



UNIVERSITAS INDONESIA

**UJI KARAKTERISTIK LOW GRADE BIOETHANOL DENGAN
MINI DESTILATOR PORTABLE UNTUK PENGGUNAAN PADA
MOTOR PEMBAKARAN DALAM**

SKRIPSI

**RUSDI UMAR
0606073556**

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

Universitas Indonesia



UNIVERSITAS INDONESIA

**UJI KARAKTERISTIK LOW GRADE BIOETHANOL DENGAN
MINI DESTILATOR PORTABLE UNTUK PENGGUNAAN PADA
MOTOR PEMBAKARAN DALAM**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**RUSDI UMAR
0606073556**

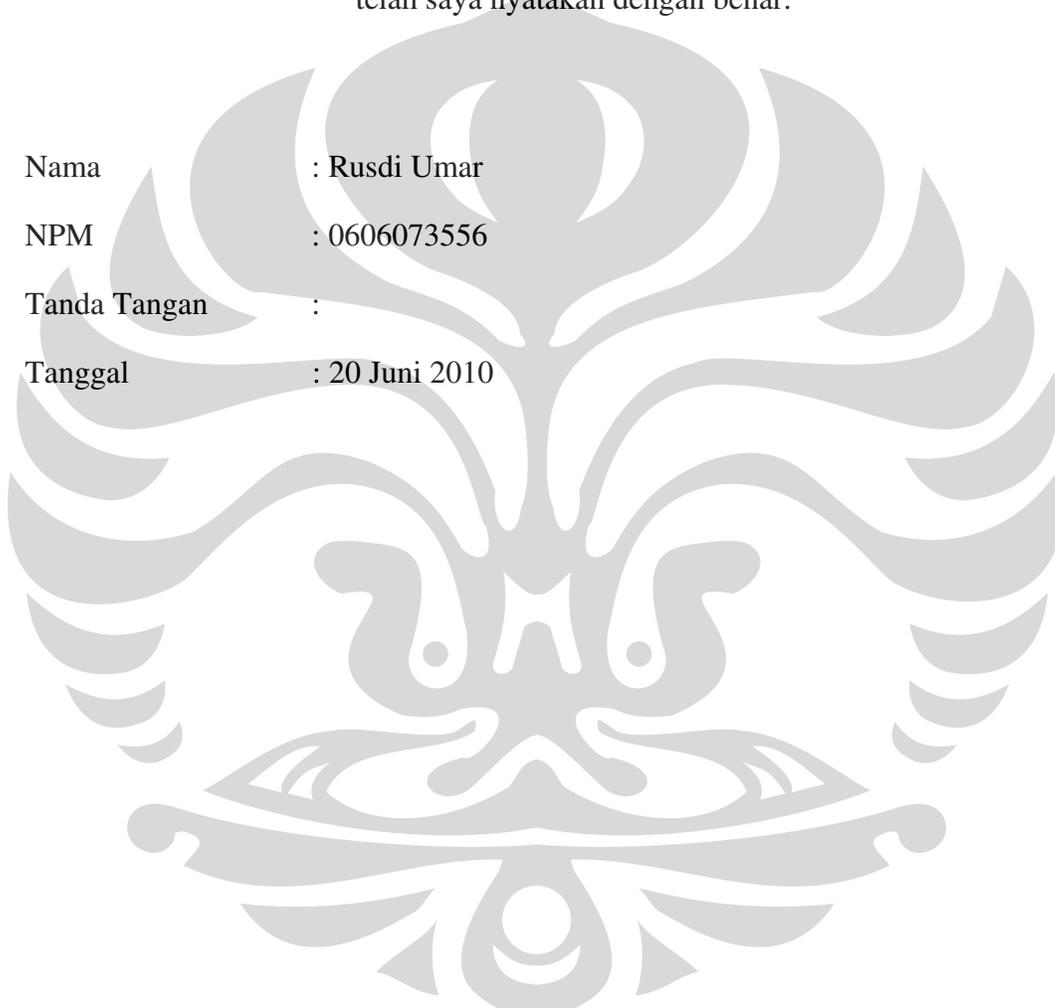
**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2010**

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Rusdi Umar
NPM : 0606073556
Tanda Tangan :
Tanggal : 20 Juni 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Rusdi Umar
NPM : 0606073556
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Uji Karakteristik Low Grade Bioethanol Dengan
Mini Destilator Portable Untuk Penggunaan Pada
Motor Pembakaran Dalam

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof.Dr.Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng. ()
Penguji : Dr.Ir. Danardono A.S ()
Penguji : Prof. Dr. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc. ,Ph.D ()
Penguji : Dr.Ir. Adi Suryosatyo ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya curahkan kepada ALLAH SWT, karena hanya dengan berkat, rahmat, dan kasih sayang-Nya yang begitu besar, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya sangat menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak sejak dari awal perkuliahan hingga pada penyusunan skripsi ini, akan sangat sulit bagi saya untuk menyelesaikan berbagai tantangan yang ada, khususnya dalam menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya 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 memberi 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 teknik mesin angkatan 2006 dan semua pihak** yang telah membantu namun tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Sekali lagi saya ucapkan terima kasih yang tak terhingga besarnya. Saya berdo'a agar ALLAH SWT membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan

Depok, 20 juni 2010

Rusdi Umar

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS

AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMI

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

Nama : Rusdi Umar
NPM : 0606073556
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

UJI KARAKTERISTIK LOW GRADE BIOETHANOL DENGAN MINI DESTILATOR PORTABLE UNTUK PENGGUNAAN PADA MOTOR PEMBAKARAN DALAM

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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 : 20 Juni 2010

Yang menyatakan

(Rusdi Umar)

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Nama : Rusdi Umar

Program : Teknik Mesin

Judul : Uji Karakteristik Low Grade Bioethanol Dengan Mini Destilator Portable Untuk Penggunaan Pada Motor Pembakaran Dalam

Telah dilakukan uji kelayakan peningkatan kadar menggunakan mini destilator portable. Penelitian ini berhasil mengetahui korelasi laju evaporasi terhadap variasi konsentrasi dan volume masukan dengan proses yang berlangsung berupa destilasi. Hasil diperoleh berupa volume campuran ethanol-air dalam kolom destilasi memiliki korelasi negative terhadap total volume output, konsentrasi ethanol awal terhadap total output memiliki korelasi positif, laju evaporasi bervariasi bergantung pada volume dan konsentrasi awal ethanol pada penelitian ini berkisar antara $1,38 \times 10^{-3}$ ml/s hingga $8,05 \times 10^{-3}$ ml/s, peningkatan konsentrasi *Initial to Result Ratio* terhadap konsentrasi awal memiliki korelasi negative namun menyiratkan kemungkinan keberadaan konsentrasi optimum di sebelah kiri 40% untuk dapat digunakan sebagai konsentrasi optimal low grade ethanol sebagai bahan bakar, loss dari *portable mini destilator* dibandingkan output sangat besar yakni berkisar antara 5,5% hingga 13,5% dari volume awal.

Kata kunci : , Destilasi, Etanol, Azeotrop, Laju Evaporasi

ABSTRACT

Name : Rusdi Umar

Study Program : Mechanical Engineering

Topic : Characteristics Test for Low Grade Bioethanol with Mini Destilator Portable For Using in Internal Combustion.

Feasibility test has been performed using elevated levels of portable mini-distillation. This research work to study the correlation rate of evaporation of various concentration and volume inputs to the process that took place in the distillation process. The Results is the volume of ethanol-water mixture in a distillation column has a negative correlation to the total volume of output, the initial ethanol concentration of total output has a positive correlation, the rate of evaporation varies depending on the volume and initial concentration of ethanol in this study ranged from 1.38×10^{-3} ml / s to 8.05×10^{-3} ml / s, increasing to Result Initial concentration ratio of initial concentration has a negative correlation but suggests the possibility of the existence of an optimum concentration in the left 40% to be used as the optimal concentration of ethanol as low grade materials burns, loss of a portable mini-distillation is very large compared to the output ranged from 5.5% to 13.5% of the initial volume.

Key Words : , *Distillation, Ethanol, Azeotrop, Rate of Evaporation*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN.	
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Tujuan Penelitian	3
I.3. Pembatasan Masalah	3
I.4. Metodologi Penelitian	3
I.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II DASAR TEORI	
II.1 Bioethanol	5
II.1.1. Potensi Tanaman Penghasil Bioethanol.	8
II.1.2. Bioethanol Sebagai Bahan Bakar	11
II.1.3. Skema Dasar Untuk Pemanfaatan Bioethanol Konsentrasi Rendah	15
II.1.4. Mengukur Kadar Bioetanol	20
II.2. Azeotrop	32
II.3. Distilasi	35

II.3.1. Teori Dasar Distilasi	36
II.3.2. Proses Distilasi	37
II.4. Pindah Panas	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Proses perancangan <i>portable mini destilator</i>	40
III.1.1. Perancangan kolom destilasi	40
III.1.2 Perancangan pipa kondensor	41
III.1.3 Perancangan kotak kondensor	42
III.1.4 Perakitan <i>Portable Mini Destilator</i>	42
III.2 Jenis-jenis alat uji	43
III.2.1. Alkoholometer	43
III.2.2. Gas Chromatography	43
III.3 Persiapan pengujian	43
III.4 Prosedur Pengambilan Data	44
BAB IV HASIL PENELITIAN	
IV.1. Analisa grafik V_{output} terhadap variasi M_i (<i>Konsentrasi Input</i>) dan V_{input}	52
IV.2. Analisa grafik hubungan V_{output} dan V_{input}	54
IV.3. Analisa grafik Residu kolom terhadap variasi M_i dan V_{input}	57
IV.4. Analisa grafik V_{output} dan T_i (<i>Waktu Pemanasan</i>) mengenai laju penguapan	58
IV.5. Analisa grafik $V_{\text{ethanol loss}}$ dengan <i>EHT 60'</i>	60
IV.6. Analisa % propanol dan pengotor dalam ethanol terhadap variasi M_i	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1. Kesimpulan	64

V.2. Saran

65

DAFTAR PUSTAKA

viii

LAMPIRAN

ix



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tabel konversi biomassa menjadi bioetanol	7
Gambar 2.2. Diagram alir fermentasi ethanol dari berbagai bahan baku	8
Gambar 2.3. Skema penggunaan alkohol kadar rendah dengan model karburasi	16
Gambar 2.4. Skema karburator untuk mesin pembakaran dalam berbahan bakar alkohol konsentrasi rendah untuk sepeda motor	17
Gambar 2.5. Skema penggunaan alkohol konsentrasi rendah untuk mesin pembakaran dalam sistem injeksi	18
Gambar 2.6. Diagram skema untuk vaporisasi alkohol kadar rendah bagi MPD	19
Gambar 2.7. Skala pada <i>alkoholometer</i>	21
Gambar 2.8. Pengukuran kadar ethanol	22
Gambar 2.9. Skema dasar pemisahan pada kromatografi	22
Gambar 2.10. Gambar <i>gas chromatography</i> dan bagian-bagiannya	23
Gambar 2.11. Grafik <i>sample chromatogram</i>	25
Gambar 2.12. Keterangan pada grafik chromatogram	26
Gambar 2.13. <i>Constant boiling mixture</i>	33
Gambar 2.14. Diagram kesetimbangan sistem etanol-air	34
Gambar 2.15. Diagram titik didih etanol-air	34
Gambar 2.16. Gambaran dan penjelasan mengenai fraksi massa dan cair	38
Gambar 2.17. Skema proses perpindahan massa pada peristiwa destilasi	38
Gambar 3.1. Gambar 3D kolom destilasi	40
Gambar 3.2. 3D pipa condenser	41
Gambar 3.3. 3D kotak kondensor	42
Gambar 3.4. 3D <i>Portable Mini Destilator</i>	42

Gambar 3.5. (a)Aktivitas menghidupkan alat; (b)Aktivitas mematikan alat	46
Gambar 3.6. Pengukuran waktu actual pengujian	47
Gambar 3.7. Alat pada prosedur pengukuran volume output	47
Gambar 3.8. Prosedur pengukuran waktu yang dibutuhkan untuk memutus atau menghidupkan sumber listrik	48
Grafik 4.1. Grafik hubungan volume output dan initial volume	52
Grafik 4.2. Grafik hubungan volume output dan konsentrasi input	53
Grafik 4.3. Grafik perbandingan konsentrasi output dengan konsentrasi input	54
Grafik 4.4. Grafik hubungan konsentrasi output dengan konsentrasi input	55
Grafik 4.5. Grafik hubungan IORP dengan konsentrasi etanol input	56
Grafik 4.6. Grafik perbandingan volume residu kolom dengan konsentrasi input	57
Grafik 4.7. Grafik hubungan volume output(ml) dengan waktu(s) pada 300ml	58
Grafik 4.8. Grafik hubungan volume output(ml) dengan waktu(s) pada 400ml	58
Grafik 4.9. Grafik hubungan volume output(ml) dengan waktu(s) pada 500ml	59
Grafik 4.10. Grafik hubungan volume <i>loss</i> (ml) dengan konsentrasi <i>input</i>	60
Grafik 4.11. Grafik hubungan presentase penyerapan kalor pada etanol dengan konsentrasi input	61
Grafik 4.12. Grafik lisquare hubungan Area of Peak dengan konsentrasi kalibrator	62
Grafik 4.13. Grafik konsentrasi propanol pada masing – masing sample ethanol	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Krisis minyak dan melonjaknya harga minyak dunia belakangan ini sangat berpengaruh terhadap kebutuhan energi dan perekonomian banyak negara. Dari sisi lingkungan, melonjaknya harga minyak dan semakin menipisnya persediaan minyak dunia akan mengurugi tingkat emisi karbon, yang belakangan ini menjadi topik diskusi yang intensif di berbagai belahan dunia. Berbagai skema diupayakan untuk mengurangi emisi karbon, antaranya adalah penggunaan bahan bakar nabati (BBN) untuk menggantikan minyak fosil. Dari sisi lingkungan, penggunaan minyak fosil akan menyebabkan akumulasi gas rumah kaca di atmosfer yang berakibat pemanasan global. Perubahan cuaca yang sangat ekstrim tiga tahun terakhir ini sering dinisbatkan sebagai akibat dari pemanasan global.

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

Keuntungan kedua, biofuel adalah energi hijau yang tidak mencemari lingkungan. Berbagai penelitian menunjukkan terjadinya reduksi emisi dari gas buang hasil pembakaran mesin. Biodiesel B10 mampu menurunkan emisi CO₂ diudara hingga 15% (tolong koreksi bila salah). Penggunaan bioethanol dalam bentuk gasohol E15 mampu mereduksi secara signifikan emisi gas buang, terutama CO dan NOX serta senyawa-senyawa polutan yang lain. Disisi lain, biofuel adalah bahan bakar yang diperoleh dari recycle CO₂ di alam oleh tumbuhan. Jelasnya, tumbuhan menyerap CO₂ di udara dan H₂O dari tanah dan mengubahnya menjadi senyawa kimia yang berguna bagi kehidupan dengan bantuan energi matahari. Dengan menggunakan biofuel, maka jumlah CO₂ di udara tetap, karena CO₂ yang dilepaskan pada pembakaran akan diserap kembali oleh tumbuhan selanjutnya diubah menjadi senyawa kimia yang merupakan bahan baku biofuel. Berbeda dengan minyak berbasis fosil, biofuel bersifat karbon netral dan karenanya tak membahayakan lingkungan.

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

Menanggapi pentingnya prospek bioethanol ini, penelitian dilakukan dengan melakukan uji karakteristik bioethanol tak murni dengan kadar 40%, 50%, 60%, dan 65% dengan alat *Mini Destilator Portable* sehingga diperoleh pembuktian bahwa *Low Grade Bioethanol* bisa menjadi bahan bakar mesin pembakaran dalam di masa

mendatang. Skema yang diajukan adalah dengan melakukan destilasi *on-demand* dengan limbah panas mesin. Gas yang diperoleh dari destilasi *on-demand* tersebut selanjutnya digunakan untuk bahan bakar mesin.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian bertujuan untuk melakukan studi awal penggunaan *Low Grade Bioethanol* sebagai bahan bakar alternatif.

1.3. Pembatasan Masalah

Penelitian ini membatasi dirinya pada pengamatan laju penguapan terhadap variasi kadar etanol dan volume etanol dengan alat *Mini Destilator Portable*

1.4. Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan rangkaian urutan kegiatan sebagai berikut :

- Melakukan eksperimen pengujian performa alat destilator dengan konsentrasi etanol 40%, 50%, 60%, 65%.
- Melakukan pengukuran kadar dengan alkoholometer.
- Melakukan eksperimen untuk mengetahui laju penguapan bioethanol.
- Melakukan eksperimen untuk mengetahui kalor yang dibutuhkan sistem dengan variasi volume etanol.
- Melakukan eksperimen untuk mengetahui rasio pengotor dan propanol pada etanol hasil destilasi dengan Gas Chromatography.
- Mengumpulkan dan mengolah data-data yang diperoleh dalam bentuk grafik dan menganalisanya.
- Membuat kesimpulan dan saran.

1.5. Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun dalam urutan sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang masalah, tujuan dilakukannya penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan tentang dasar teori bioethanol, distilasi, azeotrop, perpindahan panas dan massa.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV : HASIL PENELITIAN

Analisis hasil pengujian yang telah dilakukan dan disajikan adalah dalam bentuk tabel dan grafik.

BAB VI : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan yang didapat dari analisis dan pembahasan terkait yang disesuaikan dengan dasar teori yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

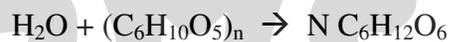
LAMPIRAN

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. Dalam proses konversi, karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air dilakukan dengan penambahan air dan enzim, kemudian dilakukan proses peragian atau fermentasi gula menjadi etanol dengan menambahkan *yeast* atau ragi. Reaksi yang terjadi pada proses produksi bioetanol secara sederhana disajikan pada reaksi berikut.



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

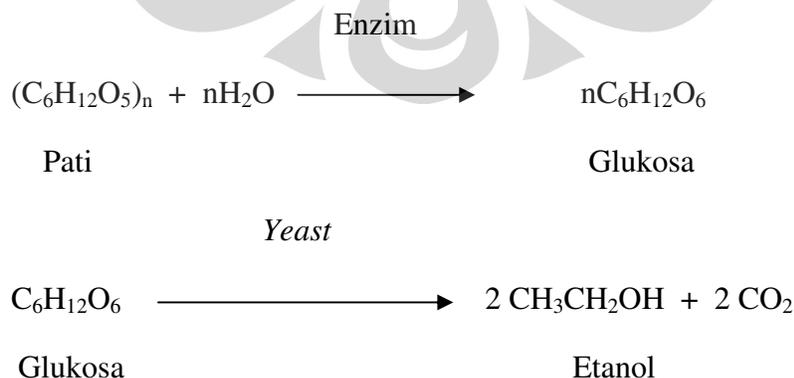
Etanol memiliki berat jenis sebesar 0,7937 g/mL (15°C) dan titik didih sebesar 78,32°C pada tekanan 766 mmHg. Etanol larut dalam air dan eter dan mempunyai panas pembakaran 328 Kkal (Paturau, 1981). Menurut Paturau (1981), fermentasi etanol membutuhkan waktu 30-72 jam. Prescott and Dunn (1981) menyatakan bahwa waktu fermentasi etanol yang dibutuhkan adalah 3 hingga 7 hari. Frazier and Westhoff (1978) menambahkan suhu optimum fermentasi 25-30°C dan kadar gula 10-18 %.

