



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS EFISIENSI TERMAL PROSES DISTILASI *LOW*
GRADE BIOETHANOL MENGGUNAKAN *PORTABLE MINI*
*DISTILLATOR***

SKRIPSI

**MUHAMMAD IQBAL
0606073373**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS EFISIENSI TERMAL PROSES DISTILASI *LOW*
GRADE BIOETHANOL MENGGUNAKAN *PORTABLE MINI*
*DISTILLATOR***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

MUHAMMAD IQBAL

0606073373

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

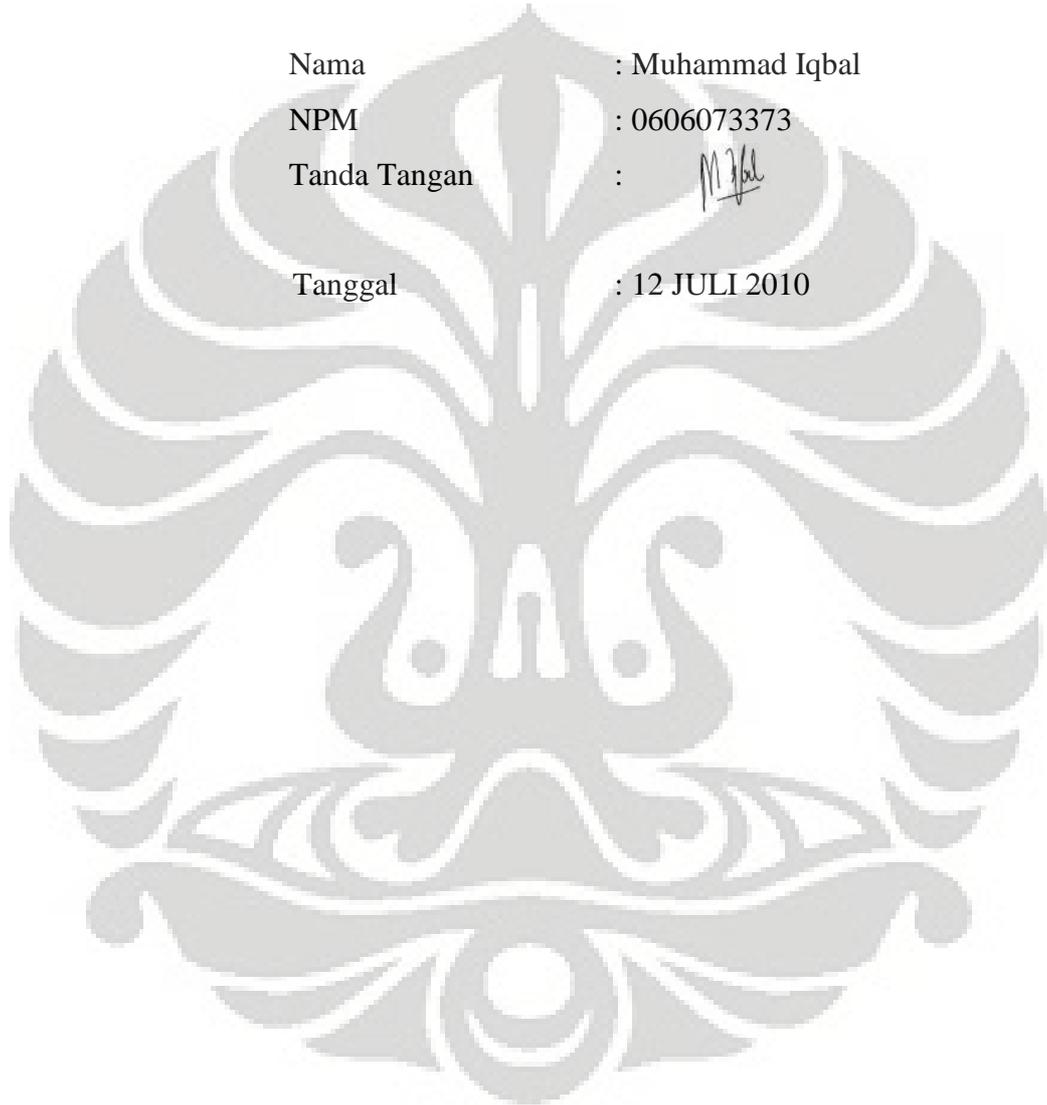
Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muhammad Iqbal

NPM : 0606073373

Tanda Tangan : 

Tanggal : 12 JULI 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhammad Iqbal
NPM : 0606073373
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis Efisiensi Termal Proses Distilasi *Low Grade Bioethanol* Menggunakan *Portable Mini Distillator*.

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 : Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D.
Penguji : Dr. Ir. Danardono A. S. DEA.
Penguji : Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M.Eng.



Ditetapkan di : Depok

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan 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 FMIPA UI** 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. **Bapak Nurhuda sebagai dosen fisika UNIBRAW** yang telah memberikan ide cemerlangnya dalam proyek penelitian bersama antar universitas ini.
7. **Farika Zumaria Ulfa beserta keluarga** yang begitu ramah dan telah mendukung saya dengan luar biasa;
8. **Bang Zufar** yang telah meluangkan waktu berharganya untuk membimbing saya dalam mengolah data-data yang telah dikumpulkan;
9. **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, 25 juni 2010

Muhammad Iqbal



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

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

Nama : Muhammad Iqbal
NPM : 0606073373
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 :

**Analisis Efisiensi Termal Proses Distilasi *Low Grade Bioethanol*
Menggunakan *Portable Mini Distillator*.**

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 : 25 Juni 2010
Yang menyatakan



(Muhammad Iqbal)

ABSTRAK

Nama : Muhammad Iqbal
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Analisis Efisiensi Termal Proses Distilasi *Low Grade Bioethanol* Menggunakan *Portable Mini Distillator*.

Telah dilakukan penelitian mengenai analisis efisiensi termal pada proses distilasi *low grade* bioetanol pada bulan Maret hingga Juni 2010. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui jumlah kalor yang diterima oleh bioethanol, sehingga dapat diketahui efisiensinya. Hal tersebut penting sebagai pertimbangan untuk penelitian lebih lanjut mengenai pengintegrasian *portable mini distillator* pada mesin statis dan dinamis. Untuk mengetahui jumlah kalor yang diserap oleh bioetanol serta efisiensi termal *portable mini distillator*, maka dilakukan pengujian berdasarkan variasi konsentrasi (40%, 50%, 60%, dan 65%) dan variasi volume (300 ml, 400 ml, dan 500 ml) bioetanol. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa efisiensi termal berkorelasi negatif terhadap konsentrasi sampel, namun berkorelasi positif terhadap volume sampel. Sementara itu, efisiensi termal menunjukkan rentang 13% hingga 22%, tergantung dari komposisi variabel dan konsentrasi bioetanol.

Kata kunci : *Portable Mini Distillator*, bioetanol *low grade*, persentase kalor, efisiensi termal, distilasi

ABSTRACT

Name : Muhammad Iqbal
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Analysis Of Thermal Efficiency in Low Grade Bioethanol
Distillation Process using Portable Mini Distillator.

Research emphasized on the analysis of thermal efficiency in low grade bioethanol distillation process had conducted on March until June 2010. This research aims to observe the amount of heat reserved by bioethanol, therefore it will show the thermal efficiency. It is important as consideration in advanced research concerned in how to integrate the portable mini distillator (PMD) on static and dynamic engine. In order to know the amount of heat reserved by bioethanol and the thermal efficiency of PMD, we have to do some test based on variations in concentration (40%, 50%, 60%, 65%) and volume (300 ml, 400 ml, 500 ml) of bioethanol. The result indicates that the thermal efficiency has a negative correlation with bioethanol concentration, but has a positive correlation of sample volume. meanwhile the thermal efficiency indicates in range from 13% to 22% that depends on variable composition and bioethanol concentration.

Key words : Portable mini distillator, bioethanol low grade, heat, thermal efficiency, distillation.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR GRAFIK.....	xvi
1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	4
1.3 Pembatasan Masalah.....	4
1.4 Metodologi Penelitian.....	5
1.5 Sistematika Penelitian.....	5
2 DASAR TEORI.....	7
2.1 Pengertian Bioethanol.....	7
2.1.1 Pembuatan etanol secara fermentasi.....	8
2.1.2 Bioethanol sebagai bahan bakar.....	11
2.1.3 Penggunaan bioethanol pada mesin pembakaran dalam.....	11
2.1.4 Pengaruh terhadap lingkungan.....	14
2.1.5 Mengukur konsentrasi bioethanol dengan <i>alcoholometer</i>	15
2.2 Pengertian azeotrop.....	17
2.3 Pengertian distilasi.....	19
2.3.1 Teori dasar distilasi.....	20
2.3.2 Proses distilasi.....	21
2.4 Efisiensi termal.....	23
3 METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1 Proses Perancangan <i>Portable Mini Distillator</i>	24
3.1.1 Perancangan Kolom Distilasi.....	24
3.1.2 Perancangan Pipa Kondenser.....	25
3.1.3 Perancangan Kotak Kondenser.....	26
3.1.4 Perakitan <i>Portable Mini Distillator</i>	26
3.2 Alat Uji.....	27
3.3 Persiapan Pengujian.....	27
3.4 Prosedur Pengambilan Data.....	27
3.4.1 Prosedur Pengukuran Waktu Aktual Proses Distilasi.....	28
3.4.2 Prosedur Pengukuran Volume Output Proses Distilasi.....	29
3.4.3 Prosedur Pengukuran Peningkatan Suhu Proses Distilasi.....	30
3.4.4 Prosedur Pengukuran Penurunan Suhu Proses Distilasi.....	30
3.4.5 Prosedur Perhitungan Volume Residu.....	31
3.4.6 Prosedur Perhitungan Konsentrasi.....	32

3.4.7	Prosedur Perhitungan Konsentrasi Residu.....	33
3.4.7	Prosedur Perhitungan Efisiensi Termal.....	34
4.	PENGOLAHAN DAN PERHITUNGAN DATA.....	35
4.1	Data Awal.....	35
4.1.1	Propertis Sampel	35
4.1.2	Data Sebelum dan Sesudah Proses Distilasi (Dengan Melibatkan Volume Residu).....	35
4.1.3	Data Sebelum dan Sesudah Proses Distilasi (Tanpa Volume Residu).....	37
4.2	Pengolahan Data-Data Dengan Perhitungan Melibatkan Data Volume residu.....	40
4.2.1	Data Efisiensi Rata-Rata Berdasarkan Variasi Konsentrasi...	40
4.2.2	Data Efisiensi Rata-Rata (η_a) Berdasarkan Variasi Volume...	40
4.2.3	Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Air (Q_{wha}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi	41
4.2.4	Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Air (Q_{wha}) Berdasarkan Variasi Volume.....	41
4.2.5	Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Air (Q_{wea}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	42
4.2.6	Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Air (Q_{wea}) Berdasarkan Variasi Volume.....	43
4.2.7	Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk memanaskan Alkohol (Q_{aha}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	43
4.2.8	Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk memanaskan Alkohol (Q_{aea}) Berdasarkan Variasi Volume.....	44
4.2.9	Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk menguapkan Alkohol (Q_{aea}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	44
4.2.10	Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk menguapkan Alkohol (Q_{aea}) Berdasarkan Variasi Volume.....	45
4.2.11	Data Q_{wta} dan Q_{ata} Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	46
4.2.12	Data Q_{wta} dan Q_{ata} Berdasarkan Variasi Volume.....	46
4.2.13	Data Kalor Total Rata-Rata (Q_{ta}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	47
4.2.14	Data Kalor Total Rata-Rata (Q_{ta}) Berdasarkan Variasi Volume.....	48
4.2.15	Data Persentase Penyerapan Kalor pada Air (Q_{rw}) dan pada Alkohol (Q_{ra}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi dengan Volume 300 ml.....	48
4.2.16	Data Persentase Penyerapan Kalor pada Air (Q_{rw}) dan pada Alkohol (Q_{ra}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dengan Volume 400 ml.....	49
4.2.17	Data Persentase Penyerapan Kalor pada Air (H_{rwater}) dan pada Alkohol ($H_{ralcohol}$) Berdasarkan Variasi Konsentrasi dengan Volume 500 ml	50
4.3	Pengolahan Data-Data Dengan Perhitungan Tanpa Melibatkan Data	

Volume residu.....	50
4.3.1 Data Efisiensi Rata-Rata Berdasarkan Variasi Konsentrasi....	50
4.3.2 Data Efisiensi Termal Berdasarkan Variasi Volume.....	51
4.3.3 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Air (Q_{wha}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi	51
4.3.4 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Air (Q_{wha}) Berdasarkan Variasi Volume.....	52
4.3.5 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Air (Q_{wea}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	52
4.3.6 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Air (Q_{wea}) Berdasarkan Variasi Volume.....	53
4.3.7 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Alkohol (Q_{aha}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	54
4.3.8 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Alkohol (Q_{aha}) Berdasarkan Variasi Volume.....	54
4.3.9 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Alkohol (Q_{aea}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	55
4.3.10 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Alkohol (Q_{aea}) Berdasarkan Variasi Volume.....	55
4.3.11 Data Q_{wta} dan Q_{ata} Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	56
4.3.12 Data Q_{wta} Dan Q_{ata} Berdasarkan Variasi Volume.....	56
4.3.13 Data Kalor Total Rata-Rata (Q_{ta}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	57
4.3.14 Data Kalor Total Rata-Rata (Q_{ta}) Berdasarkan Variasi Volume	57
4.3.15 Data Persentase Penyerapan Kalor pada Air (Q_{rw}) dan pada Alkohol (Q_{ra}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dengan Volume 300 ml.....	58
4.3.16 Data Persentase Penyerapan Kalor pada Air (Q_{rw}) dan pada Alkohol (Q_{ra}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi dengan Volume 400 ml.....	58
4.3.17 Data Persentase Penyerapan Kalor pada Air (Q_{rw}) dan pada Alkohol (Q_{ra}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi dengan Volume 500 ml.....	59
5. ANALISA DANPEMBAHASAN.....	60
5.1 Analisis Data Yang Melibatkan Perhitungan Volume Residu.....	60
5.1.1 Analisis Efisiensi Termal Rata-Rata	60
5.1.2 Analisis Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Air (Q_{wha}).....	62
5.1.3 Analisis Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Air (Q_{wea}).....	63
5.1.4 Analisis Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Alkohol (Q_{aha}).....	65
5.1.5 Analisis Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Alkohol (Q_{aea}).....	66
5.1.6 Analisis Kalor Total yang diserap Oleh Air (Q_{wta}) dan Kalor Total yang diserap oleh Alkohol (Q_{ata})	68

5.1.7 Analisis Kalor Total Rata-Rata yang Diserap Sampel (Q_{ta}).....	69
5.1.8 Analisis Persentase Penyerapan Kalor pada Air ($\%Q_{rw}$) dan pada Alkohol ($\%Q_{ra}$).....	71
5.2 Analisis Data tanpa Melibatkan Perhitungan Volume Residu.....	73
5.2.1 Analisis Efisiensi Termal Rata-Rata.....	73
5.2.2 Analisis Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Air (Q_{wha}).....	74
5.2.3 Analisis Kalor Rata-Rata yang diperlukan Untuk Menguapkan Air (Q_{wea}).....	76
5.2.4 Analisis Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Alkohol (Q_{aha}).....	77
5.2.5 Analisis Kalor Rata-Rata Yang Diperlukan Untuk Menguapkan Alkohol (Q_{aea}).....	79
5.2.6 Analisis Kalor Total yang dibutuhkan Air (Q_{wta}) dan Kalor Total yang dibutuhkan Alkohol (Q_{ata}) dalam Proses Distilasi....	80
5.2.7 Analisis Kalor Total Rata-Rata yang Diserap Sampel.....	82
5.2.8 Analisis Persentase Penyerapan Kalor pada Air ($\%Q_{rw}$) dan pada Alkohol ($\%Q_{ra}$).....	83
6. KESIMPULAN DAN SARAN.....	86
6.1 Kesimpulan.....	86
6.2 Saran.....	86
DAFTAR REFERENSI.....	87

