupun buku-buku yang ada di perpustakaan.
3. Setelah *design* dilakukan maka dilakukan manufaktur atau pembuatan alat destilator ini dengan material-material yang telah ditentukan dalam *design*.
4. Melakukan pengujian alat destilator ini pada motor bakar statik.
5. Melakukan analisa dan membuat kesimpulan serta saran.

#### **I.6 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

##### Bab I. Pendahuluan

Menjelaskan mengenai latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

##### Bab II: Landasan Teori

Menjelaskan tentang konsep distilasi, karakteristik pada kolom distilasi, metode untuk penentuan desain dari distilasi.

**Bab III: Metodologi Penelitian**

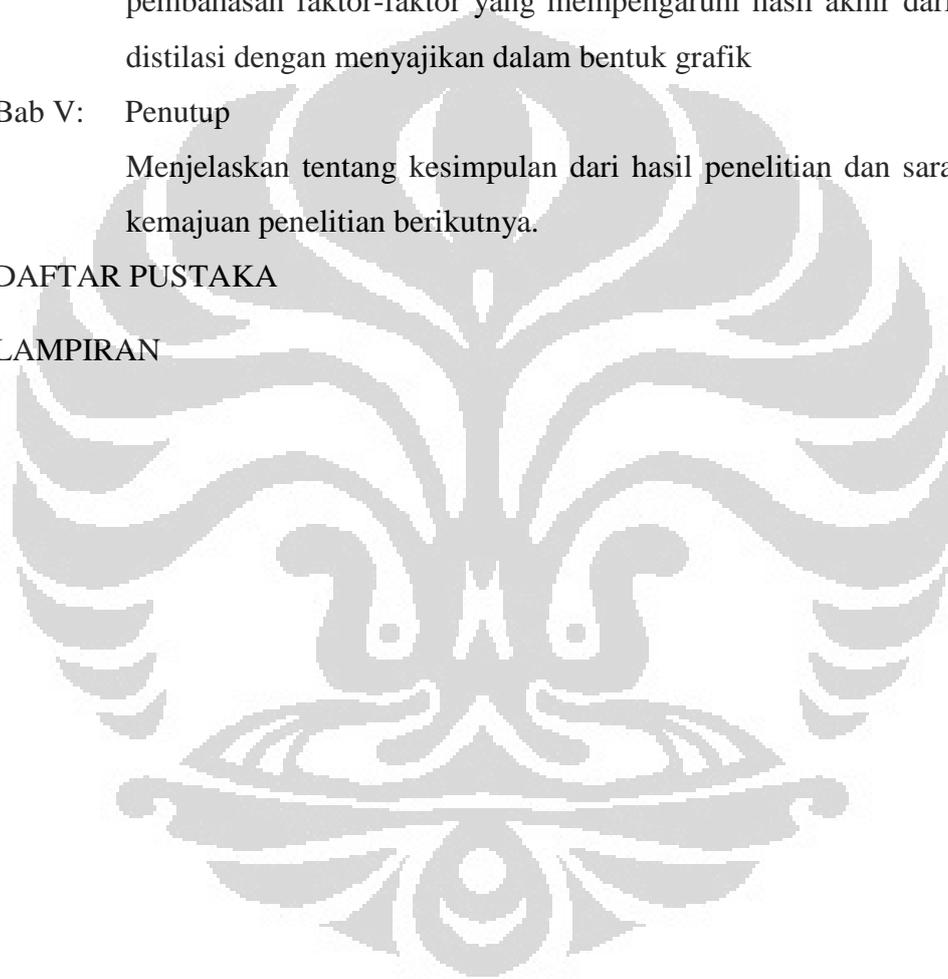
Menjelaskan tentang tahapan-tahapan yang harus dilakukan selama kegiatan penelitian, peralatan dan alat ukur yang diperlukan selama penelitian, proses pengambilan data, proses pembuatan.

**Bab IV: Hasil Data Penelitian dan Analisis Data**

Mendapatkan data tentang laju volume yang keluar dari *compact destilator*, kadar keluaran destilator, efisiensi termal, nilai kalor, dan pembahasan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil akhir dari produk distilasi dengan menyajikan dalam bentuk grafik

**Bab V: Penutup**

Menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk kemajuan penelitian berikutnya.

**DAFTAR PUSTAKA****LAMPIRAN**

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **II. 1 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.

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 766 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.

**a. Alkohol Teknis (96,5°GL)**

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

**b. Alkohol Murni (96,0 – 96,5 °GL)**

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

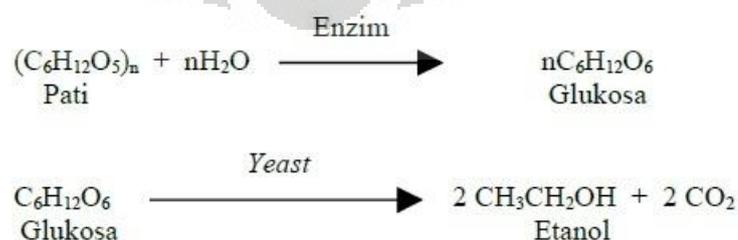
**c. Alkohol Absolut ( 99,7 – 99,8 °GL)**

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.

**II.1.1. Pembuatan Etanol secara Fermentasi**

Proses fermentasi dimaksudkan untuk mengubah glukosa menjadi etanol dengan menggunakan *yeast*. Alkohol yang diperoleh dari proses fermentasi ini biasanya alcohol 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:



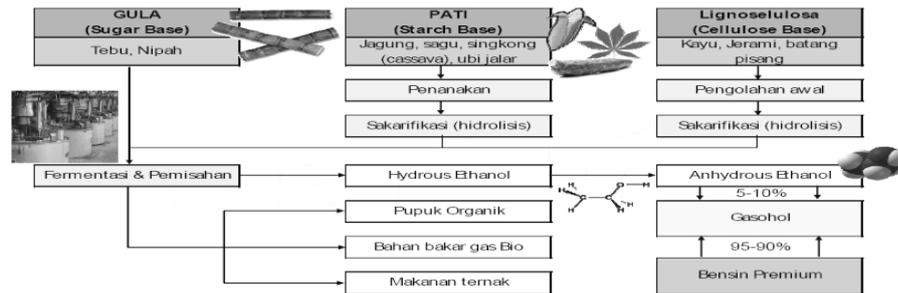
Bahan baku yang sering digunakan untuk pembuatan etanol dikelompokkan menjadi tiga kelompok yaitu :

- *Bahan bergula (sugary materials)* :  
Tebu dan sisa produknya (molase, bagase), gula bit, tapioca, kentang manis, sorghum manis, dll.
- *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.

Sumber	Berat (kg)	Kandungan Pati (kg)	Jumlah Bioetanol (liter)	Perbandingan Hasil
Ubi Kayu	1000	240-300	166,5	6,5:1
Ubi Jalar	1000	150-200	125	8:1
Jagung	1000	600-700	400	2,5:1
Sagu	1000	120-160	90	12:1
Tetes Tebu	1000	450-520	250	4:1
Tebu	1000	110	67	15:1

Tabel 1.1 Sumber *Bioehtanol*

Tabel 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 2.1. Diagram Alir Fermentasi Etanol dari Berbagai Bahan Baku

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, dari beberapa jenis tanaman tersebut ada jenis tanaman yang potensial dikembangkan karena karakteristik yang dimilikinya.

### **Kelapa sawit**

Kelapa sawit (*Elaeis Guineensis* Jack) merupakan jenis tumbuhan monokotil, dimana kandungan sabutnya (mesocarps) berakumulasi minyak. Pabrik-pabrik biodiesel skala komersial yang sekarang sudah beroperasi di tanah air menggunakan CPO dari kelapa sawit sebagai bahan bakunya. Faktor ketersediaan menjadi alasan utama kenapa digunakannya CPO.

Dalam proses produksi CPO, 1 ton Tandan Buah Segar (TBS) menghasilkan 200 kg CPO, limbah padat Tandan Kosong Kelapa sawit (TKKS) 250 kg dan 0,5 m<sup>3</sup> LCPKS. Ini dihitung dari neraca PKS, Jika dihitung dengan cara ini, maka diperkirakan jumlah TKKS tahun 2006 adalah sebanyak 20.75 juta ton. Misalkan kadar air TKKS ini adalah 50%, maka jumlah TKKS kering (OD) kira-kira 10.375 juta ton. Kandungan TKKS adalah 45.80% selulosa dan 26.00% hemiselulosa. Kembali ke perhitungan menurut *Badger (2002)* maka potensi bioetanol adalah sebesar 2,000 juta Liter. Jumlah yang tidak sedikit dan setara dengan 1446.984 liter bensin.

### **Jarak pagar (*Jathropa curcas linneaus*).**

Tanaman ini tergolong tanaman yang nakal karena dapat dengan mudah beradaptasi pada berbagai cuaca dan tidak membutuhkan banyak air serta pupuk. Usia panen tanaman ini adalah enam hingga delapan bulan, namun hasil buah

yang optimal baru dapat dinikmati pada usia lima tahun. Bagian yang diambil dari jarak pagar adalah biji dan kulit (karnel) buahnya dengan kandungan minyak masing-masing sebesar 33 persen dan 50 persen. Setiap satu ektar lahan dapat ditanami dengan 2.500 jarak pagar dan diperkirakan mampu menghasilkan biodisel sekitar 1,7 kilo liter biodisel pertahun. Rekayasa bioteknologi memungkinkan kita untuk menghasilkan bibit jarak pagar yang memiliki kemampuan menyerap unsur hara, terutama fosfor dan nitrogen serta mikronutrien (Zn, Mo, Fe dan Cu) lebih baik. Selain itu, bibit tanaman tersebut memiliki peningkatan ketahanan terhadap kekeringan, serangan patogen akar dan meningkat produktivitasnya.

### **Tetes Tebu ( Molase )**

Molase atau tetes tebu mengandung kurang lebih 60% selulosa dan 35,5% hemiselulosa. Kedua bahan polysakarida ini dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana yang selanjutnya dapat difermentasi menjadi ethanol. Potensi produksi molase ini per ha kurang lebih 10 – 15 ton, Jika seluruh molase per ha ini diolah menjadi ethanol (fuel grade ethanol), maka potensi produksinya kurang lebih 766 hingga 1,148 liter/ha FGE (perhitungan ada di lampiran).

Produksi bioetanol berbahan baku molase layak diusahakan karena tingkat keuntungan mencapai 24%. Jumlah itu lebih menguntungkan daripada menyimpan dana di bank dengan tingkat bunga bank Indonesia per 6 Desember 2007 sebesar 8%. Investasi yang ditanamkan untuk produksi bioetanol berbahan baku molase.

### **Sorgum**

Sorgum yang selama ini dikenal sebagai bahan pangan juga berprospek menjadi bahan bioetanol. Rendemen sorgum biji jauh lebih tinggi, kata Dr M Arif Yudianto, kepala bidang Teknologi Etanol dan Derivatif B2TP. Alumnus *Tokyo University of Agriculture & Technology* itu menggambarkan 2,5 kg sorgum kawali dapat menjadi seliter bioetanol. Itu artinya rendemen *Sorghum bicolor* 40%. Tingginya nilai pati mendorong Balai Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) mencetak sorgum dengan kadar gula tinggi. Tetua yang dipakai adalah dari asal I

ICRISAT India. 'Sorgum itu kemudian diinduksi sinar gamma. Nantinya ia akan memiliki sifat tahan kekeringan, tahan serangan penyakit, dan menelan biaya produksi rendah, kata Dr Soeranto Hoeman, peneliti BATAN.

Sejak diuji multilokasi pada 2001 di daerah kering seperti Gunungkidul, Yogyakarta, diperoleh sorgum unggulan bahan bioetanol: sweet sorgum. Sorgum dengan kode B-100 itu cukup istimewa karena memiliki kadar briks 17. Jumlah itu mendekati tebu gula dengan kadar briks 190. Dari 15 kg batang sorgum dihasilkan 1 liter bioetanol.

### **Jerami Padi**

Jerami padi mengandung kurang lebih 39% selulosa dan 27,5% hemiselulosa. Kedua bahan polysakarida ini dapat dihidrolisis menjadi gula sederhana yang selanjutnya dapat difermentasi menjadi ethanol. Potensi produksi jerami padi per ha kurang lebih 10 – 15 ton, jerami basah dengan kadar air kurang lebih 60%. Jika seluruh jerami per ha ini diolah menjadi ethanol (fuel grade ethanol), maka potensi produksinya kurang lebih 766 hingga 1,148 liter/ha FGE (perhitungan ada di lampiran). Dengan asumsi harga ethanol fuel grade sekarang adalah Rp. 5500,- (harga dari Pertamina), maka nilai ekonominya kurang lebih Rp. 4,210,765 hingga 6,316,148 /ha.

Menurut data BPS tahun 2006, luas sawah di Indonesia adalah 11.9 juta ha. Artinya, potensi jerami padinya kurang lebih adalah 119 juta ton. Apabila seluruh jerami ini diolah menjadi ethanol maka akan diperoleh sekitar 9,1 milyar liter ethanol (FGE) dengan nilai ekonomi Rp. 50,1 trilyun. Jika dihitung-hitung ethanol dari jerami sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan bensin nasional.

## **II.1.2. Bioethanol sebagai bahan bakar**

### **MOTOR OTTO**

Motor Pembakaran dalam (*internal combustion engine*) adalah mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanis dan prosesnya terjadi di dalam suatu ruang bakar yang tertutup. Energi kimia dalam bahan bakar terlebih dahulu diubah menjadi energi thermal melalui proses pembakaran. Energi thermal yang

diproduksi akan menaikkan tekanan yang kemudian menggerakkan mekanisme pada mesin seperti torak, batang torak dan poros engkol.

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

Berdasarkan siklus langkah kerjanya, motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi motor 2 langkah dan motor 4 langkah. Berperalatan uji yang digunakan adalah motor *Otto* berbahan bakar 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.

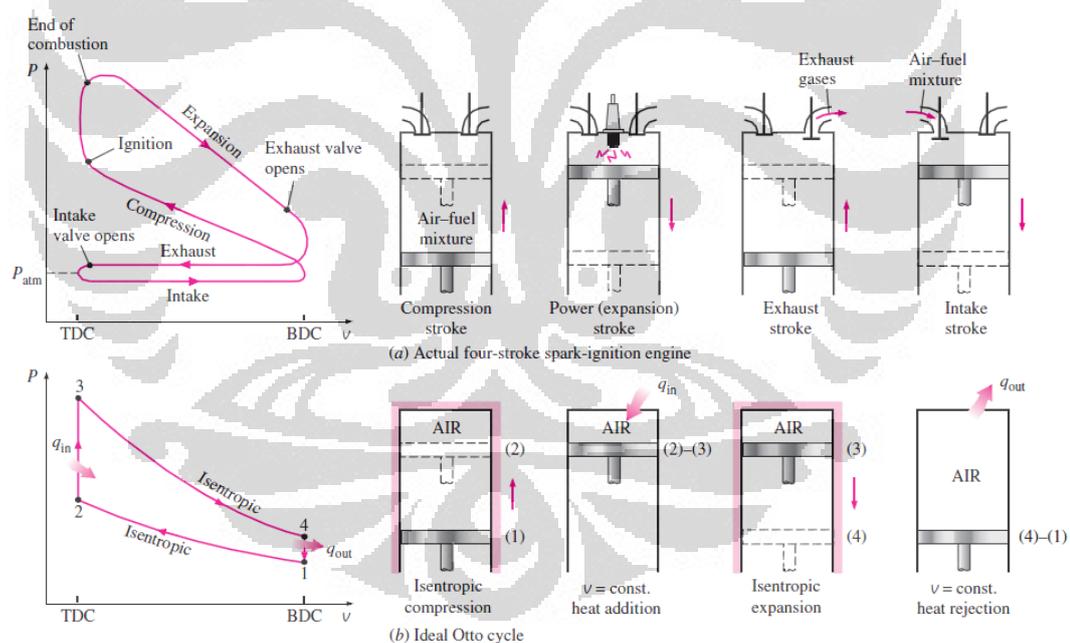
3. Torak

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.