Etil-Alkohol (CH₃CH₂OH) dikenal juga dengan nama alkohol adalah suatu cairan tidak berwarna dengan bau yang khas. Alkohol Absolut 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 pada Motor Pembakaran Dalam

Pembuatan Etanol secara Fermentasi

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

Reaksi pembuatan etanol dengan fermentasi sebagai berikut:



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

- *Bahan bergula (sugary materials) :*

Tebu dan sisa produknya (molase, bagase), gula bit, tapioca, kentang manis, sorghum manis, dll.

- *Bahan-bahan berpati (starchy materials) :*

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

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

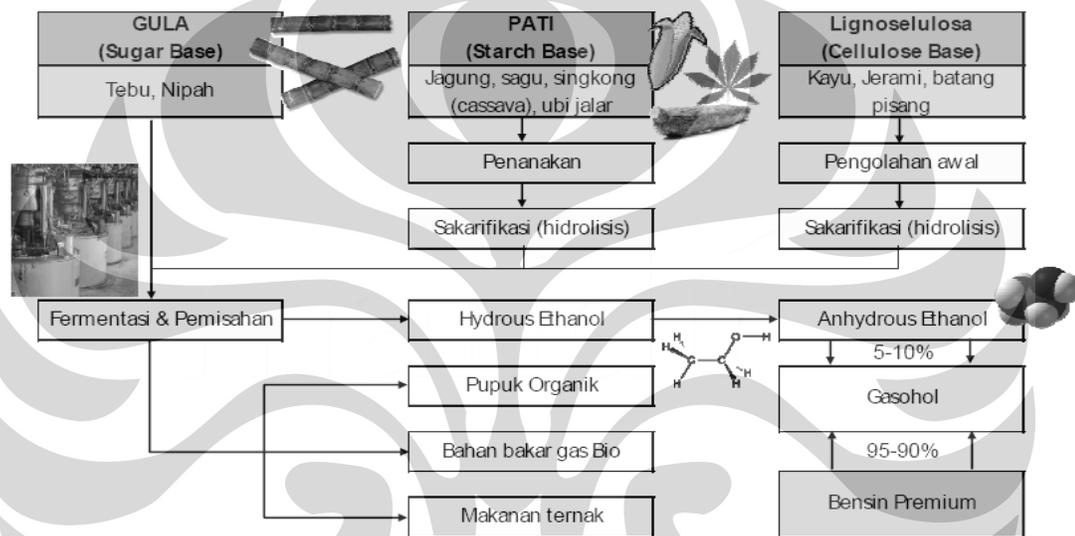
Sumber selulosa dan lignoselulosa berasal dari limbah pertanian dan kayu.

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	1.000	240 -300	166,5	6,5 : 1
Ubi Jalar	1.000	150 – 200	125	8 : 1
Jagung	1.000	600 – 700	400	2,5 : 1
Sagu	1.000	120 – 160	90	12 : 1
Tetes Tebu	1.000	450 – 520	250	4 : 1
Tebu	1.000	110	67	15 : 1

Gambar 2.1. Tabel konversi biomassa menjadi bioetanol

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



Gambar 2.2. Diagram alir fermentasi ethanol dari berbagai bahan baku

II.1.1. Potensi Tanaman Penghasil Bioethanol

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 m³ 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 hektar lahan dapat ditanami dengan 2.500 jarak pagar dan diperkirakan mampu menghasilkan biodiesel sekitar 1,7 kilo liter biodiesel 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 akan 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 polisakarida 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 ini sangat “menjanjikan”.

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 durra asal 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 etanol. 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 etanol (fuel grade etanol), maka potensi produksinya kurang lebih 766 hingga 1,148 liter/ha FGE (perhitungan ada di lampiran). Dengan asumsi harga etanol 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 etanol maka akan diperoleh sekitar 9,1 milyar liter etanol (FGE) dengan nilai ekonomi Rp. 50,1 trilyun. Jika dihitung-hitung etanol dari jerami sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan bensin nasional.

II.1.2. Bioethanol sebagai bahan bakar

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

murah, E85, yang mengandung ethanol 85% semakin populer di masyarakat (*Nature, 1 July 2005*).

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

Pemerintah Indonesia, dalam hal ini Kementerian Negara Riset dan Teknologi telah menargetkan pembuatan minimal satu pabrik biodiesel dan gasohol (campuran gasolin dan alkohol) pada tahun 2005-2006. Selain itu, ditargetkan juga bahwa penggunaan bioenergy tersebut akan mencapai 30% dari 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.

Penggunaan bioethanol pada mesin pembakaran dalam

Dewasa ini, hampir seluruh mesin pembangkit daya yang digunakan pada kendaraan bermotor menggunakan mesin pembakaran dalam. Mesin bensin (Otto) dan diesel adalah dua jenis mesin pembakaran dalam yang paling banyak digunakan di dunia. Mesin diesel, yang memiliki efisiensi lebih tinggi, tumbuh pesat di Eropa, sedangkan komunitas USA yang cenderung khawatir pada tingkat polusi sulfur dan UHC pada diesel, lebih memilih mesin bensin. Meski saat ini, mutu solar dan mesin diesel yang digunakan di Eropa sudah semakin baik yang berimplikasi pada

rendahnya emisi sulfur dan UHC. Ethanol yang secara teoritik memiliki angka oktan di atas standard maksimal bensin, cocok diterapkan sebagai substitusi sebagian ataupun keseluruhan pada mesin bensin.

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

Angka oktan pada bahan bakar mesin Otto menunjukkan kemampuannya menghindari terbakarnya campuran udara-bahan bakar sebelum waktunya (*self-ignition*). 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 NO₂ yang bersifat racun, dipercaya sebagai akibat relatif rendahnya temperatur puncak pembakaran ethanol di dalam silinder. Pada rasio kompresi 7, penurunan emisi NO_x tersebut bisa mencapai 33ibandingkan terhadap emisi NO_x 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 C₂H₅OH, sedangkan gasolin memiliki rantai C₆-C₁₂ (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_x, 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 CO₂ yang dihasilkan pada pembakaran ethanol juga akan dipergunakan oleh tumbuhan penghasil ethanol tersebut. Sehingga berbeda dengan bahan bakar fosil, pembakaran

ethanol tidak menciptakan sejumlah CO₂ 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.

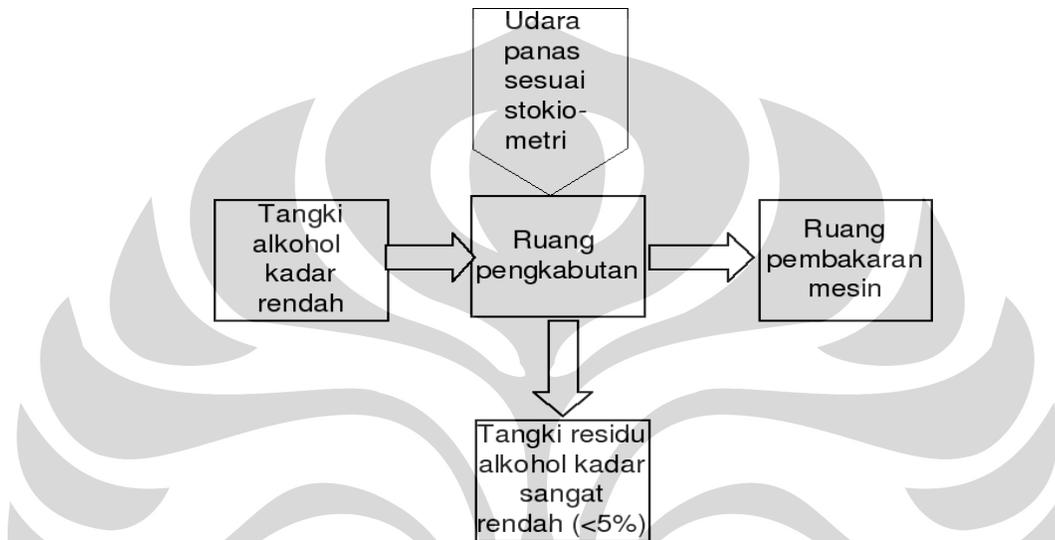
Ethanol murni akan bereaksi dengan karet dan plastik (*Wikipedia*). Oleh karena itu, ethanol murni hanya bisa digunakan pada mesin yang telah dimodifikasi. Dianjurkan untuk menggunakan karet fluorokarbon sebagai pengganti komponen karet pada mesin Otto konvensional. Selain itu, molekul ethanol yang bersifat 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.1.3. Skema Dasar Untuk Pemanfaatan Bioethanol Konsentrasi Rendah

Solusi yang ditawarkan adalah mengalihkan proses pemurnian alkohol dari pabrik alkohol ke mesin pembakaran dalam. Pemurnian alkohol bersifat *on-demand* atau mengacu pada kebutuhan sesaat ketika mesin dijalankan. Dengan cara ini, alkohol berkadar rendah yang diperoleh dari sekali atau dua kali destilasi diharapkan dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin pembakaran dalam. Terdapat dua skema yang diusulkan dalam proposal penelitian dengan judul "Motor Pembakaran Dalam

Berbahan Bakar Alkohol Kadar Rendah” sebagai proposal riset antar universitas, yaitu model karburasi dan injeksi.

Model karburasi alkohol konsentrasi rendah untuk mesin pembakaran dalam



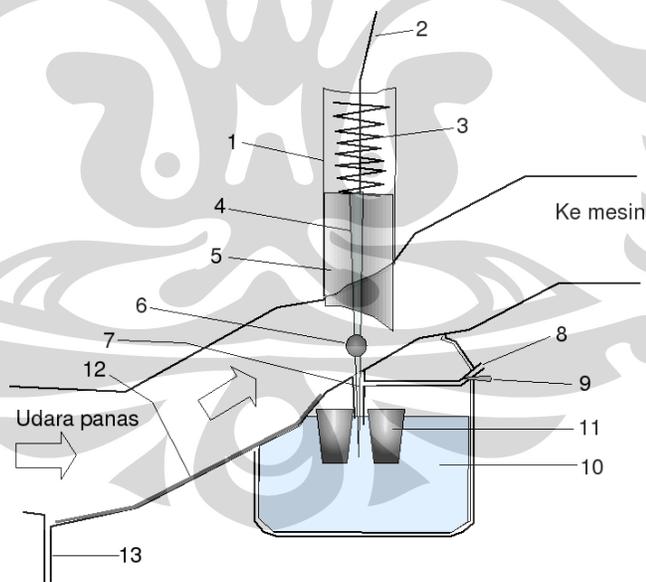
Gambar 2.3. Skema penggunaan alkohol kadar rendah dengan model karburasi.

Model seperti ditunjukkan pada gambar ini mirip dengan mesin pembakaran dalam dengan sistem karburator. Alkohol lebih dahulu dikabutkan dalam ruangan pengkabut. Selanjutnya, dalam ruangan pengkabut tersebut dialirkan udara panas yang lajunya sesuai dengan stokiometri bahan bakar alkohol dan udara. Bedanya, udara yang dialirkan ke ruang karburator harus sudah mendapatkan pemanasan lebih dahulu. Untuk *start-up* pemanasan udara adalah *electrical heater* yang dilanjutkan dengan pemanasan dengan limbah panas mesin ketika mesin sudah beroperasi.

Pada gambar 2 ditunjukkan kemungkinan realisasi karburator untuk skema pada gambar 1 untuk sepeda motor. Karburator untuk mobil pada prinsipnya menggunakan prinsip yang sama. Struktur dasar karburator sama dengan karborator

motor berbahan bakar bensin. Tabung aliran udara dibuat miring atau tegak, agar dapat menampung residu air yang tidak menguap. Bahan bakar didorong dari lubang 7 dan 8 kemudian masuk ke ruang pengkabutan. Interaksi udara panas dengan kabut alkohol mengakibatkan alkohol menguap dengan cepat. Sedangkan komponen airnya, karena titik didih yang lebih tinggi, tidak ikut menguap. Selanjutnya, fraksi cairan yang masih tertinggal akan mengalir ke luar sistem dan ditampung dalam wadah khusus. Fraksi cair ini kemungkinan masih mengandung alkohol, tetapi sudah sangat rendah. Meski demikian, residu tersebut perlu ditampung agar energi yang masih tersimpan pada sisa alkohol dapat digunakan.

Secara teoritis, efisiensi mesin akan berkurang, karena inputan gas bahan bakar, yakni campuran uap alkohol dan udara telah mendapatkan pemanasan awal sebelum masuk ke ruang pembakaran. Dilain pihak, faktor kompresi bahan bakar alkohol lebih tinggi dibandingkan dengan gasoline akan menaikkan efisiensi mesin, sehingga secara netto efisiensi mesin diharapkan tidak berubah.



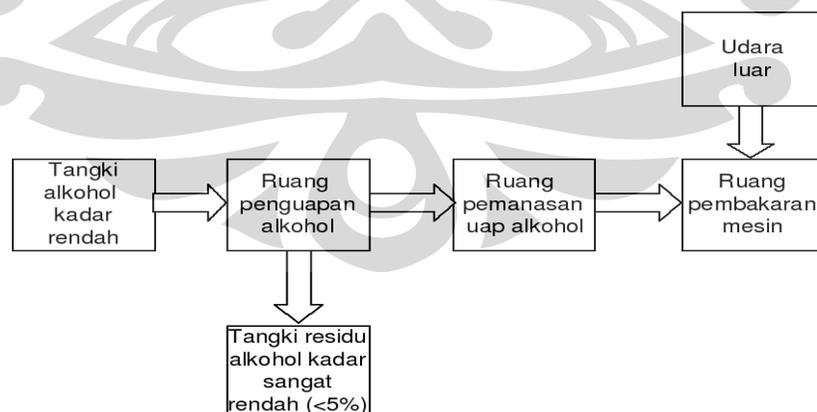
Gambar 2.4. Skema karburator untuk mesin pembakaran dalam berbahan bakar alkohol konsentrasi rendah untuk sepeda motor.

Keterangan komponen gambar 2.4 :

- 1) Tabung housing
- 2) Kawat penarik jarum skeep
- 3) Pegas
- 1) Jarum kontrol aliran bahan bakar
- 2) Tabung skeep
- 3) Baut pengatur bukaan jarum skeep
- 4) Lubang aliran bahan bakar
- 5) Aliran udara
- 6) Pengatur aliran udara
- 7) Bahan bakar (alcohol)
- 8) Pelampung pengatur tinggi permukaan bahan bakar.
- 9) Lapisan kasar penahan bahan bakar.
- 10) Lubang buangan residu bahan bakar.

Skema penggunaan alkohol kadar rendah dengan menggunakan model injeksi.

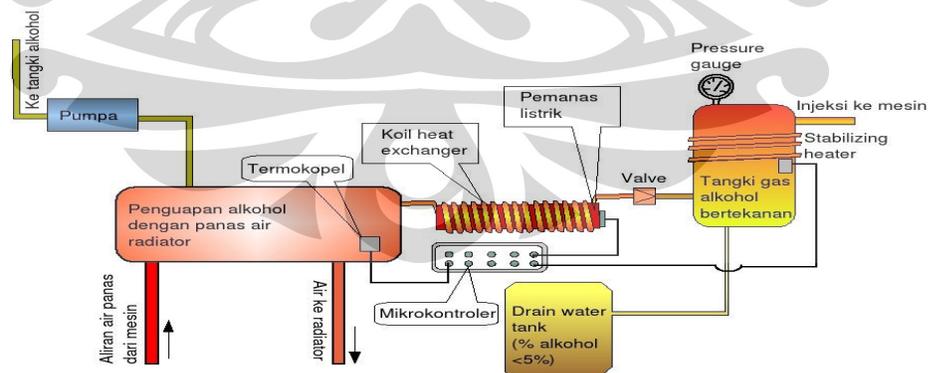
Standar EURO 2 mensyaratkan mesin pembakaran dalam sekarang ini menggunakan sistem injeksi. Sistem injeksi diyakini mampu memberikan perbandingan stokiometri bahan bakar dengan udara yang lebih akurat, sehingga efisiensi meningkat dibandingkan dengan sistem karburasi dengan gas buang yang relatif lebih bersih.



Gambar 2.5. Skema penggunaan alkohol konsentrasi rendah untuk mesin pembakaran dalam sistem injeksi.

Pada gambar ini ditampilkan skema penggunaan alkohol kadar rendah dengan menggunakan model injeksi. Bahan bakar dari tangki dialirkan ke ruang penguapan. Penguapan dapat dilakukan pada ruangan bertekanan rendah (*vacuum condition*) atau dengan menggunakan limbah panas mesin atau perpaduan dari penguapan di ruangan bertekanan rendah dan penggunaan limbah panas. Penguapan alkohol dalam ruang ini dilangsungkan pada suhu di bawah 100 C, sehingga air akan tersisa dan dan dipisahkan. Sumber panas dapat menggunakan listrik atau panas limbah mesin. Residu air tersebut masih mengandung alkohol, meskipun kadarnya kurang dari 5%, sehingga perlu ditampung dan dikumpulkan untuk nantinya dinaikkan kadarnya.

Selanjutnya, uap alkohol tersebut disalurkan ke ruang pemanas untuk membuat *super heated steam*, agar uap alkohol tidak mengembun. Disamping itu, mengalirkan gas bahan bakar ke piston dalam bentuk gas akan mencegah alkohol bereaksi dengan komponen logam, sehingga meminimalkan proses korosi. Panas untuk membuat super heating system pada awalnya dapat menggunakan listrik dari accu, dan sejalan dengan waktu, dapat menggunakan panas limbah dari mesin. Karena pemanasan, maka tekanan udara dalam ruang super-heated steam lebih tinggi dari pada tekanan atmosfer. Untuk menjaga aliran balik uap panas ke ruang penguapan, diperlukan *one way valve*. Berikutnya, uap alkohol panas tersebut diinjeksikan ke ruang bakar bersama-sama dengan udara luar dan dibakar untuk menimbulkan tenaga mekanis.



Gambar 2.6. Diagram skema untuk vaporisasi alkohol kadar rendah bagi MPD

Pada gambar diatas, ditunjukkan basis desain untuk penguapan alkohol tak murni dengan menggunakan panas residu. Seperti pada motor bensin, cairan alkohol masuk ke modul penguapan karena pemupaan. Terdapat dua metode pemanasan, yang pertama pemanasan dengan menggunakan limbah panas mesin dengan media aliran air radiator dan yang kedua adalah pemanasan dengan menggunakan pemanas listrik. Kedua metode pemanasan tersebut disusun secara serial, atau paralel. Pemanasan dengan listrik diperlukan untuk start-up, yakni ketika suhu air radiator masih rendah dan belum memungkinkan untuk menguapkan alkohol. Setelah suhu air naik, pemanasan dengan listrik dihentikan secara otomatis. Pengontrolan metode pemanasan mana yang digunakan dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler. Pada gambar 4 di bawah, dicontohkan skema pemanasan listrik dimana alkohol mengambil panas dari elemen melalui kawat tembaga spiral yang dililitkan di elemen pemanas tersebut. Skema lain dimungkinkan agar penyerapan panas maksimal.