DAFTAR TABEL

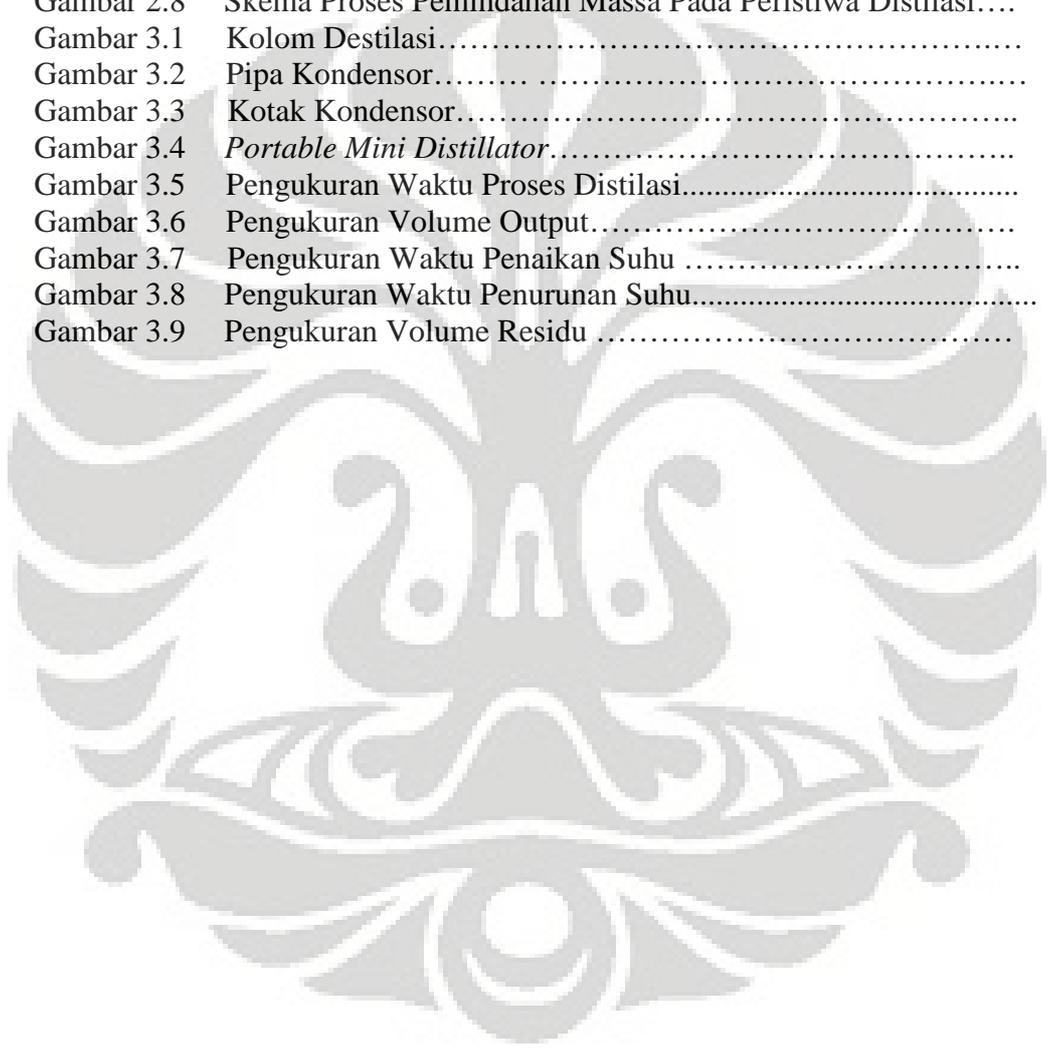
Tabel 2.1	Konversi Biomassa Menjadi Bioetanol.....	35
Tabel 4.1	Propertis Sampel.....	36
Tabel 4.2	Data Sebelum Dan Sesudah Proses Distilasi Sampel (Dengan Volume Residu).....	36
Tabel 4.3	Data Sebelum Dan Sesudah Proses Distilasi Sampel (Tanpa Volume Residu).....	37
Tabel 4.4	Data Perhitungan Dengan Melibatkan Volume Residu.....	38
Tabel 4.5	Data Perhitungan Tanpa Melibatkan Volume Residu.....	39
Tabel 4.6	Data Efisiensi Rata-Rata (η_a) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	40
Tabel 4.7	Data Efisiensi Rata-Rata (η_a) Berdasarkan Variasi Volume	41
Tabel 4.8	Data Qwha Berdasarkan Variasi Volume.....	41
Tabel 4.9	Data Qwha Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	42
Tabel 4.10	Data Qwea Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	43
Tabel 4.11	Data Qwea Berdasarkan Variasi Volume.....	43
Tabel 4.12	Data Qaha Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	44
Tabel 4.13	Data Qaea Berdasarkan Variasi Volume.....	44
Tabel 4.14	Data Qaea Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	45
Tabel 4.15	Data Qaea Berdasarkan Variasi Volume.....	46
Tabel 4.16	Data Qwta Dan Qata Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	46
Tabel 4.17	Data Qwta Dan Qata Berdasarkan Variasi Volume.....	47
Tabel 4.18	Data Qta Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	47
Tabel 4.19	Data Qta Berdasarkan Variasi Volume.....	48
Tabel 4.20	Data Qrw (%) dan Qra (%) Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dengan Volume 300 ml.....	49
Tabel 4.21	Data Qrw (%) dan Qra (%) Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dengan Volume 400 ml.....	49
Tabel 4.22	Data Qrw (%) dan Qra (%) Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dengan Volume 500 ml.....	50
Tabel 4.23	Data Efisiensi Rata-Rata Berdasarkan Variasi Konsentrasi....	51
Tabel 4.24	Data Efisiensi Rata-Rata Berdasarkan Variasi Volume.....	51
Tabel 4.25	Data Qwha Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	52
Tabel 4.26	Data Qwha Berdasarkan Variasi Volume.....	52
Tabel 4.27	Data Qwea Berdasarkan Variasi konsentrasi.....	53
Tabel 4.28	Data Qwea Berdasarkan Variasi Volume Sampel.....	53
Tabel 4.29	Data Qaha Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	54
Tabel 4.30	Data Qaha Berdasarkan Variasi Volume.....	54
Tabel 4.31	Data Qaea Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	55
Tabel 3.32	Data Qaea Berdasarkan Variasi Volume.....	56
Tabel 3.33	Data Qwta Dan Qata Berdasarkan Variasi Volume.....	56
Tabel 3.34	Data Qwta Dan Qata Berdasarkan Variasi Volume.....	57
Tabel 3.35	Data Qta Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	57
Tabel 3.36	Data Qta Berdasarkan Variasi Volume.....	58
Tabel 3.37	Data Qrw dan Qra Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dengan Volume Sampel 300 ml.....	58

Tabel 3.38	Data Qrw dan Qra Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dengan Volume Sampel 400 ml.....	59
Tabel 3.39	Data Qrw dan Qra Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dengan Volume Sampel 500 ml.....	59



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Alir Fermentasi Ethanol Dari Berbagai Bahan Baku	10
Gambar 2.2	Skala Pada <i>Alcoholometer</i>	16
Gambar 2.3	Pengukuran Kadar Alkohol	16
Gambar 2.4	<i>Constant Boiling Mixture</i>	17
Gambar 2.5	Diagram Kesetimbangan Sistem Etanol-Air.....	18
Gambar 2.6	Diagram Titik Didih Etanol-Air.....	19
Gambar 2.7	Gambaran Dan Penjelasan Mengenai Fraksi Massa dan Cair...	22
Gambar 2.8	Skema Proses Pemindahan Massa Pada Peristiwa Distilasi....	22
Gambar 3.1	Kolom Destilasi.....	24
Gambar 3.2	Pipa Kondensor.....	25
Gambar 3.3	Kotak Kondensor.....	26
Gambar 3.4	<i>Portable Mini Distillator</i>	26
Gambar 3.5	Pengukuran Waktu Proses Distilasi.....	29
Gambar 3.6	Pengukuran Volume Output.....	29
Gambar 3.7	Pengukuran Waktu Peningkatan Suhu	30
Gambar 3.8	Pengukuran Waktu Penurunan Suhu.....	31
Gambar 3.9	Pengukuran Volume Residu	32



DAFTAR GRAFIK

Grafik 5.1	Grafik Perbandingan Efisiensi Rata-Rata (η_a) Berdasarkan Variasi Sampel.....	60
Grafik 5.2	Grafik Perbandingan Efisiensi Rata-Rata (η_a) Berdasarkan Variasi Volume.....	61
Grafik 5.3	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata untuk Memanaskan Air (Q_{wha}) di dalam Sampel Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	62
Grafik 5.4	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata untuk Memanaskan Air (Q_{wha}) di dalam Sampel Berdasarkan Variasi Volume.....	62
Grafik 5.5	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang dibutuhkan untuk Menguapkan Air (Q_{wea}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	63
Grafik 5.6	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang dibutuhkan untuk Menguapkan Air (Q_{wea}) Berdasarkan Variasi Volume.....	64
Grafik 5.7	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang Dibutuhkan Untuk Memanaskan Alkohol (Q_{aha}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	65
Grafik 5.8	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang dibutuhkan untuk Memanaskan Alkohol (Q_{aha}) Berdasarkan Variasi Volume.....	65
Grafik 5.9	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Alkohol (Q_{aea}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	66
Grafik 5.10	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang Diperlukan Untuk Menguapkan Alkohol (Q_{aea}) Berdasarkan Variasi Volume.....	67
Grafik 5.11	Grafik Perbandingan Q_{wta} & Q_{ata} Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	68
Grafik 5.12	Grafik Perbandingan Q_{wta} & Q_{ata} Berdasarkan Variasi Volume.....	68
Grafik 5.13	Grafik Perbandingan Kalor Total Rata-Rata (Q_{ta}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	69
Grafik 5.14	Grafik Perbandingan Kalor Total Rata-Rata (Q_{ta}) Berdasarkan Variasi Volume.....	70
Grafik 5.15	Grafik Perbandingan % Q_{rw} dan % Q_{ra} tiap Konsentrasi Sample pada Volume 300ml.....	71
Grafik 5.16	Grafik Perbandingan % Q_{rw} dan % Q_{ra} tiap Konsentrasi Sample pada Volume 400ml.....	71
Grafik 5.17	Grafik Perbandingan % Q_{rw} dan % Q_{ra} tiap Konsentrasi Sample Pada Volume 500ml.....	72
Grafik 5.18	Grafik Perbandingan Efisiensi Rata-Rata (η_a) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	73
Grafik 5.19	Grafik Perbandingan Efisiensi Rata-Rata (η_a) Berdasarkan Variasi Volume.....	73
Grafik 5.20	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata untuk Memanaskan Air (Q_{wha}) Di Dalam sampel Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	74

Grafik 5.21	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata Untuk Memanaskan Air (Q _{wha}) Di Dalam Sampel Berdasarkan Variasi Volume.....	75
Grafik 5.22	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang dibutuhkan untuk Menguapkan Air (Q _{wea}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	76
Grafik 5.23	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang dibutuhkan untuk Menguapkan Air (Q _{wea}) Berdasarkan Variasi Volume.....	76
Grafik 5.24	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang dibutuhkan untuk Memanaskan Alkohol (Q _{aha}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi	77
Grafik 5.25	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang dibutuhkan untuk Memanaskan Alkohol (Q _{aha}) Berdasarkan Variasi Volume.....	78
Grafik 5.26	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Alkohol (Q _{aea}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	79
Grafik 5.27	Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata Yang Diperlukan Untuk Menguapkan Alkohol (Q _{aea}) Berdasarkan Variasi Volume.....	79
Grafik 5.28	Grafik Perbandingan Q _{wta} & Q _a Berdasarkan Variasi Konsentrasi.....	80
Grafik 5.29	Grafik Perbandingan Q _{wta} & Q _a Berdasarkan Variasi Volume.....	81
Grafik 5.30	Grafik perbandingan kalor total rata-rata (Q _{ta}) berdasarkan variasi konsentrasi.....	82
Grafik 5.31	Grafik Perbandingan Kalor Total Rata-Rata (Q _{ta}) Berdasarkan Variasi Volume.....	82
Grafik 5.32	Grafik Perbandingan %Q _{rw} Dan %Q _{ra} Tiap Konsentrasi Sample Pada Volume 300ml.....	83
Grafik 5.33	Grafik Perbandingan %Q _{rw} Dan %Q _{ra} Tiap Konsentrasi Sample Pada. Volume 400ml.....	84
Grafik 5.34	Grafik Perbandingan %Q _{rw} Dan %Q _{ra} Tiap Konsentrasi Sample Pada Volume 500ml.....	84

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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

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

Keuntungan kedua, biofuel adalah energi hijau yang tidak mencemari lingkungan. Berbagai penelitian menunjukkan terjadinya reduksi emisi dari gas buang hasil pembakaran mesin. Biodiesel B10 mampu menurunkan emisi CO₂

diudara hingga 15% . Penggunaan bioethanol dalam bentuk gasohol E15 mampu mereduksi secara signifikan emisi gas buang, terutama CO dan NOX serta senyawa-senyawa polutan yang lain. Disisi lain, biofuel adalah bahan bakar yang diperoleh dari recycle 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.

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

Pengalihan penggunaan bahan pangan sebagai bahan baku alkohol, sehingga berpotensi menimbulkan krisis pangan. Bahan baku utama alkohol saat ini adalah tepung kanji dan gula yang sebenarnya adalah bahan pangan.

Proses produksi alkohol mengonsumsi energi tinggi, sebanding dengan kandungan energi output yang dihasilkan. Berdasarkan kajian literatur, untuk memproduksi 1 unit energi yang terkandung pada alkohol murni berkadar 99.5% atau lebih, diperlukan energi sebesar 0.5-1.5 unit yang variasinya tergantung dari

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

Sifat alkohol yang sangat higroskopik, menjadikan alkohol sulit dialirkan dengan menggunakan pipa. Transportasi alkohol dari pabrik yang memproduksi ke pengguna selalu menggunakan angkutan khusus. Demikian juga media penyimpanannya. Terkait karakter alkohol yang sangat higroskopik tersebut, kadar tertinggi yang dapat diperoleh dari penyulingan (destilasi) hanyalah 95%. Untuk menjadi alkohol dengan kadar 100%, diperlukan teknik khusus yang memerlukan biaya tinggi. Karenanya, alkohol dengan kemurnian 100% hanya diproduksi di pabrik-pabrik besar, sedang alkohol dengan kemurnian di bawah 95% umumnya dapat diproduksi di *home industry* atau usaha mikro kecil menengah (UMKM).

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

Problem kedua dan ketiga sulit diatasi mengingat karakter alkohol yang sangat higroskopik (menyerap air). Jika alkohol berkadar 100% ditempatkan di udara, maka alkohol tersebut akan menyerap uap air sehingga menurunkan kemurniannya. Karenanya, penggunaan E100 atau gasohol mensyaratkan tangki bahan bakar yang kedap udara. Kebocoran tangki yang sedikit akan mampu menyerap molekul air di udara yang pada gilirannya menjadikan gumpalan air mengendap di bagian bawah tangki. Hal ini menjadikan tangki berkarat dan

mesin terganggu kinerjanya bila air tersebut terserap ke dalam mesin. Disamping itu, pada proses dehidrasi alkohol berkadar 95% menjadi 99.5% terjadi kehilangan alkohol sebanyak 10 – 30%, tergantung pada jenis adsorber yang digunakan. Biaya pemurnian menjadi berlipat-lipat mengingat material adsorber umumnya mahal.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan sebagai studi awal penggunaan *Low Grade Bioethanol* sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan tetapi mempunyai sisi negatif dari sisi produksinya karena mengkonsumsi sangat banyak energi untuk proses produksi terutama pemurniannya (destilasi dan dehidrasi) menjadi *Full Grade Bioethanol*. Hal ini terkait dengan sifat bioethanol yang sangat menyerap air. Dalam penelitian ini dilakukan proses distilasi bioethanol (yang berkadar 40%-65%) dengan alat *Portable Mini Distillator*. Sukses atau tidaknya alat tersebut salah satunya tergantung dari efisiensi termal yang dihasilkan selama proses distilasi sampel berlangsung. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih jauh tentang apakah terdapat pengaruh pada efisiensi termal apabila besarnya volume sampel dan tingginya konsentrasi sampel diubah-ubah,. Hal ini berguna untuk mengetahui jumlah kalor yang diterima serta efisiensi termal *portable mini distillator* sehingga memudahkan penelitian lebih lanjut yang lebih mengarah kepada pengintegrasian alat tersebut pada mesin statis dan dinamis.

1.3 Pembatasan Masalah

1. Daya heater yang dipakai adalah 200 watt.
2. Proses distilasi hanya menggunakan bioethanol berkadar rendah dengan konsentrasi 40%, 50%, 60%, dan 65%.
3. Proses distilasi hanya menggunakan 3 variasi volume sample, yaitu 300 ml, 400 ml, dan 500 ml.
4. *Portable mini distillator* tidak memiliki thermocontrol otomatis sehingga penyambungan dan pemutusan sumber listrik dilakukan manual.

5. Penelitian hanya difokuskan kepada pengaruh perubahan volume sampel dan perubahan konsentrasi sampel terhadap jumlah penerimaan kalor dan efisiensi termal pada *portable mini distillator*.
6. Penelitian tidak difokuskan pada detail perancangan *portable mini distillator*, melainkan hanya pada pengaruh perubahan beberapa variabel terhadap efisiensi termal.

1.4 Metodologi Penelitian

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

1. Memilih subjek penelitian.
2. Melakukan studi literatur.
3. Melakukan instalasi alat uji.
4. Melakukan eksperimen pengujian performa alat destilator dengan konsentrasi ethanol 40%, 50%, 60%, 65%.
5. Melakukan pengukuran konsentrasi alkohol dengan alkoholometer
6. Melakukan eksperimen untuk mengetahui kalor yang diserap sistem dengan variasi volume sampel dan variasi konsentrasi sampel, Mengumpulkan dan mengolah data-data yang diperoleh dalam bentuk grafik dan menganalisanya.
7. 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 teori-teori penunjang yang terkait dengan topik penelitian.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB IV : PENGOLAHAN DAN PERHITUNGAN DATA

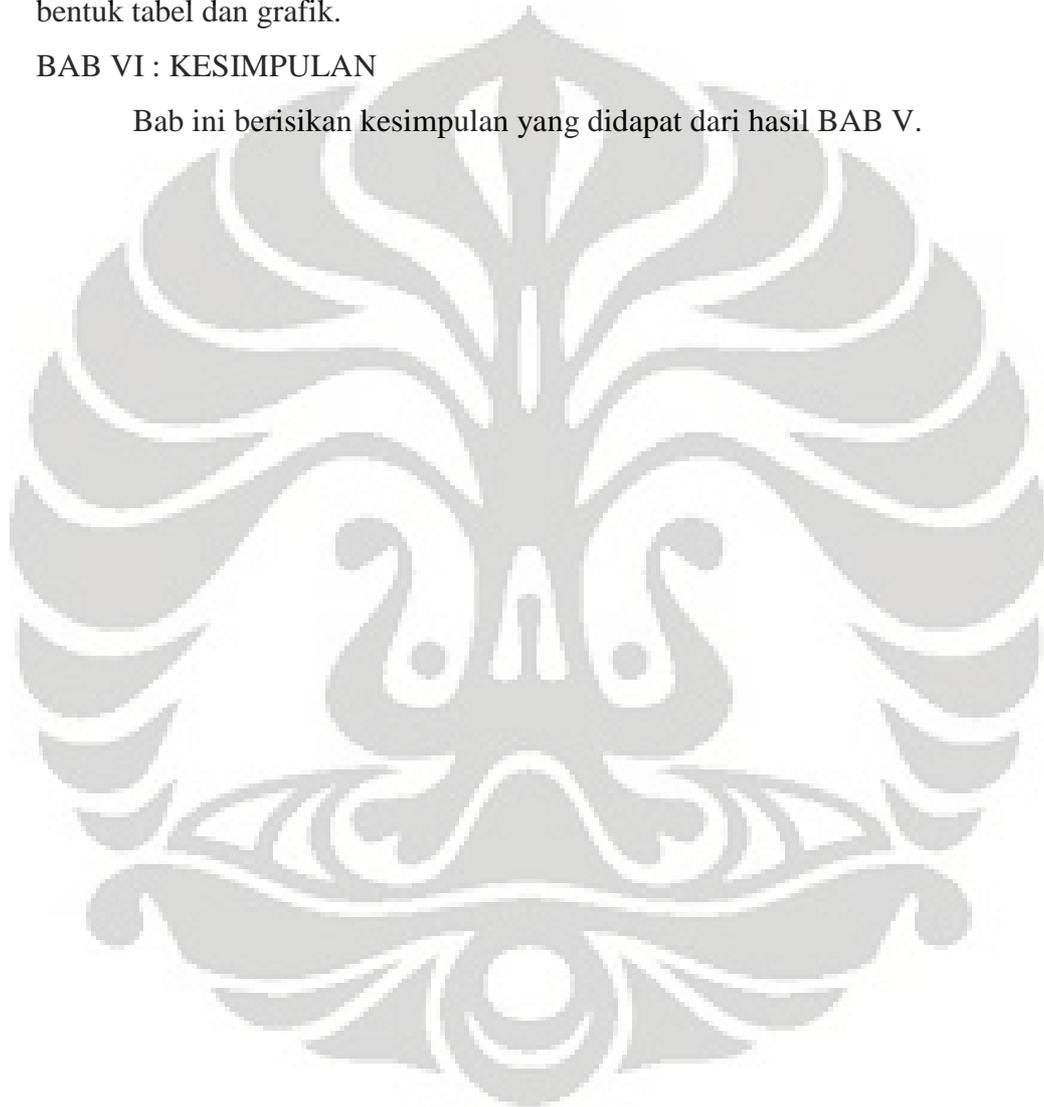
Pada bab ini dijelaskan mengenai data hasil dari percobaan, perhitungan dan pengolahan dari data yang telah diambil dari pengujian. Hasil pengolahan akan ditampilkan dalam bentuk tabel terpadu.