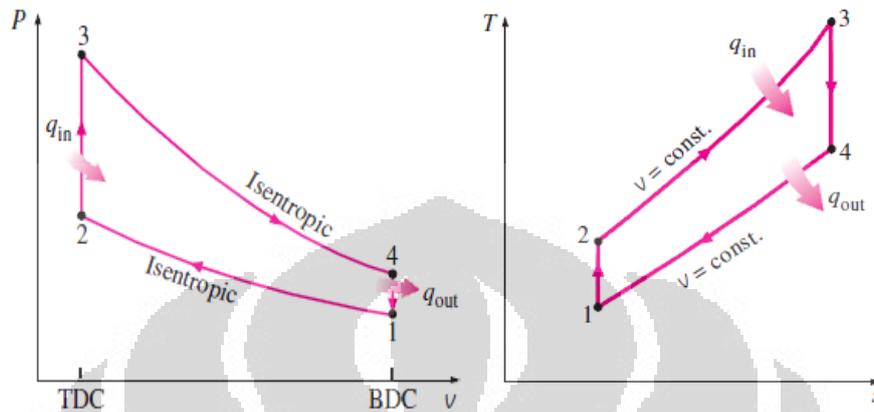
Pada mesin 4 langkah, torak bergerak bolak-balik dalam silinder dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB) sebanyak 4 kali atau 2 putaran engkol untuk memenuhi 1 siklus kerja. Jarak yang ditempuh torak selama gerakan bolak-balik disebut dengan *stroke* atau langkah torak. Langkah-langkah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



Gambar 2.2 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 2.3 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.

### II.1.3. Penggunaan bioethanol pada mesin pembakaran dalam

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 alcohol di Rusia (Wikipedia), sedangkan Kementrian Lingkungan Hidup Jepang telah menargetkan pada tahun 2008 campuran gasolin + ethanol 10% 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% pasokan energi nasional pada tahun 2025 (*Kompas*, 26 Mei 2005).

Ethanol bisa digunakan dalam bentuk murni ataupun sebagai campuran untuk bahan bakar gasolin (bensin) maupun hidrogen. Interaksi ethanol dengan hidrogen bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi *fuel cell* ataupun dalam mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) konvensional.

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, yakni sekitar 4. dkk. 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 33ibandingkan 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 ethanol-gasolin 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.

#### II.1.4. Pengaruh terhadap lingkungan

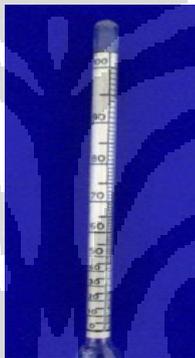
Beberapa ilmuwan Amerika penentang implementasi bioethanol mengangkat permasalahan lingkungan yang dimunculkan oleh mata rantai produksi bioethanol. Ilmuwan tersebut menyoroti praktek pembakaran ladang guna memudahkan panen tebu, kerusakan tanah akibat ancaman terhadap keanekaragaman hayati, penggunaan air dalam jumlah besar untuk membersihkan sugarcane, serta erosi tanah yang disebabkan praktek penanaman tebu (*Nature, 1 July 2005*). Selain itu, beberapa kalangan juga mempertanyakan rasio antara energi yang dihasilkan terhadap energy yang diperlukan dalam produksi ethanol yang hanya mencapai 0.76 - 1.1 (Rostrup- Nielsen, 2005).

Untuk meminimalkan dampak negatif mata rantai produksi ethanol, pemerintah Brazil telah mengeluarkan aturan yang melarang pembakaran ladang sebelum panen tebu; dan sebagai gantinya digunakan mesin pemanen untuk memudahkan dan mempercepat panen (Wikipedia). Menilai implementasi ethanol secara kuantitatif, seperti yang dipraktekkan di Brazil, seharusnya juga perlu diperhitungkan factor produk samping berupa *bagasse* yang menghasilkan listrik (dalam jumlah signifikan) serta efek pengurangan emisi CO<sub>2</sub> yang berkorelasi positif terhadap tingkat kesehatan masyarakat. Dalam kasus penggunaan bahan bakar hidrogen, Jacobson dkk (2005) memperkirakan bahwa sekitar 3,700 - 6,400 orang per tahun akan terselamatkan bila seluruh kendaraan bermotor di USA bermigrasi menggunakan bahan bakar hydrogen yang dibangkitkan dari energi angin. Oleh karena itu, bila faktor-faktor tersebut turut diperhitungkan, nampaknya penggunaan bioethanol akan lebih superior terhadap gasolin. Sedangkan ancaman terhadap keanekaragaman hayati mungkin bisa dipecahkan dengan menggunakan beberapa tanaman sebagai sumber ethanol. Meski relatif lebih menyulitkan dalam pengaturannya, praktek multikultur tersebut diharapkan akan menekan penurunan kualitas tanah secara radikal.

## II.1.5. Mengukur Kadar Bioetanol

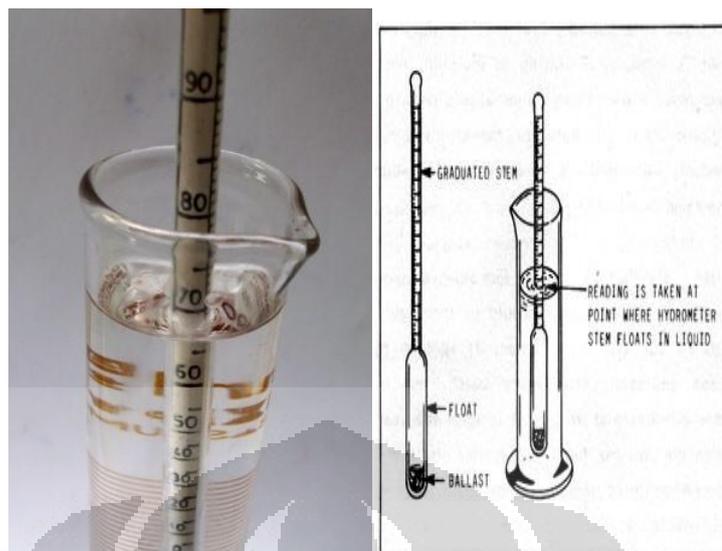
### Alkoholometer

Mengukur kadar bioetanol adalah salah satu hal penting yang harus diketahui saat melakukan eksperimen dengan variasi konsentrasi. Alat untuk mengukur kadar etanol tersebut juga dikenal dengan nama *alkoholometer* atau *hydrometer* alkohol. Alat ini sebenarnya digunakan dalam industri minuman keras (bir, wine) untuk mengukur kandungan alkohol dalam minuman tersebut. Di bagian atas *alkoholometer* tersebut dilengkapi dengan skala yang menunjukkan kadar alkohol. Prinsip kerjanya berdasarkan berat jenis campuran antara alkohol dengan air.



Gambar 2.4 Skala pada *alkoholometer*

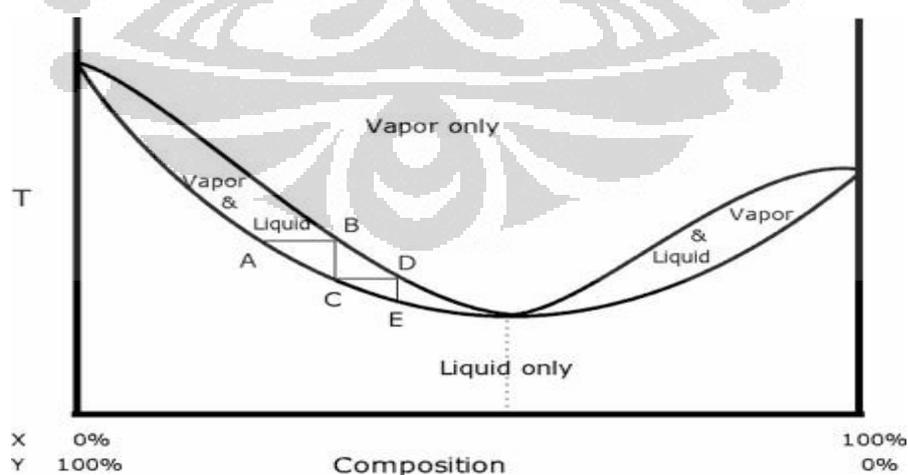
Penggunaan *alkoholometer* sangat sederhana. Pertama masukkan bioethanol ke dalam gelas ukur atau tabung atau botol yang tingginya lebih panjang dari panjang *alkoholometer*. Kemudian masukkan batang *alkoholometer* ke dalam gelas ukur. *Alkoholometer* akan tenggelam dan batas airnya akan menunjukkan berapa kandungan alkohol di dalam larutan tersebut



Gambar 2.5. Pengukuran kadar ethanol

## II.2. Azeotrop

Menurut Hidayat (2007), azeotrop merupakan campuran dua atau lebih komponen pada komposisi tertentu dimana komposisi tersebut tidak dapat berubah hanya melalui distilasi biasa. Ketika campuran azeotrop dididihkan, fasa uap yang dihasilkan memiliki komposisi yang sama dengan fasa cairnya. Campuran azeotrop ini sering disebut juga *constant boiling mixture* karena komposisinya yang senantiasa tetap jika campuran tersebut dididihkan. Untuk lebih jelasnya, perhatikan ilustrasi berikut :

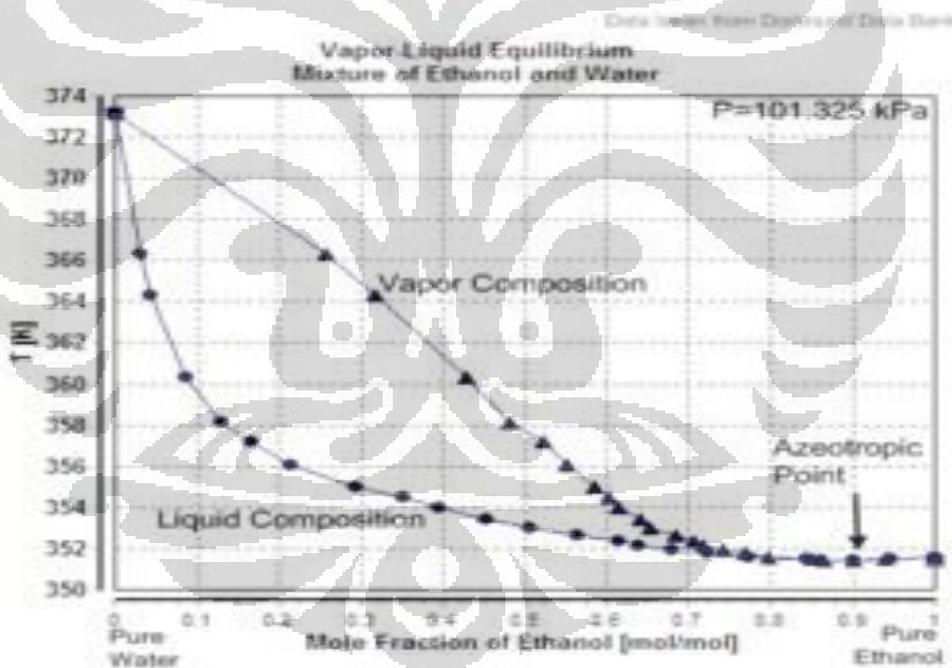


Gambar 2.6. *Constant boiling mixture*

[www.tutorvista.com](http://www.tutorvista.com)

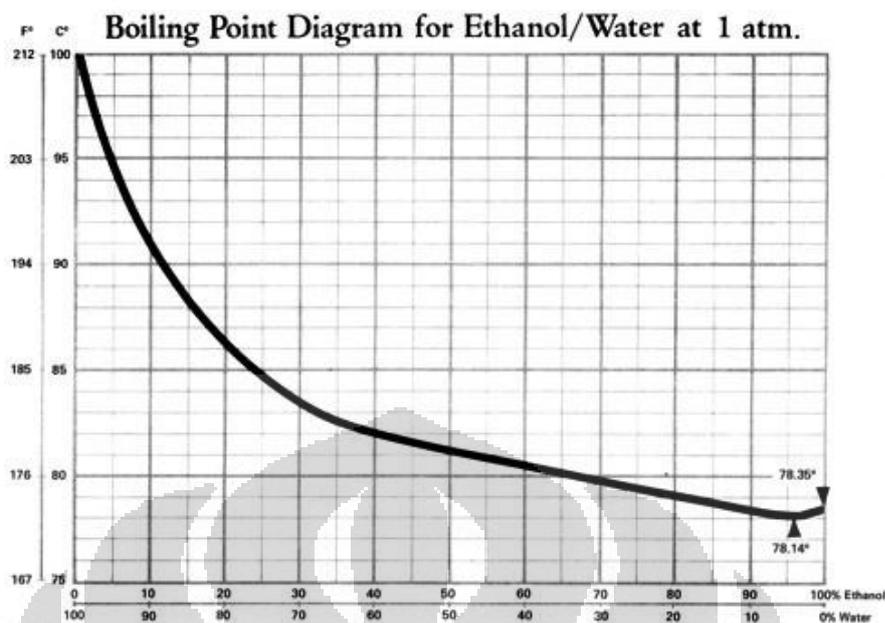
Titik A (Temperatur 351.5 K) pada pada kurva merupakan *boiling point* campuran pada kondisi sebelum mencapai azeotrop. Campuran kemudian dididihkan dan uapnya dipisahkan dari sistem kesetimbangan uap cair (titik B). Uap ini kemudian didinginkan dan terkondensasi (titik C). Kondensat kemudian dididihkan, didinginkan, dan seterusnya hingga mencapai titik azeotrop. Pada titik azeotrop, proses tidak dapat diteruskan karena komposisi campuran akan selalu tetap.

Pada gambar di atas, titik azeotrop digambarkan sebagai pertemuan antara kurva saturated vapor dan saturated liquid. (ditandai dengan garis vertikal putus-putus). Sebagai contoh kita dapat memperhitungkan sistem etanol-air. Bentuk ini adalah azeotrop pada titik didih minimum sebesar  $78.14^{\circ}\text{C}$  yang homogen pada konsentrasi 0.8943 mol fraksi etanol, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11 dibawah ini :



Gambar 2.7. Diagram kesetimbangan sistem etanol-air

[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)



Gambar 2. 8. Diagram titik didih etanol-air

[www.ethanol-still-plans.com](http://www.ethanol-still-plans.com)

Pemisahan komponen-komponen yang mempunyai titik didih hamper sama sulit dicapai dengan distilasi sederhana, walaupun jika campuran itu ideal, dan pemisahan yang sempurna kadang-kadang sama sekali tidak mungkin karena pembentukan azeotrop. Pemisahan campuran asal dapat dibantu dengan menambahkan pelarut yang membentuk azeotrop dengan salah satu komponen kunci. Proses ini disebut distilasi azeotropik. Salah satu contoh distilasi azeotropik ialah penggunaan benzene untuk memisahkan etanol dan air secara sempurna, dimana air dan etanol membentuk azeotrop bertitik didih rendah yang mengandung 95,6% bobot etanol. (McCabe *et al*, 1999)

### II.3. Distilasi

Distilasi adalah proses pemisahan antara dua atau lebih komponen cairan yang berada dalam suatu campuran dengan menggunakan perbedaan volatilitas relatif atau perbedaan titik didih. Semakin besar perbedaan pada nilai volatilitas relatif maka semakin besar pula ketidaklinieran dan akan semakin mudah suatu campuran dipisahkan menggunakan proses distilasi. Distilasi terdapat dua proses yaitu proses penguapan dari campuran cairan dalam suatu bejana dan proses penghilangan uap dari bejana dengan kondensasi. Oleh karena perbedaan

volatilitas relatif atau titik didih, uap akan kaya dengan komponen yang lebih ringan dan cairan akan kaya dengan komponen yang lebih berat.

Seringkali sebagian dari kondensat (distilat) dikembalikan ke dalam bejana (*reflux*) dan bercampur dengan uap yang akan keluar dari bejana. Langkah ini bisa membuat perpindahan yang lebih banyak komponen yang lebih ringan dari fase cair ke fase uap, begitu juga sebaliknya. Akibatnya aliran uap akan menjadi lebih kaya lagi akan komponen yang lebih ringan dan aliran cairan akan lebih banyak mengandung komponen yang lebih berat. Berbagai tipe peralatan yang disebut *plates*, *trays* atau *packings* digunakan untuk memberikan kontak yang lebih banyak antara fase uap dan fase cair untuk meningkatkan transfer massa. Tergantung pada volatilitas relatif dan tujuan proses separasi, seperti tingkat kemurnian pada produk distilasi, akan ditambahkan lebih banyak *trays* atau *packings* sehingga akan membentuk suatu bangunan yang silindris yang dinamakan kolom. Pada struktur kolom inilah sebagian besar proses distilasi saat ini berlangsung.