Selanjutnya, uap alkohol tersebut dialirkan ke tangki bertekanan tinggi. Untuk menjaga agar suhu tangki tetap tinggi, perlu ditambahkan heater tambahan, misalkan dengan menggunakan panas limbah atau listrik. Untuk menjaga kemungkinan masih ada air yang belum menjadi uap, maka tetesan air tersebut ditampung di sisi bawah tabung untuk selanjutnya dialirkan ke bak penampungan residu. Sisa air tersebut masih akan mengandung alkohol, meskipun kecil. Proses penguapan dan stabilisasi uap gas alkohol dikendalikan dengan menggunakan mikroporocessor.

II.1.4. Mengukur Kadar Bioetanol

Alkoholometer

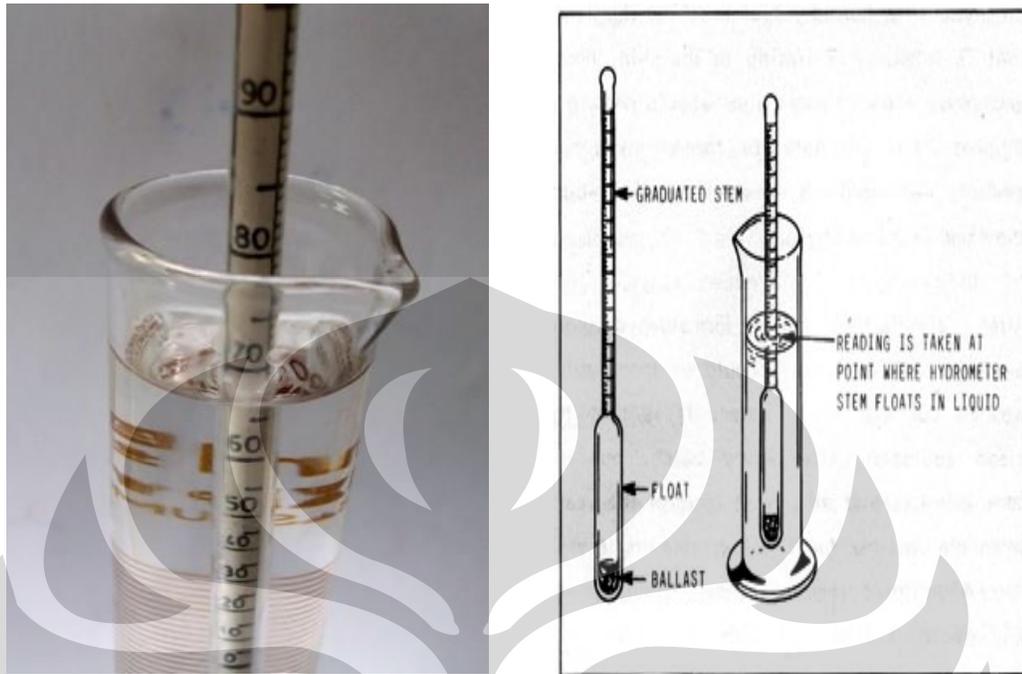
Mengukur kadar bioetanol adalah salah satu hal penting yang harus ketahui saat melakukan eksperimen dengan variasi konsentrasi. Alat untuk mengukur kadar etanol tersebut juga dikenal dengan nama *alkoholometer* atau *hydrometer* alkohol.

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 2.7. Skala pada *alkoholometer*

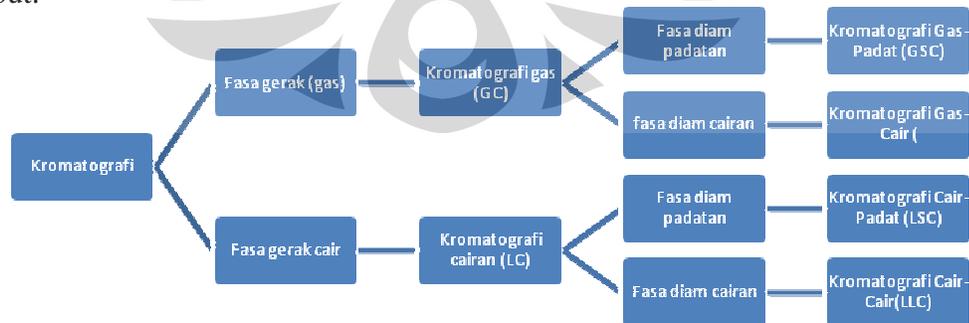
Penggunaan *alkoholometer* sangat sederhana. Pertama masukkan bioethanol ke dalam gelas ukur atau tabung atau botol yang tingginya lebih panjang dari panjang *alkoholometer*. Kemudian masukkan batang *alkoholometer* ke dalam gelas ukur. *Alkoholometer* akan tenggelam dan batas airnya akan menunjukkan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



Gambar 2.8. Pengukuran kadar ethanol

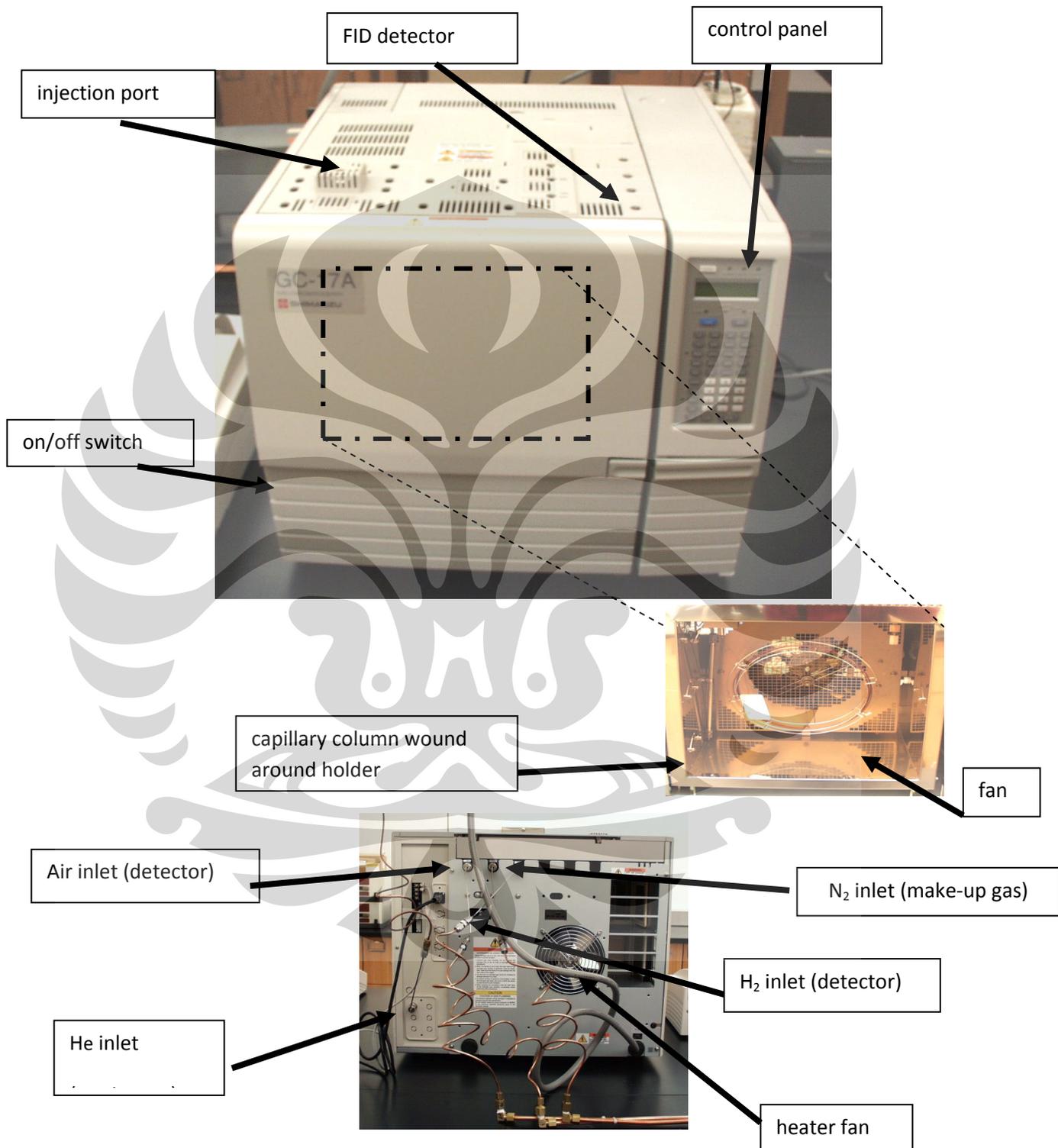
Kromatografi Gas

Gas Chromatography merupakan salah satu teknik pemisahan campuran zat cair dalam suatu larutan menjadi unsur-unsur penyusunnya. Berbagai teknik pemisahan campuran zat cair yang ada pada saat ini diantaranya yaitu destilasi dan ekstraksi. Destilasi meliputi destilasi fraksional dan destilasi uap. Kromatografi merupakan teknik pemisahan yang lebih baik dan lebih cepat daripada kedua teknik tersebut.



Gambar 2.9. Skema dasar pemisahan pada kromatografi

Teori Kromatografi Gas



Gambar 2.10. Gambar *gas chromatography* dan bagian-bagiannya.

Proses pemisahan komponen-komponen sampel dalam kromatografi gas berlangsung di dalam kolom berdasarkan pada interaksi komponen sampel dan fasa diam. Interaksi tersebut dapat berupa absorpsi atau partisi. Jika fasa diamnya berupa padatan berpori, maka fenomena yang terjadi adalah absorpsi. Bila fasa diamnya berupa cairan maka fenomena yang terjadi adalah partisi gas-cair. Proses kromatografi gas mirip dengan peristiwa gabungan antara ekstraksi dan destilasi. Proses pemisahannya dapat dipandang sebagai serangkaian peristiwa partisi, dimana sampel masuk ke dalam fasa cair, dan beberapa saat kemudian akan berubah menjadi uap kembali.

Interaksi antara sampel dengan fasa diam (cair) sangat menentukan berapa lama komponen-komponen sampel akan ditahan. Komponen-komponen yang mempunyai afinitas lebih rendah terhadap fasa diam akan keluar dari kolom lebih dahulu. Sedangkan komponen-komponen dengan afinitas lebih besar terhadap fasa diam akan keluar dari kolom kemudian.

Pemisahan

Pemisahan didasarkan pada perbedaan distribusi dari masing-masing komponen di dalam fasa diam dan fasa gerak. Distribusi komponen antara kedua fasa tersebut ditentukan oleh tetapan kesetimbangan K . K adalah perbandingan antara banyaknya suatu komponen dalam fasa diam dan fasa gerak, harga K berkisar antara 0,5-15. Harga K bergantung pada :

1. Kemudahan menguap dari suatu senyawa
2. Afinitas dari komponen terhadap fasa diam

Afinitas tersebut didasarkan pada interaksi antara komponen-komponen sampel dengan fasa diam. Interaksi tersebut merupakan gaya-gaya antar molekul yang diantaranya adalah :

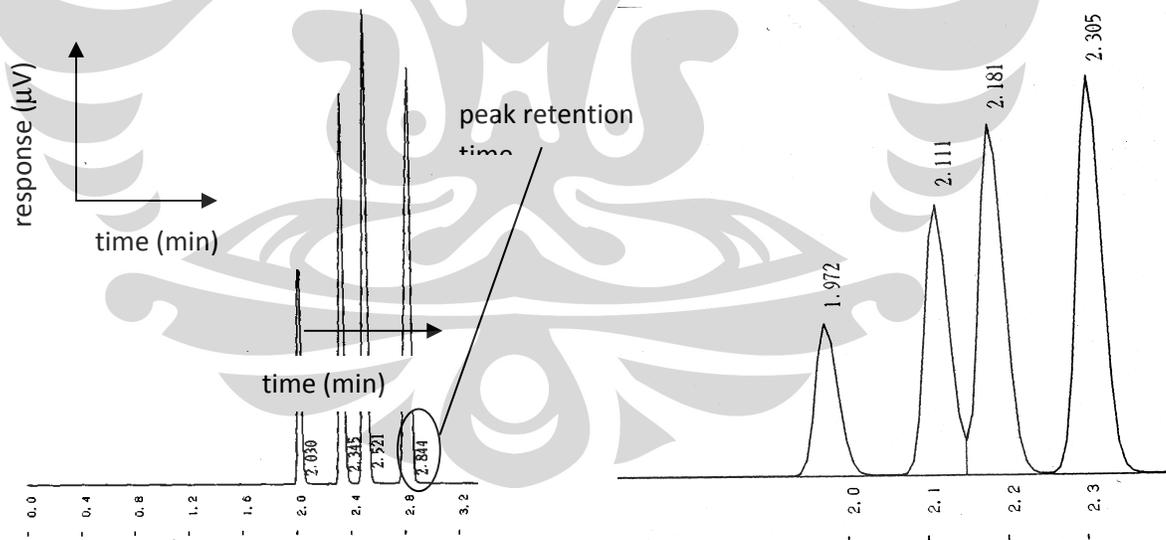
- a. Gaya Van der Waals = gaya disperse (non polar)
- b. Ikatan hydrogen = interaksi antara dua dipole permanen

- c. Interaksi dipole terinduksi (gaya Debye), merupakan interaksi antara dipole permanen dengan dipole terinduksi.
- d. Gaya interaksi spesifik, seperti ikatan kimia atau pembentukan kompleks.

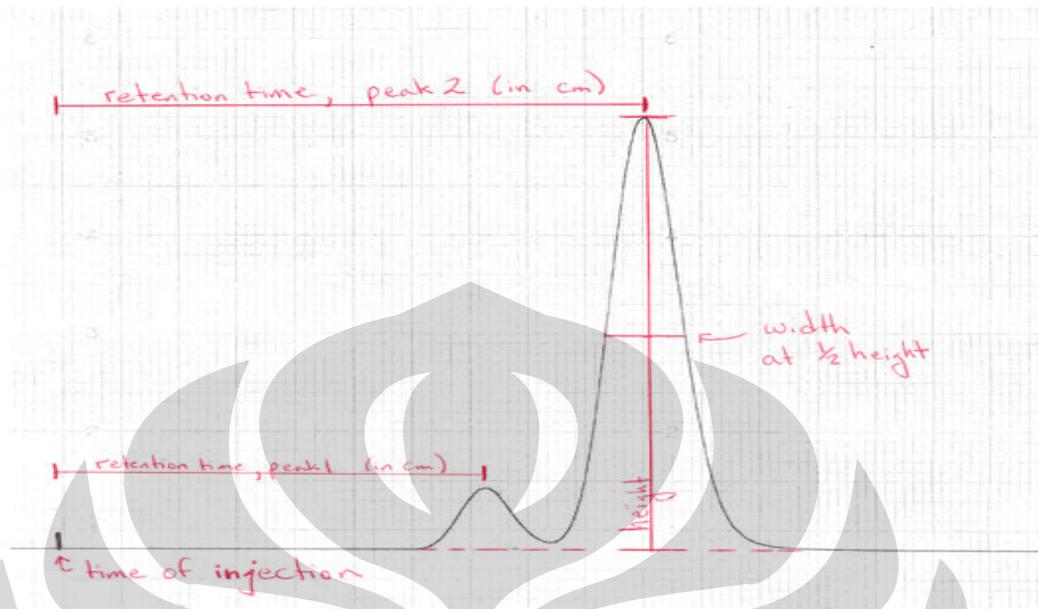
Kondisi ideal untuk mendapatkan pemisahan yang baik dapat tercapai jika :

1. Kesetimbangan dicapai sangat cepat pada setiap saat.
2. Molekul-molekul sampel hanya bergerak oleh gaya dari gas pembawa, sehingga tidak terjadi arus difusi.
3. Pengisian dari kolom harus sama (uniform)

Dalam kromatografi dikenal istilah yang selalu kita jumpai yaitu waktu retensi (t_r) = waktu komponen sampel ditahan oleh kolom. Waktu retensi setiap komponen dalam sampel berbeda-beda dan dapat dipergunakan untuk penentuan analisa kualitatif suatu komponen.



Gambar 2.11. Grafik *sample chromatogram*



Gambar 2.12. Keterangan pada grafik chromatogram

Pemisahan nyata antara dua puncak yang berdekatan dapat terjadi jika harga $R = 1$

$$R = \frac{2 (tr_2 - tr_1)}{W_1 + W_2} \quad (1)$$

tr = jarak mulai injeksi sampai ke puncak maksimum

W = Lebar puncak

Baik atau buruknya hasil pemisahan dari puncak-puncak dalam kromatografi sangat bergantung dari efisiensi kolomnya (jantung kromatografi) dan kondisi operasi.

Efisiensi Kolom

Efisiensi kolom sebanding dengan jumlah pelat teoritis = N . Height Equivalen Theoretical Plate didefinisikan sebagai berikut :

$$HETP = \frac{L}{N} \quad (2)$$

N = Jumlah pelat teoritis dari suatu kolom

L = Panjang kolom (cm)

Efisiensi kolom tergantung pada : pelarut (fase diam), sampel, suhu, kecepatan aliran gas pembawa dan besarnya partikel komponen. Banyak factor yang mempengaruhi harga HETP, secara kuantitatif teori yang menyatakan efek-efek tersebut sangat sukar dan kita hanya akan membicarakan teori pelat dan teori kecepatan.

Teori Pelat

Pelat-pelat yang ada dalam kolom adalah suatu imajinasi, sebenarnya kolom GC tidak memiliki pelat-pelat, tetapi merupakan penggambaran dari partikel-partikel yang terikat pada fase cair. Makin banyak pelat yang dimiliki oleh suatu kolom, akan memberikan puncak yang lebih sempit atau efisiensi kolom yang semakin baik.

Teori Laju

Teori laju dikembangkan oleh seorang Belanda bernama Van Deemter dan persamaannya disebut persamaan Van Deemter.

$$HETP = A + \frac{B}{\mu} + C\mu \quad (3)$$

Persamaan ini dapat memberikan jawaban bagaimana untuk meningkatkan peranan kolom kromatografi.

μ = kecepatan alir gas pembawa melalui kolom

$$\mu = \frac{\text{Panjang kolom (dalam cm)}}{\text{Waktu penahanan udara (dalam detik)}}$$

Besaran A, B, dan C penyebab utama terjadinya pelebaran puncak. A = difusi Eddy. Jika harga-harga A, B, dan C tertentu, maka berdasarkan persamaan Van Deemter arus terdapat kecepatan gas pembawa yang optimum, dimana kita akan bekerja pada μ optimum tersebut. Pada μ optimum didapat HETP minimum.

Kromatografi gas dapat digunakan untuk analisis kualitatif yaitu dengan membandingkan waktu retensi komponen dengan zat standar, juga untuk analisis kuantitatif yaitu berdasarkan metode perhitungan luas puncak atau dengan metode internal standar.