BAB V : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

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

BAB VI : KESIMPULAN

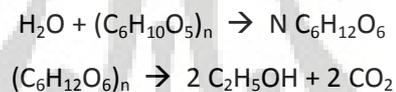
Bab ini berisikan kesimpulan yang didapat dari hasil BAB V.



BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Pengertian Bioethanol

Glukosa dapat dibuat dari pati-patian, proses pembuatannya dapat dibedakan berdasarkan zat pembantu yang dipergunakan, yaitu hidrolisis asam dan hidrolisis enzim. Berdasarkan kedua jenis hidrolisis tersebut, saat ini hidrolisis enzim lebih banyak dikembangkan, sedangkan hidrolisis asam (misalnya dengan asam sulfat) kurang dapat berkembang, sehingga proses pembuatan glukosa dari pati-patian sekarang ini dipergunakan dengan hidrolisis enzim. Dalam proses konversi, karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air dilakukan dengan penambahan air dan enzim, kemudian dilakukan proses peragian atau fermentasi gula menjadi etanol dengan menambahkan *yeast* atau ragi. Reaksi yang terjadi pada proses produksi bioetanol secara sederhana disajikan pada reaksi berikut :



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

Etanol memiliki berat jenis sebesar 0,7937 g/mL (15°C) dan titik didih sebesar 78,32°C pada tekanan 760 mmHg. Etanol larut dalam air dan eter dan

mempunyai panas pembakaran 328 Kkal (Paturau, 1981). Menurut Paturau (1981), fermentasi etanol membutuhkan waktu 30-72 jam. Prescott and Dunn (1981) menyatakan bahwa waktu fermentasi etanol yang dibutuhkan adalah 3 hingga 7 hari. Frazier and Westhoff (1978) menambahkan suhu optimum fermentasi 25-30°C dan kadar gula 10-18 %. Etil-Alkohol (CH₃CH₂OH) dikenal juga dengan nama alkohol adalah suatu cairan tidak berwarna dengan bau yang khas. Di dalam perdagangan kualitas alkohol di kenal dengan beberapa tingkatan.

1. Alkohol Teknis (96,5°GL)

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

2. Alkohol Murni (96,0 – 96,5 °GL)

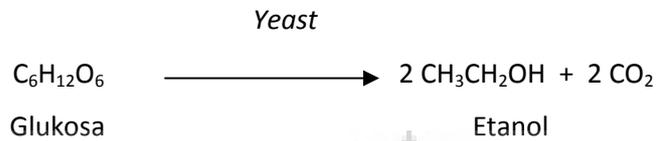
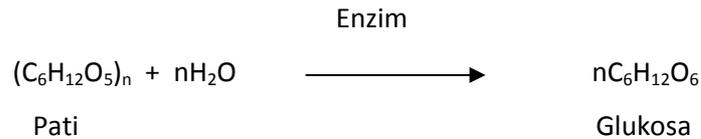
Digunakan terutama untuk kepentingan farmasi dan konsumsi misal untuk minuman keras.

3. Alkohol Absolut (99,7 – 99,8 °GL)

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

2.1.1 Pembuatan Etanol Secara Fermentasi

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

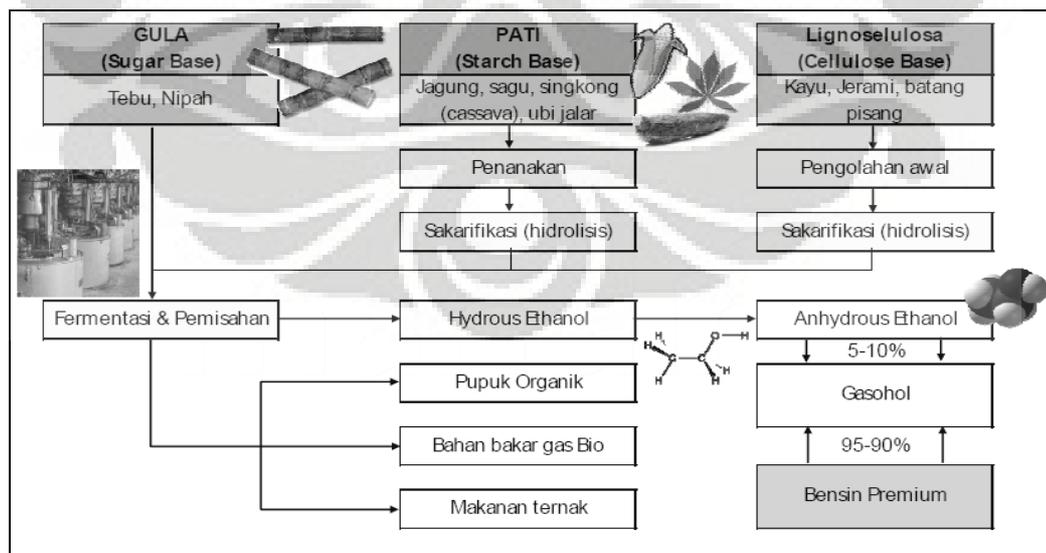
- *Bahan bergula (sugary materials)* :
Tebu dan sisa produknya (molase, bagase), gula bit, tapioca, kentang manis, sorghum manis, dll.
- *Bahan-bahan berpati (starchy materials)* :
Tapioka, maizena, barley, gandum, padi, kentang, jagung dan ubi kayu
- *Bahan-bahan lignoselulosa (lignosellulosic material)* :
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. Salah satu pertimbangan yang sering digunakan adalah besarnya konversi biomassa menjadi bioetanol seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 2.1 Konversi Biomassa Menjadi 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

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 2.1 Diagram Alir Fermentasi Etanol dari Berbagai Bahan Baku

2.1.2 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 ethanol saat ini mencapai 40% secara nasional (*Nature, 1 July 2005*). Di USA, bahan bakar relatif murah, E85, yang mengandung ethanol 85% semakin populer di masyarakat (*Nature, 1 July 2005*).

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

Pemerintah Indonesia, dalam hal ini Kementerian Negara Riset dan Teknologi telah menargetkan pembuatan minimal satu pabrik biodiesel dan gasohol (campuran gasolin dan alkohol) pada tahun 2005-2006. Selain itu, ditargetkan juga bahwa penggunaan bioenergy tersebut akan mencapai 30 hari pasokan energi nasional pada tahun 2025 (*Kompas, 26 Mei 2005*). Ethanol 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.

2.1.3 Penggunaan Bioethanol Pada Mesin Pembakaran Dalam

Dewasa ini, hampir seluruh mesin pembangkit daya yang digunakan pada kendaraan bermotor menggunakan mesin pembakaran dalam. Mesin bensin (Otto) dan diesel adalah dua jenis mesin pembakaran dalam yang paling banyak digunakan di dunia. 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. 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.

Rendahannya 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 33% dibandingkan 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.

2.1.4 Pengaruh Terhadap Lingkungan

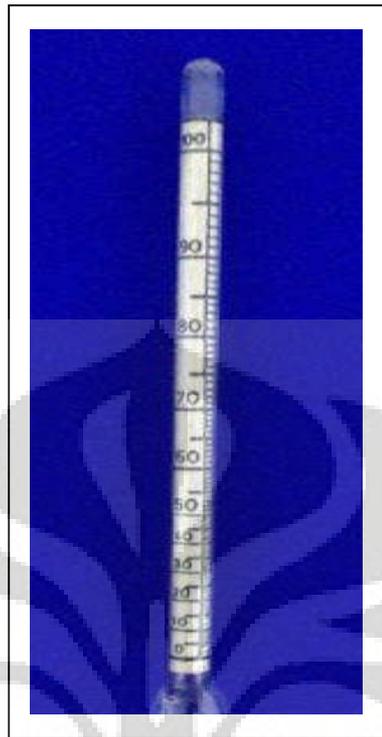
Beberapa ilmuwan Amerika penentang implementasi bioethanol mengangkat permasalahan lingkungan yang dimunculkan oleh mata rantai produksi bioethanol. Ilmuwan tersebut menyoroti praktek pembakaran ladang guna memudahkan panen tebu, kerusakan tanah akibat ancaman terhadap keanekaragaman hayati, penggunaan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

Untuk meminimalkan dampak negatif mata rantai produksi ethanol, pemerintah Brazil telah mengeluarkan aturan yang melarang pembakaran ladang sebelum panen tebu; dan sebagai gantinya digunakan mesin pemanen untuk memudahkan dan mempercepat panen (Wikipedia). Menilai implementasi ethanol

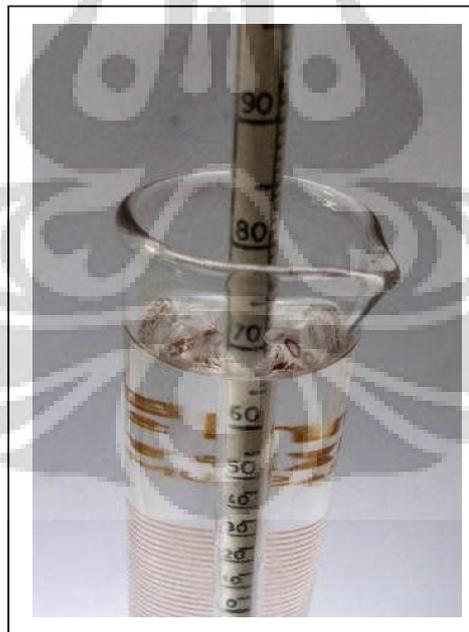
secara kuantitatif, seperti yang dipraktikkan di Brazil, seharusnya juga perlu diperhitungkan faktor produk samping berupa *bagasse* yang menghasilkan listrik (dalam jumlah signifikan) serta efek pengurangan emisi CO₂ yang berkorelasi positif terhadap tingkat kesehatan masyarakat. Dalam kasus penggunaan bahan bakar hidrogen, Jacobson dkk (2005) memperkirakan bahwa sekitar 3,700 - 6,400 orang per tahun akan terselamatkan bila seluruh kendaraan bermotor di USA bermigrasi menggunakan bahan bakar hidrogen yang dibangkitkan dari energi angin. Oleh karena itu, bila faktor-faktor tersebut turut diperhitungkan, nampaknya penggunaan bioethanol akan lebih superior terhadap gasolin. Sedangkan ancaman terhadap keanekaragaman hayati mungkin bisa dipecahkan dengan menggunakan beberapa tanaman sebagai sumber ethanol. Meski relatif lebih menyulitkan dalam pengaturannya, praktek multikultur tersebut diharapkan akan menekan penurunan kualitas tanah secara radikal.

2.1.5 Mengukur Konsentrasi Bioetanol dengan *Alcoholometer*

Mengukur Konsentrasi 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 alcoholometer atau *hydrometer* alkohol. Alat ini sebenarnya digunakan dalam industri minuman keras (bir, wine) untuk mengukur kandungan alkohol dalam minuman tersebut. Di bagian atas alcoholometer tersebut dilengkapi dengan skala yang menunjukkan kadar alkohol. Prinsip kerjanya berdasarkan berat jenis campuran antara alkohol dengan air.



Gambar 2.2 Skala pada *alcoholometer*

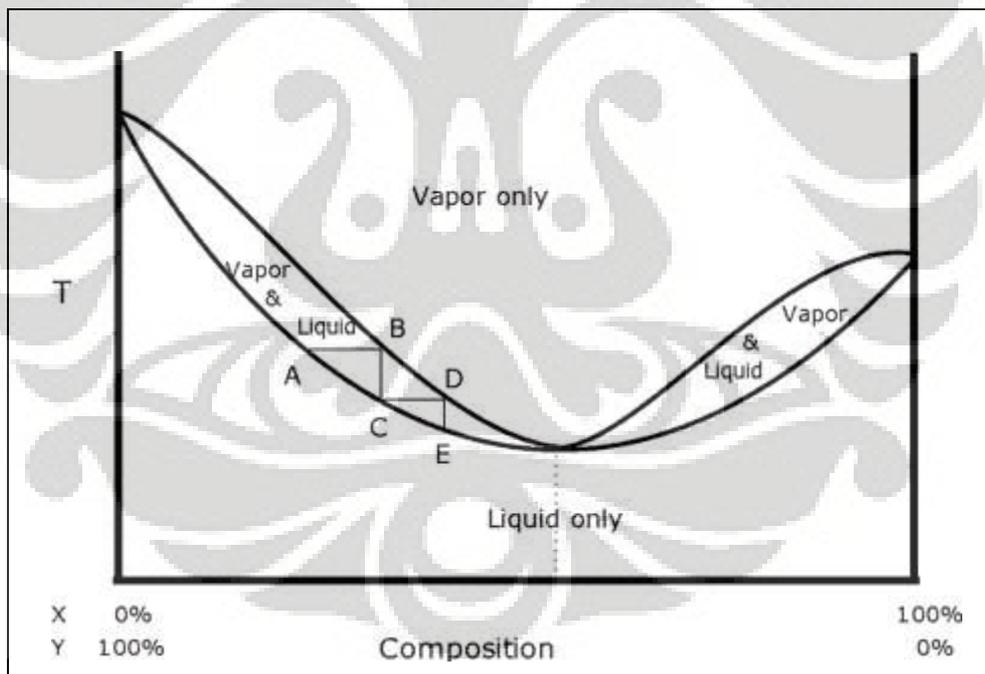


Gambar 2.3 Pengukuran Kadar Alkohol

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.

2.2 Pengertian Azeotrop

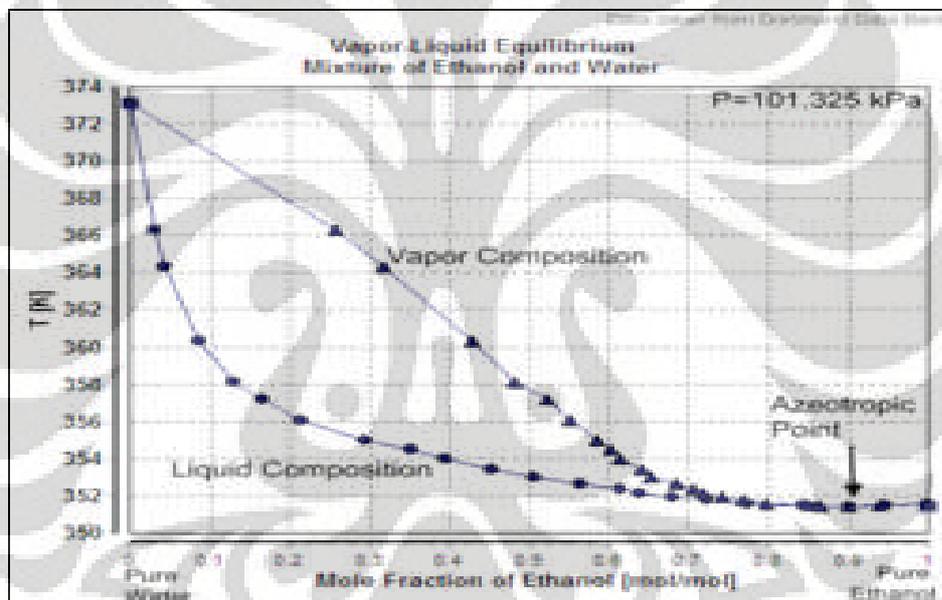
Azeotrop merupakan campuran dua atau lebih komponen pada komposisi tertentu dimana komposisi tersebut tidak dapat berubah hanya melalui distilasi biasa. Ketika campuran azeotrop dididihkan, fasa uap yang dihasilkan memiliki komposisi yang sama dengan fasa cairnya. Campuran azeotrop ini sering disebut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



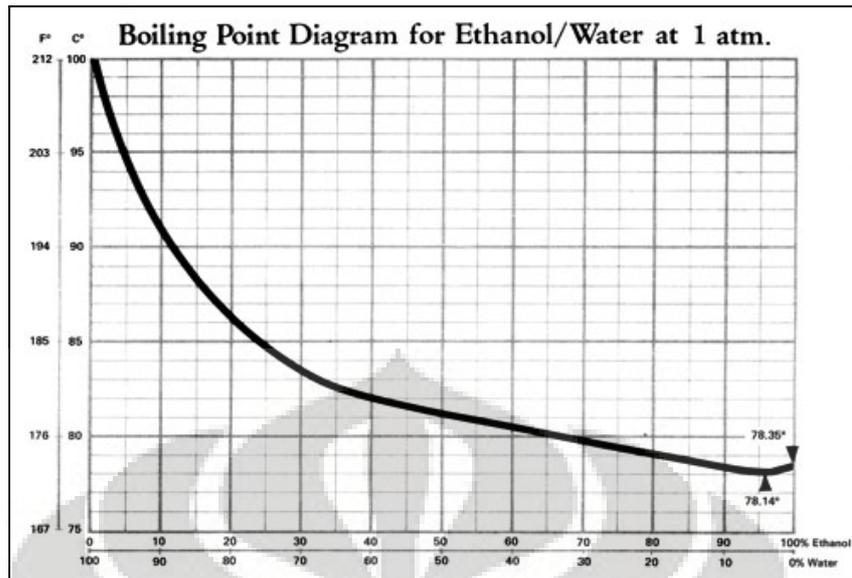
Gambar 2.4 *Constant Boiling Mixture*
[Sumber: www.tutorvista.com]

Titik A (Temperatur 351.5 K) pada pada kurva merupakan *boiling point* larutan 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 2.5 Diagram Kesetimbangan Sistem Etanol-Air
[Sumber: www.wikipedia.org]



Gambar 2.6 Diagram Titik Didih Etanol-Air
[Sumber : www.ethanol-still-plans.com]

Pemisahan komponen-komponen yang mempunyai titik didih hampir 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).

2.3 Pengertian Distilasi

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

larutan atau campuran dan tergantung pada distribusi komponen-komponen tersebut antara fasa uap dan fasa cair. Semua komponen tersebut terdapat dalam fasa cairan dan uap. Fasa uap terbentuk dari fasa cair melalui penguapan (evaporasi) pada titik didihnya (Geankoplis, 1983).

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

2.3.1 Teori Dasar Distilasi

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

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

akan tetap berada dalam gerakan yang konstan, dan kecepatan molekul-molekul dipengaruhi oleh suhu pada saat itu (Guenther, 1987).