### II.3.1 Teori Dasar Distilasi

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

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

akan tetap berada dalam gerakan yang konstan, dan kecepatan molekul-molekul dipengaruhi oleh suhu pada saat itu (Guenther, 1987). Kondensasi atau proses pengembunan uap mejadi cairan, dan penguapan suatu cairan menjadi uap melibatkan perubahan fase cairan dengan koefisien pindah panas yang besar. Kondensasi terjadi apabila uap jenuh seperti *steam* bersentuhan dengan padatan yang temperaturnya di bawah temperatur jenuh sehingga membentuk cairan seperti air Geankoplis, 1983).

### II.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 kemurnian 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.

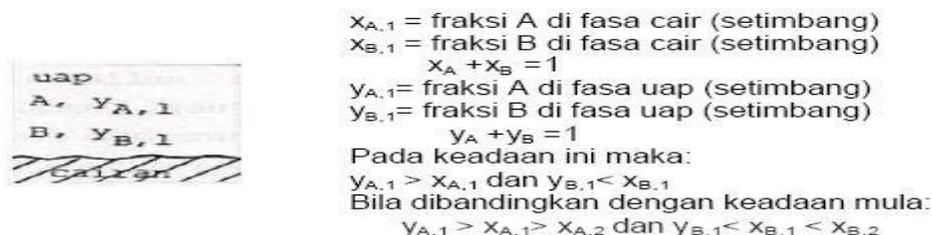
Proses distilasi bertingkat yaitu suatu proses distilasi dengan letak pengambilan hasil bertingkat-tingkat atau setelah didistilasi, hasilnya didistilasi lebih lanjut untuk memperoleh konsentrasi yang lebih baik. Proses ini banyak dipakai dalam bidang minyak bumi, juga pada proses distilasi campuran 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

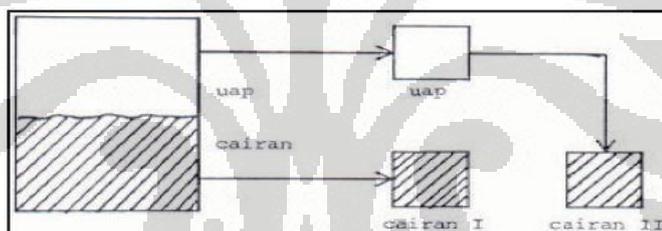
menguap (volatil) dibanding komponen B. Komposisi dari kedua komponen tersebut dinyatakan dengan fraksi mol. Untuk fase cair komponen A dinyatakan dengan  $x_A$ , sedangkan komponen B dinyatakan dengan  $x_B$ .



Gambar 2.9. Gambaran dan penjelasan mengenai fraksi massa dan cair

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

- Campuran diuapkan sebagian, uap dan cairannya dibiarkan dalam keadaan setimbang.
- Uap dipisahkan dari cairannya dan dikondensasi, maka didapat dua cairan, cairan I dan cairan II. Cairan I mengandung lebih sedikit komponen A (lebih mudah menguap) dibandingkan cairan II.



Gambar 2.10. Skema proses perpindahan massa pada peristiwa destilasi

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

#### **II.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 perbedaan 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 berenergi 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 kuali tertutup tanpa pengadukan, perubahan kerapatan menyebabkan pindah panas dengan konveksi alamiah. Apabila dengan pengadukan, maka pindah panas terjadi secara paksa.

#### II.4.1 Perhitungan untuk distilasi kontinyu pada sistem biner

Perhitungan kesetimbangan massa dinyatakan melalui persamaan dibawah ini:

$$F X_F = D X_D + W X_W \quad (2.1)$$

Dengan  $F$ ,  $D$ ,  $W$  adalah debit (kg mol/h) dari aliran masuk, aliran distilat, dan aliran buangan pada bagian bawah kolom.  $X_f$ ,  $X_d$ ,  $X_w$  adalah rasio molae dari komponen atsiri pada aliran masuk, aliran distilat, dan aliran buangan.

#### II.4.2 Operation Line

Terdapat  $X_n$  dan  $L_n$  sebagai rasio molar dan debit dari suatu campuran pada fase liquid yang keluar melalui tray ke-n dihitung dari puncak kolom distilasi, dan diberikan  $Y_{n+1}$  dan  $V_{n+1}$  sebagai komponen dan debit dari uap yang naik tray ke-n+1, sehingga *operation line* dari *enriching section* bisa ditulis dengan persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned}
 Y_{n+1} &= \frac{L_n}{V_{n+1}} X_n + \frac{D}{V_{n+1}} \\
 &= \frac{L_n}{L_n+D} X_D + \frac{D}{L_n+D} X_D
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Rasio reflux bisa dinyatakan dalam bentuk  $R = L_n/D$  dan dimasukkan ke dalam persamaan di atas sehingga menghasilkan:

$$Y_{n+1} = \frac{R}{R+1} X_n + \frac{1}{R+1} X_D \tag{2.3}$$

Sementara itu, dinyatakan  $Y_m$  dan  $V_m$  sebagai rasio proporsional dan debit aliran dari uap yang naik dari tray ke- $m$  (dihitung dari bawah kolom) dan telah dinyatakan  $X_{n+1}$  dan  $L_{n+1}$  sebagai rasio proporsional dan debit aliran dari fluida pada fase liquid yang jatuh dari tray ke- $m+1$ , sehingga *operation line* untuk *stripping point section* (suatu titik yang terdapat di bawah *feed point*) bisa ditulis dengan persamaan,

$$Y_m = \left( \frac{L_{n+1}}{V_m} \right) X_{m+1} - \left( \frac{W}{V_m} \right) X_W = \left( \frac{L_{m+1}}{L_{m+1}-W} \right) X_{m+1} - \left( \frac{W}{L_{m+1}-W} \right) X_W \tag{2.4}$$

Variabel yang terdapat pada tanda kurung jika dimisalkan setiap 1 mol terdiri dari fase liquid  $q$ -mole dan fase uap  $1-q$  mole, maka bisa dituliskan  $L_{m+1} = L_n + qF$  dan  $V_m = V_{n+1} - (1-q)F$ , sehingga persamaan diatas berubah menjadi,

$$Y_m = \left( \frac{R+q\frac{F}{D}}{R+1+(1-q)\frac{F}{D}} \right) X_{m+1} - \left( \frac{\frac{F}{D}-1}{R+1-(1-q)\frac{F}{D}} \right) \tag{2.5}$$

Jika variabel rasio reflux  $R$  diasumsikan tidak mengalami perubahan (konstan), maka persamaan (2.12) dan (2.13), seperti yang ditunjukkan pada grafik, dengan mempertimbangkan  $X_n$ ,  $Y_{n+1}$ ,  $X_{m+1}$ ,  $Y_m$  sebagai faktor variabel sehingga *operation line* menjadi linear. Dan  $q$ -line juga garis linear mengikuti persamaan dibawah ini;



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### **III.1 Metode Penelitian**

Untuk mendapatkan karakteristik dari bahan bakar ethanol dibutuhkan beberapa data yang bisa kita dapatkan melalui uji coba pemakaian bahan bakar tersebut secara langsung pada sebuah motor bakar 2 HP. Kondisi-kondisi yang terjadi pada mesin nantinya akan kita catat sebagai data yang akan diolah untuk menggambarkan karakteristik bahan bakar tersebut. Dari informasi-informasi tersebut diharapkan dapat ditarik sebuah kesimpulan untuk merumuskan performa dari bahan bakar ethanol, Sehingga nantinya kita dapat mengetahui prospek kedepan dari ethanol sebagai bahan bakar motor bakar.

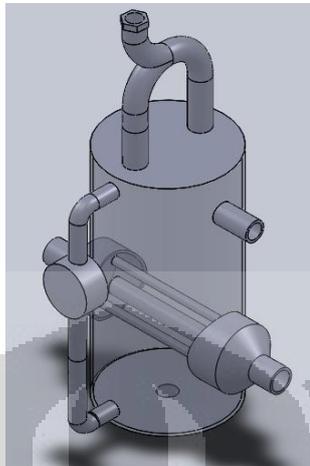
Sebelum kita dapatkan data uji dari ethanol, kita uji terlebih dahulu bahan bakar mula dari mesin tersebut, yaitu bensin tanpa timbal (B100) sebagai factor pembanding. Kita *running engine* pada putaran optimum (3600 rpm\*) dari mulai kondisi tanpa beban sampai beban maksimal. Kita ambil data laju konsumsi bahanbakar, daya yang terukur, dan kondisi gas buang.

Metode penelitian ini dilakukan secara ekperimental yang meliputi kegiatan seperti di bawah ini :

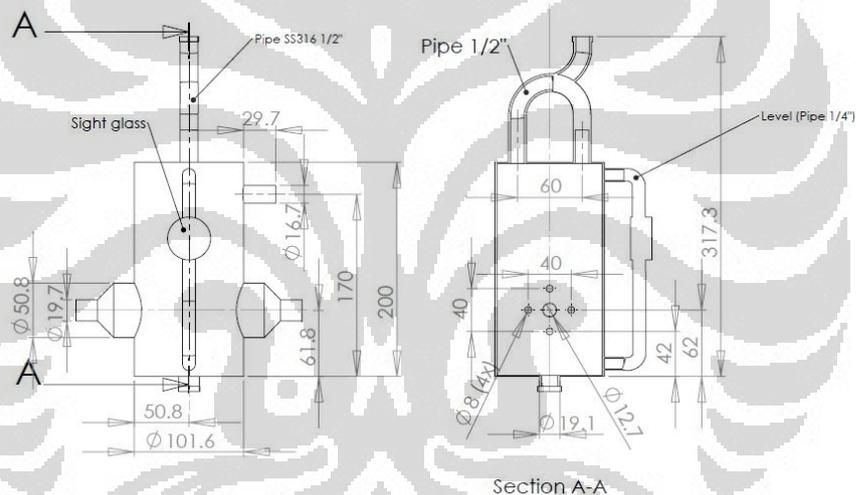
- Merancang dan merealisasikan *compact destilator low grade ethanol yang memanfaatkan gas buang motor bakar*.
- Melakukan instalasi *compact destilator ke motor bakar*.
- Melakukan eksperimen pengujian menggunakan *low grade ethanol*.
- Mengumpulkan dan mengolah data-data yang diperoleh serta mengevaluasinya.
- Mempresentasikan hasil penelitian dan kemudian melakukan analisis dalam bentuk grafik-grafik.

### III.1.1 Proses perancangan *compact destilator*

#### 1. Perancangan Evaporator destilasi



Gambar 3.1 Gambar 3D Evaporator



Gambar 3.2 Gambar 2D Evaporator

Spesifikasi destilasi :

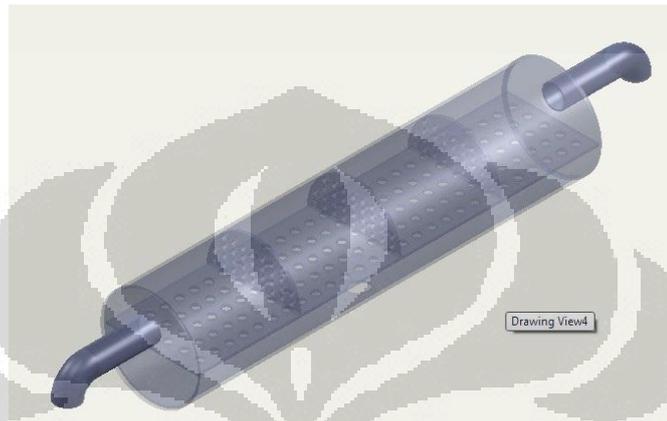
- Dimensi tabung dalam :  $\text{Ø} 98 \text{ mm}$
- Dimensi tabung luar :  $\text{Ø} 101.6 \text{ mm}$
- Jumlah Reducer  $3/4''-2''$  : 2 buah
- Jumlah pipa  $\text{Ø} 14 \text{ mm}$  : 5 buah
- Jumlah shock lurus  $1/4''$  : 1 buah
- Jumlah L-Bow  $1/2''$  : 2 buah
- Kapasitas kolom : 1.3 liter
- Material utama : Stainless Steel 316L



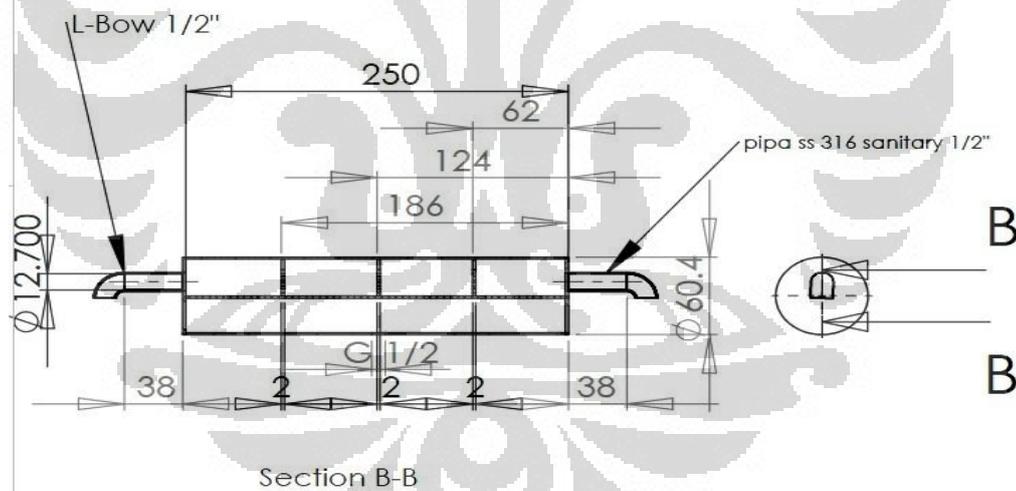
Gambar 3.3 Proses manufaktur *evaporator*

## 2. Perancangan Saparator

Saparator ini fungsinya sama dengan kolom destilasi dimana di dalamnya terdapat *perforate* yang berfungsi memisahkan air dengan *ethanol*. *Ethanol* akan diteruskan ke kondensor sementara air akan menabrak perforate dan jatuh kebawah untuk kemudian di *drain* (ditampung di penampungan)



Gambar 3.4 3D Saparator (Sieve Coloum)



Gambar 3.5 2D Saparator (Sieve Coloum)

Spesifikasi kolom destilasi :

- Dimensi tabung dalam :  $\text{Ø} 76 \text{ mm}$
- Dimensi tabung luar :  $\text{Ø} 79 \text{ mm}$
- Jumlah L-Bow 1/2'' : 2 buah
- Plat *Perforate* #4 SS316
- Material utama : *Stainless Steel*

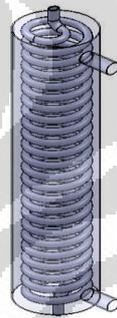


Gambar 3.6

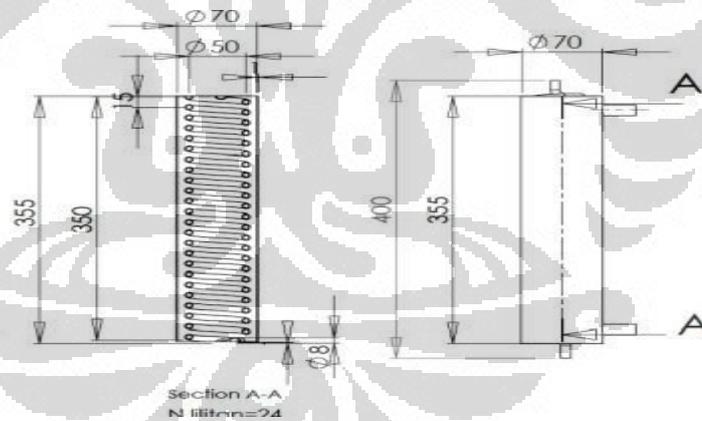
Proses Saparator

### 3. Perancangan kondensor

Kondenser berfungsi mengkondensasi uap yang keluar dari kolom distilasi. Tipe kondenser yang dipakai adalah tipe coil dengan aliran *parallel-flow*. Bahan yang dipakai ada dua yaitu tembaga untuk *coil*, dan stainless steel untuk dinding kondenser. Tembaga digunakan pada coil agar menghasilkan perpindahan panas yang baik antara uap ethanol dengan fluida pendingin. Fluida pendingin yang dipakai ialah air. Air pendingin berasal dari pompa yang disirkulasikan terus menerus.