Susunan Peralatan

Diagram susunan peralatan kromatografi gas yang sederhana meliputi :

1. Gas pembawa

Gas pembawa harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

- a. Harus inert, tidak berinteraksi dengan sampel dan fasa diamnya.
- b. Murni dan mudah diperoleh serta murah
- c. Sesuai untuk detector
- d. Harus mengurangi difusi gas

2. Pengatur aliran dan pengatur tekanan

Dipelukan tekanan lebih pada tempat memasuki kolom guna mengalirkan sampel masuk ke dalam kolom. Harga-harga yang umum untuk kecepatan gas masuk kolom bergantung pada diameter kolom. Harga-harga yang umum untuk kecepatan gas masuk kolom bergantung pada diameter kolom. Untuk kolom dengan diameter luar sebesar 1/4" kecepatan gasnya = 75 mL/min, dan 1/8" kecepatan gasnya = 25 mL/min

Untuk mendapatkan kecepatan gas yang optimum, sebaiknya memakai HETP yang minimum.

3. Tempat injeksi

Tempat injeksi pada alat GC selalu dipanaskan. Sebaiknya temperature injector lebih tinggi dari 50°C dari titik didih campuran yang mempunyai titik didih tertinggi. Namun demikian temperature ini tidak boleh tinggi, sebab kemungkinan terjadi dekomposisi komponen-komponen dalam campurannya.

4. Kolom

Kolom merupakan jantung dari kromatografi gas. Kolom dapat terbuat dari : tembaga, Teflon, baja, aluminium atau gelas. Panjang kolom packing berkisar antara 1-3 meter, sedangkan kolom kapiler panjangnya dapat 25-100 meter. Persyaratan dari padatan penunjang yang baik adalah :

1. Inert
2. Kuat dan stabil pada suhu tinggi
3. Mempunyai luas permukaan yang besar : $1-20 \text{ m}^2/\text{g}$
4. Permukaan yang teratur, ukuran pori yang homogeny.
5. Harus mempunyai tahanan rendah terhadap gas pembawa

5. Detektor

Detektor menunjukkan adanya komponen dan mengukur konsentrasi komponen didalam gas pembawa yang keluar dari kolom. Sifat-sifat detector yang diinginkan

1. Mempunyai kepekaan yang tinggi
2. Tingkat (derau) noise yang rendah
3. Peka terhadap segala jenis senyawa
4. Kokoh dan murah
5. Tidak peka terhadap perubahan suhu dan perubahan laju dari gas pembawa.

Faktor-faktor yang mempengaruhi respon detektor yaitu :

- a. Suhu (tergantung dari radioaktifnya)
- b. Tegangan listrik (karakteristik tiap senyawa)
- c. Kebersihan yang tinggi dimana O_2 , dan H_2O tidak boleh ada.

6. Rekorder

Signal listrik dari detector akan diubah menjadi kerja mekanik dengan menggunakan prinsip kesetimbangan tegangan servomotor

potensiomotor.ala ini memiliki prinsip kerja yaitu, kesetimbangan motor akan bergerak dari tengah mistar kawat bila mendapat input signa V_1 , lalu disetimbangan lagi oleh V_2 sampai pena mencatat pada kertas. Kertas rekorder berupa gulungan yang berputar dengan kecepatan tertentu (cm/det), yang dapat diubah kecepatannya.

Pengoperasian Alat Kromatografi Gas

1. Buka aliran gas pembawa N_2 dari tangki. Alirkan gas pembawa tersebut ke dalam alat GC, lihat indicator sampai menunjukkan 6.0 kg/cm^2
2. Atur kecepatan aliran gas pembawa yang diinginkan.
3. Power dihidupkan.
4. Atur kondisi operasi, yaitu temperature kolom dan temperature injector (temperatur harus sama atau lebih tinggi $20^0\text{-}50^0\text{C}$ daripada temperature kolom). Bila mampu indicator sudah menyala, berarti kondisi sudah siap.
5. Hidupkan udara dari generator. Buka valve agar oksigen masuk ke dalam alat GC.
6. Buka kran gas H_2 ke dalam alat GC.
7. Atur kecepatan udara : 0.5 mL/menit dan kecepatan gas $H_2 = 1.0 \text{ mL/menit}$. Nyalakan pembakar, jika ada uap air yang keluar dari cerobong berarti api sudah menyala, adanya uap air tersebut dapat terlihat pada kaca atau stainless steel yang diletakkan diatas cerobong tersebut.
8. Atur kembali kecepatan udara menjadi 1.0 mL/menit dan kecepatan gas H_2 menjadi 0.5 mL/menit .
9. Injeksikan sampel dan lihat kromatogram yang dihasilkan pada rekorder.

Pemisahan dan analisis kuantitatif senyawa hidrokarbon dengan GC.

Waktu retensi deret homolog dari senyawa hidrokarbon dapat diukur, dengan menghitung tinggi atau luas puncak kromatogram maka senyawa hidrokarbon komponen penyusun premium dapat diketahui.

1. Peralatan

- *Gas Chromatograph* lengkap dengan integrator
- *Column non polar* misal OV-101 atau Ttriclesyl phosphate
- Kondisi alat GC: a. Temperatur Injeksi = 120⁰C
b. Temperature program = 80⁰-100⁰C
c. Kecepatan alir fasa gerak = 30 mL/menit

2. Bahan kimia

- a. Senyawa hidrokarbon seperti pentane, heksana, heptana, oktana, dan nonana.
- b. Sampel berupa ethanol.

3. Prosedur

- a. Analisa kualitatif
 - i. Buatlah kromatogram dari masing-masing senyawa hidrokarbon dengan cara menginjeksikan masing-masing 1 μ L senyawa murni ke dalam alat GC.
 - ii. Injeksikan 1 μ L sampel ethanol kalibrasi (1%, 3%, 5%, 7%, 10%) ke dalam alat GC
- b. Analisa kuantitatif
 - i. Buatlah larutan ethanol kadar 40%, 50%, 60%, dan 70% dengan mengambil sebanyak 1.0 mL dan ditempatkan ke dalam labu volumetric 10 mL, kemudian ditempatkan sampai tanda batas.
 - ii. Dengan cara yang sama buatlah larutan standar hasil dari ethanol kadar 40%, 50%, 60%, dan 70%.
 - iii. Ineksikan ke dalam alat GC dan baca luas dari masing-masing kromatogramnya.

4. Pengolahan data

a. Analisa kualitatif

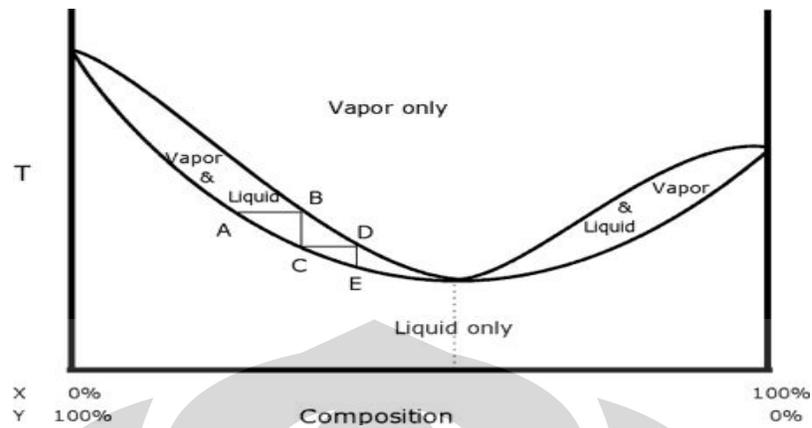
- Identifikasi waktu retensi dari masing-masing senyawa murninya, kemudian buat kurva antara waktu retensi dengan jumlah atom karbon dalam senyawa dan kurva antara waktu retensi dengan titik didih senyawa.
- Identifikasi waktu retensi seluruh komponen yang terdapat dalam kromatogram sampel, kemudian plotkan masing-masing waktu retensi dengan kurva standar, maka akan diperoleh identitas masing-masing komponen didalam ethanol

b. Analisa kuantitatif

- Membuat kurva kalibrasi antara luas kromatogram terhadap kadar (%) larutan standar.
- Dari kromatogram sampel pilih luas dengan waktu retensi yang sama terhadap senyawa standar kemudian plot pada kurva kalibrasi, maka akan diperoleh kadar senyawa tersebut didalam campuran ethanol.

II.2. Azeotrop

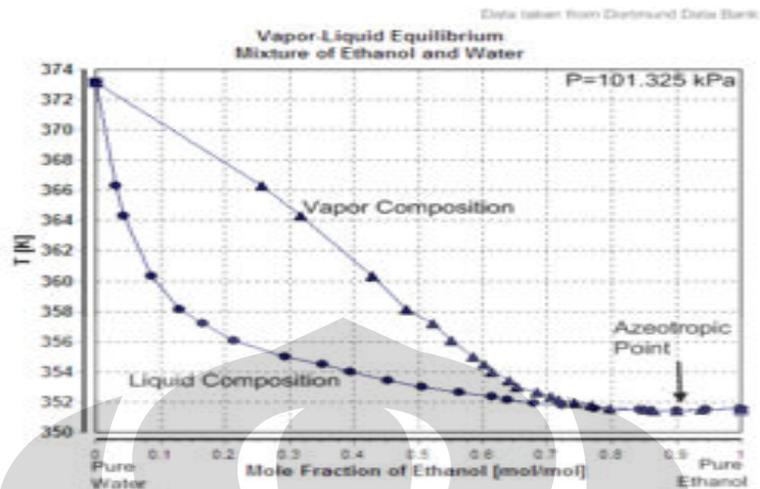
Menurut Hidayat (2007), azeotrop merupakan campuran dua atau lebih komponen pada komposisi tertentu dimana komposisi tersebut tidak dapat berubah hanya melalui distilasi biasa. Ketika campuran azeotrop dididihkan, fasa uap yang dihasilkan memiliki komposisi yang sama dengan fasa cairnya. Campuran azeotrop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



Gambar 2.13. *Constant boiling mixture*

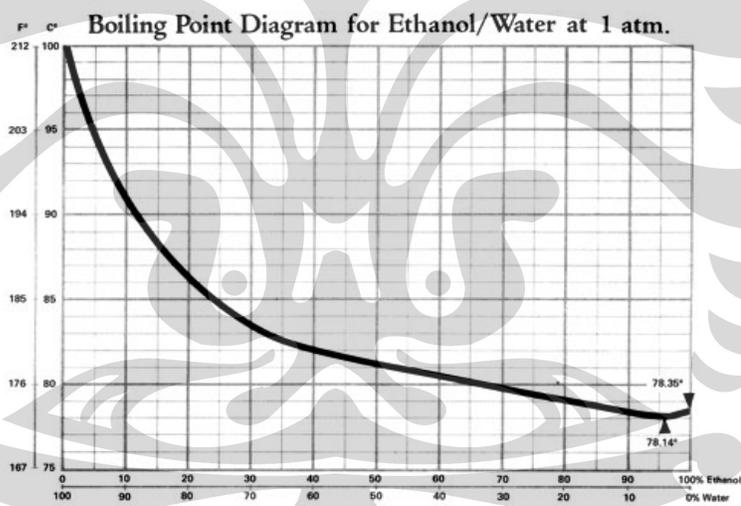
www.tutorvista.com

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°C yang homogen pada konsentrasi 0.8943 mol fraksi etanol, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11 dibawah ini :



Gambar 2.14. Diagram kesetimbangan sistem etanol-air

www.wikipedia.org



Gambar 2.15. Diagram titik didih etanol-air

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

Istilah distilasi sederhana umumnya berkaitan dengan pemisahan suatu campuran yang terdiri dari dua atau lebih cairan melalui pemanasan. Pemanasan dimaksudkan untuk menguapkan komponen-komponen yang lebih mudah menguap (titik didih lebih rendah) dan kemudian uap yang diperoleh dikondensasi kembali menjadi cair dan kemudian ditampung dalam suatu bejana penerima (Cook dan Cullen, 1986). Unit operasi distilasi merupakan metode yang digunakan untuk memisahkan komponen-komponen yang terdapat dalam suatu larutan atau campuran dan tergantung pada distribusi komponen-komponen tersebut antara fasa uap dan fasa cair. Semua komponen tersebut terdapat dalam fasa cairan dan uap. Fasa uap terbentuk dari fasa cair melalui penguapan (evaporasi) pada titik didihnya (*Geankoplis, 1983*).

Syarat utama dalam operasi pemisahan komponen-komponen dengan cara distilasi adalah komposisi uap harus berbeda dari komposisi cairan dengan terjadi keseimbangan larutan-larutan, dengan komponen-komponennya cukup dapat menguap. Suhu cairan yang mendidih merupakan titik didih cairan tersebut pada tekanan atmosfer yang digunakan (*Geankoplis, 1983*). Distilasi dilakukan melalui tiga tahap: evaporasi yaitu memindahkan pelarut sebagai uap dari cairan; pemisahan uap-cairan di dalam kolom, untuk memisahkan komponen dengan titik didih lebih rendah yang lebih volatil dari komponen lain yang kurang volatil; dan kondensasi dari uap, untuk mendapatkan fraksi pelarut yang lebih volatil.

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*).

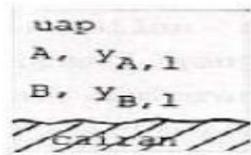
II.3.2. Proses Distilasi

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 .



$x_{A,1}$ = fraksi A di fasa cair (setimbang)

$x_{B,1}$ = fraksi B di fasa cair (setimbang)

$$x_A + x_B = 1$$

$y_{A,1}$ = fraksi A di fasa uap (setimbang)

$y_{B,1}$ = fraksi B di fasa uap (setimbang)

$$y_A + y_B = 1$$

Pada keadaan ini maka:

$y_{A,1} > x_{A,1}$ dan $y_{B,1} < x_{B,1}$

Bila dibandingkan dengan keadaan mula:

$$y_{A,1} > x_{A,1} > x_{A,2} \text{ dan } y_{B,1} < x_{B,1} < x_{B,2}$$

Gambar 2.16. Gambaran dan penjelasan mengenai fraksi massa dan cair

www.chem-is-try.org

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



Gambar 2.17. 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 energi 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.

BAB III

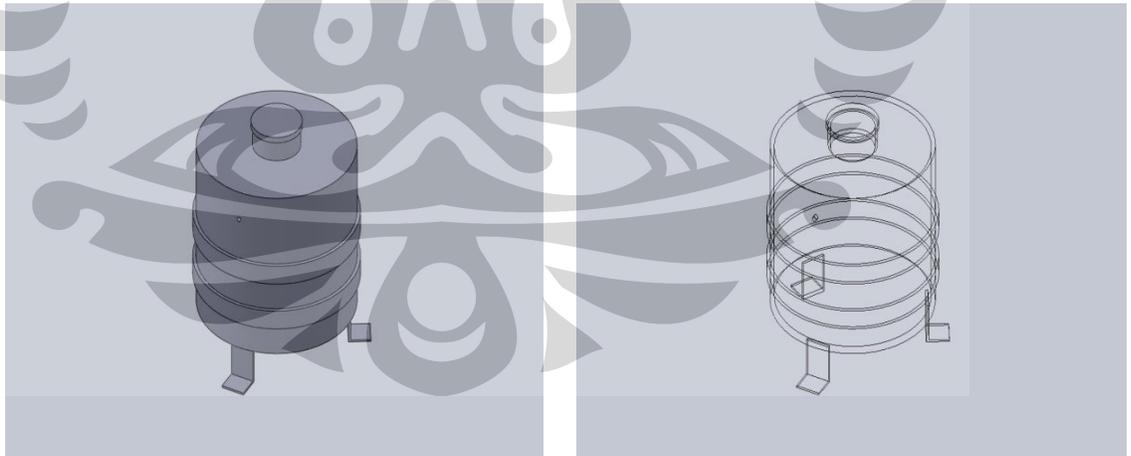
METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan urutan kegiatan sebagai berikut :

- Merancang dan merealisasikan *portable mini destilator*
- Melakukan instalasi *portable mini destilator*
- Melakukan eksperimen pengujian
- Mengumpulkan dan mengolah data-data yang diperoleh serta mengevaluasinya
- Mempresentasikan hasil penelitian dalam bentuk grafik-grafik kemudian melakukan analisis

III.1 Proses Perancangan *Portable Mini Destilator*

III.1.1 Perancangan kolom destilasi

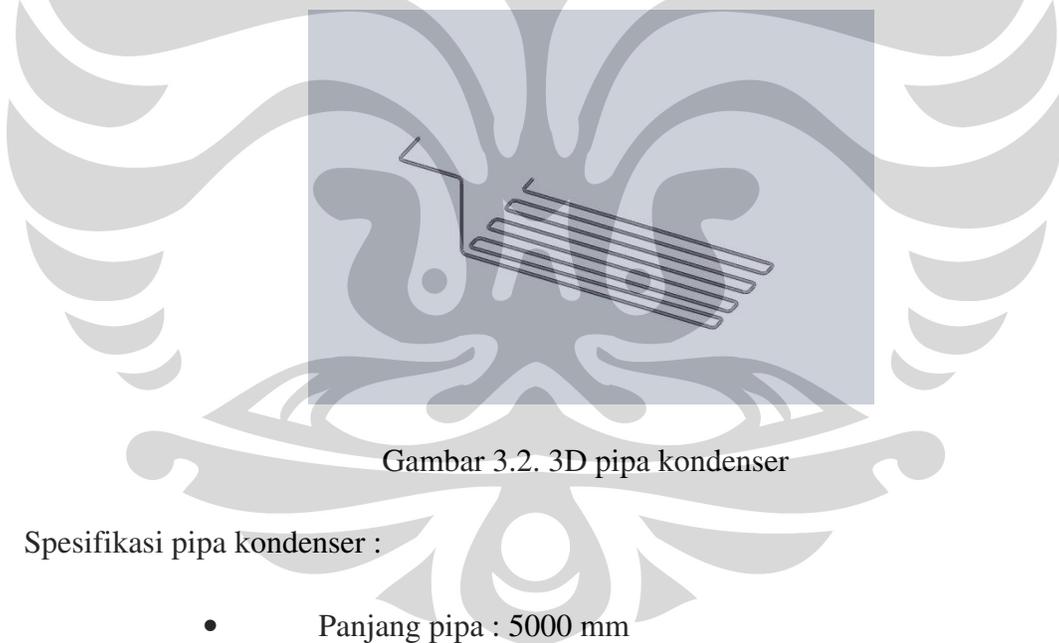


Gambar 3.1. Gambar 3D kolom destilasi

Spesifikasi kolom destilasi :

- Dimensi tabung dalam : Ø 180 mm
- Dimensi tabung luar : Ø 200 mm
- Jumlah heater : 2
- Dimensi heater : Ø 200 mm
- Daya heater : @ 200 watt
- Kapasitas kolom : 3 liter
- Material utama : Stainless Steel 304
- Material pembungkus luar : Aluminium Foil