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

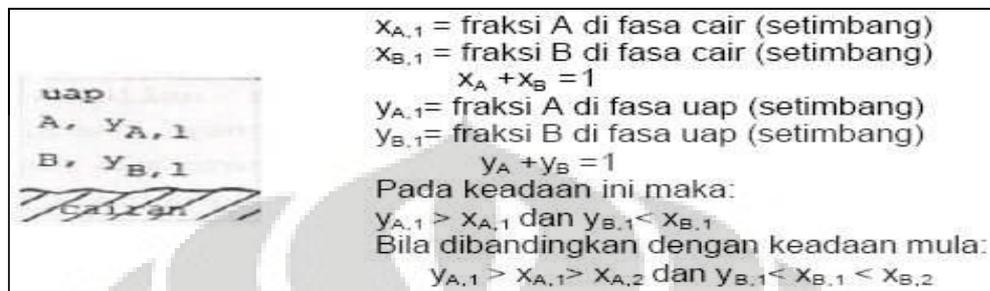
2.3.2 Proses Distilasi

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 :

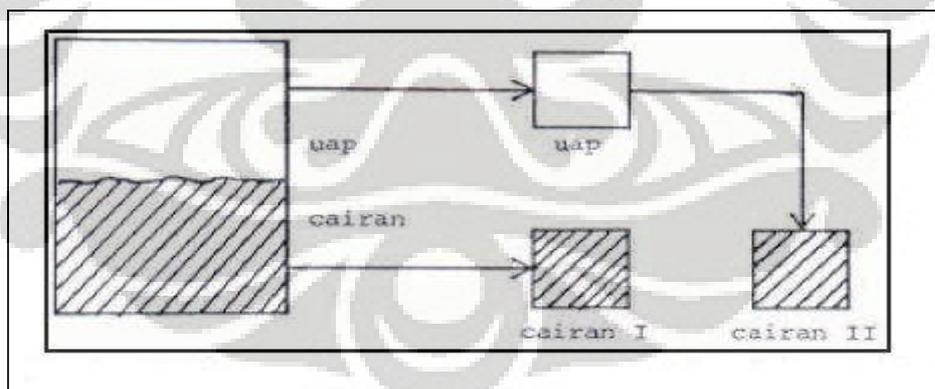
- Mula-mula, pada cairan terdapat campuran A dan B, dimana karakteristik dari komponen-komponen tersebut adalah komponen A lebih mudah menguap

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



Gambar 2.7 Gambaran Dan Penjelasan Mengenai Fraksi Massa Dan Cair
 [Sumber : www.chem-is-try.org]

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



Gambar 2.8 Skema Proses Perpindahan Massa Pada Peristiwa Destilasi
 [Sumber : www.chem-is-try.org]

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

2.4 Efisiensi Termal

Dalam ilmu termodinamika mendefinisikan efisiensi termal sebagai ukuran tanpa dimensi yang mengindikasikan kemampuan peralatan-peralatan yang menggunakan energi termal. Berbicara tentang efisiensi termal berarti berbicara juga tentang panas (kalor). Kalor tersebut merupakan energi yang akan berperan penting pada kinerja sistem. Kalor yang masuk ke dalam sistem tidak akan bisa digunakan sepenuhnya karena hilangnya panas dalam jumlah besar yang salah satu penyebabnya adalah gesekan. Akibat dari hal tersebut adalah tidak mungkin suatu sistem memiliki efisiensi termal 100%. Secara umum persamaan efisiensi termal dapat dirumuskan dengan :

$$\eta_{th} = \frac{\text{Kalor yang diterima}}{\text{kalor yang diberi}} \quad (2.1)$$

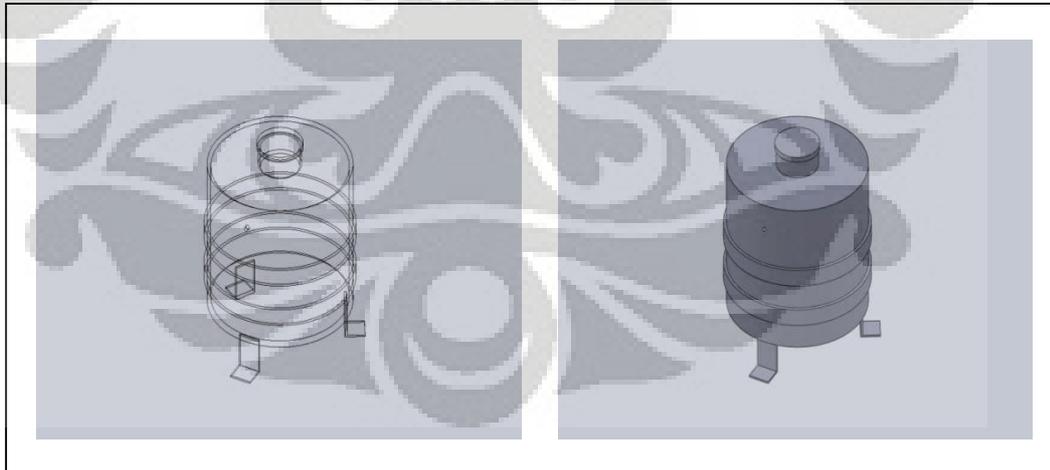
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

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

- Memilih subjek penelitian.
- Melakukan studi literatur.
- Merancang dan merealisasikan *portable mini distillator*.
- Melakukan instalasi *portable mini distillator*.
- Melakukan eksperimen pengujian.
- Mengumpulkan dan mengolah data-data yang diperoleh serta mengevaluasinya.
- Mempresentasikan hasil penelitian dalam bentuk grafik-grafik kemudian melakukan analisis.

3.1 Proses Perancangan *Portable Mini Distillator*

3.1.1 Perancangan Kolom Distilasi

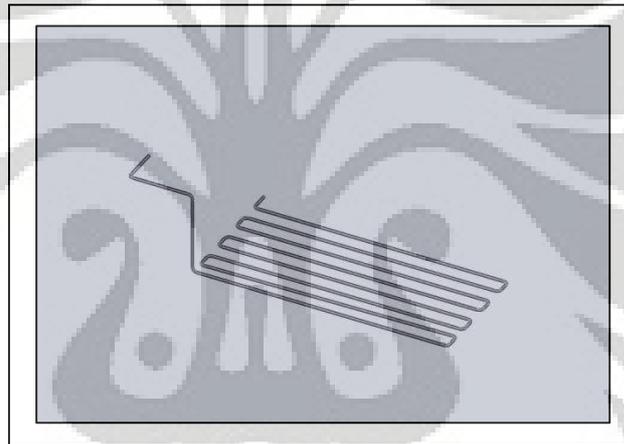


Gambar 3.1. Kolom Distilasi

Spesifikasi kolom distilasi :

- 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 : Alumunium Foil

3.1.2 Perancangan Pipa Kondenser

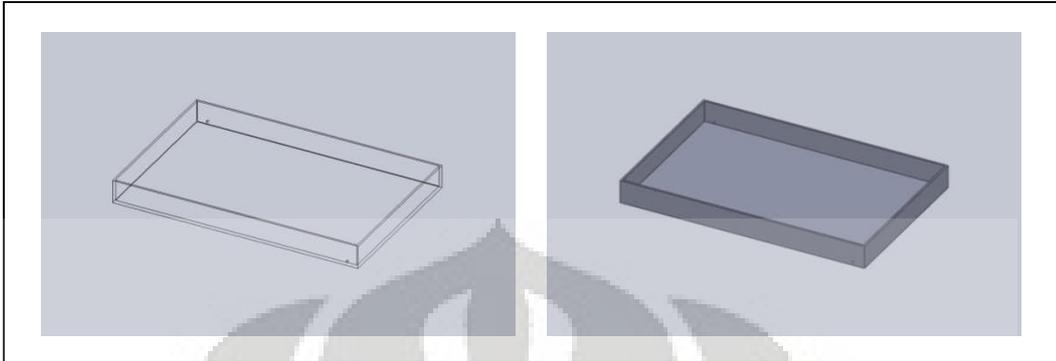


Gambar 3.2. Pipa Kondenser

Spesifikasi :

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

3.1.3 Perancangan Kotak Kondenser

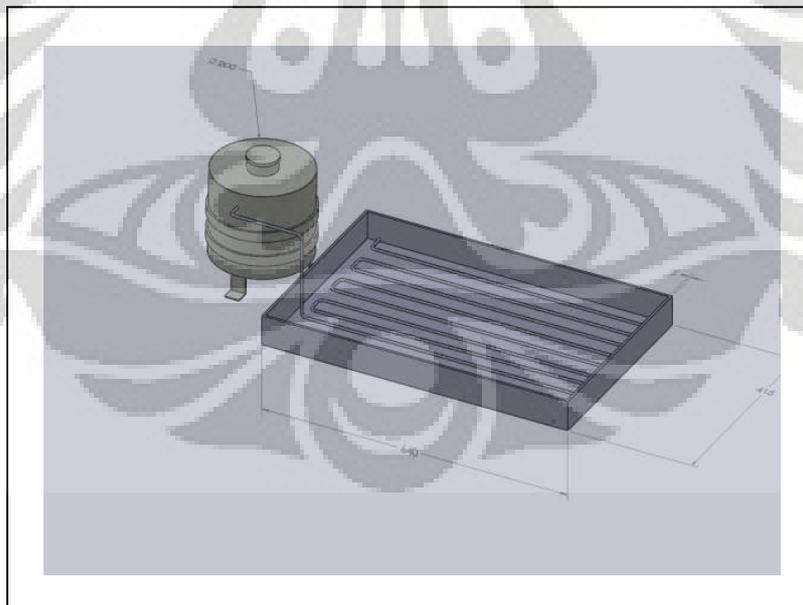


Gambar 3.3 Kotak Kondenser

Spesifikasi :

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

3.1.4 Perakitan *Portable Mini Destilator*



Gambar 3.4 *Portable Mini Diestillator*

3.2 Alat Uji

A. Alkoholometer

Spesifikasi alkoholometer :

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

3.3 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 didistilasi, seperti pemeriksaan konsentrasi, volume, dan kebersihan sampel

Pemeriksaan komponen-komponen *portable mini distillator* (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)

3.4 Prosedur Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan berdasarkan destilasi bioetanol yang memiliki konsentrasi 40%, 50%, 60%, dan 65% dengan variasi volume 300 ml, 400 ml, dan 500 ml pada *range* temperatur 80°C-90°C. Data-data yang akan diambil yaitu :

- Waktu aktual yang dibutuhkan untuk proses distilasi sampel selama 10 menit (ketika suhu heater telah mencapai 90°C maka sumber listrik harus dimatikan).

- Volume output yang dihasilkan setiap 10 menit selama 60 menit.
- Waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu dari 30⁰C sampai 80⁰C dan dari 80⁰C hingga 90⁰C tiap sampel.
- Pengukuran volume sisa di dalam pipa kondensor dan sisa pada ketel pemanas.
- Perhitungan konsentrasi alkohol masing-masing output hasil distilasi dengan menggunakan alat alkoholometer.
- Perhitungan konsentrasi alkohol yang tersisa (residu) pada ketel pemanas untuk tiap proses distilasi sampel dengan menggunakan alkoholometer dan melalui perhitungan teoritis
- Menyimpan sampel tiap-tiap hasil proses distilasi dan residu pada ketel pemanas untuk diuji kadar alkohol serta mengetahui keberadaan pengotor material bahan baku dengan menggunakan alat *gas chromatography*.

3.4.1 Prosedur Pengukuran Waktu Aktual Proses Distilasi

Pada saat pengujian sampel, kami menetapkan lamanya waktu proses distilasi adalah 100 menit. Namun akibat aktivitas menghidupkan dan mematikan sumber listrik maka waktu aktual yang terjadi adalah tentunya lebih dari 100 menit. Data waktu aktual ini didapat dengan cara mencatat pukul berapa saat memulai proses distilasi dan pukul berapa proses distilasi tersebut berakhir. Data tersebut diambil pada proses distilasi tiap sampel untuk mengetahui efektifitas waktu pada proses distilasi tersebut. Data waktu aktual tiap sampel untuk selanjutnya akan dibandingkan dengan data waktu aktual sampel lainnya.



Gambar 3.5 Pengukuran Waktu Proses Distilasi

3.4.2 Prosedur Pengukuran Volume Output Proses Distilasi

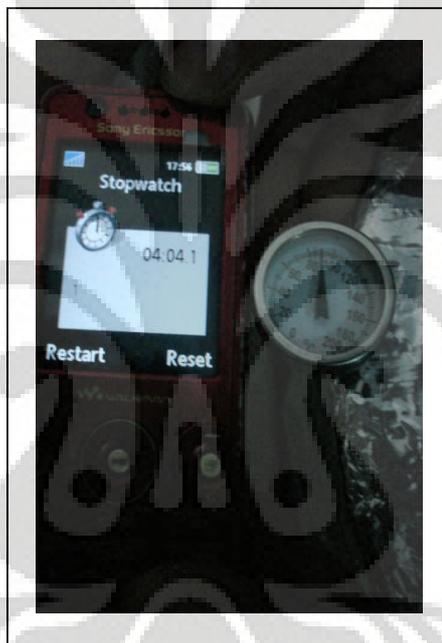
Untuk mendapatkan evaporation rate dari proses distilasi dengan menggunakan *portable mini destilator*, maka diperlukan data volume output per satuan waktu tertentu. Kami menetapkan pengambilan dan pengukuran volume output setiap 10 menit sekali selama 60 menit. Prosedurnya adalah menuangkan cairan hasil output proses distilasi tiap 10 menit sekali ke dalam gelas ukur ketelitian 5 ml.



Gambar 3.6 Pengukuran Volume Output

3.4.3 Prosedur Pengukuran Peningkatan Suhu Proses Distilasi

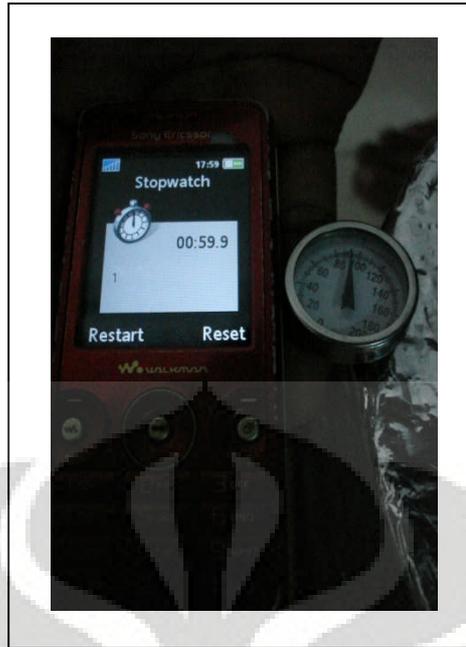
Pengukuran waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu akan berguna untuk memprediksi berapa lama waktu total yang dibutuhkan untuk mendistilasi suatu sampel. Prosedur pengambilan datanya adalah dengan menggunakan *stopwatch* dan mencatat waktu setiap indikator menunjukkan angka 80°C dan 90°C . Jika indikator telah menunjukkan angka 90°C maka sumber listrik harus segera dimatikan.



Gambar 3.7 Pengukuran Waktu Peningkatan Suhu

3.4.4 Prosedur Pengukuran Penurunan Suhu Proses Distilasi

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 Pengukuran Waktu Penurunan Suhu

3.4.5 Prosedur Perhitungan Volume Residu

Portable Mini Distillator dirancang dengan pipa kondensor yang berposisi vertical sehingga Proses distilasi akan menyisakan cairan di dalam pipa kondensor. Untuk mengukur volume sisa di dalam pipa kondensor tersebut maka terlebih dahulu harus dikeluarkan secara manual dengan menggunakan pompa udara. Kemudian cairan tersebut dituangkan ke dalam gelas ukur dan dicatat hasilnya. Prosedur serupa juga dilakukan pada pengukuran volume sisa di dalam ketel pemanas.



Gambar 3.9 Pengukuran Volume Residu

3.4.6 Prosedur Perhitungan Konsentrasi

Proses distilasi tiap sampel akan menghasilkan cairan yang kadar konsentrasinya berubah. Untuk mengetahui kadar konsentrasi cairan hasil proses distilasi tersebut, maka dipergunakanlah alat bantu berupa alkoholometer. Namun alkoholometer memiliki kekurangan pada penggunaannya, yaitu sampel yang akan diukur harus memiliki volume minimal 350 ml agar alkoholometer dapat mengapung dan bekerja dengan baik. Apabila misalnya cairan output hasil proses distilasi 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 distilasi yang sebenarnya, maka digunakanlah rumus perbandingan volume dengan persamaan sebagai berikut :

$$M_1V_1 = M_2V_2 \quad (3.1)$$

Keterangan :

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

Dari persamaan tersebut di atas maka akan didapat konsentrasi cairan output hasil proses distilasi yang sebenarnya.

3.4.7 Prosedur Perhitungan Konsentrasi Residu.

Proses distilasi akan menyisakan cairan pada ketel pemanas. Apabila proses distilasi 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 500 ml (berarti terdapat 250 ml alkohol dalam 500 ml cairan sampel). Setelah didistilasi 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 di ketel sebanyak 400 ml (berarti 75 ml hilang). Maka perhitungan konsentrasi tersebut didapat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\% \text{residu} = \frac{V_{m1} - V_{m2}}{V_2 - V_1} \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan :

- %residu = konsentrasi residu yang dicari
- V_{m1} = volume alkohol total yang terdapat pada sampel sebelum

didistilasi

- V_{m2} = volume alkohol hasil hasil proses distilasi
- V_1 = volume awal sampel sebelum didestilasi
- V_2 = volume output sampel setelah didestilasi

3.4.8 Prosedur Perhitungan Jumlah Kalor yang Diserap dan Efisiensi Termal.

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

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

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

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

Keterangan :

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

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

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

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

BAB 4 PENGOLAHAN DAN PERHITUNGAN DATA

4.1 Data Awal

Perhitungan efisiensi termal yang dilakukan menggunakan 2 parameter. Parameter yang pertama adalah perhitungan yang melibatkan volume residu, dan yang kedua adalah perhitungan tanpa melibatkan volume residu. Untuk dapat menghitung efisiensi termal, beberapa data yang harus diketahui sebelumnya yaitu

4.1.1 Propertis Sampel

Untuk menghitung kalor yang diterima oleh sampel bioetanol, maka sebelumnya perlu diketahui kalor jenis air, kalor laten air, massa jenis air, kalor jenis alkohol, kalor laten alkohol, massa jenis alkohol, kenaikan suhu dari T_1 ke T_2 , daya heater, dan kalor yang diterima selama pemanasan sampel (60 menit).