Gambar 3.7. 3D Kondensor



Gambar 3.8. 2D Kondensor

Spesifikasi kondensor :

- Dimensi tabung dalam :  $\text{Ø } 76 \text{ mm}$
- Dimensi tabung luar :  $\text{Ø } 79 \text{ mm}$
- Jumlah L-Bow  $1/2''$  : 2 buah
- Panjang pipa kondensor : 6 m
- Material utama : Stainless Steel 316L
- Material pipa : tembaga  $3/8''$

Gambar 3.9  
Proses  
Kondensor



### III.2. Melakukan instalasi *compact destilator* ke motor bakar



Gambar 3.10. 3D Perakitan *compact destilator low grade ethanol* dengan memanfaatkan gas buang motor bakar.



Gambar 3.11 Perakitan *compact destilator* ke motor bakar

Alat *compact destilator* di pasang langsung ke *exhaust manifold* motor bakar dengan tujuan memanfaatkan panas dari gas buang untuk pemanasan destilasinya.

### **III.3. Persiapan pengujian**

Kegiatan persiapan yang dilakukan sebelum melakukan pengujian dimaksudkan untuk memperoleh data terukur yang lebih akurat dan presisi.

Persiapan-persiapan tersebut berupa pemeriksaan alat uji seperti :

#### 1 Bahan Bakar Premium

Tabel 3.1 Spesifikasi Bahan Bakar Premium

Jenis	Bensin tanpa Timbal
Nilai Kalor Spesifik	8308 Kkal/Liter

*Sumber : Web pertamina*

#### 2 Bahan Bakar Bio Ethanol

Tabel 3.2 Spesifikasi Bahan Bakar Bio Ethanol

Jenis	Bio Ethanol Tetes Tebu
Kadar	95 %
Nilai Kalor Spesifik	5023.3 Kkal/L (@ 100%)

*Sumber : Wikipedia*

#### 3 Bahan Pengotor Ethanol

Tabel 3.3 Spesifikasi Bahan Pengotor Ethanol

Jenis	Aquades
Nilai Kalor Spesifik	0.979 Kkal/L

*Sumber : Wikipedia*

#### 4 Genset Sumura ET 1500

Tabel 3.4 Spesifikasi Genset Sumura ET 1500

Generator	
Type	Single Phase, Brushless, Capacitor Type, AC
Voltage	220 V/50 Hz
Max Power	0.9 KW/50 Hz
Rated Power	0.85 KW/50 Hz

Engine	
Type	1 Cylinder, 4-stroke, Forced air cooling gas
Model	A154F
Bore	
Stroke	
Displacement	80.7 cc
Rated Power	1.17 KW/3000 rpm, 1.32 KW/3600 rpm
Bahan Bakar	Bensin tanpa timbal
Oli	SAE 15W-40SF
Fuel Tank Capacity	5.5 L
Dimensi	450 x 350 x 365 (mm)
Berat Bersih	26 Kg

## 5 Gas Analyzer

Tabel 3.5 Spesifikasi Gas Analyzer

Merek	Tecnotest	
Model	488	
Jenis	Multi Gas Tester Dengan Infra Merah	
Negara Pembuat	Italia	
Tahun Produksi	1997	
Jangkauan Pengukuran		
CO	0 - 9.99	% Vol res 0.01
CO <sub>2</sub>	0 - 19,99	% Vol res 0.1
HC	0 - 9999	ppm Vol res 1
O <sub>2</sub>	0 - 4	% Vol res 0.01
	4 - 25,0	% Vol res 0.1
NO <sub>x</sub>	0 - 2000	ppm Vol res 5
Lambda	0,500 - 2,000	res 0.001
Temp. operasi	5-40 °C	
Hisapan gas yang dites	8 L/menit	

Waktu Respons	< 10 detik (untuk panjang <i>probe</i> 3 m)
Dimensi	400 x 180 x 420 mm
Berat	13.5 kg
Waktu pemanasan	Maksimal 15 menit
Sumber Tegangan	110/220/240 V 50/60 Hz
Tes Kebocoran dan Kalibrasi	otomatis
Kontrol Aliran Internal dan Kalibrasi	otomatis

## 6 Multimeter dan Thermo Couple

Tabel 3.6 Spesifikasi Multimeter

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

## 7 Timbangan Digital

Tabel 3.7 Spesifikasi Timbangan Digital

Merek	AND
Model	EK-300i
Jenis	Timbangan Digital
Negara Pembuat	Jepang
Kapasitas	300 gr
Ketelitian	0.01 gr
Sumber Tegangan	220 Volt
Kalibrasi	Otomatis

## 8 Tube Level

Tabel 3.8 Spesifikasi Tube Level

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

## 9 Gelas Ukur

Tabel 3.9 Spesifikasi Gelas Ukur

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

## 10 Pipet Tetes

Tabel 3.10 Spesifikasi Pipet Tetes

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

## 11 Alcohol Meter

Tabel 3.11 Spesifikasi Alkohol meter

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

## 12 Lamp Board

Tabel 3.12 Spesifikasi lamp board

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

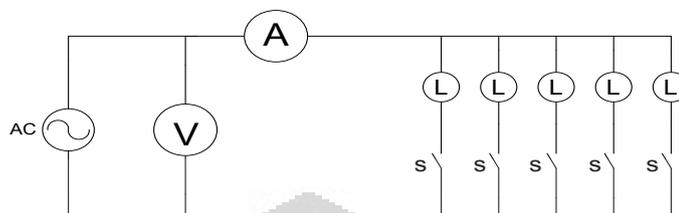
## 13 Stop Watch

Tabel 3.13 Spesifikasi stop watch

Merek	Alba
Jenis	Sport Timer

Ketelitian	0.01 S
Negara Pembuat	China

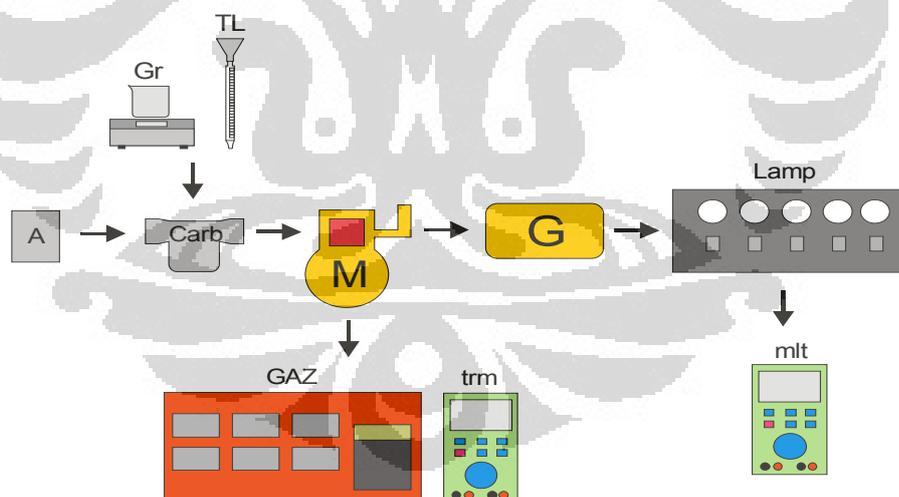
### Skematik Peralatan Uji



Gambar 3.12 Skema pengukuran Arus dan Tegangan pada lamp board

Keterangan :

- V = Volt meter
- A = Ampere meter
- L = Lampu @ 100 Watt
- S = Saklar
- AC = Sumber listik dari generator



Gambar 3.13 Skema alat uji dengan kolom distilasi hiter listrik

Keterangan :

- K = Kolom distilasi hiter listrik
- A = Air box filter
- M = Motor bakar 4 langkah

G	= Generator
Gr	= Penampung bahan bakat + timbangan digital
Tl	= Tube level
Carb	= Karburator
GAZ	= Gas analyzer
Trm	= Termo couple
Mlt	= Multi meter
Lamp	= Lamp board

### **Prosedur pemasangan *Compact Destilator***

Genset Sumura ET 1500 dilepas tangki bahan bakarnya, kemudian pasang selang langsung ke karburator. Selang tersebut kita hubungkan dengan wadah bahan bakar khusus yang kemudian beserta bahan bakar di timbang pada timbangan digital. Nilai laju konsumsi dicatat dari perubahan nilai massanya per satuan waktu. Sebagai pembanding kita bias menggunakan tube level beserta stop watch. Keluaran listrik dari generator digunakan untuk membangkitkan lamp board sebagai factor pembebanan. Kita ukur harga tegangan dan arus pada lamp board menggunakan multi tester untuk mengetahui daya yang terukur. Pada muffler kita compact destilator untuk memanaskan evaporator yang didalamnya kita isi low grade ethanol. Pada Compact Destilator ysitu pada bagian kondensor dialiri air yang melawan arah aliran gas destilasi agar proses pendinginan dapat bekerja dengan maksimal. Gas analyzer ini juga dapat mengukur harga RpM dari mesin dengan mengukur lompatan bunga api dari busi.

### **Prosedur Pengambilan Data**

Pengambilan data dilakukan berdasarkan destilasi bioethanol yang memiliki konsentrasi ethanol teknik 10%, 30%, 30%, 40%, Anggur 14,7%, Kolosom 17,7%, dan CIU (Tebu) 30% dengan volume masing-masing 1000ml dan di running di motor bakar dan menggunakan bahan bakar Bioethanol 95%. Kemudian volume keluar dari *compact destilator* diukur dengan menggunakan timbangan *digital* dan mencatat waktu keluaran setiap 10 gr

Adapun prosedur pengambilan data adalah.

1. Memasukkan ethanol dengan kadar X (lihat variasi konsentrasi) dengan volume Y penambahan aquades (lihat variasi volume) kedalam kolom destilasi.
2. Menyalakan motor bakar dan mengukur temperatur awal dan mengukur temperatur ruangan evaporator setiap keluaran 10 gr
3. Melakukan pengambilan data volume output.



Gambar 3.14 Alat pada prosedur pengukuran volume output

4. Menerapkan prosedur perhitungan konsentrasi output hasil proses destilasi tiap sampel dengan menggunakan metode pengukuran alkoholometer. Proses destilasi tiap sampel akan menghasilkan cairan yang kadar konsentrasinya berubah. Untuk mengetahui kadar konsentrasi cairan hasil proses destilasi tersebut, maka dipergunakanlah alat bantu berupa alkoholometer. Namun alkoholometer memiliki kekurangan pada penggunaannya, yaitu sampel yang akan diukur harus memiliki volume 500ml agar alkoholometer dapat mengapung dan bekerja dengan baik. Apabila misalnya cairan output hasil proses destilasi hanya memiliki volume 250 ml, maka perlu ditambahkan air hingga volume akhir mencapai minimal 500 ml. selanjutnya alkoholometer dicelupkan dan akan menunjukkan angka kadar konsentrasi cairan yang diukur. Namun konsentrasi tersebut bukan merupakan konsentrasi cairan hasil output proses destilasi yang sebenarnya, maka digunakanlah rumus perbandingan volume dengan persamaan sebagai berikut :

$$M1V1 = M2V2 \quad (3.1)$$

Keterangan :

- M1 merupakan konsentrasi cairan output hasil proses destilasi yang dicari
- V1 merupakan volume cairan output hasil proses destilasi sebelum ditambah air
- M2 merupakan konsentrasi cairan output hasil proses destilasi setelah ditambah air
- V2 merupakan volume output hasil proses destilasi setelah ditambah air

Dari persamaan tersebut diatas maka akan didapat konsentrasi cairan output hasil proses destilasi yang sebenarnya.

5. Melakukan prosedur perhitungan konsentrasi alkohol yang tersisa pada ketel pemanas dengan bantuan alkoholometer dan perhitungan teoritis. Proses destilasi akan menyisakan cairan pada ketel pemanas. Apabila proses destilasi tersebut berhasil dengan baik, maka secara teori kadar konsentrasi alcohol pada ketel pemanas akan berkurang. Untuk mengetahui secara pasti kadar konsentrasi alkohol pada ketel pemanas tersebut maka dapat digunakan metode alkoholometer dan perhitungan teoritis. Metode alkoholometer tersebut sama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Metode perhitungan teoritis dapat dijelaskan dengan contoh sebagai berikut : Misalkan sampel awal yang akan didestilasi memiliki kadar konsentrasi 50% dengan volume 500ml (berarti terdapat 250ml alkohol dalam 500 ml cairan sampel). Setelah didestilasi dihasilkan cairan output dengan kadar alcohol 80% dengan volume 25 ml (berarti masih terdapat 225 ml alkohol di dalam ketel pemanas). Ternyata masih terdapat sisa sampel diketel sebanyak 400 ml (berarti 75 ml hilang). Maka perhitungan konsentrasi tersebut didapat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\% \text{ residu} = \frac{Vm1 - Vm2}{V1 - V2} \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan :

- % residu = konsentrasi residu yang dicari
- Vm1 = volume alkohol total yang terdapat pada sampel sebelum didestilasi
- Vm2 = volume alkohol hasil hasil proses destilasi
- V1 = volume awal sampel sebelum didestilasi
- V2 = volume output sampel setelah didestilasi

#### 6. Prosedur Perhitungan Jumlah Kalor yang Diserap dan Efisiensi Termal.

Secara garis besar perhitungan efisiensi termal dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q_{tot} = Q_{water} + Q_{alcohol} \quad (3.3)$$

$$Q_{water} = m_{water} \cdot c_{water} \cdot \Delta T + m_{water} \cdot L_{water} \quad (3.4)$$

$$Q_{alcohol} = m_{alcohol} \cdot c_{alcohol} \cdot \Delta T + m_{alcohol} \cdot L_{alcohol} \quad (3.5)$$

Keterangan :

- $Q_{tot}$  = Total kalor yang diterima oleh sampel (KJ)
- $Q_{water}$  = Total kalor yang diterima oleh air yang terkandung dalam sampel (KJ)
- $Q_{alcohol}$  = Total kalor yang diterima oleh alkohol yang terkandung dalam sampel (KJ)
- $c_{water}$  = Kalor Jenis air (KJ/KG.K)
- $c_{alcohol}$  = Kalor jenis alkohol (KJ/KG.K)
- $m_{air}$  = Massa air (KG)
- $m_{alkohol}$  = Massa alkohol (KG)

Dengan menggunakan persamaan tersebut akhirnya didapat kalor total yang akan digunakan untuk menghitung efisiensi termal dengan persamaan :

$$\eta_t = \frac{Q_t}{Q_{in}} \times 100\% \quad (3.6)$$

Hasil yang didapat dari persamaan tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

#### **III.4. Petunjuk K3L**

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

##### 1. Bahaya listrik

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

Prosedur :

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

##### 2. Bahaya kebisingan

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

Prosedur :

- a. Arahkan muffler engine kearah areal yang kosong (tidak ada aktifitas manusia)

- b. Memberi bahan tambah pada muffler, dengan harapan suara bias teredam.
- c. Gunakan air plug
- d. Beri jeda waktu kerja maksimal 1 jam tiap kerja.

### 3. Bahaya panas

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

Prosedur :

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

### 4. Bahaya gas beracun

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

Prosedur :

- a. Arahkan muffler keareal bebas dari aktifitas manusia.

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

#### 5. Bahaya kebakaran

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

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 (tangki, selang, karburator) dari kebocoran.
- e. Siapkan apar bila perlu.

#### 6. Lindung lingkungan

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

- a. Tampung bahan bakar sisa pada jerigen (jangan buang bahan bakar disembarang lingkungan).
- b. Arahkan muffler engine gas buang pada area kosong yang bebas aktifitas manusia dan lingkungan hidup.
- c. Tambahkan filter atau bahan tambah yang mampu mengikat kadar racun gas buang.

## BAB IV

### HASIL DATA PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

#### **IV.1. Analisa pemakaian bioethanol low grade di motor bakar**

Konten energy dari ethanol murni (E 100) sebesar 70% dari konten energi mesin berbahan bakar bensin. Namun karena bahan bakar ethanol murni mempunyai tingkat kompresi lebih baik dari pada bahan bakar bensin, maka efisisiesinya lebih tinggi ketimbang mesin bahan bakar bensin untuk setiap unit enrgi yang dibakar dalam ruang pembakaran. Jika ethanol kadar rendah dipatok sebagai ethanol berkadar 70%, maka konten energi bahan bakar ethanol yang ada pada tangki seukuran tangki bensin adalah 49% dari konten energi bensin.