III.1.2 Perancangan pipa kondenser

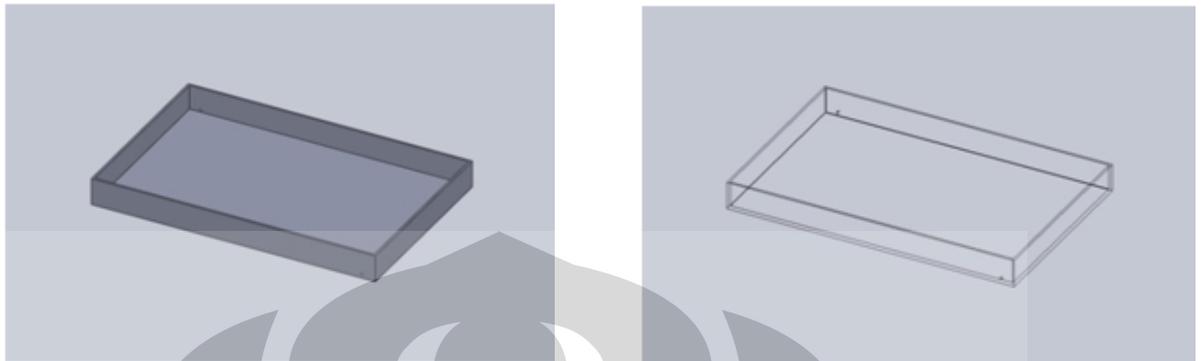


Gambar 3.2. 3D pipa kondenser

Spesifikasi pipa kondenser :

- Panjang pipa : 5000 mm
- Diameter luar : 3 inchi
- Diameter dalam : 2 inchi
- Material : Stainless Steel 304

III.1.3 Perancangan kotak kondensor

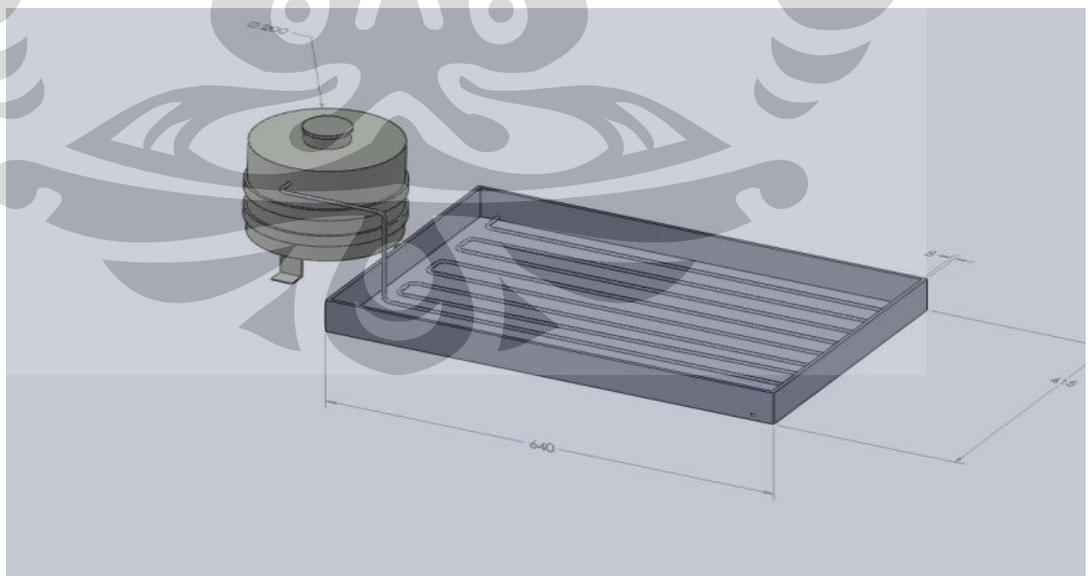


Gambar 3.3. 3D kotak kondensor

Spesifikasi kotak kondensor :

- Dimensi : (640 x 418 x 5) mm
- Material : *Triplex + plastic fibre + Cat anti bocor*

III.1.4 Perakitan *Portable Mini Destilator*



Gambar 3.4. 3D *Portable Mini Destilator*

III.2 Jenis Jenis Alat Uji

III.2.1. Alkoholometer

Spesifikasi alkoholometer

- Merek : alkoholometer
- Material : *glass, graduated stem, float , dan ballast*
- Negara pembuat : Jerman

III.2.2. Gas Chromatography

Spesifikasi Gas Chromatography

- Merk : SHIMADZU GAS CHROMATOGRAPH GC-9A
- Tegangan : 115V
- Arus : 17A
- Frekuensi : 50/60 Hz
- Model : SPL-G9 S/N716151K
- Injektor : 2 unit
- Detektor : 2 unit
- Flow Gauges : 1 unit
- Capillary Column : 1 unit
- Negara pembuat : Jepang

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 :

- Pemeriksaan kondisi sampel yang akan didestilasi, seperti pemeriksaan konsentrasi, volume, dan kebersihan sampel

- Pemeriksaan komponen-komponen *portable mini destilator* (ketel pemanas, pipa kondensor, kotak kondensor, gelas penampung, gelas ukur, dan indicator suhu). pemeriksaan tersebut berupa pemeriksaan fisik (apakah terjadi kebocoran dan perubahan bentuk pada tiap komponen) dan pemeriksaan fungsional (apakah tiap komponen masih berfungsi dengan baik sesuai tugasnya masing-masing)
- Pemeriksaan suhu pada kondensor (apakah sudah cukup dingin atau tidak)
- Pemeriksaan *safety* (apakah terdapat sumber api yang beresiko menyulut api pada alkohol, apakah tersedia air yang mencukupi untuk memadamkan api apabila terjadi kebakaran)

III.4 Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan berdasarkan destilasi bioetanol yang memiliki konsentrasi 40%, 50%, 60%, dan 65% dengan variasi volume 300ml, 400ml, dan 500ml pada range temperature 80°C-90°C dengan waktu pemanasan efektif (Effective Heating Time – EHT¹) selama 60'.

Data-data yang akan diambil yaitu :

- Waktu aktual yang dibutuhkan untuk seluruh proses destilasi tiap sample (EHT = 60').
- Volume output yang dihasilkan setiap 10' EHT.
- Pengukuran volume sisa di dalam pipa kondensor dan sisa pada ketel pemanas.
- Perhitungan konsentrasi alkohol masing-masing output hasil destilasi dengan menggunakan alat alkoholometer.

¹ EHT adalah pemanasan efektif yang dihitung hanya pada saat heater dinyalakan

- Perhitungan konsentrasi alkohol yang tersisa (residu) pada ketel pemanas untuk tiap proses destilasi sampel dengan menggunakan alkoholometer dan melalui perhitungan teoritis
- Menyimpan sampel tiap-tiap hasil proses destilasi dan residu pada ketel pemanas untuk diuji kadar alkohol serta mengetahui keberadaan pengotor material bahan baku dengan menggunakan alat *gas chromatography*.

Adapun prosedur pengambilan data adalah.

1. Memasukkan etanol dengan kadar X (lihat variasi konsentrasi) dengan volume Y (lihat variasi volume) kedalam kolom destilasi.
2. Menyalakan heater hingga suhu tercatat pada termokopel 80°C-90°C. Aktivitas menghidupkan dan mematikan sumber listrik pada saat proses destilasi dengan *portable mini destilator* merupakan hal yang wajib dilakukan. Karena alat tersebut didesain tanpa menggunakan *automatic thermocontroller*. Apabila suhu pada indicator telah menunjuk angka 90°C maka sumber listrik harus dimatikan dan apabila indicator telah menunjuk angka 80°C maka sumber listrik harus dihidupkan kembali. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan proses destilasi yang optimal sehingga tercipta konsentrasi output yang maksimal.



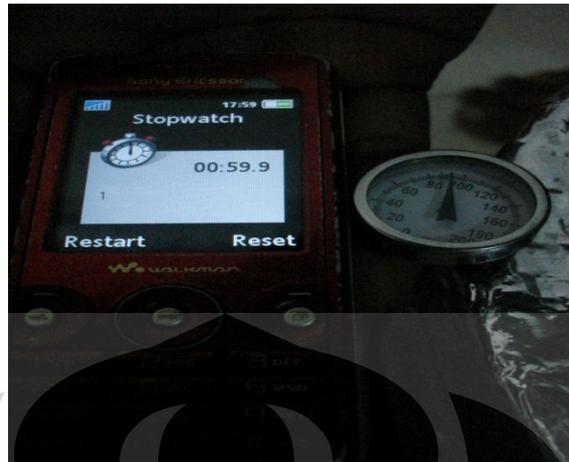
(a)



(b)

Gambar 3.5. (a)Aktivitas menghidupkan alat; (b)Aktivitas mematikan alat.

3. Melakukan pemanasan/ proses destilasi. Pada saat pengujian sampel, kami menetapkan lamanya waktu proses destilasi adalah 60 menit. Waktu inilah yang kami sebut sebagai EHT. Namun akibat aktivitas menghidupkan dan mematikan sumber listrik maka waktu aktual yang terjadi adalah tentunya lebih dari 60 menit. Data waktu aktual ini didapat dengan cara mencatat pukul berapa saat memulai proses destilasi dan pukul berapa proses destilasi tersebut berakhir. Data tersebut diambil pada proses destilasi tiap sampel untuk mengetahui efektifitas waktu pada proses destilasi tersebut. Data waktu aktual tiap sampel untuk selanjutnya akan dibandingkan dengan data waktu aktual sampel lainnya.



Gambar 3.6. Pengukuran waktu actual pengujian.

4. Melakukan pengambilan data volume output selama 60', residu pada kolom, residu pada pipa condenser, kehilangan volume pada system, data volume output tiap 10' dengan gelas ukur.



Gambar 3.7. Alat pada prosedur pengukuran volume output

5. Menerapkan prosedur pengukuran waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan suhu dari 90°C hingga 80°C indikator telah menunjukkan angka 90°C maka sumber listrik harus segera dimatikan. Hal ini di karenakan kita tidak melakukan instalasi termokopel otomatis pada alat kita. Pengambilan data

waktu penurunan suhu memiliki prosedur yang sama dengan prosedur pengambilan data waktu peningkatan suhu. Ketika suhu telah mencapai 80°C maka sumber listrik harus segera dihidupkan.



Gambar 3.8. Prosedur pengukuran waktu yang dibutuhkan untuk memutus atau menghidupkan sumber listrik

6. 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 minimal 350ml agar alkoholometer dapat mengapung dan bekerja dengan baik. Apabila misalnya cairan output hasil proses destilasi hanya memiliki volume 50 ml, maka perlu ditambahkan air hingga volume akhir mencapai minimal 350 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 :

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

Keterangan :

- M_1 merupakan konsentrasi cairan output hasil proses destilasi yang dicari
- V_1 merupakan volume cairan output hasil proses destilasi sebelum ditambah air
- M_2 merupakan konsentrasi cairan output hasil proses destilasi setelah ditambah air
- V_2 merupakan volume output hasil proses destilasi setelah ditambah air

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

7. 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 alkohol 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 alkohol 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 :

$$\% \text{ residu} = \frac{V_{m1} - V_{m2}}{V_1 - V_2} \times 100\%$$

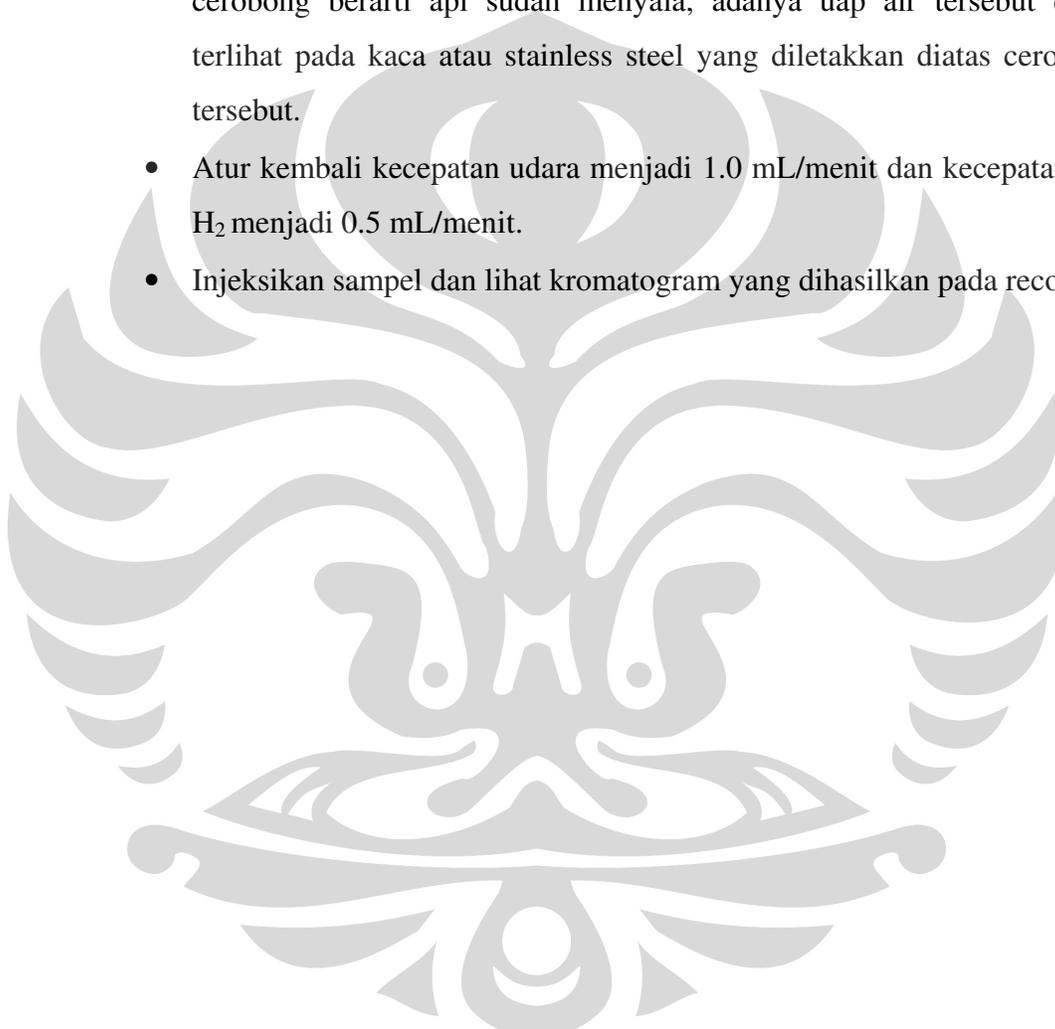
Keterangan :

- %residu = konsentrasi residu yang dicari
- V_{m1} = volume alkohol total yang terdapat pada sampel sebelum didestilasi
- V_{m2} = volume alkohol hasil hasil proses destilasi
- V_1 = volume awal sampel sebelum didestilasi
- V_2 = volume output sampel setelah didestilasi

8. Melakukan prosedur pengujian sampel dengan menggunakan alat *gas chromatography* (GC) Terdapat metode lain untuk mengetahui kadar propanol serta zat pengotor dalam suatu sampel yaitu dengan menggunakan alat *gas chromatography*. Teori dan pengertian mengenai alat ini telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Prosedur untuk menggunakan alat *gas chromatography* adalah sebagai berikut :

- Buka aliran gas pembawa N_2 dari tangki. Aliran gas pembawa tersebut ke dalam GC, lihat indikator sampai menunjukkan 6.0 kg/cm^2 .
- Atur kecepatan aliran gas pembawa yang diinginkan.
- Hidupkan power
- Atur kondisi operasi, yaitu temperature kolom dan temperature injector (temperatur harus sama atau lebih tinggi 20°C - 50°C daripada temperature kolom).

- Hidupkan udara dari generator. Buka kran agar oksigen masuk ke dalam alat GC.
- Buka kran gas H₂ ke dalam alat GC.
- Atur kecepatan udara : 0.5 mL/menit dan kecepatan gas H₂ =1.0 mL/menit. Nyalakan pembakar, jika ada uap air yang ke luar dari cerobong berarti api sudah menyala, adanya uap air tersebut dapat terlihat pada kaca atau stainless steel yang diletakkan diatas cerobong tersebut.
- Atur kembali kecepatan udara menjadi 1.0 mL/menit dan kecepatan gas H₂ menjadi 0.5 mL/menit.
- Injeksikan sampel dan lihat kromatogram yang dihasilkan pada recorder.

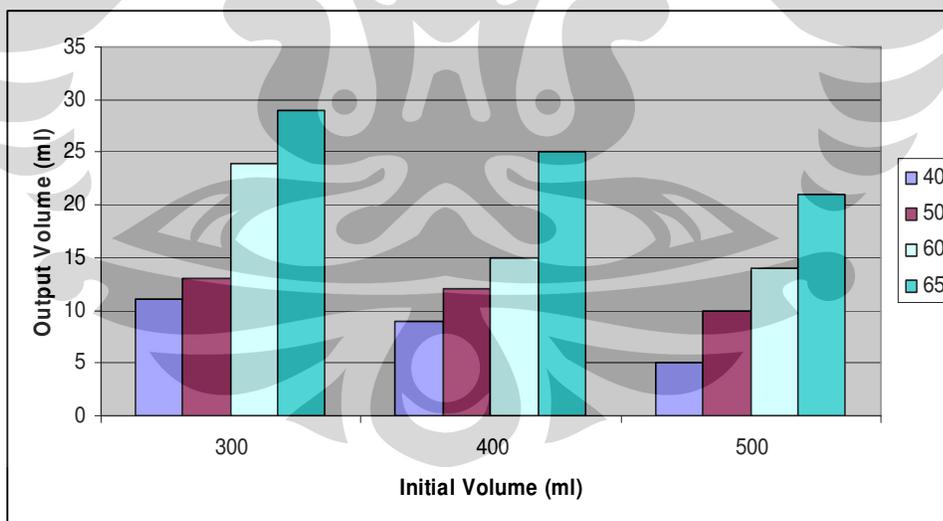


BAB IV

HASIL PENELITIAN

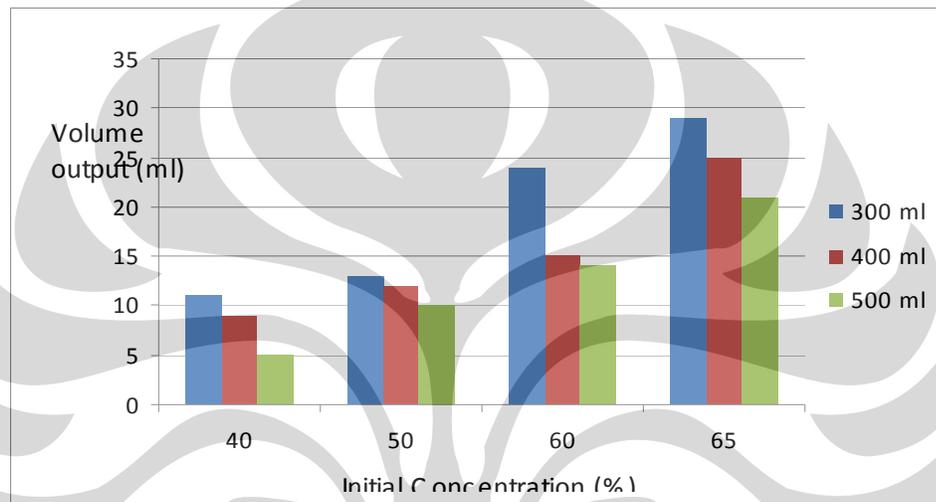
Perhitungan – perhitungan yang dilakukan dan telah dilampirkan dalam bentuk table dan grafik hasil alat. Namun hasil tersebut belum mampu menunjukkan karakteristik serta fenomena-fenomena yang sebenarnya ketika proses pengambilan dan setelah pengambilan data dilakukan. Untuk mengetahui fenomena-fenomena 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 pada bab ini.