Tabel 4.1 Propertis Sampel

c(water)	4.2 KJ/KG.K
L(water)	2270
ρ (water)	1000 KG/m ³
c(alkohol)	2.2 KJ/KG.K
L(alkohol)	855
ρ (alkohol)	785 KG/m ³
ΔT	55 ⁰ K
P(heater)	200 watt
Q _{in}	720 KJ

4.1.2 Data Sebelum dan Sesudah Proses Distilasi (Dengan Volume Residu)

Perhitungan persentase kalor yang diterima serta efisiensi kalor termal didahului dengan proses distilasi sampel bioetanol selama 60 menit pada masing-masing konsentrasi dan volume residu. Hasil pengumpulan data dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Sebelum dan Sesudah Proses Distilasi (Dengan Volume Residu)

Ma	Mw	Vi (ml)	Vw (ml)	Va (ml)	mw (kg)	ma (kg)	Volume residu (ml)	Vo (ml)	Mo	Vwo (ml)	Vao (ml)
40%	60%	400	240	160	0.24	0.13	342	58	89%	6.38	51.62
50%	50%	400	200	200	0.2	0.16	342	58	92%	4.64	53.36
60%	40%	400	160	240	0.16	0.19	339	61	93%	4.27	56.73
65%	35%	400	140	260	0.14	0.20	332	68	96%	2.72	65.28
40%	60%	500	300	200	0.3	0.16	434	66	80%	13.2	52.80
50%	50%	500	250	250	0.25	0.20	436	64	90%	6.4	57.60
60%	40%	500	200	300	0.2	0.24	438.5	61.5	93%	4.305	57.20
65%	35%	500	175	325	0.175	0.26	432.5	67.5	95%	3.375	64.13
40%	60%	300	180	120	0.18	0.09	239.5	6.5	91%	0.585	5.92
50%	50%	300	150	150	0.15	0.12	243	57	92%	4.56	52.44
60%	40%	300	120	180	0.12	0.14	225	75	96%	3	72.00
65%	35%	300	105	195	0.105	0.15	220	80	97%	2.4	77.60

Keterangan :

- Ma = Konsentrasi alkohol pada sampel sebelum proses distilasi
- Mw = Konsentrasi air pada sampel sebelum proses distilasi
- Vi (ml) = Volume sampel sebelum proses distilasi
- Vw (ml) = Volume air pada sampel sebelum proses distilasi
- Va (ml) = Volume alkohol pada sampel sebelum proses distilasi
- mw (kg) = Massa air sebelum proses distilasi
- ma (kg) = Massa alkohol sebelum proses distilasi
- Volume residu (ml) = Cairan sisa proses distilasi sampel
- Vo (ml) = Cairan hasil proses distilasi

- M_o (%) = Konsentrasi cairan hasil proses distilasi
- V_{wo} (ml) = Volume air hasil proses distilasi
- V_{ao} (ml) = Volume alkohol hasil proses distilasi

4.1.3 Data Sebelum dan Sesudah Proses Distilasi (Tanpa Volume Residu)

Perhitungan persentase kalor yang diterima serta efisiensi kalor termal didahului dengan proses distilasi sampel bioetanol selama 60 menit pada masing-masing konsentrasi dan volume, namun perhitungan kalor dan efisiensinya tidak melibatkan volume volume residu yang dihasilkan. Hasil pengumpulan data dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Sebelum dan Sesudah Proses Distilasi (Tanpa Volume Residu)

M_a	M_w	V_i (ml)	V_w (ml)	V_a (ml)	m_w (l)	M_a (kg)	Volume residu (ml)	V_o (ml)	M_o	V_{wo} (ml)	V_{ao} (ml)
40%	60%	400	240	160	0.24	0.13	342	15	89%	1.65	13.35
50%	50%	400	200	200	0.2	0.16	342	20	92%	1.6	18.4
60%	40%	400	160	240	0.16	0.19	339	25	93%	1.75	23.25
65%	35%	400	140	260	0.14	0.20	332	39	96%	1.56	37.44
40%	60%	500	300	200	0.3	0.16	434	8.5	80%	1.7	6.8
50%	50%	500	250	250	0.25	0.20	436	15	90%	1.5	13.5
60%	40%	500	200	300	0.2	0.24	438.5	19	93%	1.33	17.67
65%	35%	500	175	325	0.175	0.26	432.5	21	95%	1.05	19.95
40%	60%	300	180	120	0.18	0.09	293.5	17	91%	1.53	15.47
50%	50%	300	150	150	0.15	0.12	243	21	92%	1.68	19.32
60%	40%	300	120	180	0.12	0.14	225	34	96%	1.36	32.64
65%	35%	300	105	195	0.105	0.15	220	43	97%	1.29	41.71

Setelah mengetahui data-data yang dibutuhkan, maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan kalor lebih lanjut dengan persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3. Dari

hasil persamaan tersebut, maka dapat dibuat data-data baru yang telah dibuat dalam bentuk Tabel menjadi sebagai berikut :

Tabel 4.4 Data Perhitungan Dengan Melibatkan Volume Residu

Q _{wh} (KJ)	Q _{we} (KJ)	Q _{ah} (KJ)	Q _{ae} (KJ)	Q _t (KJ)	Q _{wt} (KJ)	Q _{at} (KJ)	η	Q _{rw} (%)	Q _{ra} (%)
55.44	14.48	15.20	34.65	119.77	69.92	49.84	16.63	58.38	41.62
46.2	10.53	19.00	35.81	111.54	56.73	54.81	15.49	50.86	49.14
36.96	9.69	22.80	38.08	107.53	46.65	60.87	14.93	43.39	56.61
32.34	6.17	24.70	43.81	107.02	38.51	68.51	14.86	35.99	64.01
69.3	29.96	19.00	35.44	153.70	99.26	54.44	21.35	64.58	35.42
57.75	14.53	23.75	38.66	134.68	72.28	62.41	18.71	53.66	46.34
46.2	9.77	28.50	38.39	122.86	55.97	66.88	17.06	45.56	54.44
40.425	7.66	30.87	43.04	122.00	48.09	73.91	16.94	39.42	60.58
41.58	12.36	11.40	36.95	102.29	53.94	48.35	14.21	52.73	47.27
34.65	10.35	14.25	35.20	94.45	45.00	49.44	13.12	47.65	52.35
27.72	6.81	17.10	48.32	99.95	34.53	65.42	13.88	34.55	65.45
24.255	5.45	18.52	52.08	100.31	29.70	70.61	13.93	29.61	70.39

Tabel 4.5 Data Perhitungan Tanpa Melibatkan Volume Residu

Q _{wh} (KJ)	Q _{we} (KJ)	Q _{ah} (KJ)	Q _{ae} (KJ)	Q _t (KJ)	Q _{wt} (KJ)	Q _{at} (KJ)	η	Q _{rw} (%)	Q _{ra} (%)
55.44	3.75	15.20	8.96	83.34	59.19	24.16	11.58	71.01	28.99
46.2	3.63	19.00	12.35	81.18	49.83	31.35	11.27	61.39	38.61
36.96	3.97	22.80	15.60	79.33	40.93	38.40	11.02	51.60	48.40
32.34	3.54	24.70	25.13	85.71	35.88	49.82	11.90	41.87	58.13
69.3	3.86	19.00	4.56	96.72	73.16	23.56	13.43	75.64	24.36
57.75	3.41	23.75	9.06	93.96	61.16	32.81	13.05	65.08	34.92
46.2	3.02	28.50	11.86	89.57	49.22	40.36	12.44	54.95	45.05
40.425	2.38	30.87	13.39	87.07	42.81	44.26	12.09	49.17	50.83
41.58	3.47	11.40	10.38	66.83	45.05	21.78	9.28	67.41	32.59
34.65	3.81	14.25	12.97	65.68	38.46	27.21	9.12	58.56	41.44
27.72	3.09	17.10	21.91	69.81	30.81	39.00	9.70	44.13	55.87
24.255	2.93	18.52	27.99	73.70	27.18	46.52	10.24	36.88	63.12

Keterangan :

- Q_{wh} = Kalor untuk memanaskan air, { m_{water}.c_{water}.ΔT (KJ) }
- Q_{we} = Kalor untuk menguapkan air, { m_{water}.L_{water} (KJ) }
- Q_{ah} = Kalor untuk memanaskan alkohol, { m_{alcohol}.c_{alcohol}. ΔT (KJ) }
- Q_{ae} = Kalor untuk menguapkan alkohol, { m_{alcohol}.L_{alcohol} (KJ) }
- Q_t = Kalor total, { Q_{ah} + Q_{ae} (KJ) }
- Q_{wt} = Kalor total yang diperlukan air, { Q_{wh} + Q_{we} (KJ) }
- Q_{at} = Kalor total yang diperlukan alkohol, { Q_{ah} + Q_{ae} (KJ) }
- η = Efisiensi termal, { Q_t/Q_{in}.100 (%) }
- Q_{rw}(%) = Persen kalor yang diterima air, { Q_{wt}/ Q_t.100 (%) }
- Q_{ra} (%) = Persen kalor yang diterima alkohol, { Q_{at}/ Q_t.100 (%) }

4.2 Pengolahan Data-Data Dengan Perhitungan Melibatkan Data Volume Residu

4.2.1 Data Efisiensi Rata-Rata Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Data efisiensi rata-rata berdasarkan variasi konsentrasi didapat dengan cara menjumlahkan efisiensi tiap konsentrasi kemudian dibagi dengan jumlah sampel konsentrasi

$$\eta_{\alpha} = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \dots + \eta_n}{n} \quad (4.4)$$

Hasil dari perhitungan efisiensi dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Data Efisiensi Rata-Rata (η_a) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Sampel (%)	η_a
40	17.40
50	15.77
60	15.29
65	15.25

4.2.2 Data Efisiensi Rata-Rata (η_a) Berdasarkan Variasi Volume

Perhitungan efisiensi rata-rata berdasarkan variasi volume dengan menggunakan persamaan 4.4. Kemudian hasil dari perhitungan dimasukkan kedalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data Efisiensi Berdasarkan Variasi Volume

Sampel (ml)	η_a
300	13.78
400	15.48
500	18.52

4.2.3 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Air (Q_{wha}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Untuk menghitung kalor rata-rata yang diserap untuk memanaskan air berdasarkan variasi volume dilakukan dengan persamaan 4.5. Hasil perhitungan kemudian dimasukkan pada Tabel 4.8.

$$Q_{wha} = \frac{Q_{wh1} + Q_{wh2} + Q_{wh3} + Q_{whn}}{n} \quad (4.5)$$

Tabel 4.8 Data Q_{wha} Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Sampel (%)	Q_{wha} (KJ)
40	55.44
50	46.20
60	36.96
65	32.34

4.2.4 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Air (Q_{wha}) Berdasarkan Variasi Volume

Perhitungan kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air dapat dihitung dengan persamaan 4.5. Hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Data Q_{wha} Berdasarkan Variasi Volume

Sampel (ml)	Q_{wha}
300	32.05
400	42.74
500	53.42

4.2.5 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Air (Q_{wea}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Untuk menghitung kalor rata-rata yang diperlukan untuk menguapkan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.6. Hasil dari perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.10.

$$Q_{wea} = \frac{Q_{we1} + Q_{we2} + Q_{we3} + Q_{wen}}{n} \quad (4.6)$$

Tabel 4.10 Data Q_{wea} Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Sampel (%)	Q_{wea} (KJ)
40	18.94
50	11.80
60	8.76
65	6.43

4.2.6 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Air (Q_{wea}) Berdasarkan Variasi Volume

Untuk menghitung kalor rata-rata yang diperlukan untuk menguapkan air berdasarkan variasi volume dapat dilakukan dengan persamaan 4.6. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Data Q_{wea} Berdasarkan Variasi Volume

Sampel (ml)	Q_{wea} (KJ)
300	8.74
400	10.22
500	15.48

4.2.7 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk memanaskan Alkohol (Q_{aha}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Untuk menghitung kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi volume dapat dilakukan dengan persamaan :

$$Q_{aha} = \frac{Q_{ah1} + Q_{ah2} + Q_{ah3} + Q_{ahn}}{3n} \quad (4.7)$$

Hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Data Qaha Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Sampel (%)	Qaha (KJ)
40	15.20
50	19.00
60	22.80
65	24.70

4.2.8 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk memanaskan Alkohol (Qaea) Berdasarkan Variasi Volume

Untuk menghitung kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi volume dapat dilakukan dengan persamaan 4.7. Hasil dari perhitungan dengan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Data Qaea Berdasarkan Variasi Volume

Sampel (ml)	Qaha (KJ)
300	15.32
400	20.42
500	25.53

4.2.9 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk menguapkan Alkohol (Q_{aea}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Untuk menghitung kalor rata-rata yang diperlukan untuk menguapkan alkohol berdasarkan variasi konsentrasi dapat dilakukan dengan persamaan :

$$Q_{aea} = \frac{Q_{ae1} + Q_{ae2} + Q_{ae3} + Q_{aen}}{n} \quad (4.8)$$

Hasil dari perhitungan dengan persamaan tersebut diatas dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Data Q_{aea} Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Sampel (%)	Q _{aea} (KJ)
40	35.68
50	36.56
60	41.60
65	46.31

4.2.10 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk menguapkan Alkohol (Q_{aea}) Berdasarkan Variasi Volume

Untuk menghitung kalor rata-rata yang diperlukan untuk menguapkan air berdasarkan variasi volume dapat dilakukan dengan persamaan 4.8. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Data Qaea Berdasarkan Variasi Volume

Sampel (ml)	Qaea (KJ)
300	43.14
400	38.09
500	38.88

4.2.11 Data Qwta dan Qata Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Untuk menghitung kalor rata-rata yang diperlukan untuk menguapkan alkohol berdasarkan variasi konsentrasi dapat dilakukan dengan persamaan 4.9 dan 4.10. Hasil dari perhitungan dengan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.16.

$$Q_{wta} = \frac{Q_{wt1} + Q_{wt2} + Q_{wt3} + \dots + Q_{wtn}}{n} \quad (4.9)$$

$$Q_{ata} = \frac{Q_{at1} + Q_{at2} + Q_{at3} + \dots + Q_{atn}}{n} \quad (4.10)$$

Tabel 4.16 Data Qwta dan Qata Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Sampel (%)	Qwta (KJ)	Qata (KJ)
40	74.38	50.88
50	58.00	55.55
60	45.72	64.39
65	38.77	71.01

4.2.12 Data Q_{wta} dan Q_{ata} Berdasarkan Variasi Volume

Untuk menghitung kalor rata-rata yang diperlukan untuk menguapkan air berdasarkan variasi volume dapat dilakukan dengan persamaan 4.9 dan 4.10. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Data Q_{wta} Dan Q_{ata} Berdasarkan Variasi Volume

Sampel (%)	Q_{wta} (KJ)	Q_{ata} (KJ)
300	40.79	50.21
400	52.96	58.51
500	68.90	64.41

4.2.13 Data Kalor Total Rata-Rata (Q_{ta}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Untuk menghitung kalor rata-rata yang diperlukan untuk menguapkan alkohol berdasarkan variasi konsentrasi dapat dilakukan dengan persamaan 4.11. Hasil dari perhitungan dengan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.18

$$Q_{ta} = \frac{Q_{t1} + Q_{t2} + Q_{t3} + Q_{tn}}{n} \quad (4.11)$$

Tabel 4.18 Data Q_{ta} Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Sampel (%)	Q_{ta} (KJ)
40	125.25
50	113.56
60	110.11
65	109.78

4.2.14 Data Kalor Total Rata-Rata (Q_{ta}) Berdasarkan Variasi Volume

Untuk menghitung kalor rata-rata yang diperlukan untuk menguapkan air berdasarkan variasi volume dapat dilakukan dengan persamaan 4.11. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.19

Tabel 4.19 Data Q_{ta} Berdasarkan Variasi Volume

Sampel (%)	Q_{ta} (KJ)
300	99.25
400	111.46
500	133.31

4.2.15 Data Persentase Penyerapan Kalor pada Air (Q_{rw}) dan pada Alkohol (Q_{ra}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi dengan Volume 300 ml

Untuk mendapatkan persentase Q_{rw} dan Q_{ra} dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Q_{rw} (\%) = \frac{Q_{wt}}{Q_t} \times 100 \quad (4.12)$$

$$Q_{ra} (\%) = \frac{Q_{rt}}{Q_t} \times 100 \quad (4.13)$$

Hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Data Q_{rw} (%) dan Q_{ra} (%) Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dengan Volume 300 ml

Sampel (%)	Volume (ml)	Q _{rw} (%)	Q _{ra} (%)
40	300	52.73	26.37
50	300	47.65	52.35
60	300	34.55	65.45
65	300	29.61	70.39

4.2.16 Data Persentase Penyerapan Kalor pada Air (Q_{rw}) dan pada Alkohol (Q_{ra}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dengan Volume 400 ml

Perhitungan persentase Q_{rw} dan Q_{ra} berdasarkan variasi konsentrasi dengan volume 400 ml dapat menggunakan persamaan 4.12 dan 4.13. hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Data Q_{rw} (%) dan Q_{ra} (%) Berdasarkan Variasi Konsentrasi dengan Volume 400 ml

Sampel (%)	Volume (ml)	Q _{rw} (%)	Q _{ra} (%)
40	400	58.38	41.62
50	400	50.86	49.14
60	400	43.39	56.61
65	400	35.99	64.01

4.2.17 Data Persentase Penyerapan Kalor pada Air (Hrw) dan pada Alkohol (Hra) Berdasarkan Variasi Konsentrasi dengan Volume 500 ml

Perhitungan persentase Q_{rw} dan Q_{ra} berdasarkan variasi konsentrasi dengan volume 500 ml dapat menggunakan persamaan 4.12 dan 4.13. hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Data Q_{rw} (%) dan Q_{ra} (%) Berdasarkan Variasi Konsentrasi dengan Volume 500 ml

Sampel (%)	Volume (ml)	Q_{rw} (%)	Q_{ra} (%)
40	500	64.58	35.42
50	500	53.66	46.34
60	500	45.56	54.44
65	500	39.42	60.58

4.3 Pengolahan Data-Data Dengan Perhitungan Tanpa Melibatkan Data Volume residu

4.3.1 Data Efisiensi Rata-Rata Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Untuk mendapatkan angka efisiensi rata-rata berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.4. Hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Data Efisiensi Rata-Rata Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Sampel (%)	η_a
40	11.43
50	11.15
60	11.05
65	11.41

4.3.2 Data Efisiensi Termal Berdasarkan Variasi Volume

Untuk mendapatkan angka efisiensi termal rata-rata berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.4. Hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Data Efisiensi Termal Rata-Rata Berdasarkan Variasi Volume

Sampel (%)	η_a
300	9.58
400	11.44
500	12.75

4.3.3 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Air (Q_{wha}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.5. hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Data Q_{wha} Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Sampel (%)	Q_{wha} (KJ)
40	55.44
50	46.2
60	36.96
65	32.34

4.3.4 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Air (Q_{wha}) Berdasarkan Variasi Volume

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.5. hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Data Q_{wha} Berdasarkan Variasi Volume

Sampel (%)	Q_{wha} (KJ)
300	32.05
400	42.74
500	53.42

4.3.5 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Air (Q_{wea}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.6. hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Data Qwea Berdasarkan Variasi konsentrasi

Sampel (%)	Qwea (KJ)
40	3.69
50	3.62
60	3.36
65	2.95

4.3.6 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Air (Q_{wea}) Berdasarkan Variasi Volume

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.6. hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Data Qwea Berdasarkan Variasi Volume Sampel

Sampel (%)	Qwea (KJ)
300	3.33
400	3.72
500	3.17

4.3.7 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Alkohol (Qaha) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.7. hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Data Qaha Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Sampel (%)	Qaha (KJ)
40	15.20
50	19.00
60	22.80
65	24.70

4.3.8 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Alkohol (Qaha) Berdasarkan Variasi Volume

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.7. hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Data Qaha Berdasarkan Variasi Volume

Sampel (%)	Qaha (KJ)
300	15.32
400	20.42
500	25.53

4.3.9 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Alkohol (Q_{ae}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.8. hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Data Q_{ae} Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Sampel (%)	Q_{ae} (KJ)
40	7.97
50	11.46
60	16.46
65	22.17

4.3.10 Data Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Alkohol (Q_{ae}) Berdasarkan Variasi Volume

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.8. hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Data Qaea Berdasarkan Variasi Volume

Sampel (%)	Qaea (KJ)
300	18.31
400	15.51
500	9.72

4.3.11 Data Qwta dan Qata Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.9 dan 4.10. Hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Data Qwta Dan Qata Berdasarkan Variasi Volume

Sampel (%)	Qwta (KJ)	Qata (KJ)
40	59.13	23.17
50	49.82	30.46
60	40.32	39.25
65	35.29	46.87

4.3.12 Data Qwta Dan Qata Berdasarkan Variasi Volume

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.9 dan 4.10. Hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.34.