Secara ringkas, jika sebuah mobil mampu menghasilkan jarak 10 km untuk setiap liter bensin, maka jika digunakan bahan bakar alkohol murni, jarak tempuh akan tinggal 7 km untuk setiap liternya. Hal ini wajar, karena konten energi alkohol untuk setiap liternya memang lebih rendah ketimbang gasoline. Jika digunakan alkohol dengan tingkat kemurnian 70%, maka jarak tempuh akan menurun menjadi 4.9 km.

#### **Laju Konsumsi Bahan Bakar**

Parameter unjuk kerja bahan bakar terhadap konten energi yang mampu dikonversikan untuk membangkitkan motor pembakaran dalam dari tiap energi yang terkandung tiap satuan bahan bakar dapat kita tinjau dari harga *Fuel Consumption (FC)*, Laju massa bahan bakar (*mf*), dan *Spesific Fuel Consumption (SFC)*.

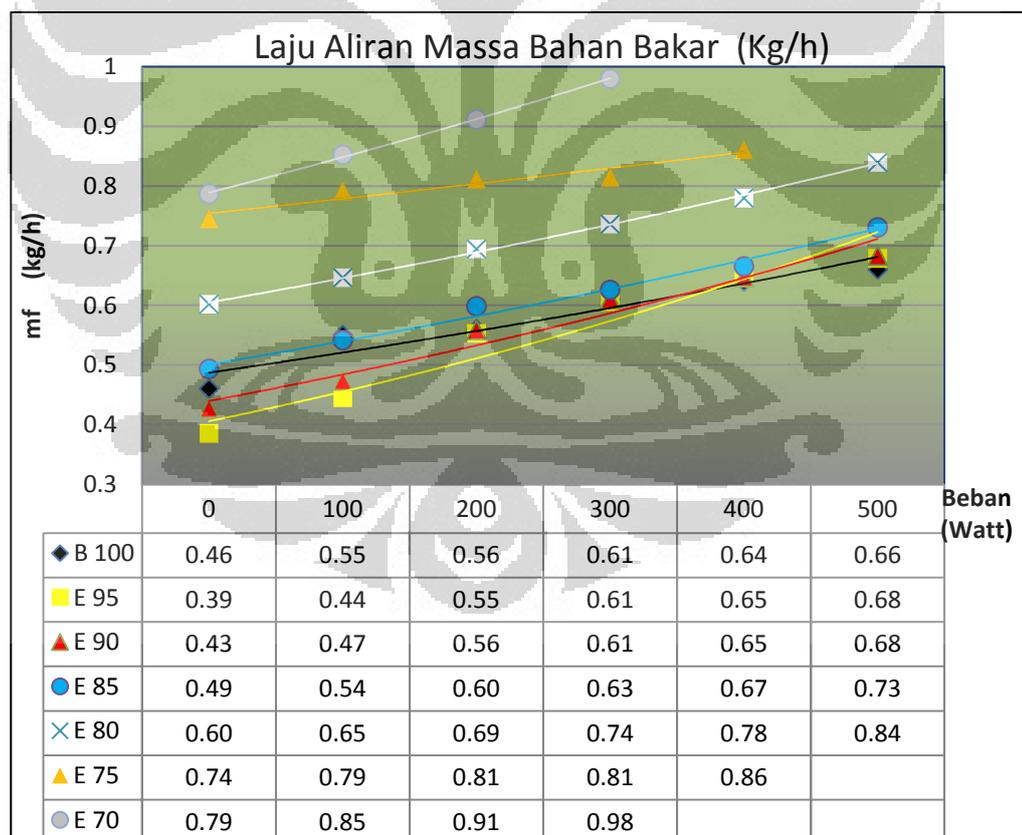
#### **Laju massa bahan bakar (*mf*)**

Pada penelitian ini nilai *mf* dihasilkan dari pengukuran laju penurunan massa bahan bakar persatuan waktu. Tangki bahan bakar diletakkan diatas sebuah timbangan digital, saat laju konsumsi bahan bakar terjadi oleh mesin maka akan terjadi penurunan massa dari total massa yang terukur pada display timbangan digital tersebut, penurunan massa itu kita ambil deltanya persatuan waktu. Dalam

penelitian ini adalah diukur berapa detik waktu yang dibutuhkan dalam penurunan massa bahan bakar sebesar 10 gr. Kemudian kita konversikan ke Kg/h.

$$mf = \frac{gr}{s} \times \frac{3600}{1000}$$

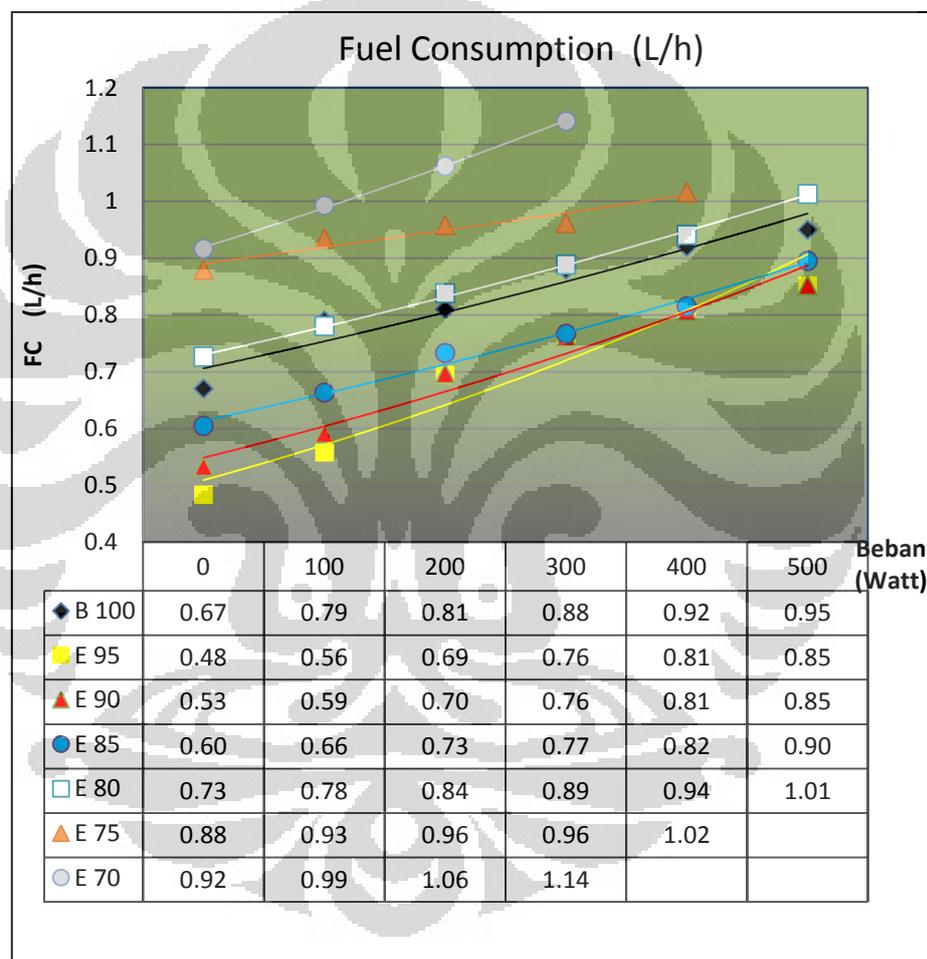
Dari gravik  $mf$  terlihat trendline antara bahan bakar ethanol kadar 95%, 90% dengan bahan bakar bensin, trennya terlihat sama dan saling menyilang pada beban 400 watt, dimana bahan bakar bensin mulai turun laju konsumsinya seakan-akan performanya mulai naik, namun perlu diingat bahwa harga densitas bahan bakar bensin memang lebih ringan dibandingkan bahan bakar ethanol, sehingga semakin banyak massa bahan bakar yang dikonsumsi maka semakin tinggi pula perbedaan yang akan terjadi, sehingga untuk melihat perbandingan laju konsumsi bahan bakar dengan nilai massanya diperlukan harga kalor spesifik dari masing-masing bahan bakar sehingga akan terlihat harga efisiensi termal dari masing-masing bahan bakar tersebut.



### Fuel Consumption (FC)

Harga FC bisa kita dapatkan dari pengukuran laju aliran bahan bakar dalam liter per satuan waktu yang dibutuhkan (L/h). dalam penelitian ini kita mendapat harga FC dari  $m_f$  (Laju masa bahan bakar) dibagi densitas dari bahan bakar tersebut.

$$FC = \frac{m_f}{\rho}$$



Dari grafik FC terlihat perbandingan konsumsi bahan bakar dalam liter per jam antara beberapa konsentrasi ethanol dengan bensin. Bensin ada diurutan keempat setelah bahan bakar ethanol kadar 95%, 90%, dan 85% dalam prestasi penggunaan volume bahan bakar untuk tiap energi yang dibangkitkan. Hal ini berkaitan terhadap nilai oktan dari masing-masing bahan bakar tersebut. Nilai oktan bahan bakar ethanol lebih tinggi dari bahan bakar bensin (94 MON untuk

ethanol, 82 MON untuk bensin) sehingga bahan bakar ethanol akan lebih mampu bertahan pada kompresi tinggi (tidak terjadi pembakaran sendiri karena tekanan yang terlalu tinggi) sehingga bahan bakar ethanol akan lebih terbakar sempurna pada waktunya dibandingkan bahan bakar bensin, hal ini jelas mempengaruhi performa mesin dimana daya yang dihasilkan akan lebih besar sehingga untuk menjaga daya tertentu konsumsi bahan bakar ethanol yang dibutuhkan lebih hemat.

## **IV.2. Analisa Data Hasil Destilasi Low Grade Ethanol Pada Motor Bakar Statik.**

### **IV.2.1. Data Hasil Pengukuran**

Pengukuran debit aliran, temperatur ruangan evaporator serta konsentrasi akhir hasil destilasi dengan volume destilator 1000ml yang di tunjukkan pada table dibawah ini :

Tabel 4.1 Low Grade Bioethanol teknik yang dicampur Aquades untuk mendapatkan feed 10%, 20%, 30%, dan 40%.

Kadar Awal	T(°C)	Volume diambil (mL)	Waktu (Min)	Q Disitlat (mL/min)	Kadar Volume Out(%)
<i>feed 10%</i>	87.0	10	1.64	6.09	40.0
	92.6	20	3.08	6.49	
	92.6	30	4.23	7.10	
	98.8	40	5.69	7.03	
	98.9	50	6.89	7.26	
<i>feed 20%</i>	80.4	10	0.76	13.09	66.1
	83.7	20	1.52	13.19	
	87.0	30	2.29	13.09	
	89.3	40	3.06	13.08	
	89.2	50	3.83	13.04	
<i>feed 30%</i>	80.8	10	0.64	15.58	86.7
	81.5	20	1.47	13.64	
	88.2	30	2.27	13.24	
	90.4	40	3.09	12.94	
	90.2	50	3.80	13.16	
<i>feed 40%</i>	86.5	10	0.69	14.49	89.4
	89.3	20	1.02	19.67	
	91.0	30	1.50	20.00	
	92.6	40	2.06	19.43	
	92.5	50	2.88	17.39	

Tabel 4.2 Low Grade Bioethanol dari fermentasi minuman.

Kadar Awal	T(°C)	Volume diambil (mL)	Waktu (Min)	Q Disitlat (mL/det)	Kadar Volume Out(%)
<i>Ethanol 14.7% dari Anggur Merah</i>	90.5	10	0.75	13.33	84.0
	90.9	20	1.48	13.56	
	92.0	30	2.21	13.58	
	95.0	40	2.93	13.64	
	95.4	50	3.71	13.48	
<i>Ethanol 14.7% dari Anggur Kolesom</i>	92.2	10	0.69	14.46	87.0
	93.3	20	1.48	13.48	
	94.1	30	1.83	16.44	
	96.2	40	3.23	12.37	
	95.5	50	4.06	12.32	
<i>Ethanol 30% dari CIU</i>	90.2	10	0.38	26.67	87.0
	92.9	20	0.96	20.87	
	93.0	30	1.08	27.69	
	94.1	40	2.46	16.27	
	94.0	50	3.27	15.31	

#### IV.2.2 Data hasil Destilasi dengan volume 50 ml

Berdasarkan pengambilan data setiap kadar yang volumenya di ambil dalam 50 mL maka dapat dilihat hasil rata-rata waktu yang dibutuhkan dan laju aliran rata-rata yang dihasilkan seperti table dibawah ini :

Tabel 4.3 Volume hasil destilasi dalam 50 ml untuk Low Grade Bioethanol teknik.

Kadar Awal	Waktu Rata-rata (Min)	Rata-rata Debit (mL/min)
<i>Ethanol Teknik feed 10%</i>	4.31	6.79
<i>Ethanol Teknik feed 20%</i>	2.29	13.10
Ethanol Teknik feed 30%	2.25	13.71
Ethanol Teknik feed 40%	1.63	18.20

Tabel 4.4 Volume hasil destilasi dalam 50 ml untuk Low Grade Bioethanol fermentasi minuman .

Kadar Awal	Waktu Rata-rata (Min)	Rata-rata Debit (mL/min)
<i>Ethanol Anggur 14.7%</i>	2.22	13.52
<i>Ethanol Anggur Kolosom 14.7%</i>	2.26	13.81
<i>Ethanol CIU 30%</i>	1.63	21.36

#### IV.2.3 Data hasil Destilasi Volume yang diambil dari 1000ml

Volume total yang diambil dari volume sampel 1000ml dapat dilihat dari table dibawah ini :

Tabel 4.5 Volume yang diambil dari 1000ml untuk Low Grade Bioethanol teknik

Kadar Awal	Total waktu <i>running</i> (Min)	Volume yang dihasilkan (ml)
<i>Ethanol Teknik feed 10%</i>	25.80	60
<i>Ethanol Teknik feed 20%</i>	23.13	115
<i>Ethanol Teknik feed 30%</i>	23.85	120
<i>Ethanol Teknik feed 40%</i>	25.73	179

Tabel 4.6 Volume yang diambil dari 1000ml untuk Low Grade Bioethanol fermentasi minuman.

Kadar Awal	Total waktu <i>running</i> (Min)	Volume hasil (ml)
<i>Ethanol Anggur 14.7%</i>	25.08	102
<i>Ethanol Anggur Kolosom 14.7%</i>	12.10	100
<i>Ethanol CIU 30%</i>	11.95	200

### IV.3. Data Perhitungan Efisiensi Termal

Untuk menghitung kalor yang diterima oleh sampel bioethanol, maka sebelumnya perlu diketahui kalor jenis air, kalor laten air, massa jenis air, kalor jenis alkohol, kalor laten alkohol, massa jenis alkohol, kenaikan suhu dari T1 ke T2, daya heater, dan kalor yang diterima selama pemanasan sampel sampai volume 50mL

Tabel 4.7 propertis sample

c(water)	4.2	KJ/KG.K
L(water)	2270	KJ/KG
$\rho$ (water)	1000	KG/m <sup>3</sup>
c(alkohol)	2.2	KJ/KG.K
L(alkohol)	845	KJ/KG
$\rho$ (alkohol)	785	KG/m <sup>3</sup>
$\Delta T$	65	° K
Q <sub>in</sub>	2438.2	KJ

#### IV.3.1 Data Sebelum dan Sesudah proses destilasi untuk ethanol teknik

Perhitungan persentase kalor yang diterima serta efisiensi kalor termal didahului dengan proses destilasi sampel bioethanol dengan volume 1000ml pada masing-masing konsentrasi. Hasil pengumpulan data dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Data Sebelum dan Sesudah proses destilasi untuk ethanol teknik.

Ma	Mw	Vi	Va	Vw	ma	mw	Vo	Mo	Vwo	Vao
%	%	(ml)	(ml)	(ml)	(kg)	(kg)	(ml)	%	(ml)	(ml)
10	90	1000	100	900	0.08	0.90	70	40.0	42.00	28.00
20	80	1000	200	800	0.16	0.80	100	66.1	33.90	66.10
30	70	1000	300	700	0.24	0.70	130	86.7	17.29	112.71
40	60	1000	400	600	0.31	0.60	150	89.4	15.90	134.10

Keterangan :

- Ma = Konsentrasi alkohol pada sampel sebelum proses destilasi
- Mw = Konsentrasi air pada sampel sebelum proses destilasi
- Vi (ml) = Volume sampel sebelum proses destilasi
- Vw (ml) = Volume air pada sampel sebelum proses destilasi
- Va (ml) = Volume alkohol pada sampel sebelum proses destilasi

- $m_w$  (kg) = Massa air sebelum proses destilasi
- $m_a$  (kg) = Massa alkool sebelum proses destilasi
- $V_o$  (ml) = Cairan hasil proses destilasi
- $M_o$  (%) = Konsentrasi cairan hasil proses destilasi
- $V_{wo}$  (ml) = Volume air hasil proses destilasi
- $V_{ao}$  (ml) = Volume alkohol hasil proses destilasi

Setelah mengetahui data-data yang dibutuhkan, maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan kalor lebih lanjut dengan persamaan 3.1, dan 3.3. Dari hasil persamaan tersebut, maka dapat dibuat data-data baru yang telah dibuat dalam bentuk Tabel menjadi sebagai berikut :

Tabel 4.9 Data Perhitungan ethanol teknik.