IV.1. Analisa hubungan volume *output* (V_o) hasil proses destilasi ethanol tiap sampel dengan variasi volume *input* ke dalam kolom destilasi dengan variasi konsentrasi tang masuk ke dalam kolom destilasi dengan waktu efektif pemanasan 60 menit.



Grafik 4.1. Grafik hubungan volume output dan initial volume

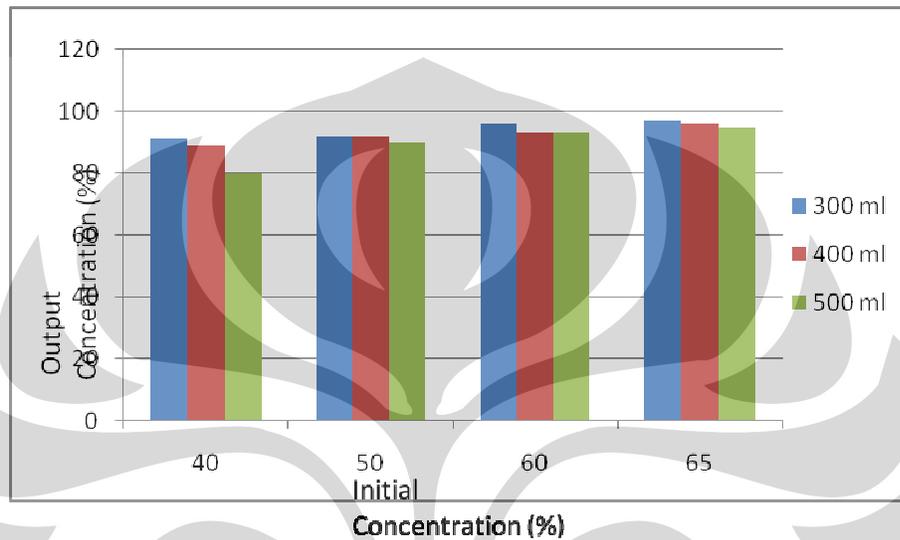
Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa makin tinggi volume initial atau volume etanol yang dimasukkan ke dalam kolom, maka output volumenya makin kecil. Hal ini disebabkan semakin banyak volume etanol yang dipanaskan, semakin banyak pula kalor yang dibutuhkan oleh etanol tersebut untuk mencapai fase uap. Maka dari itu, untuk rentang waktu dan sumber daya (kW) yang sama volume yang lebih besar akan menghasilkan destilat yang lebih kecil



Grafik 4.2. Grafik hubungan volume output dan konsentrasi input

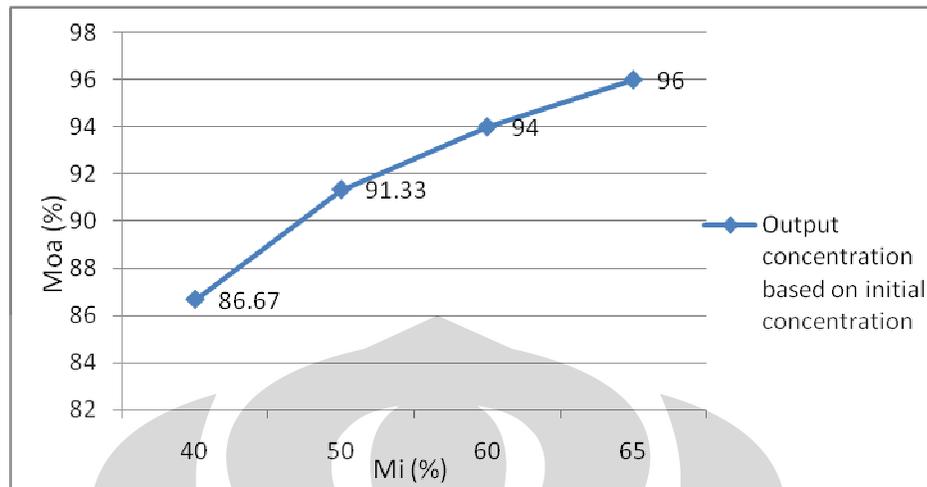
Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa makin tinggi konsentrasi input maka makin banyak pula volume output yang dihasilkan oleh mini portable destilator yang kita rancang. Berdasarkan variasi volume input, volume output tertinggi terjadi pada hasil proses destilasi sampel berkadar 65% dengan volume input 300 ml. Volume output terendah terjadi pada hasil proses destilasi sampel berkadar 40% dengan volume input 500 ml. Hal ini dapat dijelaskan oleh diagram azeotrop bahwa titik didih air-etanol menurun sebanding dengan meningkatnya kadar etanol dalam larutan sehingga kalor yang diperlukan untuk menguapkan campuran lebih sedikit yang menyebabkan output menjadi lebih banyak.

IV.2. Analisa hubungan antara konsentrasi hasil proses destilasi etanol tiap sampel dengan variasi volume *input* ke dalam kolom destilasi 300 ml, 400 ml, dan 500 ml dengan waktu pemanasan 60 menit.



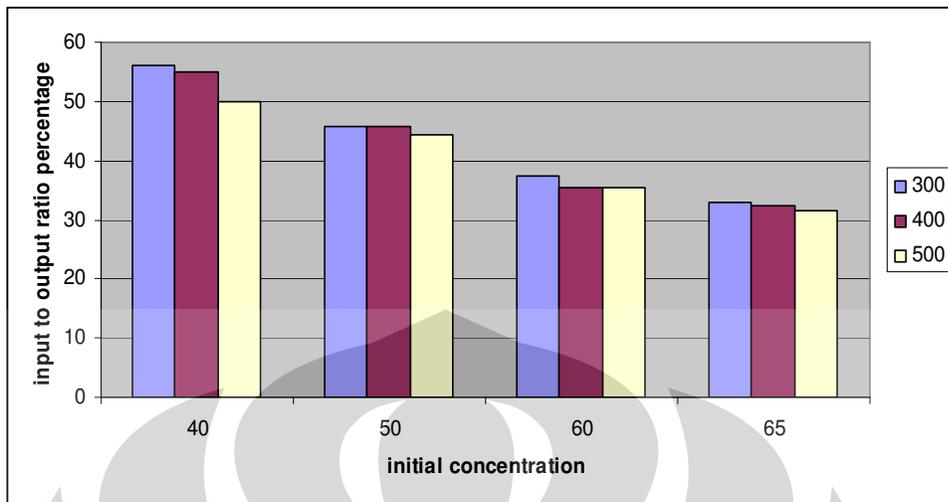
Grafik 4.3. Grafik perbandingan konsentrasi output dengan konsentrasi input

Berdasarkan grafik perbandingan konsentrasi etanol output dengan konsentrasi etanol input, maka konsentrasi etanol dengan volume input sebesar 300 ml memiliki nilai yang tertinggi dibandingkan yang lain. Konsentrasi output terendah dihasilkan oleh etanol dengan volume input 500 ml. Hal ini karena makin sedikit volume input dalam kolom, makin cepat etanol menguap dan memenuhi konsentrasi yang maksimal karena jumlah uap yang semakin besar dan memiliki tekanan terbesar sebelum uap memasuki pipa condenser pada sistem destilasi.



Grafik 4.4. Grafik hubungan konsentrasi output dengan konsentrasi input

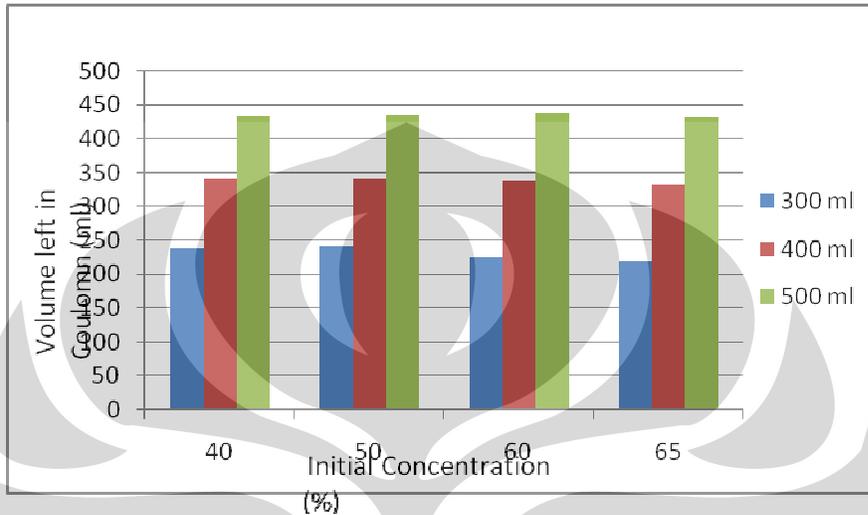
Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa makin tinggi konsentrasi input, maka makin tinggi pula konsentrasi output yang dihasilkan. Konsentrasi ethanol kadar rendah antara 40%-65% dapat dikonversi menjadi high grade sebesar 86,67%-96% oleh alat mini portable destilator yang kita rancang meskipun dengan skema sederhana. Hal ini dikarenakan bahan dasar kolom adalah stainless steel SS 304 yang memiliki thermal conductivity yang cukup baik dan kondisi dalam kolom dibuat vakum dengan temperature yang dijaga antara 80°C-90°C. Kemudian temperature pada condenser dijaga sedingin mungkin sekitar 5°C.



Grafik 4.5. Grafik hubungan IORP dengan konsentrasi etanol input

Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa makin tinggi konsentrasi input, maka ratio peningkatan konsentrasi output akan makin kecil. Sehingga menyebabkan proses upgrade etanol kurang efektif. Grafik diatas juga menyiratkan kemungkinan adanya titik optimum disebelah kiri grafik yang dapat digunakan sebagai acuan konsentrasi optimum dalam proses upgrade etanol.

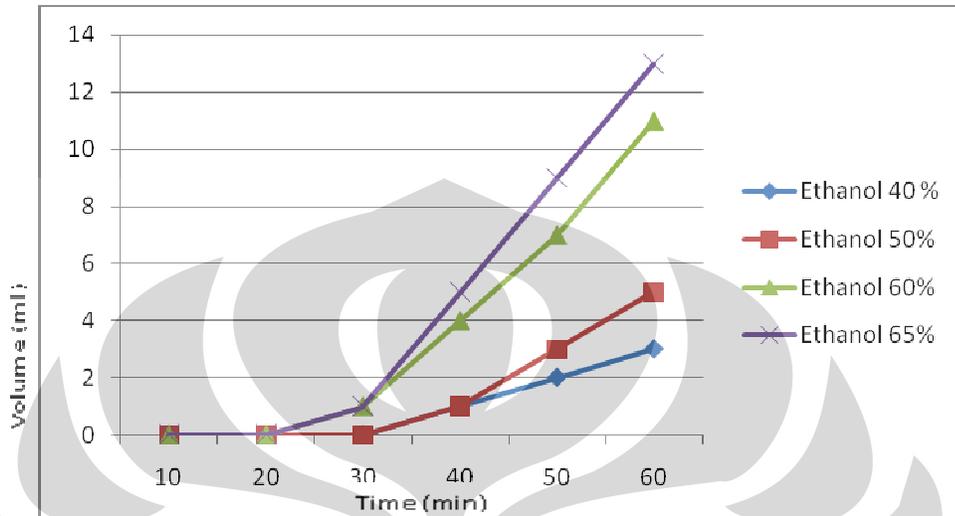
IV.3. Analisa hubungan volume residu dalam kolom dengan konsentrasi input dengan variasi konsentrasi input sebesar 40%, 50%, 60%, dan 65% dengan waktu efektif pemanasan 60 menit



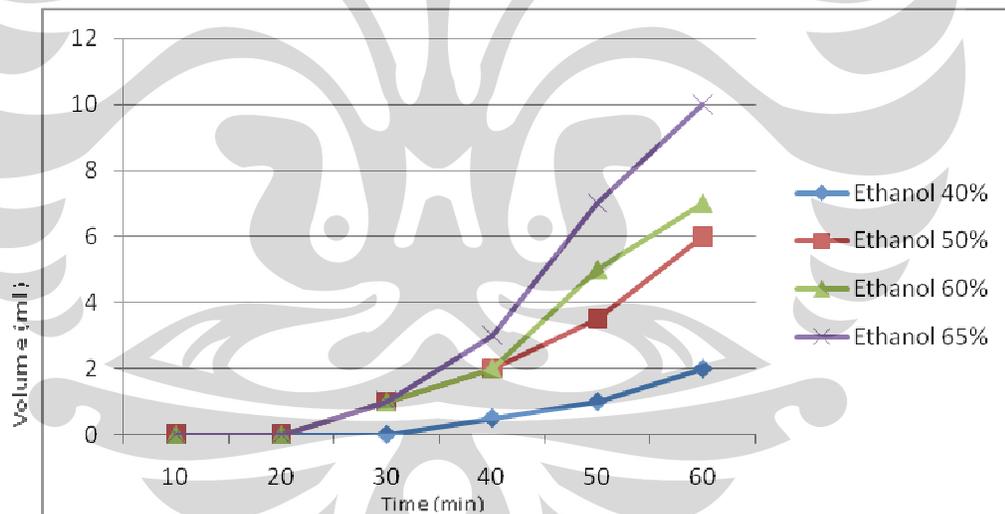
Grafik 4.6. Grafik perbandingan volume residu kolom dengan konsentrasi input

Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa makin tinggi konsentrasi input maka makin tinggi pula volume residu pada kolom destilasi. Etanol dengan volume input sebesar 500 ml memiliki nilai residu tertinggi pada semua variasi volume. Etanol dengan volume input sebesar 400 ml memiliki nilai lebih rendah dan kemudian volume input sebesar 300 ml. Grafik menunjukkan trend yang hampir sama pada tiap variasi volume input. Hal yang penting dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah bagaimana semaksimal mungkin menghilangkan residu pada kolom destilasi pada waktu pemanasan dengan menggunakan konsentrasi input tertinggi. Sesuai dengan makin baiknya kualitas peningkatan etanol pada makin kecilnya konsentrasi input, maka diharapkan untuk membuat suatu penelitian lanjutan yang dapat menyelesaikan bentran antara kedua masalah ini.

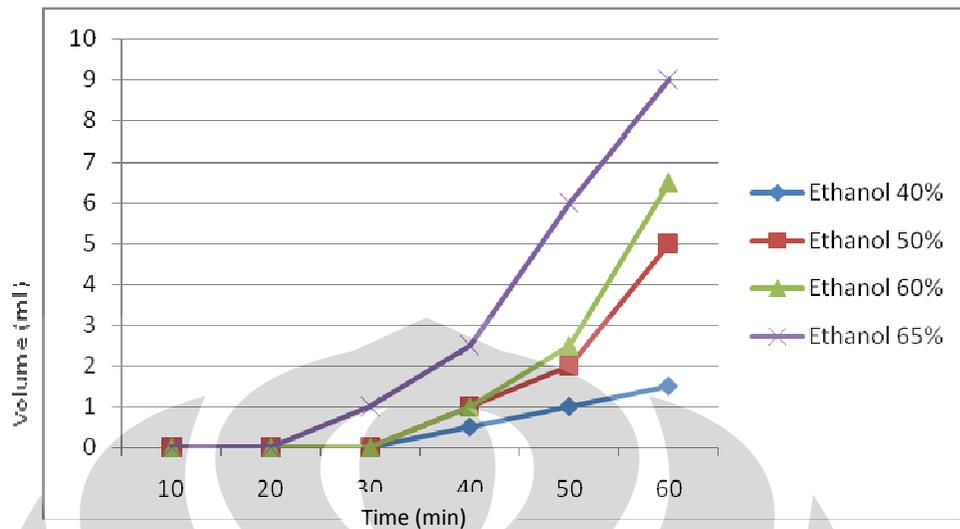
IV.4. Analisa hubungan laju penguapan ethanol yang merupakan hubungan antara volume *output* dengan *efectiviting time* proses destilasi.



Grafik 4.7. Grafik hubungan volume output(ml) dengan waktu(s) pada volume 300ml



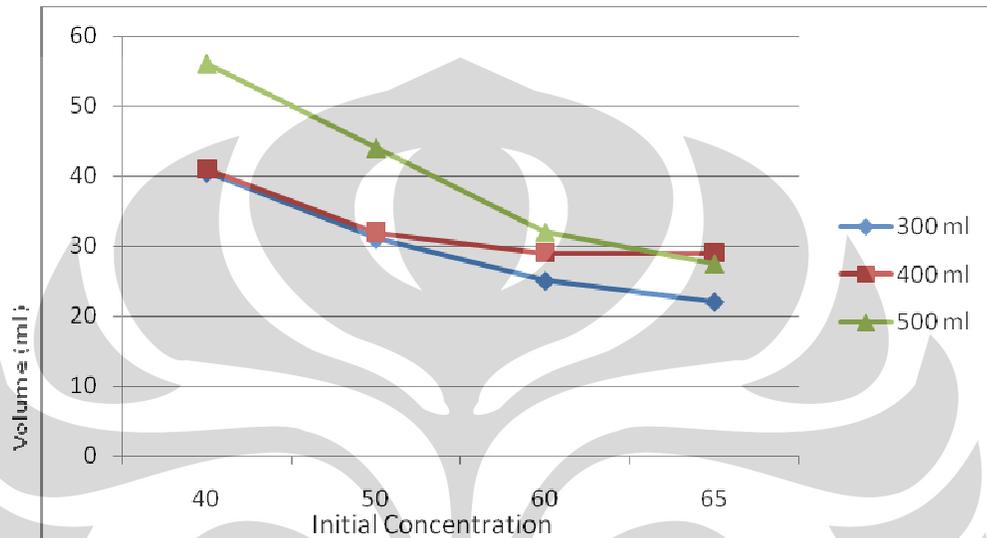
Grafik 4.8. Grafik hubungan volume output(ml) dengan waktu(s) pada volume 400ml



Grafik 4.9. Grafik hubungan volume output(ml) dengan waktu(s) pada volume 500ml

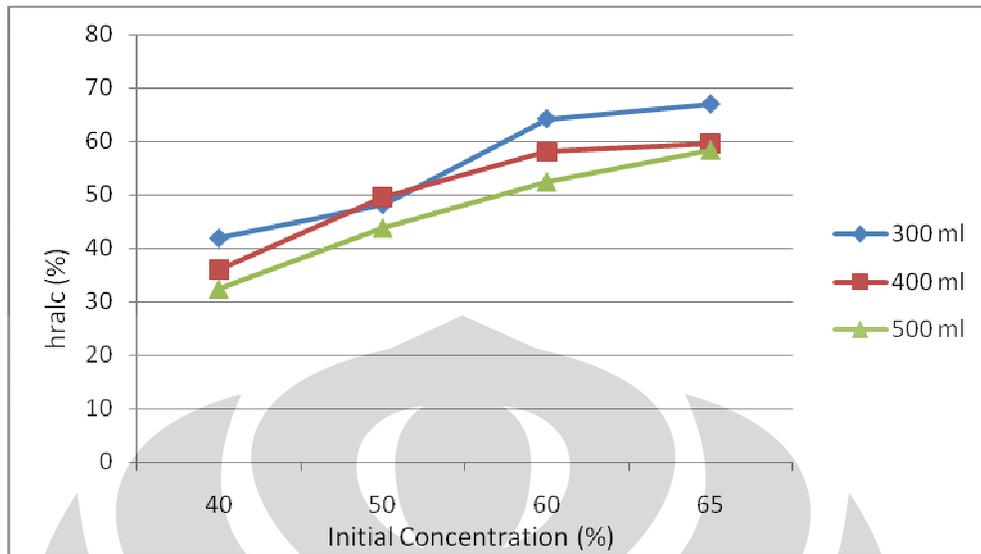
Dari grafik hubungan volume output dengan waktu pemanasan diatas, dapat terlihat bahwa makin lama waktu pemanasan maka makin banyak volume destilat yang dihasilkan. Untuk melakukan optimalisasi hasil pada destilat, maka konsentrasi input yang digunakan haruslah yang paling besar. Hal ini dikarenakan makin besar kadar ethanol, makin cepat dan makin banyak penguapan etanol dalam proses destilasi.