Tabel 4.34 Data Q_{wta} Dan Q_{ata} Berdasarkan Variasi Volume

Sampel (%)	Q_{wta} (KJ)	Q_{ata} (KJ)
300	35.38	33.63
400	46.46	35.93
500	56.59	35.25

4.3.13 Data Kalor Total Rata-Rata (Q_{ta}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.11. Hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.35.

Tabel 4.35 Data Q_{ta} Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Sampel (%)	Q_{ta} (KJ)
40	82.30
50	80.27
60	79.57
65	82.16

4.3.14 Data Kalor Total Rata-Rata (Q_{ta}) Berdasarkan Variasi Volume

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.11. Hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.36.

Tabel 4.36 Data Q_{ta} Berdasarkan Variasi Volume

Sampel (%)	Q _{ta} (KJ)
300	69.01
400	82.39
500	91.83

4.3.15 Data Persentase Penyerapan Kalor pada Air (Q_{rw}) dan pada Alkohol (Q_{ra}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dengan Volume 300 ml

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.12 dan 4.13. Hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37 Data Q_{rw} dan Q_{ra} Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dengan Volume Sampel 300 ml

Sampel (%)	Volume (ml)	Q _{rw} (%)	Q _{ra} (%)
40	300	67.41	32.59
50	300	58.56	41.44
60	300	44.13	55.87
65	300	36.88	63.12

4.3.16 Data Persentase Penyerapan Kalor pada Air (Q_{rw}) dan pada Alkohol (Q_{ra}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi dengan Volume 400 ml

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan

4.12 dan 4.13. hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.38.

Tabel 4.38 Data Q_{rw} dan Q_{ra} Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dengan Volume Sampel 400 ml

Sampel (%)	Volume (ml)	$Q_{rw}(\%)$	$Q_{ra} (\%)$
40	400	71.01	28.99
50	400	61.39	38.61
60	400	51.60	48.40
65	400	41.87	58.13

4.3.17 Data Persentase Penyerapan Kalor pada Air (Q_{rw}) dan pada Alkohol (Q_{ra}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi dengan Volume 500 ml

Untuk mendapatkan angka kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air berdasarkan variasi konsentrasi dapat menggunakan persamaan 4.12 dan 4.13. hasil dari perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.39.

Tabel 4.39 Data Q_{rw} dan Q_{ra} Berdasarkan Variasi Konsentrasi Dengan Volume Sampel 500 ml

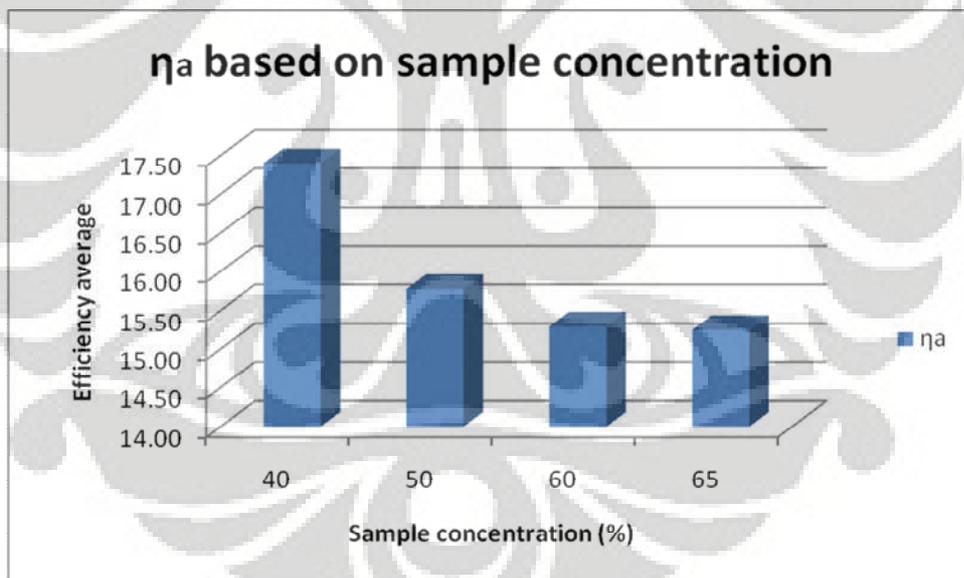
Sampel (%)	Volume (ml)	$Q_{rw}(\%)$	$Q_{ra} (\%)$
40	500	75.64	24.36
50	500	65.08	34.92
60	500	54.95	45.05
65	500	49.17	50.83

BAB 5 ANALISA DAN PEMBAHASAN

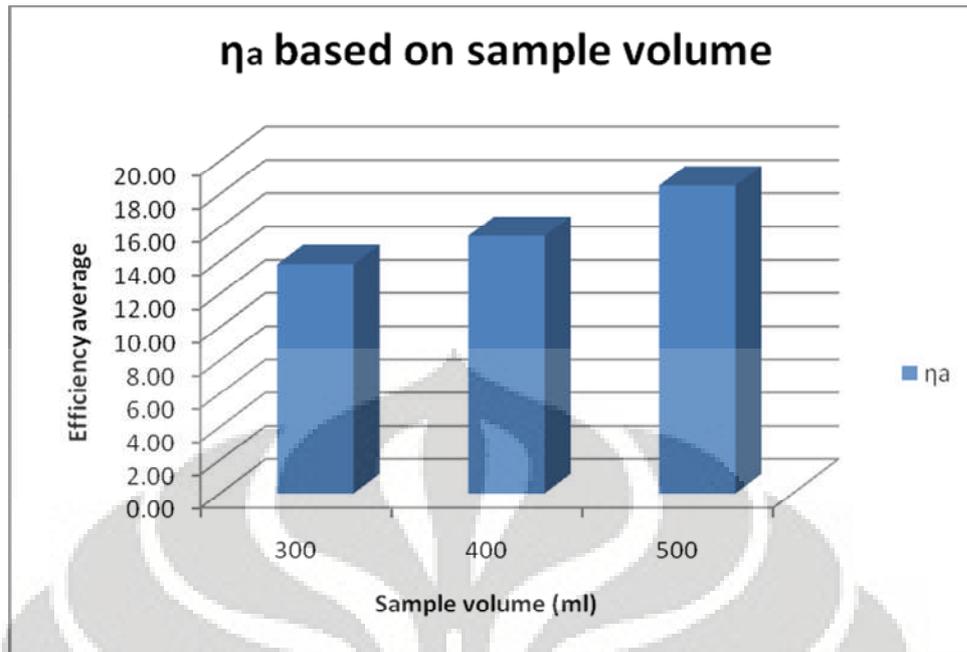
Perhitungan efisiensi termal yang dilakukan pada bab sebelumnya telah dibuat ke dalam bentuk tabel-tabel. Namun hasil tersebut belum mampu menunjukkan karakteristik serta fenomena-fenomena yang sebenarnya terjadi ketika proses dan setelah pengambilan data dilakukan. Untuk mengetahui fenomena-fenomena yang terjadi secara jelas, maka data-data pada tabel tersebut perlu diubah ke dalam bentuk grafik-grafik dan menginterpolasinya. Hasil dari proses *plotting* tersebut akan ditampilkan pada bab ini.

5.1 Analisis Data Yang Melibatkan Perhitungan Volume Residu

5.1.1 Analisis Efisiensi Termal Rata-Rata



Grafik 5.1. Grafik Perbandingan Efisiensi Rata-Rata (η_a) Berdasarkan Variasi Sampel

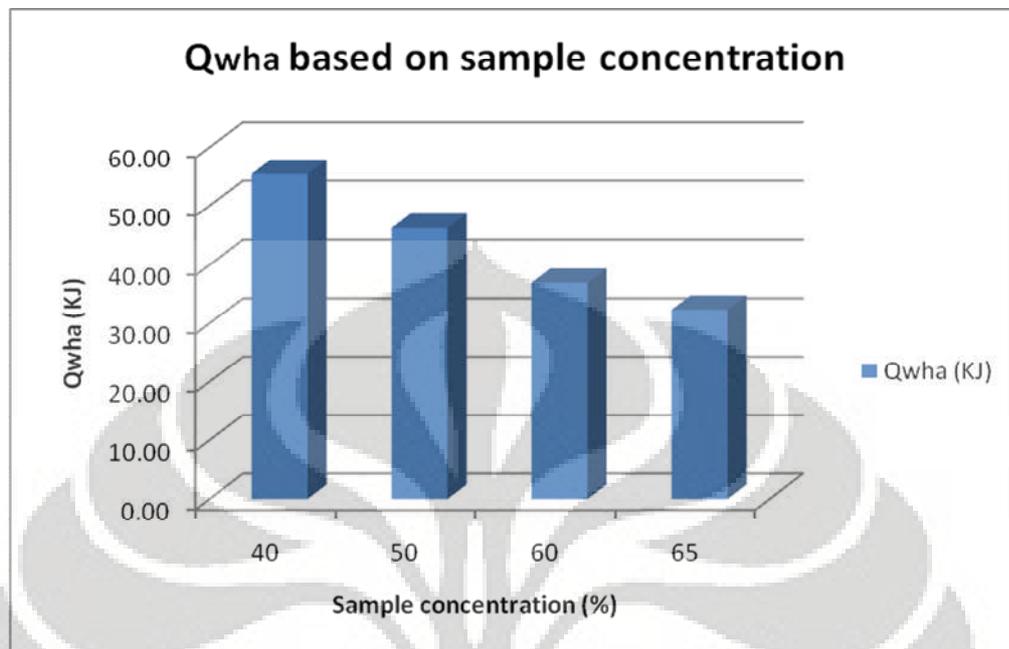


Grafik 5.2. Grafik Perbandingan Efisiensi Rata-Rata (η_a) Berdasarkan Variasi Volume

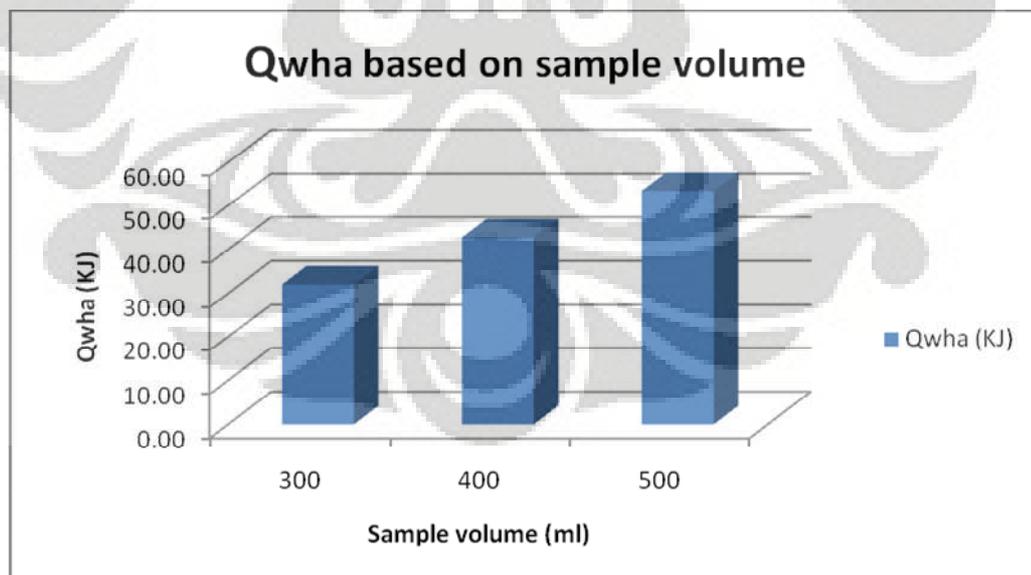
Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa berdasarkan variasi konsentrasi, efisiensi rata-rata tertinggi terjadi pada hasil proses distilasi sampel berkadar 40% dan efisiensi rata-rata terendah pada sampel berkadar 65%. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan diagram azeotrop yang memperlihatkan semakin tinggi konsentrasi suatu sampel (mendekati titik azeotrop), maka komposisi fase uap dan fase cair tidak akan jauh berbeda.

Berdasarkan grafik efisiensi rata-rata berdasarkan perbedaan volume, terlihat bahwa efisiensi tertinggi terjadi pada sampel dengan volume 500 ml dan terendah terjadi pada sampel dengan volume 300 ml. hal ini membuktikan bahwa jumlah kalor yang diserap oleh sampel dengan volume 500 ml merupakan yang paling tinggi sedangkan kalor yang diserap oleh sampel dengan volume 400 ml merupakan yang paling rendah. Fenomena tersebut dapat dijelaskan dengan persamaan untuk menghitung kalori bahwa semakin besar massa yang akan dipanaskan maka akan semakin tinggi pula kalor yang dibutuhkan dan begitupun sebaliknya.

5.1.2 Analisis Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Air (Q_{wha})



Grafik 5.3. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata untuk Memanaskan Air (Q_{wha}) di dalam Sampel Berdasarkan Variasi Konsentrasi

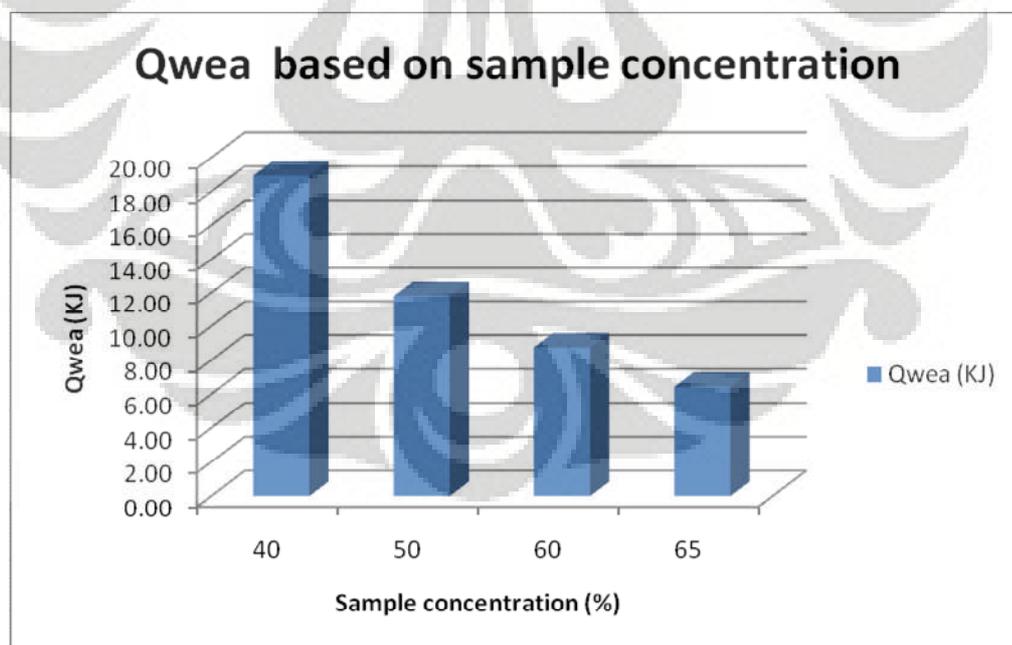


Grafik 5.4. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata untuk Memanaskan Air di dalam Sampel (Q_{wha}) Berdasarkan Variasi Volume

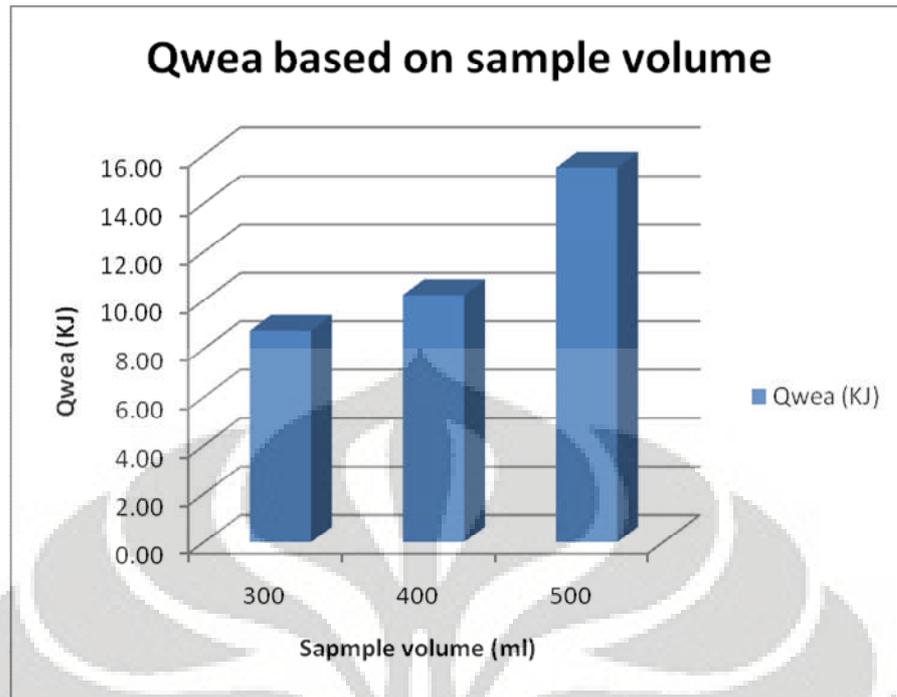
Grafik diatas menunjukkan perbandingan kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air yang terkandung di dalam sampel. Berdasarkan grafik variasi konsentrasi menunjukkan bahwa kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air memiliki jumlah tertinggi pada sampel dengan kadar 40% dan terendah pada kadar 65%. Hasil tersebut sesuai dengan teori bahwa semakin kecil kadar konsentrasi alkohol pada suatu sampel, maka akan semakin tinggi kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan air yang terkandung didalam sampel sehingga total kalor juga semakin tinggi.