Deskripsi	Q <sub>wh</sub> (KJ)	Q <sub>we</sub> (KJ)	Q <sub>ah</sub> (KJ)	Q <sub>ae</sub> (KJ)	Q <sub>t</sub> (KJ)	Q <sub>wt</sub> (KJ)	Q <sub>at</sub> (KJ)	$\eta$ %	Q <sub>rw</sub> (%)	Q <sub>ra</sub> (%)
Ethanol Tech 10%	245.7	95.3	11.2	18.6	370.8	341.0	29.8	15.2	92.0	8.0
Ethanol Tech 20%	218.4	77.0	22.5	43.8	361.6	295.4	66.3	14.8	81.7	18.3
Ethanol Tech 30%	191.1	39.2	33.7	74.8	338.8	230.3	108.4	13.9	68.0	32.0
Ethanol Tech 40%	163.8	36.1	44.9	89.0	333.7	199.9	133.9	13.7	59.9	40.1

Keterangan :

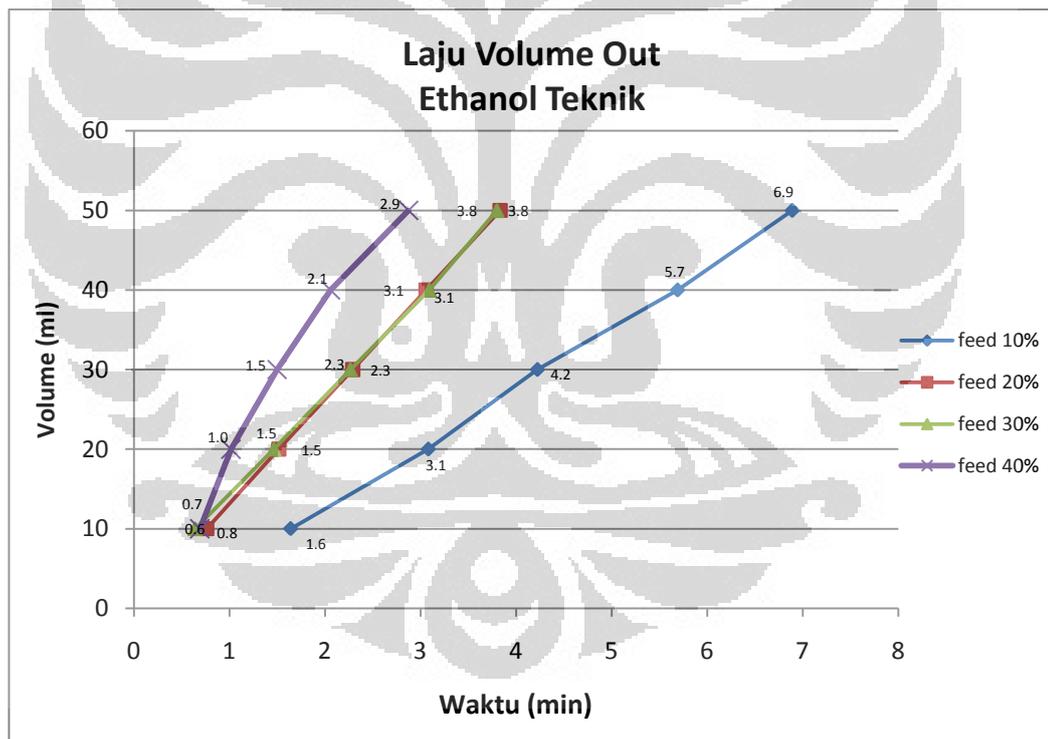
- $Q_{wh}$  = Kalor untuk memanaskan air,  $\{m_{water}.c_{water}.\Delta T$  (KJ)}
- $Q_{we}$  = Kalor untuk menguapkan air,  $\{m_{water}.L_{water}$  (KJ)}
- $Q_{ah}$  = Kalor untuk memanaskan alkohol,  $\{m_{alcohol}.c_{alcohol}.\Delta T$  (KJ)}
- $Q_{ae}$  = Kalor untuk menguapkan alkohol,  $\{m_{alcohol}.L_{alcohol}$  (KJ)}
- $Q_t$  = Kalor total,  $\{Q_{wt} + Q_{at}$  (KJ)}
- $Q_{wt}$  = Kalor total yang diperlukan air,  $\{Q_{wh} + Q_{we}$  (KJ)}
- $Q_{at}$  = Kalor total yang diperlukan alkohol,  $\{Q_{ah} + Q_{ae}$  (KJ)}
- $\eta$  = Efisiensi termal,  $\{Q_t/Q_{in}.100$  (%)}

- $Q_{rw}(\%) = \text{Persen kalor yang diterima air, } \{Q_{wt}/ Q_t.100 (\%)\}$
- $Q_{ra} (\%) = \text{Persen kalor yang diterima alkohol, } \{Q_{at}/ Q_t.100 (\%)\}$

#### **IV.4. Analisa hasil data destilasi**

Perhitungan – perhitungan yang dilakukan dalam bentuk belum mampu menunjukkan karakteristik serta fenomena- fenomena yang sebenarnya ketika proses pengambilan dan setelah pengambilan data dilakukan. Untuk mengetahui fenomena-fenomena yang terjadi secara jelas, maka data-data pada tabel tersebut perlu diubah ke dalam bentuk grafik-grafik dan menginterpolasinya. Hasil dari proses *ploting* tersebut akan ditampilkan dibawah ini .

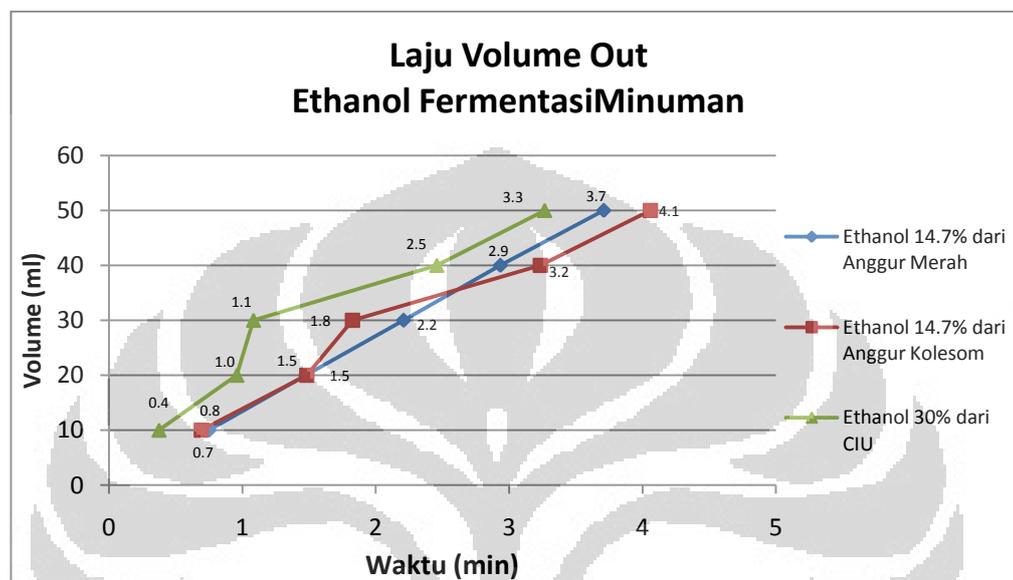
##### **a) Analisa hubungan antara Laju volume output dengan waktu yang dibutuhkan dengan sampel volume yang diambil 50ml.**



Grafik 4.1 Grafik hubungan laju output dan waktu yang dibutuhkan ethanol Teknik

Berdasarkan grafik hubungan laju output hasil destilasi dengan waktu yang dibutuhkan, maka ethanol kadar 40 % membutuhkan rata-rata waktu 1,63 menit untuk menghasilkan volume output 50ml dengan rata-rata debit 18,20

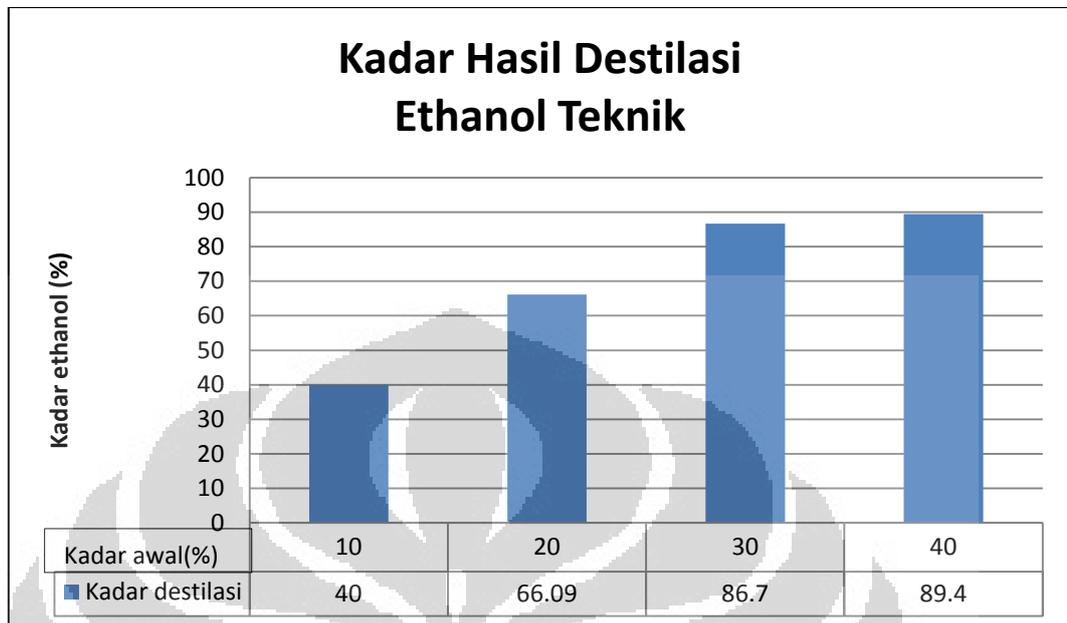
ml/menit. Waktu total yang dibutuhkan untuk menghasilkan 50ml yaitu 2,88 menit. Berbeda dengan ethanol kadar 10% yang membutuhkan waktu 6,89 menit unntuk menghasilkan volume outout 50ml dengan rata-rata laju aliran 6,79 ml/menit.



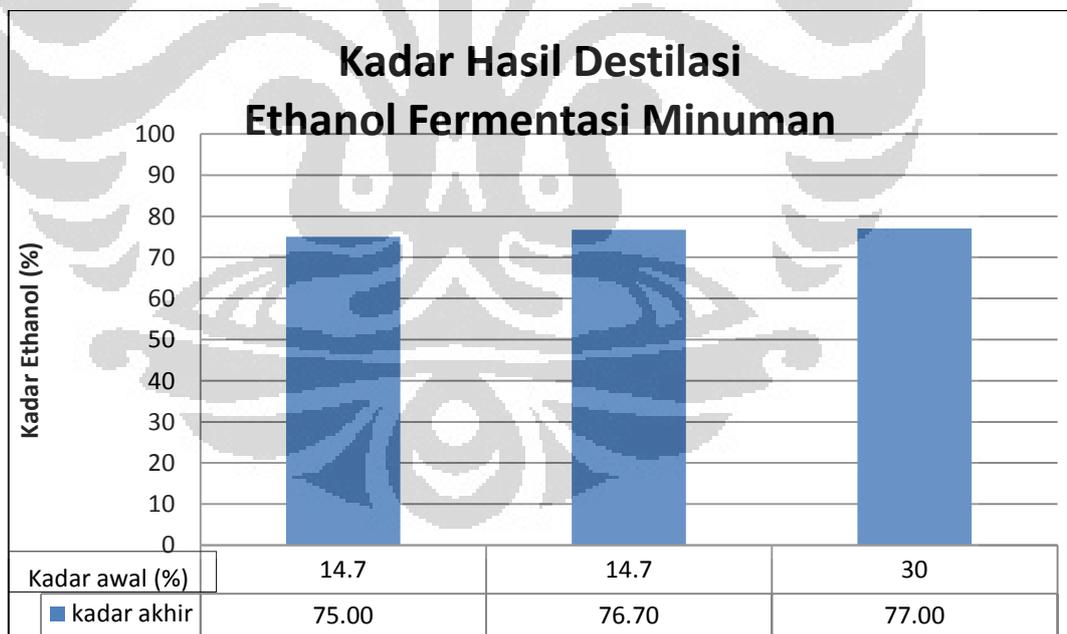
Grafik 4.2 Grafik hubungan laju output dan waktu yang dibutuhkan ethanol fermentasi minuman

Berdasarkan grafik hubungan laju output hasil destilasi dengan waktu yang dibutuhkan, maka ethanol ciu (tebu) kadar 30 % membutuhkan rata-rata waktu 1,63 menit untuk menghasilkan volume output 50ml dengan rata-rata debit 21,36 ml/menit. Waktu total yang dibutuhkan untuk menghasilkan 50ml yaitu 3,27 menit dan sifatnya cenderung menurun. Jika dibandingkan dengan ethanol teknik kadar 30%, maka ethanol fermentasi ini lebih baik dari segi laju aliran tapi dari segi kadar ethanol yang dihasilkan ethanol fermentasi ini hanya mampu sampai 77% sedangkan ethanol teknik bisa sampai 89,4%.

- b) Analisa hubungan kadar ethanol yang dihasilkan dari kadar awal ethanol yang di masukkan ke dalam proses destilasi.