V.5. Analisa hubungan hubungan volume *loss* dengan konsentrasi *input* dengan variasi konsentrasi yang masuk ke dalam kolom destilasi dengan waktu efektif pemanasan 60 menit



Grafik 4.10. Grafik hubungan volume *loss* (ml) dengan konsentrasi *input*

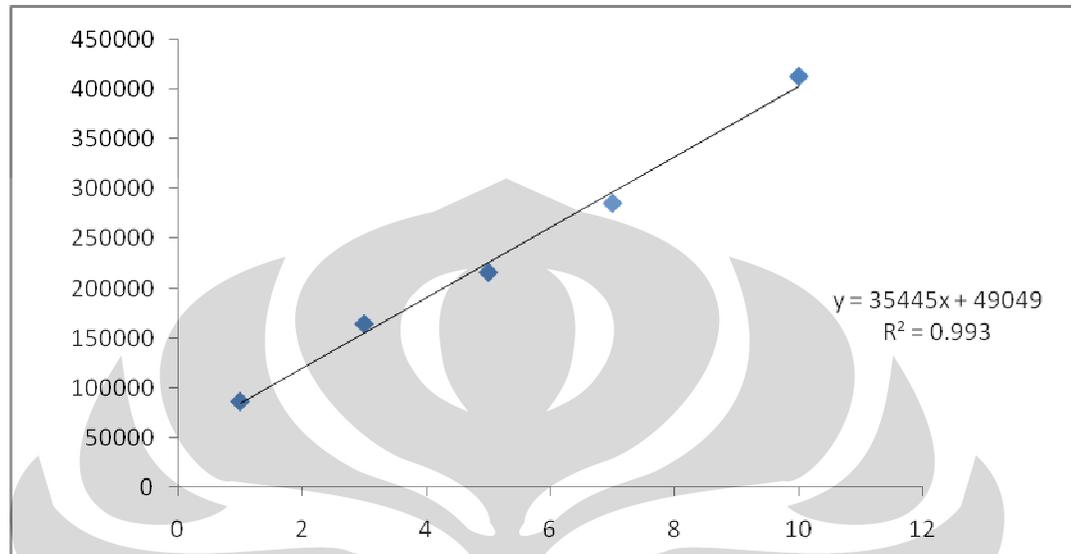
Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa makin rendah konsentrasi input maka makin tinggi pula volume volume *loss* pada destilasi. Etanol dengan volume input sebesar 500 ml memiliki nilai kehilangan etanol tertinggi pada semua variasi volume. Etanol dengan volume input sebesar 400 ml memiliki nilai lebih rendah dan kemudian volume input sebesar 300 ml. Fenomena ini dikarenakan pada konsentrasi rendah, tekanan uap pada kolom destilator lebih besar sehingga memudahkan uap untuk menguap lewat celah pada tutup kolom, sambungan pipa kondenser dan kolom destilasi dan pipa output kondenser



Grafik 4.11. Grafik hubungan presentase penyerapan kalor pada etanol dengan konsentrasi input

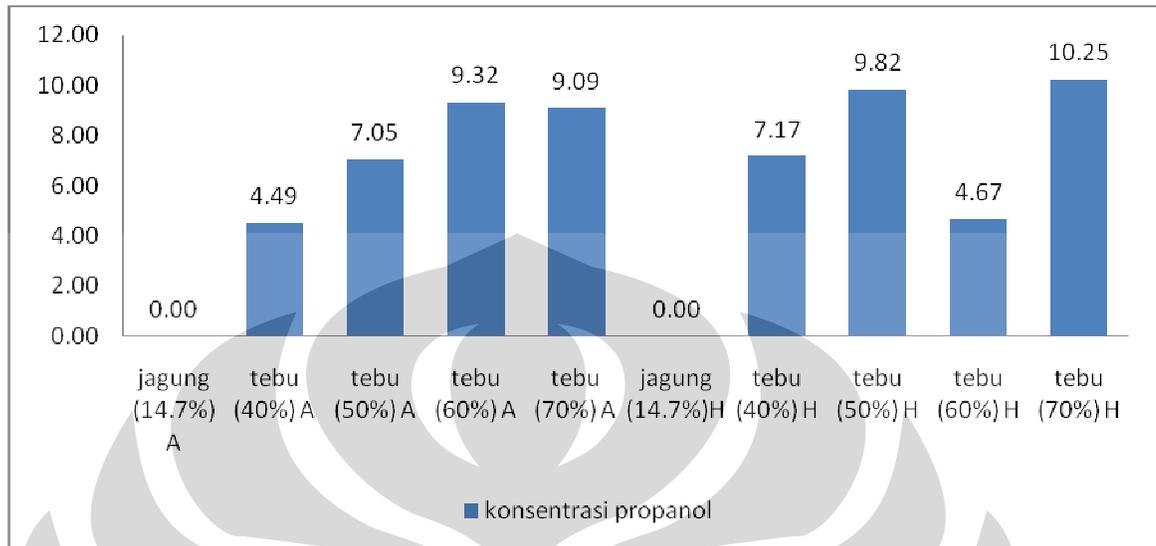
Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa makin rendah konsentrasi input maka makin rendah pula persentase penyerapan kalor pada destilasi yang nantinya berhubungan erat dengan *heat of vaporazion*. Etanol dengan volume input sebesar 300 ml memiliki nilai presentase penyerapan kalor tertinggi pada semua variasi volume. Etanol dengan volume input sebesar 400 ml memiliki nilai lebih tinggi dan kemudian volume input sebesar 500 ml. Fenomena ini dikarenakan pada konsentrasi rendah, tekanan uap pada kolom destilator lebih besar dan kapasitas panas makin mendekati kapasitas panas air

V.6. Analisa hubungan *Area of Peak* dengan konsentrasi sample kalibrator untuk mengetahui % propanol pada etanol dengan *Area of Peak* hasil sampel etanol uji.



Grafik 4.12. Grafik lisquare hubungan *Area of Peak* dengan konsentrasi kalibrator

Dari hasil identifikasi waktu retensi seluruh komponen yang terdapat dalam kromatogram sampel, kemudian kita peroleh plot masing-masing waktu retensi dengan kurva standar, maka akan diperoleh identitas masing-masing komponen didalam ethanol. Dari kromatogram sampel kita pilih yang memiliki luas dengan waktu retensi yang sama terhadap senyawa standar kemudian plot pada kurva kalibrasi, maka akan diperoleh kadar senyawa propanol tersebut didalam campuran ethanol berdasarkan pembacaan nilai luas area pada peak kromatogram. Hasil plot nya adalah grafik linier yang mana menjelaskan makin kecil konsentrasi ethanol maka makin kecil pula persentase propanol yang terdapat didalamnya.



Grafik 4.13. Grafik konsentrasi propanol pada masing – masing sample uji

Dari grafik konsentrasi propanol yang terdapat pada sample uji yang berbeda variasi dan terdapat 1 pembeda jenis etanol, maka dapat kita peroleh hasil bahwa makin kecil konsentrasi etanol maka makin kecil pula konsentrasi propanol dan pengotor yang terdapat di dalamnya. Pada grafik diatas diperoleh hasil yang kurang baik pada sample etanol tebu 60 % karena memiliki kadar sebesar 9,32 % dan itu lebih besar dibandingkan dengan etanol kadar 70 % sebesar 9.09 %. Hal tersebut tidak sesuai karena seharusnya etanol 60% memiliki konsentrasi yang lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi 70%. Mengenai jenis etanol untuk uji kualitas dari etanol itu sendiri, etanol jagung tidak memiliki persentase propanol didalamnya sehingga merupakan indicator sample uji terbaik untuk terus dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

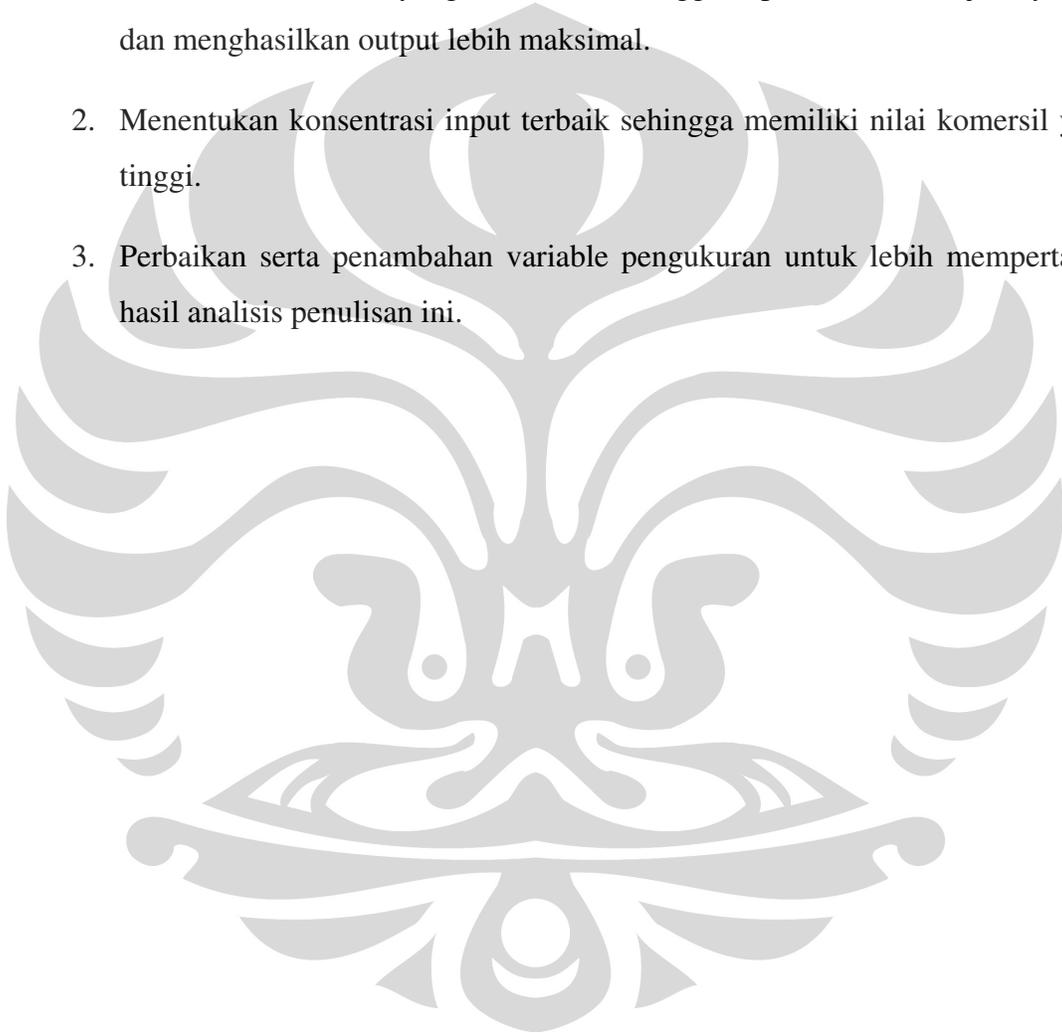
Studi mengenai penggunaan low grade bioethanol sebagai bahan bakar alternatif menggunakan *portable mini destilator* dengan cara uji karakteristik memiliki kesimpulan sebagai berikut.

1. Volume campuran ethanol-air dalam kolom destilasi memiliki korelasi negative terhadap total volume output.
2. Konsentrasi Ethanol awal terhadap total output memiliki korelasi positif.
3. Laju evaporasi bervariasi bergantung pada volume dan konsentrasi awal ethanol pada penelitian ini berkisar antara $1,38 \times 10^{-3}$ ml/s hingga $8,05 \times 10^{-3}$ ml/s.
4. Peningkatan konsentrasi *Initial to Result Ratio* terhadap konsentrasi awal memiliki korelasi negative. Namun menyiratkan kemungkinan keberadaan konsentrasi optimum di sebelah kiri 40% untuk dapat digunakan sebagai konsentrasi optimal low grade ethanol sebagai bahan bakar.
5. Loss dari *portable mini destilator* dibandingkan output sangat besar yakni berkisar antara 5,5% hingga 13,5% dari volume awal.

V.2. Saran

Penelitian ini menunjukkan adanya indikasi positif penggunaan low grade etanol sebagai bahan baker alternatif. Tentu saja dengan beberapa saran untuk penelitian lanjutan sebagai berikut:

1. Pembuatan destilator yang lebih baik sehingga dapat menekan terjadinya loss dan menghasilkan output lebih maksimal.
2. Menentukan konsentrasi input terbaik sehingga memiliki nilai komersil yang tinggi.
3. Perbaiki serta penambahan variable pengukuran untuk lebih mempertajam hasil analisis penulisan ini.



DAFTAR PUSTAKA

Arifin, Zaenal. *Perancangan Alat Destilasi Ekstrak Alkohol Sampah Buah Apel*, Skripsi Universitas Muhamadiyah. Malang, 2008 (<http://gedehace.blogspot.com/2009/03/distilasi-part-1.htm>)

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>)

Susilo, Sigit. *Rancangan dan Uji Kinerja Alat Distilasi Etanol dengan Metode Rektifikasi*. 2009 (<http://iirc.ipb.ac.id/jspui/bitstream.htm>)

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

Niemann G, Anton Budiman, Bambang Priambodo, *Elemen Mesin Jilid I*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1999

Raph J. Fessenden, Joan S. Fessenden, *Dasar-Dasar Kimia Organik*, Binarupa Aksara, Jakarta, 1997

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

www.deperindag.go.id

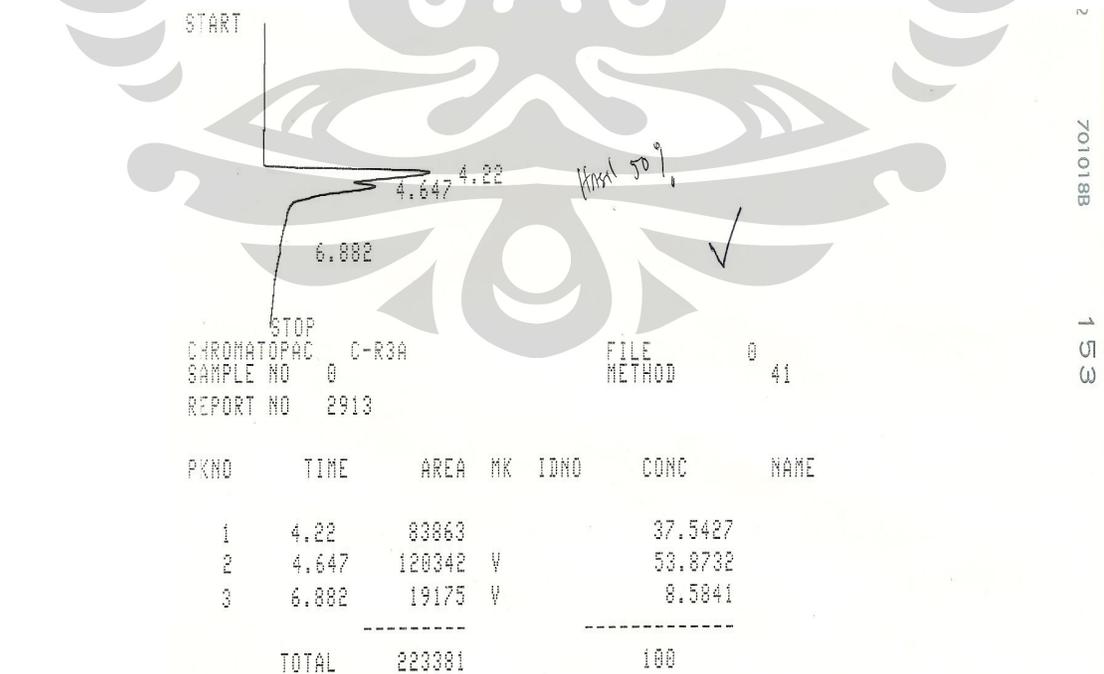
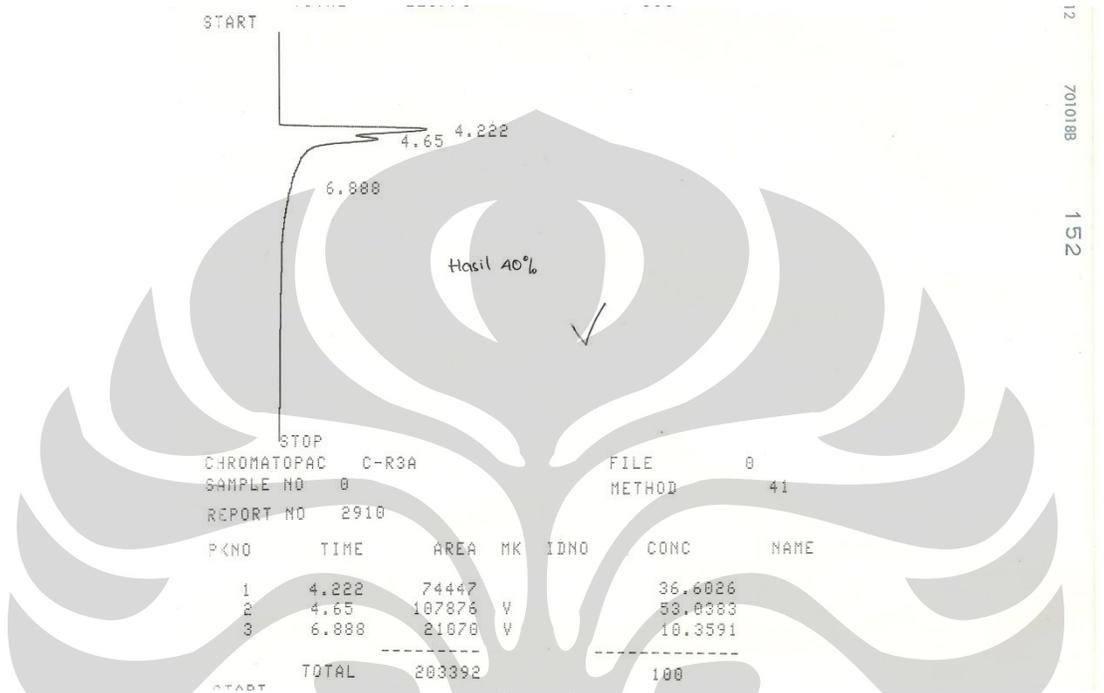
www.wikipedia.com