Berdasarkan grafik variasi volume menunjukkan bahwa angka tertinggi kalor rata-rata yang dibutuhkan untuk memanaskan air terjadi pada volume 500 ml dan terendah terjadi pada volume 300 ml. Semakin besar volume sampel, maka semakin besar pula kadar air yang terkandung sehingga membutuhkan kalor yang lebih besar.

5.1.3 Analisis Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Air (Q_{wea})



Grafik 5.5. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata Yang Dibutuhkan Untuk Menguapkan Air (Q_{wea}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

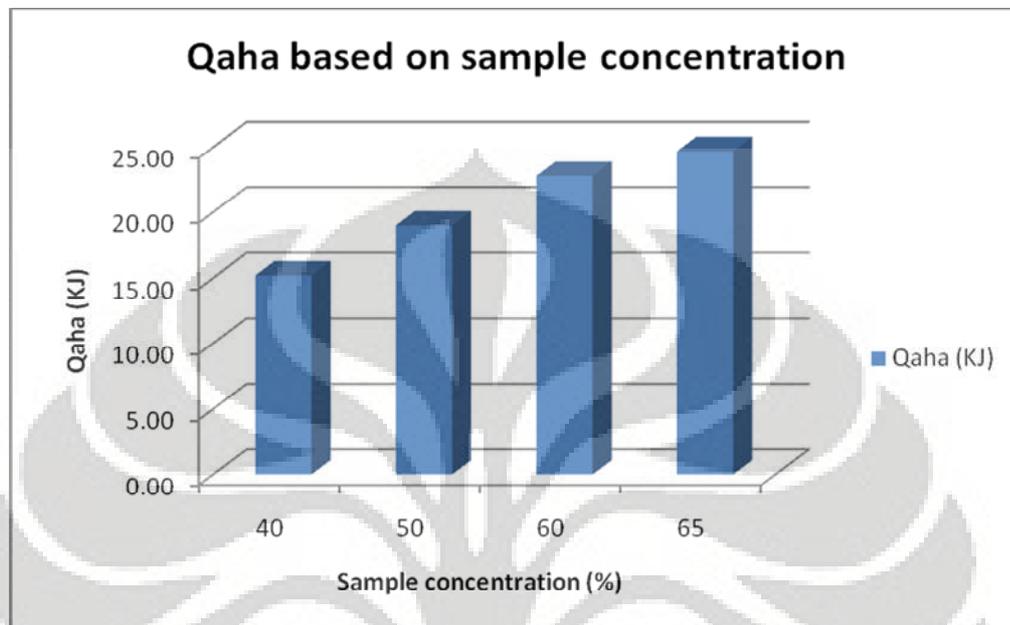


Grafik 5.6. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang dibutuhkan untuk Menguapkan Air (Qwea) Berdasarkan Variasi Volume

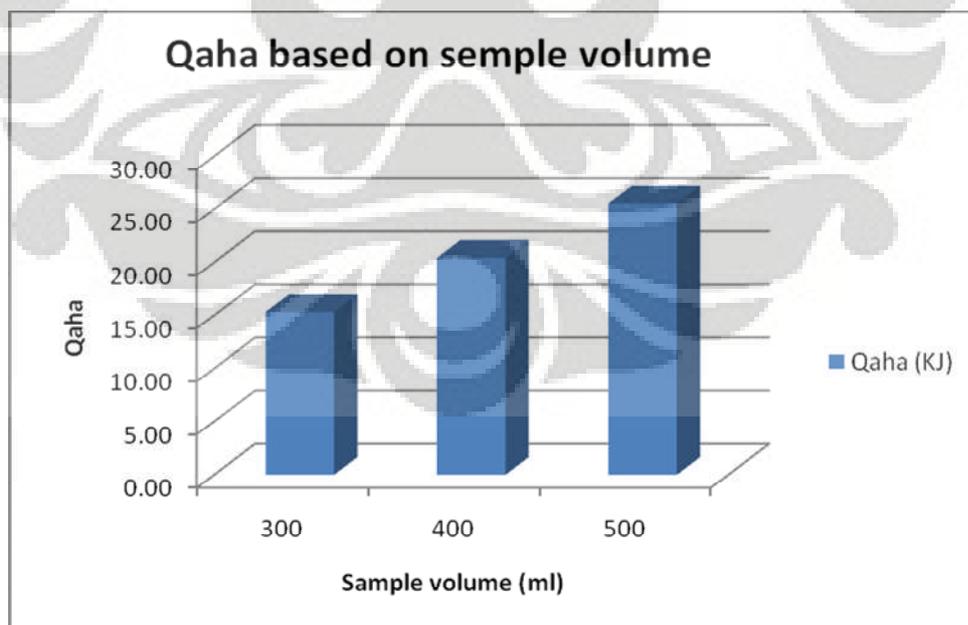
Grafik diatas menunjukkan perbandingan kalor rata-rata yang dibutuhkan untuk menguapkan air yang terkandung di dalam sampel. Dari grafik variasi konsentrasi dapat dilihat bahwa jumlah kalor rata-rata tertinggi yang dibutuhkan untuk menguapkan air terjadi pada sampel dengan kadar 40% sedangkan yang terendah terjadi pada sampel dengan kadar 65%. Hal ini membuktikan teori bahwa semakin tinggi kadar konsentrasi suatu sampel maka akan semakin rendah kadar air sehingga kalor penguapan air yang terkandung di dalam sampel semakin rendah dan begitupun sebaliknya.

Berdasarkan grafik variasi volume terlihat bahwa jumlah tertinggi kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan air yang terkandung didalam dospel terjadi pada sampel dengan volume 500 ml sedangkan yang terendah terjadi pada sampel dengan volume 300 ml. Hal ini membuktikan teori bahwa semakin besar volume suatu sampel yang akan dipanaskan, maka semakin besar pula kalor penguapan air yang dibutuhkan.

5.1.4 Analisis Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Alkohol (Qaha)



Grafik 5.7. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang dibutuhkan untuk Memanaskan Alkohol (Qaha) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

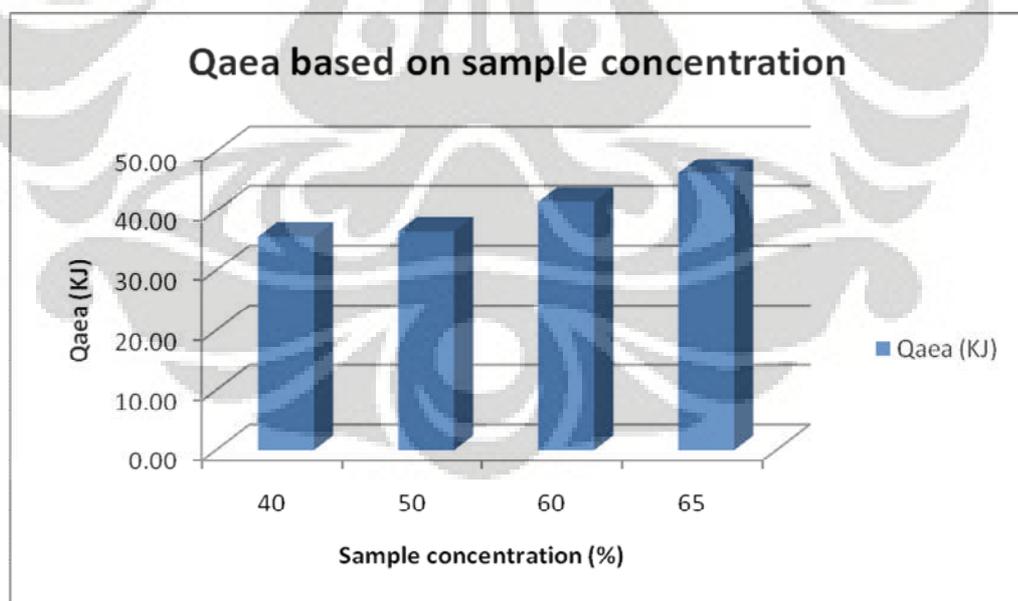


Grafik 5.8. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang dibutuhkan untuk Memanaskan Alkohol (Qaha) Berdasarkan Variasi Volume

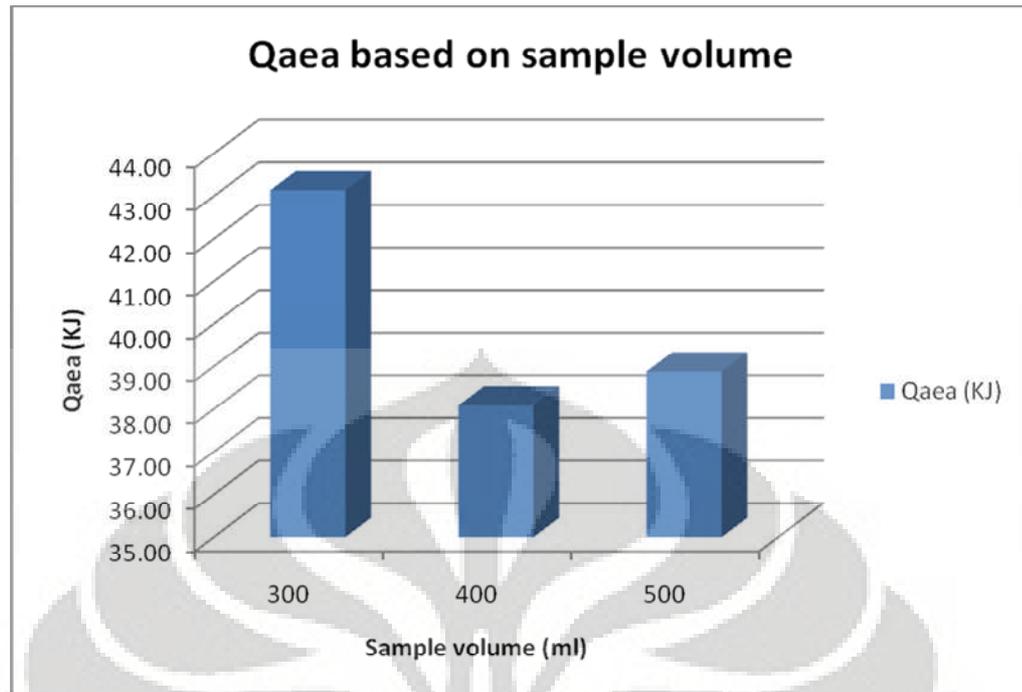
Grafik-grafik diatas menunjukkan perbandingan kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan alkohol berdasarkan variasi konsentrasi dan volume. Berdasarkan grafik variasi konsentrasi menunjukkan bahwa kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan alkohol mencapai jumlah tertinggi pada konsentrasi 65% dan terendah pada konsentrasi 40%. Hal ini menjelaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi suatu sampel maka akan semakin tinggi jumlah alkohol sehingga semakin tinggi pula kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan alkohol yang terkandung dan begitu pun sebaliknya.

Berdasarkan grafik variasi volume menunjukkan jumlah kalor tertinggi yang diperlukan untuk memanaskan alkohol terjadi pada volume 500 ml dan terendah terjadi pada sampel volume 300 ml. Ini menunjukkan bahwa semakin tinggi volume sampel maka akan semakin besar kalor pemanasan yang dibutuhkan.

5.1.5 Analisis Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Alkohol (Q_{aea})



Grafik 5.9. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Alkohol (Q_{aea}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

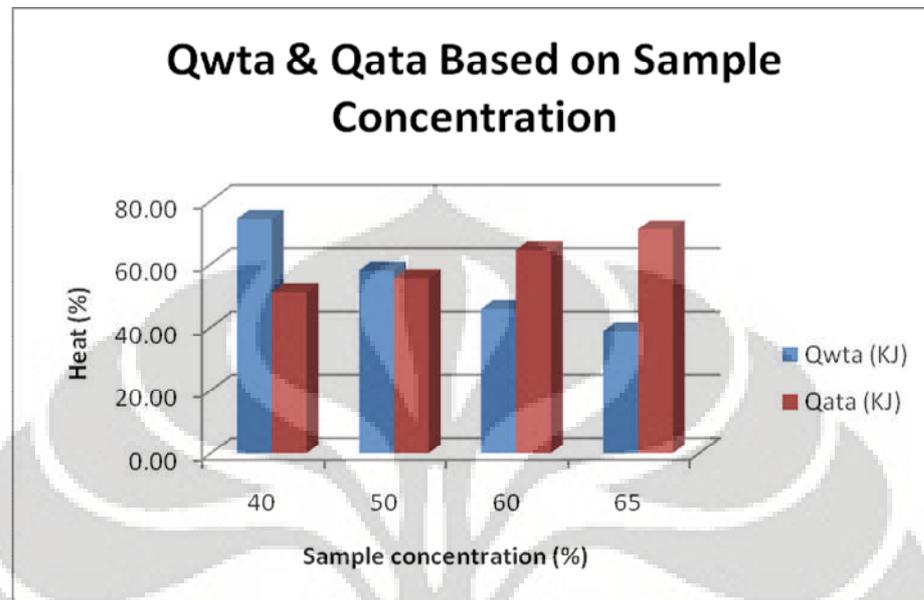


Grafik 5.10. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Alkohol (Q_{aea}) Berdasarkan Variasi Volume

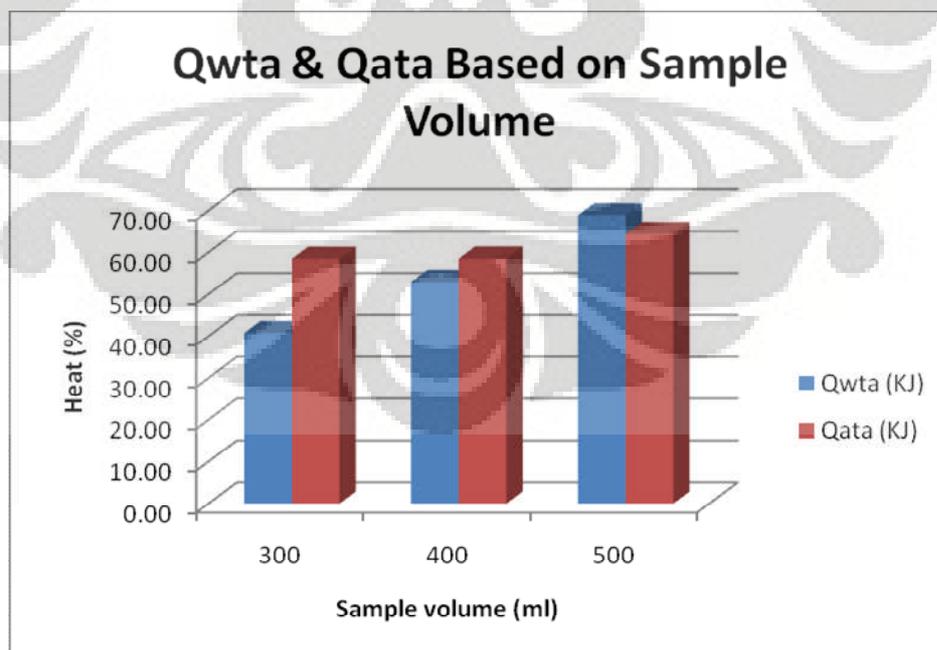
Grafik-grafik diatas menunjukkan perbandingan kebutuhan kalor rata-rata untuk menguapkan alkohol berdasarkan pengujian sampel variasi konsentrasi dan variasi volume. Berdasarkan variasi konsentrasi menunjukkan kenaikan kebutuhan kalor rata-rata yang stabil dari mulai dari samel 40% hingga 65% namun selanjutnya terjadi penurunan pada sampel dengan konsentrasi 65%. Hal ini sesuai dengan teori yang menjelaskan bahwa semakin tinggi kadar alkohol suatu sampel yang akan dipanaskan maka akan semakin tinggi pula kalor yang dibutuhkan.

Berdasarkan grafik variasi volume terjadi kalor rata-rata tertinggi yang diperlukan untuk menguapkan alkohol terjadi pada volume 300 ml namun selanjutnya terjadi keanehan bentuk grafik. Bentuk grafik tersebut seharusnya semakin menurun secara stadil mulai dari volume 300 ml hingga 500 ml. Hal ini dikarenakan peneliti kurang konsisten dalam pengambilan data. Namun secara garis besar fenomena semakin tinggi volume maka semakin rendah Q_{aea} dikarenakan terjadi penurunan kadar alkohol ketika volume sampel semakin besar sehingga kalor rata-rata untuk menguapkan alkohol menjadi lebih sedikit.