Grafik 4.3. Grafik kadar hasil destilasi ethanol teknik

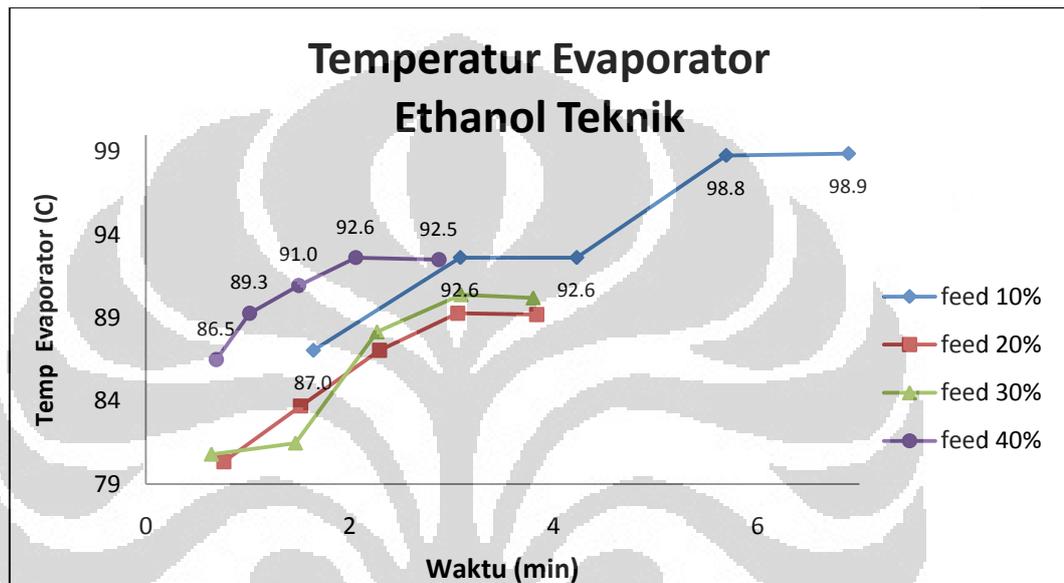


Grafik 4.4 Grafik kadar hasil destilasi ethanol fermentasi minuman

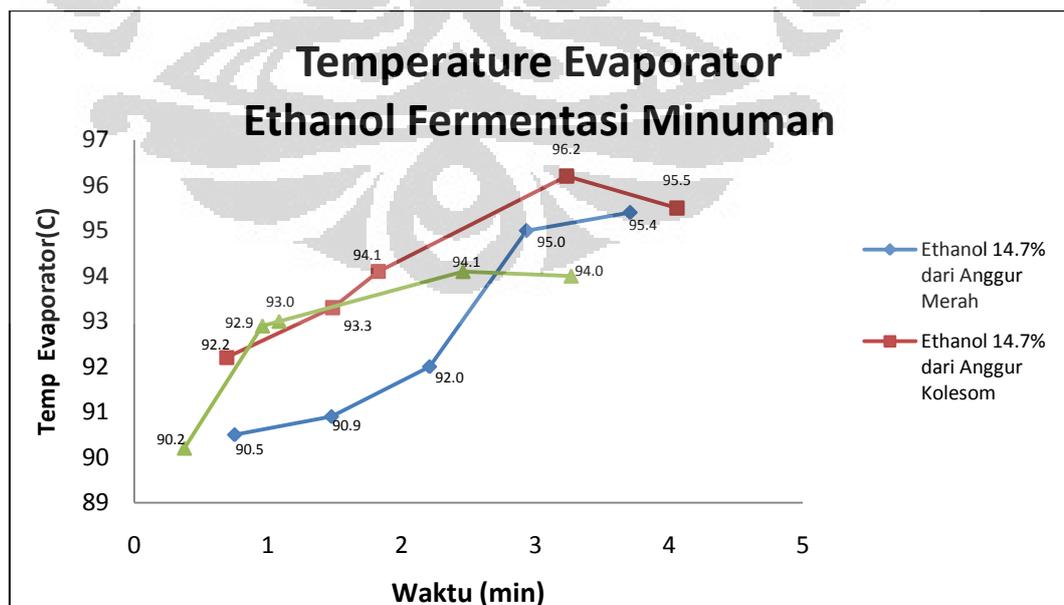
Dari kedua grafik diatas dapat terlihat bahwa makin tinggi kadar input maka makin tinggi kadar output yang dihasilkan oleh alat *compact destilator* ini. Tapi untuk ethanol yang berasal dari fermentasi minuman ada faktor lain yang

mempengaruhi kadar output yang rendah jika dibandingkan dengan ethanol teknik. Hal ini karena ethanol teknik memiliki campuran air murni yang lebih dominan pada saat awal sebelum di destilasi, sedangkan ethanol dari fermentasi ini memiliki zat lain selain air yang salah satunya yaitu gula dan zat lainnya yang mana peneliti tidak mempunyai alat untuk mengetahui zat lain apa yang terkandung didalamnya.

c) **Analisa hubungan temperatur ruangan evaporator dengan waktu .**



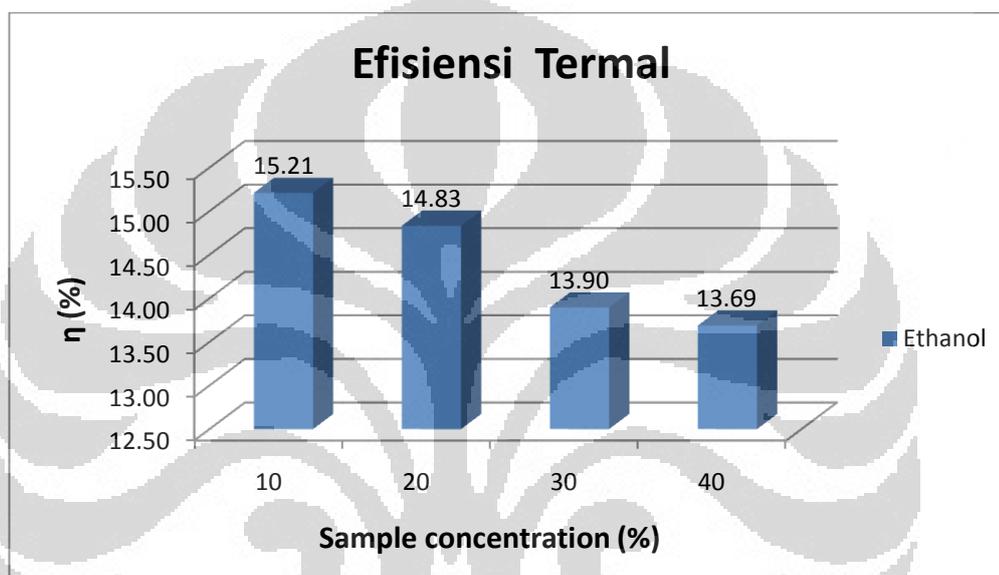
Grafik 4.5 Grafik temperatur evaporator dengan waktu output ethanol teknik



Grafik 4.6 Grafik temperatur evaporator dengan waktu output ethanol fermentasi

Dari kedua grafik diatas dapat terlihat bahwa semakin lama waktu proses destilasi maka temperatur ruangan dari evaporator yang memanaskan ethanol juga akan semakin tinggi sampai dengan temperatur keluar gas buang dari motor bakar tersebut. Hal ini karena alat compact destilator belum dilengkapi dengan kontrol untuk mengatur temperatur yang ada didalam ruang evaporator yaitu pengaturan panas dari gas buang motor bakar yang akan masuk ke alat compact destilator ini.

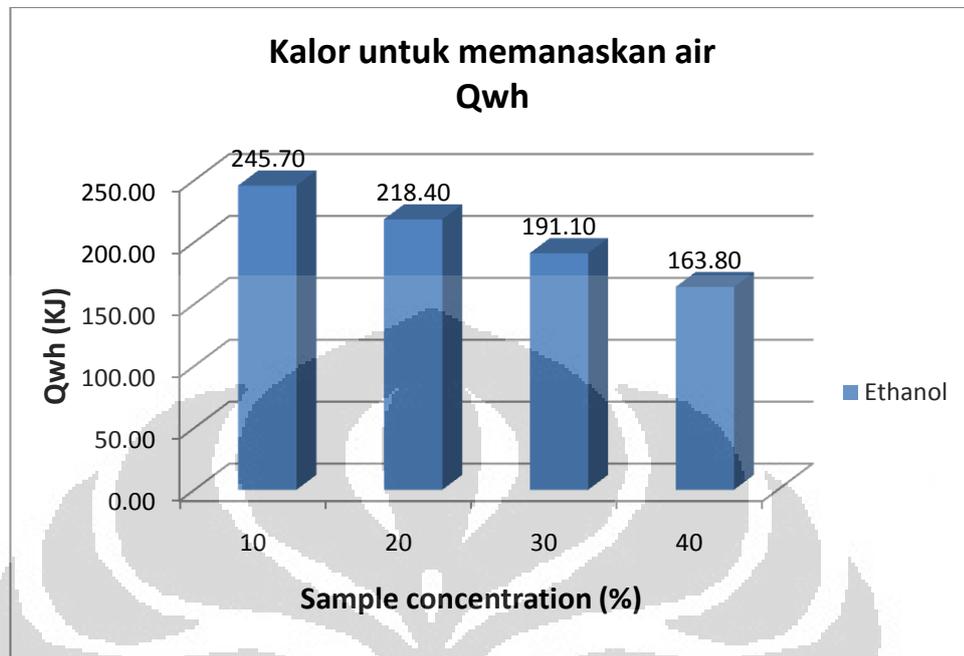
d) Analisa Efisiensi termal pada setiap kadar.



Grafik 4.7 Efisiensi termal setiap kadar

Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa berdasarkan variasi konsentrasi, efisiensi tertinggi terjadi pada hasil proses destilasi sampel berkadar 10% dan terendah pada sampel berkadar 40%. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan diagram azeotrop yang memperlihatkan semakin tinggi konsentrasi suatu sampel (mendekati titik azeotrop), maka komposisi fase uap dan fase cair tidak akan jauh berbeda.

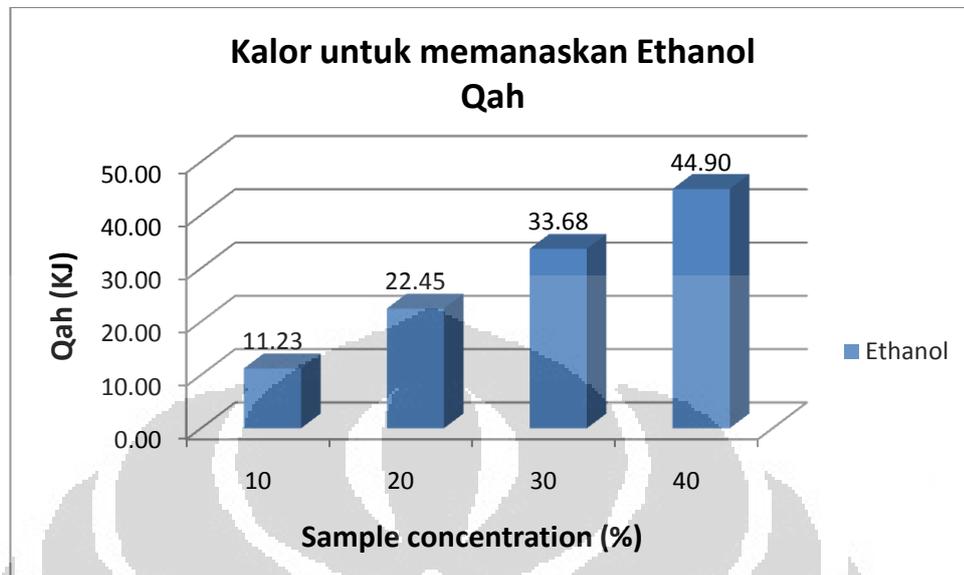
e) **Analisa Kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan air.**



Grafik 4.8 Kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan air

Grafik diatas menunjukkan perbandingan kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air yang terkandung di dalam sampel. Berdasarkan grafik variasi konsentrasi menunjukkan bahwa kalor yang diperlukan untuk memanaskan air memiliki jumlah tertinggi pada sampel dengan kadar 10% dan terendah pada kadar 40%. Hasil tersebut sesuai dengan teori bahwa semakin kecil kadar konsentrasi alkohol pada suatu sampel, maka akan semakin tinggi kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan air yang terkandung didalam sampel sehingga total kalor juga semakin tinggi.

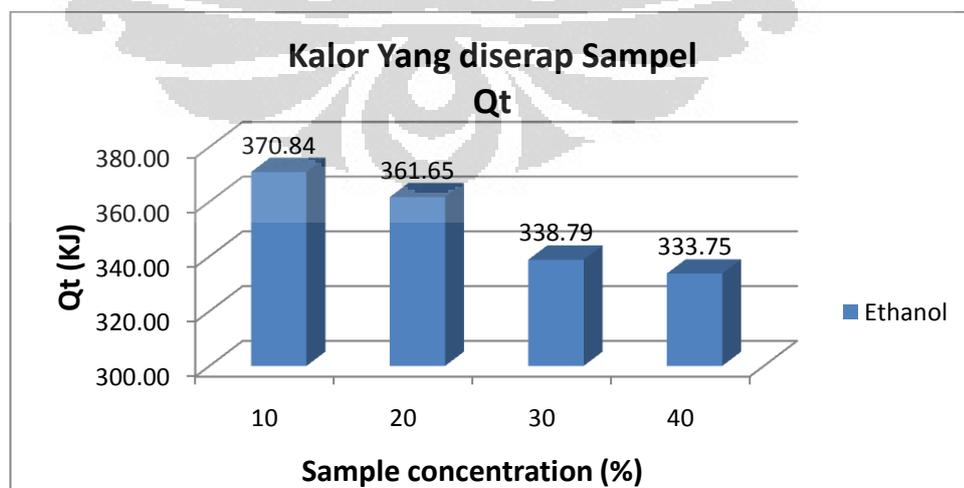
f) **Analisa Kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan ethanol.**



Grafik 4.9 Kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan ethanol.

Grafik-grafik diatas menunjukkan perbandingan kalor yang diperlukan untuk memanaskan ethanol mencapai jumlah tertinggi pada konsentrasi 40% dan terendah pada konsentrasi 10%. Hal ini menjelaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi suatu sampel maka akan semakin tinggi jumlah alkohol sehingga semakin tinggi pula kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan alkohol yang terkandung dan begitu pun sebaliknya.

g) **Analisa Kalor yang diserap sampel.**



Grafik 4.10 Kalor yang diserap sampel.

Berdasarkan grafik variasi konsentrasi menunjukkan bahwa kalor total rata-rata tertinggi yang diterima sampel adalah pada sampel dengan kadar 10% sedangkan yang terendah adalah 40%. Hal ini dikarenakan semakin rendah konsentrasi maka semakin tinggi kadar air sehingga total kalor akan semakin besar.

#### **IV.4. Analisa Waktu Pengoperasian**

Dalam usaha untuk mengoptimasi suatu sistem destilasi kita harus menentukan parameter apa yang akan dioptimasi. Secara umum terdapat tiga tujuan dalam pengoptimalan proses yaitu keuntungan maksimum, hasil ditilat maksimum, dan waktu operasi minimum. Dalam kondisi dewasa ini waktu pengoperasian proses destilasi (*distillation process time*) adalah faktor yang penting ketika menjalankan process destilasi.

Waktu operasi adalah salah satu faktor penting dalam proses destilasi. Jika waktu yang dibutuhkan semakin lama maka akan menentukan kualitas produk yang dihasilkan. Hal ini karena destilasi bekerja berdasarkan perbedaan titik didih pada suatu campuran. Adanya perbedaan titik didih menyebabkan komponen dengan titik didih yang lebih rendah akan menguap terlebih dahulu, dan komponen yang titik didihnya tinggi akan tetap berada dalam keadaan cair. Oleh karena itu akan ada fase dimana distilat akan banyak mengandung komponen dengan titik didih rendah, atau disebut komponen ringan, dan ada fase distilat akan kaya dengan komponen yang titik didihnya tinggi atau disebut komponen berat. Adanya fase-fase tersebut dipengaruhi oleh lamanya waktu operasi. Oleh karena sangat penting untuk memperhitungkan lamanya operasi suatu sistem disitilasi.

Keadaan ini sesuai dengan apa yang telah diteliti oleh Dr. I. M. Mujtaba dalam bukunya *Batch Distillation: Design and Operation*. Di dalam buku tersebut telah diteliti pengaruh waktu operasi terhadap penurunan komposisi dari distilat dan juga pengaruh dari *reflux ratio* seperti dalam gambar dibawah ini. Namun yang perlu di ingat bahwa dalam percobaan kali ini tidak ada aliran distilat yang dikembalikan kedalam kolom destilasi sebagai aliran *reflux* sehingga tidak diteliti hubungan antara *reflux ratio* dengan lamanya waktu operasi dan distilat yang dihasilkan.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### **V.1 Kesimpulan**

Studi lanjutan mengenai penggunaan low grade bioethanol sebagai bahan bakar alternative menggunakan *Compact destilator* dengan cara uji karakteristik memiliki kesimpulan sebagai berikut.

1. Laju distilasi *compact distillator* lebih tinggi (200mL dalam 12 menit) dibanding dengan mini portable distillator (penelitian sebelumnya 43mL dalam 60 menit)
2. Konsentrasi ethanol hasil distilasi *compact destillator*  $\pm$  90% untuk umpan atau kadar awal sebelum di destilasi 40% dengan laju *output* 18,20 ml/menit
3. Laju distilasi *compact distillator* mampu memenuhi kebutuhan konsumsi bahan bakar hingga beban 300 Watt.

#### **V.2 Saran**

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

1. Perlu pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan kehandalan peralatan dengan membuat sistem menjadi otomatis.
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 komponen motor.
3. Perbaiki serta penambahan variable pengukuran untuk lebih mempertajam hasil analisis penulisan ini

## DAFTAR PUSTAKA

Green, Don W., Maloney, James O. Perry, Robert H. (1997): *Perry's Chemical Engineers' Handbook (7th ed.)*. New York: McGraw-Hill.

Kartika, Rini. *Proses Dehidrasi Ethanol Untuk Pemurnian Etanol Sebagai Sumber Energi Alternatif Bahan Bakar (Bioethanol)*. Skripsi. Teknik Kimia ITS. 2009 ( [http://digilib.its.ac.id/ITS-Master-3100009035161/5348 .htm](http://digilib.its.ac.id/ITS-Master-3100009035161/5348.htm))

Nurhuda, M. *Mesin Pembakaran Dalam (Internal Combustion Engine) Berbahan Bakar Akkohol Kadar Rendah*. Proposal Penelitian Antar Universitas, Universitas Indonesia . 2010

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

Udeye, V. Mopoung, S. Vorasingha, A. Amornsakchai, P. (Februari 2009): *Ethanol Heterogeneous Azeotropic Distillation Design and Construction*. Phitsanulok. Dept of Chemistry Naresuan University.