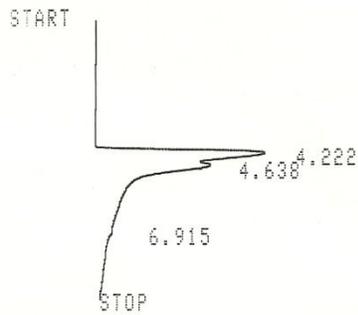
www.bppt.go.id

www.bayblab.blogspot.com

LAMPIRAN

1. Data dari Gas Chromatography. Data yang digunakan hanya pada peak retention time no. 1

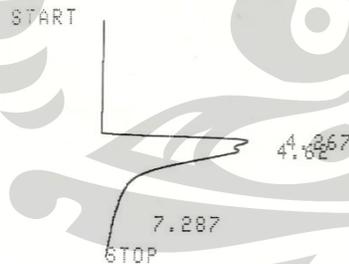




CHROMATOPAC C-R3A FILE 0
 SAMPLE NO 0 METHOD 41
 REPORT NO 2914

PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	4.222	85375			37.4987	
2	4.638	118334	V		51.9746	
3	6.915	23967	V		10.5266	
TOTAL		227676			100	

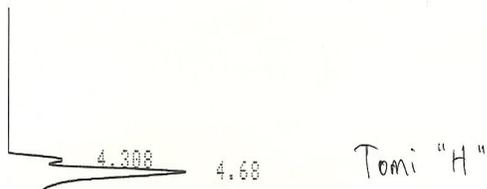
PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	4.222	85375			37.4987	
2	4.638	118334	V		51.9746	
3	6.915	23967	V		10.5266	
TOTAL		227676			100	



CHROMATOPAC C-R3A FILE 0
 SAMPLE NO 0 METHOD 41
 REPORT NO 2915

PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	4.267	65584			28.8712	
2	4.62	161576	SV		71.1288	
TOTAL		227159			100	

START



CHROMATOPAC C-R3A FILE 0
 SAMPLE NO 0 METHOD 41
 REPORT NO 2918

PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	4.308	19200			12.6992	
2	4.68	131992	V		87.3008	
TOTAL		151193			100	

START



CHROMATOPAC C-R3A FILE 0
 SAMPLE NO 0 METHOD 41
 REPORT NO 2916

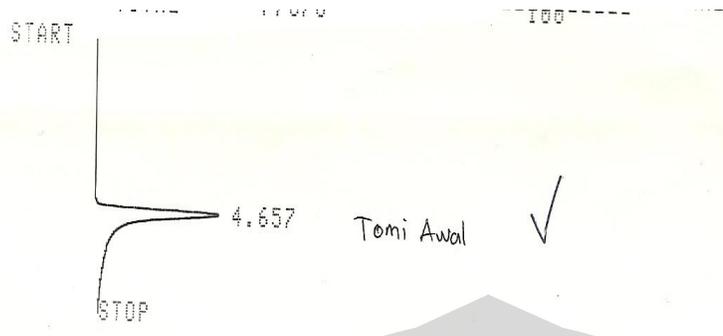
PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	4.247	80298			37.496	
2	4.64	119006	V		55.5707	
3	6.955	14848	V		6.9333	
TOTAL		214152			100	

Standard

5412

7010188

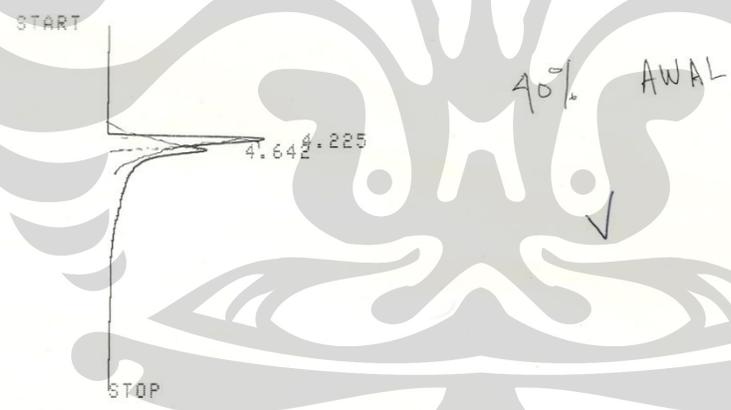
154



CHROMATOPAC C-R3A FILE 0
 SAMPLE NO 0 METHOD 41
 REPORT NO 2912

PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	4.657	67397			100	
TOTAL		67397			100	

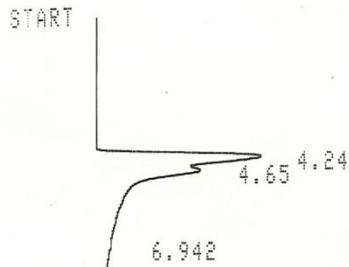
221-254



CHROMATOPAC C-R3A FILE 0
 SAMPLE NO 0 METHOD 41
 REPORT NO 2919

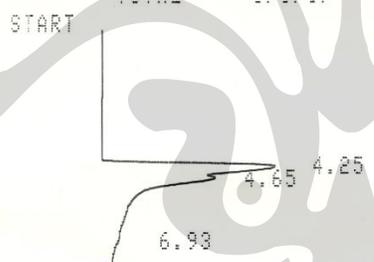
PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	4.225	64943			47.531	
2	4.642	71690	Y		52.469	
TOTAL		136633			100	

221-25412 7010188 155



STOP
 CHROMATOPAC C-R3A FILE 0
 SAMPLE NO 0 METHOD 41
 REPORT NO 2920

PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	4.24	74034			42.1348	
2	4.65	93960	V		53.4754	
3	6.942	7713	V		4.3898	
TOTAL					175797	100



STOP
 CHROMATOPAC C-R3A FILE 0
 SAMPLE NO 0 METHOD 41
 REPORT NO 2921

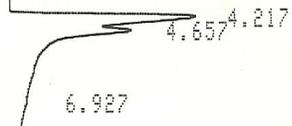
PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	4.25	82095			38.0967	
2	4.65	109510	V		50.8187	
3	6.93	23886	V		11.0846	
TOTAL					215492	100

Standard 221-25412 7010188

START

70% AWAL

156



STOP
CHROMATOPAC C-R3A FILE METHOD 0
SAMPLE NO 0 41
REPORT NO 2922

PKNO	TIME	AREA	MK	IDNO	CONC	NAME
1	4.217	81279			37.4629	
2	4.657	117905	V		54.3442	
3	6.927	17775	V		8.1929	
TOTAL		216960			100	



2. Data alkoholometer dan gelas ukur

Data volume *output* (V_o) hasil proses destilasi ethanol tiap sampel dengan variasi volume *input* ke dalam kolom destilasi sebesar 300ml, 400ml, dan 500ml dengan waktu pemanasan 60 menit.

Volume <i>input</i> 300 ml		Volume <i>input</i> 400 m		Volume <i>input</i> 500 ml	
Mi (%)	V_o (ml)	Mi (%)	V_o (ml)	Mi (%)	V_o (ml)
40	11	40	9	40	5
50	13	50	12	50	10
60	24	60	15	60	14
65	29	65	25	65	21

Perhitungan konsentrasi hasil proses destilasi ethanol tiap sampel dengan variasi volume *input* ke dalam kolom destilasi 300 ml, 400 ml, dan 500 ml dengan waktu pemanasan 60 menit.

Ethanol 40% dengan volume *input* 300 ml.

Volume *output* (V_o) = 11 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 $V_o + aquades = 2.5\%$, maka dengan *hukum roult* konsentrasi V_o yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_2 \rightarrow \frac{2.5}{100} \times 400 \text{ ml} = 10 \text{ ml}$$

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

$$M_1 = \frac{10}{11} \times 100\%$$

$$M_1 = 91\%$$

Ethanol 50% dengan volume input 300 ml

Volume output (Vo) = 13 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 Vo + *aquades* = 3%, maka dengan *hukum roult* konsentrasi Vo yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_2 \rightarrow \frac{3}{100} \times 400 \text{ ml} = 12 \text{ ml}$$

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

$$M_1 = \frac{12}{13} \times 100\%$$

$$M_1 = 92\%$$

Ethanol 60% dengan volume input 300 ml

Volume output (Vo) = 24 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 Vo + *aquades* = 5.75%, maka dengan *hukum roult* konsentrasi Vo yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_2 \rightarrow \frac{5,75}{100} \times 400 \text{ ml} = 23 \text{ ml}$$

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

$$M_1 = \frac{23}{24} \times 100\%$$

$$M_1 = 96\%$$

Ethanol 65% dengan volume input 300 ml

Volume output (V_o) = 29 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 $V_o + \text{aquades} = 7\%$, maka dengan *hukum roult* konsentrasi V_o yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_2 \rightarrow \frac{7}{100} \times 400 \text{ ml} = 28 \text{ ml}$$

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

$$M_1 = \frac{28}{29} \times 100\%$$

$$M_1 = 97\%$$

Data perbandingan konsentrasi input (M_i) dan konsentrasi output (M_o) untuk volume 300ml

Mi (%)	Mo (%)
40	91
50	92
60	96
65	97

Ethanol 40% dengan volume input 400 ml

Volume output (Vo) = 9 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 Vo + *aquades* = 2%, maka dengan *hukum roult* konsentrasi Vo yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_2 \rightarrow \frac{2}{100} \times 400 \text{ ml} = 8 \text{ ml}$$

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

$$M_1 = \frac{8}{9} \times 100\%$$

$$M_1 = 89\%$$

Ethanol 50% dengan volume input 400 ml

Volume output (Vo) = 12 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 $V_o + aquades = 4.5\%$, maka dengan *hukum roult* konsentrasi V_o yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_2 \rightarrow \frac{2.75}{100} \times 400 \text{ ml} = 11 \text{ ml}$$

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

$$M_1 = \frac{11}{12} \times 100\%$$

$$M_1 = 92\%$$

Ethanol 60% dengan volume input 400 ml

Volume *output* (V_o) = 15 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 $V_o + aquades = 3\%$, maka dengan *hukum roult* konsentrasi V_o yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_2 \rightarrow \frac{3.5}{100} \times 400 \text{ ml} = 14 \text{ ml}$$

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

$$M_1 = \frac{14}{15} \times 100\%$$

$$M_1 = 93\%$$

Ethanol 65% dengan volume input 400 ml

Volume *output* (V_o) = 25 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 $V_o + aquades = 6\%$, maka dengan *hukum rault* konsentrasi V_o yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_2 \rightarrow \frac{6}{100} \times 400 \text{ ml} = 24 \text{ ml}$$

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

$$M_1 = \frac{24}{25} \times 100\%$$

$$M_1 = 96\%$$

Data perbandingan konsentrasi input (M_i) dengan konsentrasi output (M_o) untuk volume 400ml

M_i (%)	M_o (%)
40	89
50	92
60	93
65	96

Ethanol 40% dengan volume input 500 ml

Volume *output* (V_o) = 5 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 $V_o + aquades = 1\%$, maka dengan ***hukum roult*** konsentrasi V_o yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_2 \rightarrow \frac{1}{100} \times 400 \text{ ml} = 4 \text{ ml}$$

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

$$M_1 = \frac{4}{5} \times 100\%$$

$$M_1 = 80\%$$

Ethanol 50% dengan volume input 500 ml

Volume *output* (V_o) = 10 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 $V_o + aquades = 2.25\%$, maka dengan ***hukum roult*** konsentrasi V_o yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_2 \rightarrow \frac{2.25}{100} \times 400 \text{ ml} = 9 \text{ ml}$$

$$M_1 = \frac{V_2}{V_1} \times 100\%; M_1 = \frac{9}{10} \times 100\%;$$

$$M_1 = 90\%$$

Ethanol 60% dengan volume input 500 ml

$$\text{Volume output (Vo)} = 14 \text{ ml}$$

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 Vo + *aquades* = 3.25%, maka dengan *hukum roult* konsentrasi Vo yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_2 \rightarrow \frac{3.25}{100} \times 400 \text{ ml} = 13 \text{ ml}$$

$$M_1 = \frac{V_2}{V_1} \times 100\%; M_1 = \frac{13}{14} \times 100\%$$

$$M_1 = 93\%$$

Ethanol 65% dengan volume input 500 ml

$$\text{Volume output (Vo)} = 21 \text{ ml}$$

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 Vo + *aquades* = 5%, maka dengan *hukum roult* konsentrasi Vo yang sebenarnya akan didapat dengan langkah sebagai berikut :

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_2 \rightarrow \frac{5}{100} \times 400 \text{ ml} = 20 \text{ ml}$$

$$M_1 = \frac{V_2}{V_1} \times 100\%; M_1 = \frac{20}{21} \times 100\%$$

$$M_1 = 95\%$$

Data perbandingan konsentrasi input (Mi) dengan konsentrasi output (Mo) untuk 500 ml

Mi (%)	Mo (%)
40	80
50	90
60	93
65	95

Data volume residu hasil proses destilasi

Volume input 300 ml		Volume input 300 ml		Volume input 300 ml	
Mi (%)	Rc (ml)	Mi (%)	Rc (ml)	Mi (%)	Rc (ml)
40	239.5	40	342	40	434
50	243	50	342	50	436
60	225	60	339	60	438.5
65	220	65	322	65	432.5

Keterangan :

M_i = Konsentrasi *input* (%)

R_c = Konsentrasi residu pada kolom destilasi (%)

Data konsentrasi residu pada kolom destilasi dengan metode alkoholometer dan teoritis.

$$\% \text{ residu} = \frac{V_{m1} - V_{m2}}{V_1 - V_2} \times 100\%$$

Keterangan :

- M_{2a} = konsentrasi residu dengan alkoholometer (%)
- M_{2b} = konsentrasi residu teoritis (%)
- V_{m1} = volume alkohol total pada sampel sebelum didestilasi
- V_{m2} = volume alkohol hasil hasil proses destilasi
- V_1 = volume awal sampel sebelum didestilasi
- V_2 = volume output sampel setelah didestilasi

V_i	300ml		400ml		500ml	
M_i	M_{2a}	M_{2b}	M_{2a}	M_{2b}	M_{2a}	M_{2b}
40	39	39	38	38	39	39
50	48	48	47	47	49	49
60	58	58	57	57	58	58
65	64	64	63	63	64	64

Data dan perhitungan laju penguapan ethanol yang merupakan hubungan antara volume output dengan efectiviting time proses destilasi.

Data untuk volume input 300 ml

Concentration	40%	50%	60%	65%
Ti (min)	Vo (ml)	Vo (ml)	Vo (ml)	Vo (ml)
10	0	0	0	0
20	0	0	0	0
30	0	0	1	1
40	1	1	4	5
50	2	3	7	9
60	3	5	11	13

Data untuk volume input 400 ml

Concentration	40%	50%	60%	65%
Ti (min)	Vo(ml)	Vo (ml)	Vo (ml)	Vo (ml)
10	0	0	0	0
20	0	0	0	0
30	0	1	1	1
40	0.5	2	2	3
50	1	3.5	5	7
60	2	6	7	10

Data untuk volume input 500 ml

Concentration	40%	50%	60%	65%
Ti (min)	Vo (ml)	Vo (ml)	Vo (ml)	Vo (ml)
10	0	0	0	0
20	0	0	0	0
30	0	0	0	1
40	0.5	1	1	2.5
50	1	2	2.5	6
60	1.5	5	6.5	9

Keterangan :

Ti = Efectiviting time (min)

Vo = Volume *output* (ml)

Data volume residu pada pipa condenser pada proses destilasi

Volume	300 ml	400 ml	500 ml
Mi (%)	Rp (ml)	Rp (ml)	Rp (ml)
40	6	6	3.5
50	8	8	5
60	15	10	9
65	16	14	10

Keterangan :

Mi = Konsentrasi *initial* (%)

Rp = Volume residu pada pipa condenser (ml)

Data volume yang hilang (V_{loss}) dengan *efectiviting time* 60 menit

Volume	300 m	400 ml	500 ml
Mi (%)	V_{loss} (ml)	V_{loss} (ml)	V_{loss} (ml)
40	40.5	41	56
50	31	32	44
60	25	29	32
65	22	29	27.5

Keterangan :

Mi = Konsentrasi *initial* (%)

V_{loss} = Volume destilat yang hilang(ml).

Data hubungan antara luas area pada peak Gas Chromatography dengan persentase propanol pada ethanol kalibrasi.

Konsentrasi (%)	Luas Area
1	86622
3	164543
5	216377
7	285892
10	413369

Data persentase propanol pada ethanol uji dengan metode Gas Chromatography sebagai dasar mengetahui kualitas dari ethanol berdasarkan konsentrasi dan jenis bahan baku ethanol itu sendiri.

Sample name	Concentration (%)
etanol jagung (14.7%) Awal	0.00
etanol tebu (40%) Awal	4.49
etanol tebu (50%) Awal	7.05
etanol tebu (60%) Awal	9.32
etanol tebu (70%) Awal	9.09
etanol jagung (14.7%) Hasil	0.00
etanol tebu (40%) Hasil	7.17
etanol tebu (50%) Hasil	9.82
etanol tebu (60%) Hasil	4.67
etanol tebu (70%) Hasil	10.25

3. Data dari kinerja alat berupa data acuan menghitung kalor penyerapan etanol.

Malcohol (%)	Mwater	Vawal	Vwater	Valcohol	mwater	malcohol	Residu	Vo	Mo
40%	60%	400	240	160	0.24	0.1256	342	9	89%
50%	50%	400	200	200	0.2	0.157	342	12	92%
60%	40%	400	160	240	0.16	0.1884	339	15	93%
65%	35%	400	140	260	0.14	0.2041	322	25	96%
40%	60%	500	300	200	0.3	0.157	434	11	80%
50%	50%	500	250	250	0.25	0.19625	436	13	90%
60%	40%	500	200	300	0.2	0.2355	438.5	24	93%
65%	35%	500	175	325	0.175	0.255125	432.5	29	95%
40%	60%	300	180	120	0.18	0.0942	239.5	11	91%
50%	50%	300	150	150	0.15	0.11775	243	13	92%
60%	40%	300	120	180	0.12	0.1413	225	24	96%
65%	35%	300	105	195	0.105	0.153075	220	29	97%

Vwaterout	Valkohout	Qwh	Qwaterevap	Qalkoheat	Qalkoevap	Qtot	Qwatot	Qaltot
0.99	8.01	55.4	2.2473	15.1976	5.3761118	78.26101	57.6873	20.57371
0.96	11.04	46.2	2.1792	18.997	7.409772	74.78597	48.3792	26.40677
1.05	13.95	37	2.3835	22.7964	9.3628913	71.50279	39.3435	32.15929
1	24	32.3	2.27	24.6961	16.1082	75.4143	34.61	40.8043
2.2	8.8	69.3	4.994	18.997	5.90634	99.19734	74.294	24.90334
1.3	11.7	57.8	2.951	23.74625	7.8527475	92.3	60.701	31.599
1.68	22.32	46.2	3.8136	28.4955	14.980626	93.48973	50.0136	43.47613
1.45	27.55	40.4	3.2915	30.870125	18.490871	93.0775	43.7165	49.361
0.99	10.01	41.6	2.2473	11.3982	6.7184618	61.94396	43.8273	18.11666
1.04	11.96	34.7	2.3608	14.24775	8.027253	59.2858	37.0108	22.275
0.96	23.04	27.7	2.1792	17.0973	15.463872	62.46037	29.8992	32.56117
0.87	28.13	24.3	1.9749	18.522075	18.880153	63.63213	26.2299	37.40223