Rusdi Umar. (2010). *Uji Karakteristik Low Grade Bioethanol Dengan Mini Destilator Portable Untuk Penggunaan Pada Motor Pembakaran Dalam*. Skripsi: DTM FTUI.

Irsyady Nur Hidayat. (2010). *Evaluasi Desain Kolom Distilasi Bubble-cap untuk Pemurnian Etanol Sebagai Bahan Bakar Fuel Cell* . Skripsi: DTM FTUI.

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

[www.bppt.go.id](http://www.bppt.go.id)

[www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

## 1. Data alkoholometer dan gelas ukur

- Perhitungan kadar ethanol feed 40%

Ethanol 40% dengan volume *input* 1000 ml. Volume *output* ( $V_o$ ) = 179 ml  
 Karena alkoholometer hanya dapat bekerja dengan baik pada volume uji >300 ml, maka volume *output* hasil destilasi harus ditambahkan *aquades* hingga volume nya menjadi 400 ml. Alkoholometer menunjukkan bahwa konsentrasi  $V_o + \text{aquades} = 40\%$ , maka dengan ***hukum roult*** konsentrasi  $V_o$  yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$V_2 = \frac{40}{100} \times 400 \text{ ml} = 160 \text{ ml}$$

$$M_1 = \frac{V_2}{V_1} \times 100 \%$$

$$M_1 = \frac{160}{179} \times 100 \%$$

$$M_1 = 89,4\%$$

- Perhitungan kadar ethanol feed 30%

Ethanol 30% dengan volume *input* 1000 ml. Volume *output* ( $V_o$ ) = 120 ml  
 Karena alkoholometer hanya dapat bekerja dengan baik pada volume uji >300 ml, maka volume *output* hasil destilasi harus ditambahkan *aquades* hingga volume nya menjadi 400 ml. Alkoholometer

menunjukkan bahwa konsentrasi  $V_0 + \text{aquades} = 26\%$ , maka dengan **hukum roult** konsentrasi  $V_0$  yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$V_2 = \frac{26}{100} \times 400 \text{ ml} = 104 \text{ ml}$$

$$M_1 = \frac{V_2}{V_1} \times 100 \%$$

$$M_1 = \frac{104}{120} \times 100 \%$$

$$M_1 = 86,7\%$$

- Perhitungan kadar ethanol feed 20%

Ethanol 20% dengan volume *input* 1000 ml. Volume *output* ( $V_0$ ) = 115 ml  
 Karena alkoholometer hanya dapat bekerja dengan baik pada volume uji >300 ml, maka volume *output* hasil destilasi harus ditambahkan *aquades* hingga volume nya menjadi 400 ml. Alkoholometer menunjukkan bahwa konsentrasi  $V_0 + \text{aquades} = 19\%$ , maka dengan **hukum roult** konsentrasi  $V_0$  yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$V_2 = \frac{19}{100} \times 400 \text{ ml} = 76 \text{ ml}$$

$$M1 = \frac{V2}{V1} \times 100 \%$$

$$M1 = \frac{76}{115} \times 100 \%$$

$$M1 = 66.09\%$$

- Perhitungan kadar ethanol *feed* 10%

Ethanol 10% dengan volume *input* 1000 ml. Volume *output* ( $V_o$ ) = 60 ml  
 Karena alkoholometer hanya dapat bekerja dengan baik pada volume uji >300 ml, maka volume *output* hasil destilasi harus ditambahkan *aquades* hingga volume nya menjadi 400 ml. Alkoholometer menunjukkan bahwa konsentrasi  $V_o + \text{aquades} = 6 \%$ , maka dengan ***hukum roult*** konsentrasi  $V_o$  yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M1V1 = M2V2$$

$$V2 = \frac{6}{100} \times 400 \text{ ml} = 24 \text{ ml}$$

$$M1 = \frac{V2}{V1} \times 100 \%$$

$$M1 = \frac{24}{60} \times 100 \%$$

$$M1 = 40\%$$

## 2. Perhitungan Qin

Data:

Uraian	Harga
Temperature Larutan Awal ( T1 )	30 ° C
Temperature Larutan Akhir ( T2)	95 ° C
Entalpi Larutan Awal ( hf 1 )	125 kJ/kg
Entalpi Larutan Akhir ( hf2 )	398 kJ/kg
Kalor Latent Penguapan Air pada T = 95 ° C	2270 kJ/kg
Kalor Latent Ethanol	845 kJ / kg
Jumlah Larutan yang dipanaskan ( m1 )	1.2 kg
Jumlah Air Yang diuapkan ( m2 )	0.9 kg
Jumlah Ethanol Yang diuapkan ( m3)	0.08 kg

- Untuk memanaskan larutan dari 30 C jadi 95 C

$$V = 1 \text{ liter} \implies m = 1,2 \text{ kg (ethanol)}$$

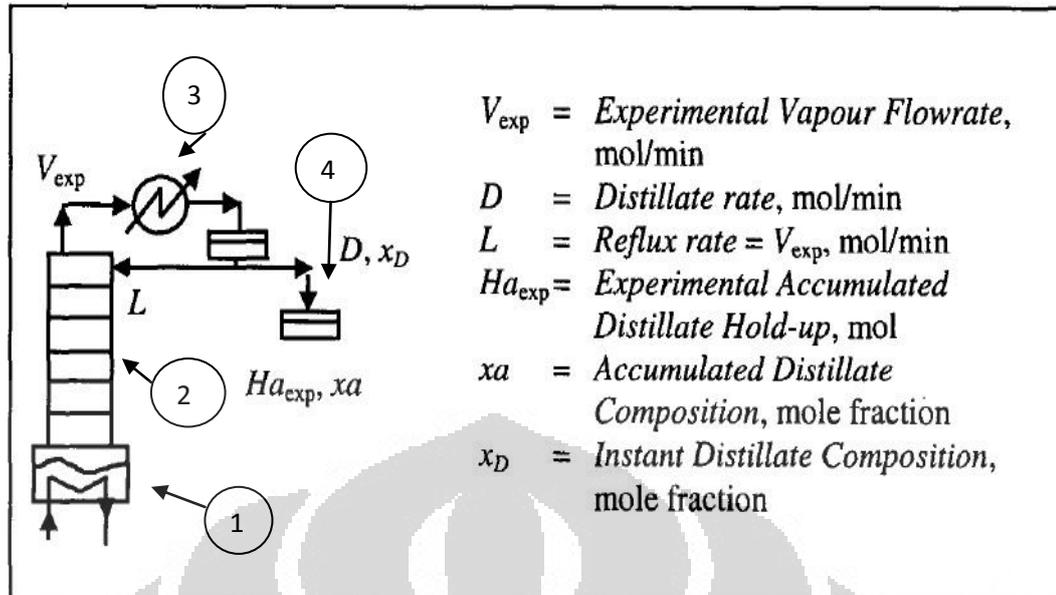
$$\begin{aligned} Q_{sh} &= m \times (h_{f2} - h_{f1}) \\ &= 1,2 \times (398 - 125) \\ &= 327,6 \text{ KJ} \end{aligned}$$

- Energi untuk menguapkan 95C sampai 95C

$$\begin{aligned} Q_{lh} &= (m_w \times 2270) + (m_{eth} \times 845) \\ &= (0,9 \times 2270) + (0,08 \times 845) \\ &= 2110,6 \text{ KJ} \end{aligned}$$

- $Q_{in} = 327,6 + 2110,6$   
 $= 2438,2 \text{ KJ}$

### 3. SKEMA SISTEM DISTILASI



- Bagian – bagian Kolom Distilasi :

1. Boiler/Reboiler
2. Kolom Distilasi
3. Kondenser
4. Receiver

- Cara Kerja kolom distilasi :

1. Campuran etanol-air dimasukkan ke dalam boiler kemudian dipanaskan.
2. Ketika dipanaskan etanol akan mencapai titik didihnya lebih cepat dari air sehingga etanol menguap terlebih dahulu.
3. Uap yang dihasilkan dari boiler akan masuk ke kolom distilasi. Pada kolom distilasi proses pemisahan utama campuran etanol-air terjadi.
4. Setelah uap etanol-air meninggalkan kolom selanjutnya akan dikondensasi di kondenser.
5. Cairan hasil kondensasi atau distilat akan ditampung sementara pada *distillate receiver*.
6. Sebagian distilat akan dialirkan kembali ke dalam kolom distilasi sebagai reflux, dan sebagian yang lain akan diambil sebagai hasil produk distilasi.

## 1. Data alkoholometer dan gelas ukur

- Perhitungan kadar ethanol feed 40%

Ethanol 40% dengan volume *input* 1000 ml. Volume *output* ( $V_o$ ) = 179 ml  
 Karena alkoholometer hanya dapat bekerja dengan baik pada volume uji >300 ml, maka volume *output* hasil destilasi harus ditambahkan *aquades* hingga volume nya menjadi 400 ml. Alkoholometer menunjukkan bahwa konsentrasi  $V_o + \text{aquades} = 40\%$ , maka dengan ***hukum roult*** konsentrasi  $V_o$  yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$V_2 = \frac{40}{100} \times 400 \text{ ml} = 160 \text{ ml}$$

$$M_1 = \frac{V_2}{V_1} \times 100 \%$$

$$M_1 = \frac{160}{179} \times 100 \%$$

$$M_1 = 89,4\%$$

- Perhitungan kadar ethanol feed 30%

Ethanol 30% dengan volume *input* 1000 ml. Volume *output* ( $V_o$ ) = 120 ml  
 Karena alkoholometer hanya dapat bekerja dengan baik pada volume uji >300 ml, maka volume *output* hasil destilasi harus ditambahkan *aquades* hingga volume nya menjadi 400 ml. Alkoholometer

menunjukkan bahwa konsentrasi  $V_0 + \text{aquades} = 26\%$ , maka dengan **hukum roult** konsentrasi  $V_0$  yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$V_2 = \frac{26}{100} \times 400 \text{ ml} = 104 \text{ ml}$$

$$M_1 = \frac{V_2}{V_1} \times 100 \%$$

$$M_1 = \frac{104}{120} \times 100 \%$$

$$M_1 = 86,7\%$$

- Perhitungan kadar ethanol feed 20%

Ethanol 20% dengan volume *input* 1000 ml. Volume *output* ( $V_0$ ) = 115 ml  
 Karena alkoholometer hanya dapat bekerja dengan baik pada volume uji >300 ml, maka volume *output* hasil destilasi harus ditambahkan *aquades* hingga volume nya menjadi 400 ml. Alkoholometer menunjukkan bahwa konsentrasi  $V_0 + \text{aquades} = 19\%$ , maka dengan **hukum roult** konsentrasi  $V_0$  yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$V_2 = \frac{19}{100} \times 400 \text{ ml} = 76 \text{ ml}$$

$$M1 = \frac{V2}{V1} \times 100 \%$$

$$M1 = \frac{76}{115} \times 100 \%$$

$$M1 = 66.09\%$$

- Perhitungan kadar ethanol *feed* 10%

Ethanol 10% dengan volume *input* 1000 ml. Volume *output* ( $V_o$ ) = 60 ml  
 Karena alkoholometer hanya dapat bekerja dengan baik pada volume uji >300 ml, maka volume *output* hasil destilasi harus ditambahkan *aquades* hingga volume nya menjadi 400 ml. Alkoholometer menunjukkan bahwa konsentrasi  $V_o + \text{aquades} = 6 \%$ , maka dengan ***hukum roult*** konsentrasi  $V_o$  yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M1V1 = M2V2$$

$$V2 = \frac{6}{100} \times 400 \text{ ml} = 24 \text{ ml}$$

$$M1 = \frac{V2}{V1} \times 100 \%$$

$$M1 = \frac{24}{60} \times 100 \%$$

$$M1 = 40\%$$

## 2. Perhitungan Qin

Data:

Uraian	Harga
Temperature Larutan Awal ( T1 )	30 ° C
Temperature Larutan Akhir ( T2)	95 ° C
Entalpi Larutan Awal ( hf 1 )	125 kJ/kg
Entalpi Larutan Akhir ( hf2 )	398 kJ/kg
Kalor Latent Penguapan Air pada T = 95 ° C	2270 kJ/kg
Kalor Latent Ethanol	845 kJ / kg
Jumlah Larutan yang dipanaskan ( m1 )	1.2 kg
Jumlah Air Yang diuapkan ( m2 )	0.9 kg
Jumlah Ethanol Yang diuapkan ( m3)	0.08 kg

- Untuk memanaskan larutan dari 30 C jadi 95 C

$$V = 1 \text{ liter} \longrightarrow m = 1,2 \text{ kg (ethanol)}$$

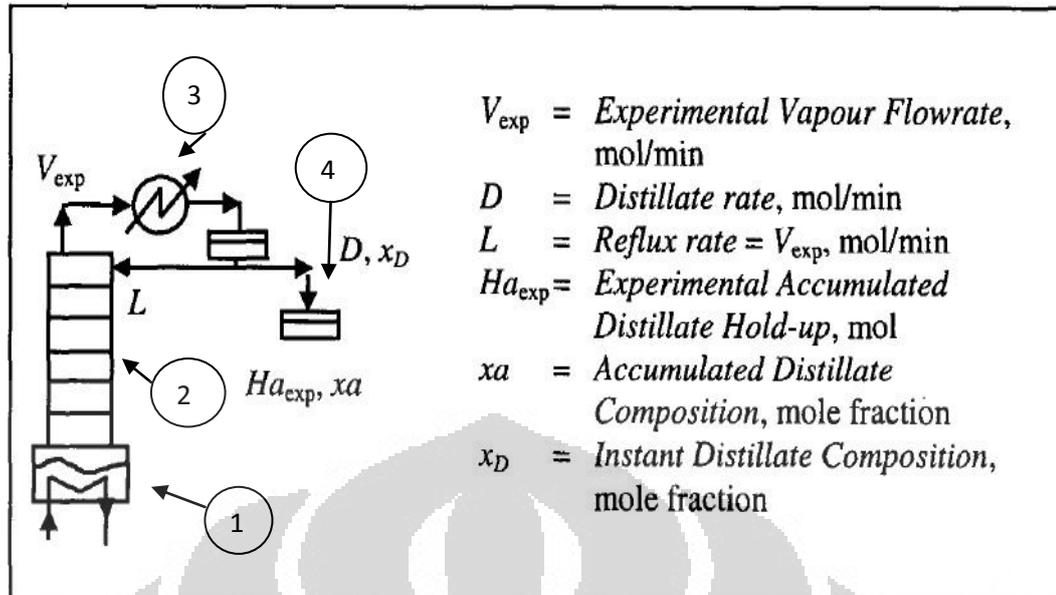
$$\begin{aligned} Q_{sh} &= m \times (h_{f2} - h_{f1}) \\ &= 1,2 \times (398 - 125) \\ &= 327,6 \text{ KJ} \end{aligned}$$

- Energi untuk menguapkan 95C sampai 95C

$$\begin{aligned} Q_{lh} &= ( m_w \times 2270 ) + ( m_{eth} \times 845 ) \\ &= ( 0,9 \times 2270 ) + ( 0,08 \times 845 ) \\ &= 2110,6 \text{ KJ} \end{aligned}$$

- $Q_{in} = 327,6 + 2110,6$   
 $= 2438,2 \text{ KJ}$

### 3. SKEMA SISTEM DISTILASI



- Bagian – bagian Kolom Distilasi :

1. Boiler/Reboiler
2. Kolom Distilasi
3. Kondenser
4. Receiver

- Cara Kerja kolom distilasi :

1. Campuran etanol-air dimasukkan ke dalam boiler kemudian dipanaskan.
2. Ketika dipanaskan etanol akan mencapai titik didihnya lebih cepat dari air sehingga etanol menguap terlebih dahulu.
3. Uap yang dihasilkan dari boiler akan masuk ke kolom distilasi. Pada kolom distilasi proses pemisahan utama campuran etanol-air terjadi.
4. Setelah uap etanol-air meninggalkan kolom selanjutnya akan dikondensasi di kondenser.
5. Cairan hasil kondensasi atau distilat akan ditampung sementara pada *distillate receiver*.
6. Sebagian distilat akan dialirkan kembali ke dalam kolom distilasi sebagai reflux, dan sebagian yang lain akan diambil sebagai hasil produk distilasi.