5.1.6 Analisis Kalor Total yang diserap Oleh Air (Q_{wta}) dan Kalor Total yang diserap oleh Alkohol (Q_{ata})



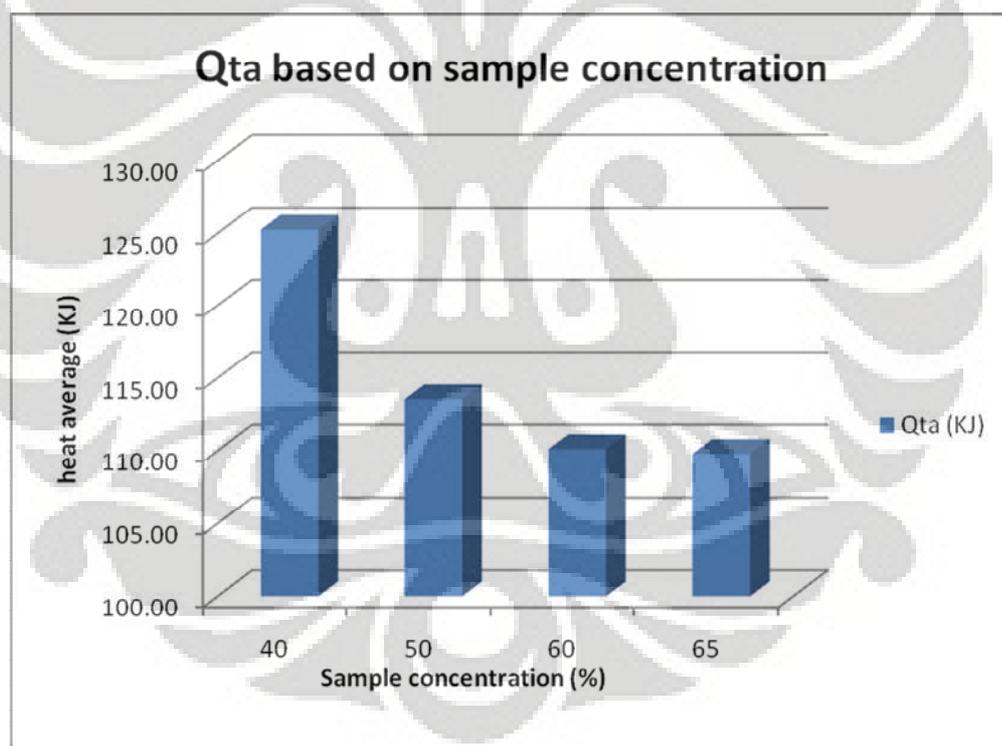
Grafik 5.11. Grafik Perbandingan Q_{wta} & Q_{ata} Berdasarkan Variasi Konsentrasi



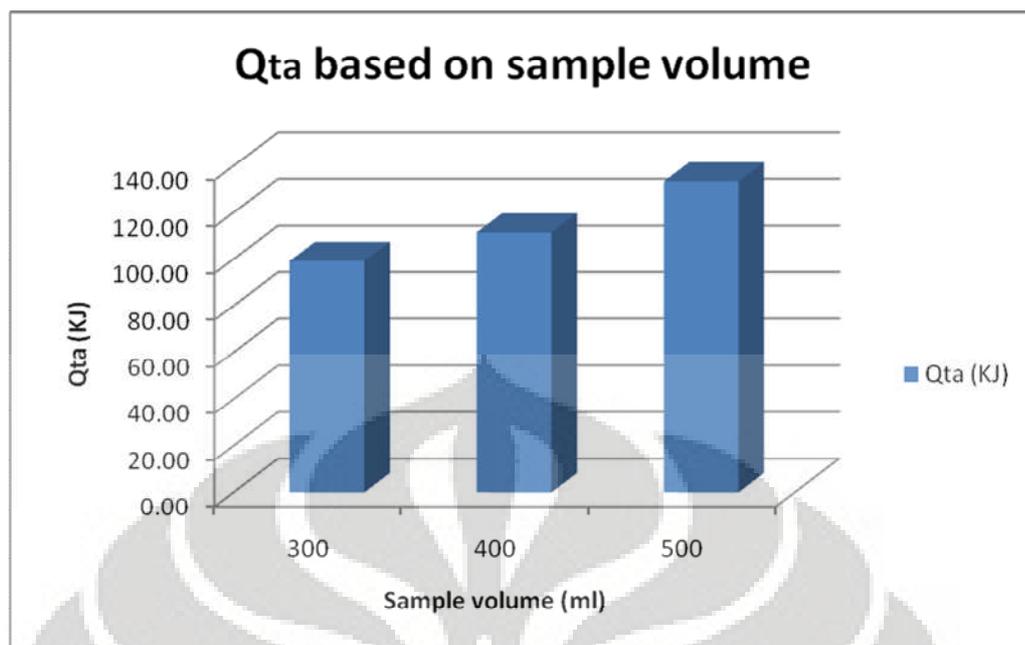
Grafik 5.12. Grafik Perbandingan Q_{wta} & Q_{ata} Berdasarkan Variasi Volume

Grafik-grafik diatas menunjukkan perbandingan kalor total rata-rata yang dibutuhkan air (Q_{wta}) dan kalor total rata-rata yang dibutuhkan alkohol (Q_{ata}) berdasarkan variasi konsentrasi dan volume. Berdasarkan grafik variasi konsentrasi menunjukkan terjadi penurunan Q_{wta} dan kenaikan Q_{ata} yang stabil dari mulai konsentrasi 40% hingga 60%, namun terjadi penurunan Q_{ata} pada sampel 65% akibat peneliti yang tidak konsisten dalam pengambilan data. Berdasarkan grafik variasi volume menunjukkan konsistensi peneliti dalam pengambilan data. Grafik tersebut juga membuktikan teori bahwa semakin tinggi volume sampel maka semakin tinggi pula Q_{ata} dan Q_{wta} .

5.1.7 Analisis Kalor Total Rata-Rata yang Diserap Sampel (Q_{ta})



Grafik 5.13. Grafik Perbandingan Kalor Total Rata-Rata (Q_{ta}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

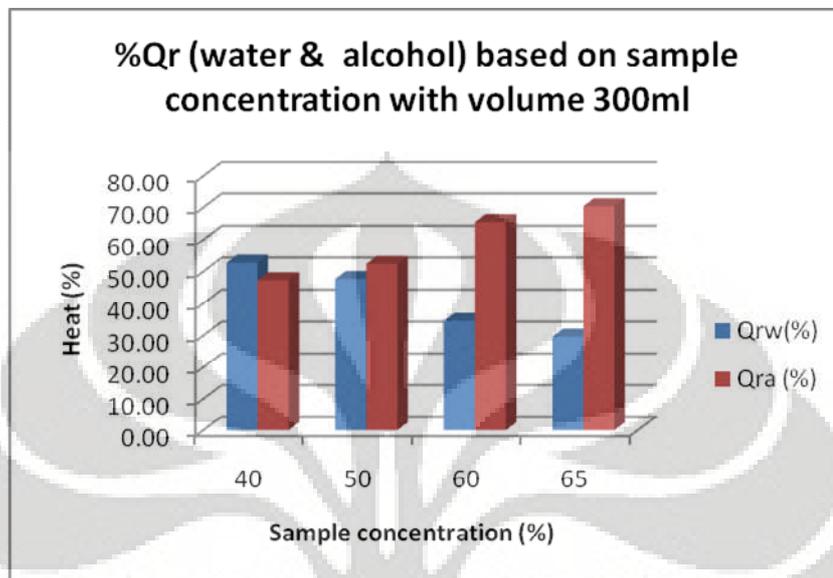


Grafik 5.14. Grafik Perbandingan Kalor Total Rata-Rata (Q_{ta}) Berdasarkan Variasi Volume

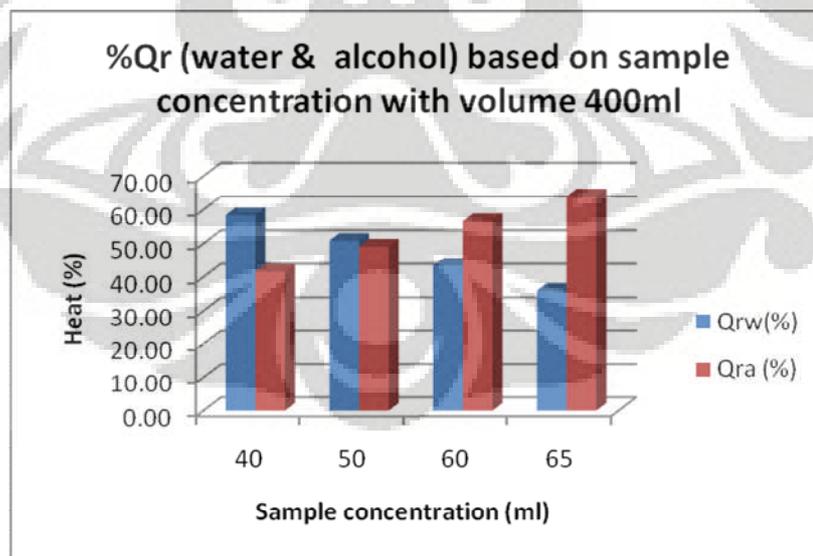
Grafik-grafik diatas menunjukkan pengaruh variasi sampel berdasarkan konsentrasi dan volume terhadap kalor total yang diserap. Berdasarkan grafik variasi konsentrasi menunjukkan bahwa kalor total rata-rata tertinggi yang diterima sampel adalah pada sampel dengan kadar 40% sedangkan yang terendah adalah 65%. Hal ini dikarenakan semakin rendah konsentrasi maka semakin tinggi kadar air sehingga total kalor akan semakin besar.

Berdasarkan grafik dengan sampel volume bervariasi menunjukkan bahwa kalor total rata-rata tertinggi terjadi pada sampel dengan volume 500 ml. hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin besar massa sampel yang akan dipanaskan, maka semakin besar pula kalor yang mampu diserap sampel.

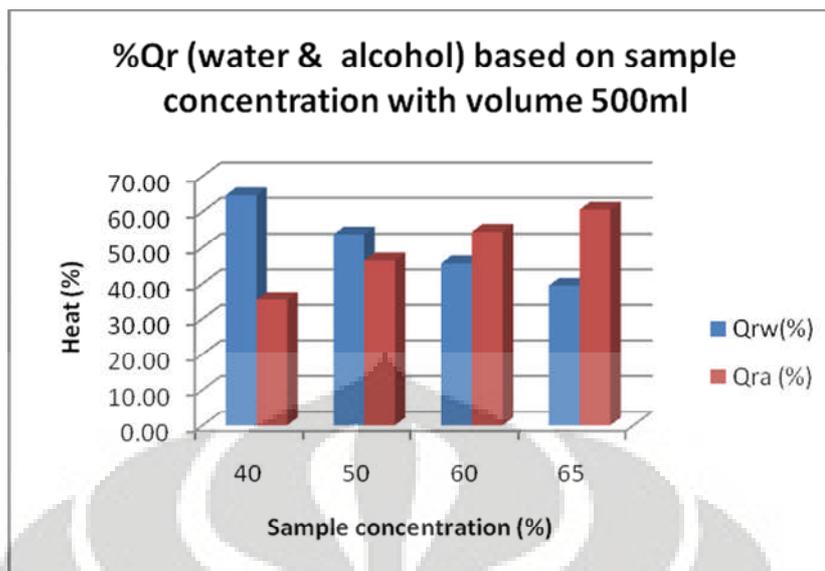
5.1.8 Analisis Persentase Penyerapan Kalor pada Air (%Q_{rw}) dan pada Alkohol (%Q_{ra})



Grafik 5.15. Grafik Perbandingan %Q_{rw} dan %Q_{ra} tiap Konsentrasi Sample pada Volume 300 ml



Grafik 5.16 Grafik Perbandingan %Q_{rw} dan %Q_{ra} tiap Konsentrasi Sample Pada Volume 400ml

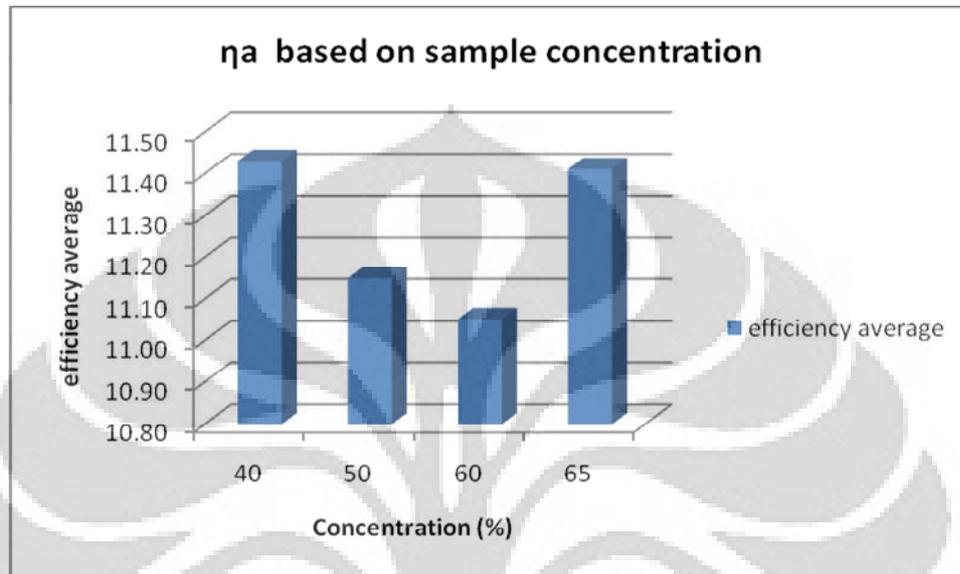


Grafik 5.17. Grafik Perbandingan %Qrw Dan %Qra tiap Konsentrasi Sample Pada Volume 500 ml

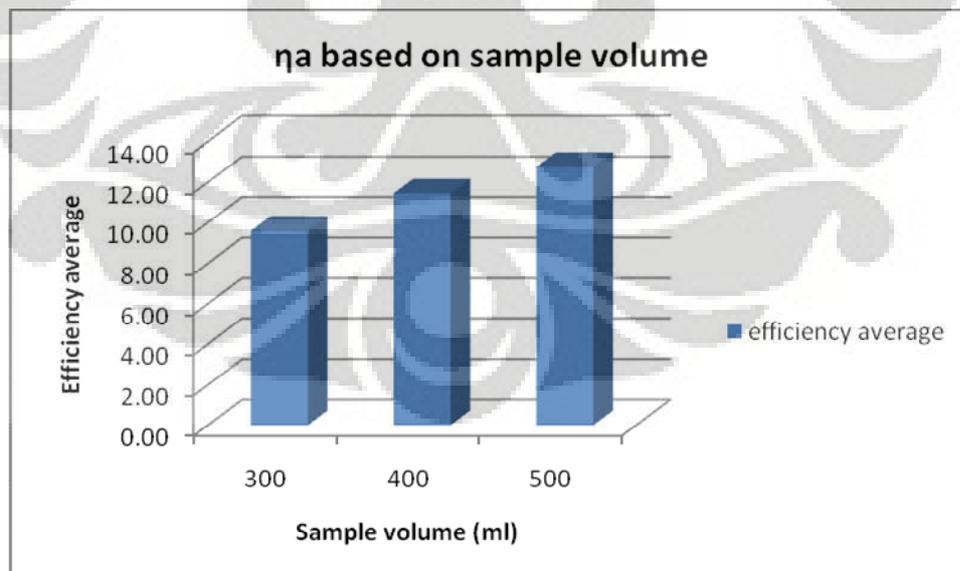
Grafik-grafik diatas menunjukkan perbandingan persentase penerimaan kalor oleh masing-masing air dan alkohol pada volume yang bervariasi. Grafik-grafik tersebut menunjukkan keseimbangan persentase penerimaan kalor. Apabila persentase penerimaan kalor oleh air berkurang, maka persentase penerimaan kalor oleh alkohol akan naik. khusus air apabila semakin tinggi volume sampel, maka akan semakin tinggi pula persentase penerimaan kalor, sedangkan untuk alkohol apabila semakin tinggi volume sampel maka penerimaan kalor akan semakin berkurang. Dari grafik-grafik diatas menunjukkan bahwa kalor yang diterima oleh air semakin menurun apabila kadar konsentrasi alkohol ditambah, sedangkan kalor yang diterima alkohol semakin besar apabila kadar alkohol ditambah. Kadar air dan alkohol disuatu sampel inilah yang memengaruhi persentase penerimaan kalor bagi masing-masing cairan.

5.2 Analisis Data tanpa Melibatkan Perhitungan Volume Residu

5.2.1 Analisis Efisiensi Termal Rata-Rata



Grafik 5.18. Grafik Perbandingan Efisiensi Termal Rata-Rata (η_a) Berdasarkan Variasi Konsentrasi

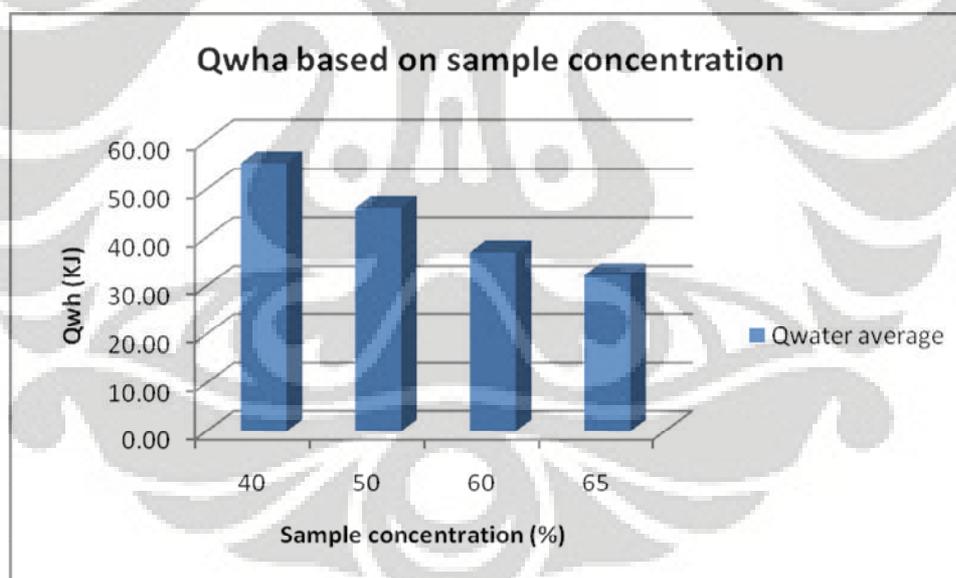


Grafik 5.19. Grafik Perbandingan Efisiensi Termal Rata-Rata (η_a) Berdasarkan Variasi Volume

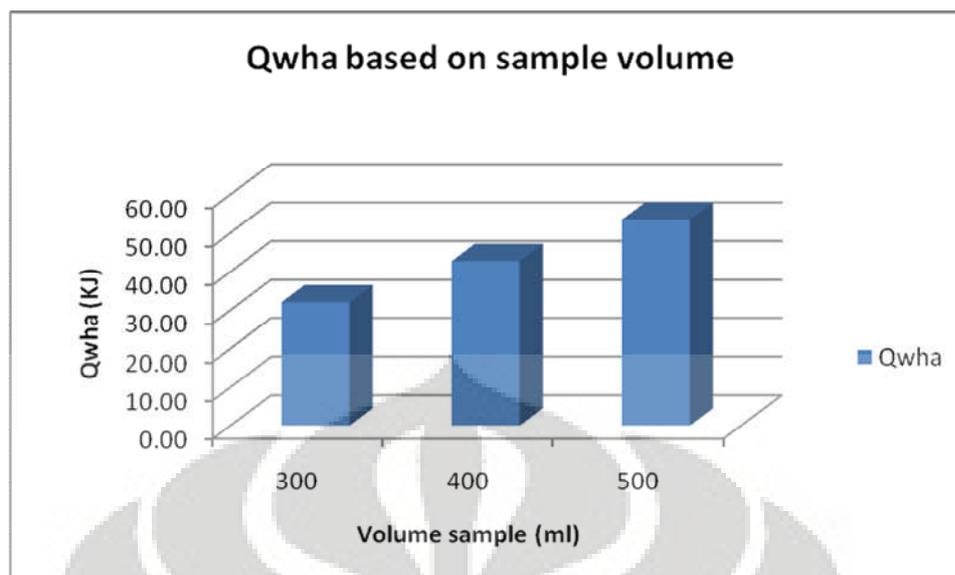
Grafik-grafik diatas menunjukkan perbandingan efisiensi rata-rata untuk masing-masing konsentrasi dan volume. Terlihat dari grafik variasi konsentrasi bahwa terjadi fluktuasi efisiensi dimana efisiensi rata-rata tertinggi terjadi pada sampel berkadar alkohol 50% dan terendah terjadi pada sampel berkadar alkohol 60%. Grafik tersebut fluktuatif dikarenakan kurang konsistennya peneliti dalam proses pengambilan data.

Berdasarkan grafik dengan variasi volume terjadi efisiensi rata-rata tertinggi pada sampel bervolume 500 ml dan terendah pada sampel bervolume 300 ml. terlihat bahwa tingkat efisiensi rata-rata semakin naik apabila volume sampel semakin besar. Hal tersebut dikarenakan semakin besar massa sampel maka semakin besar kalor yang akan diserap dan akan semakin tinggi efisiensinya, dengan catatan bahwa periode pemberian kalor adalah sama.

5.2.2 Analisis Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Air (Q_{wh})



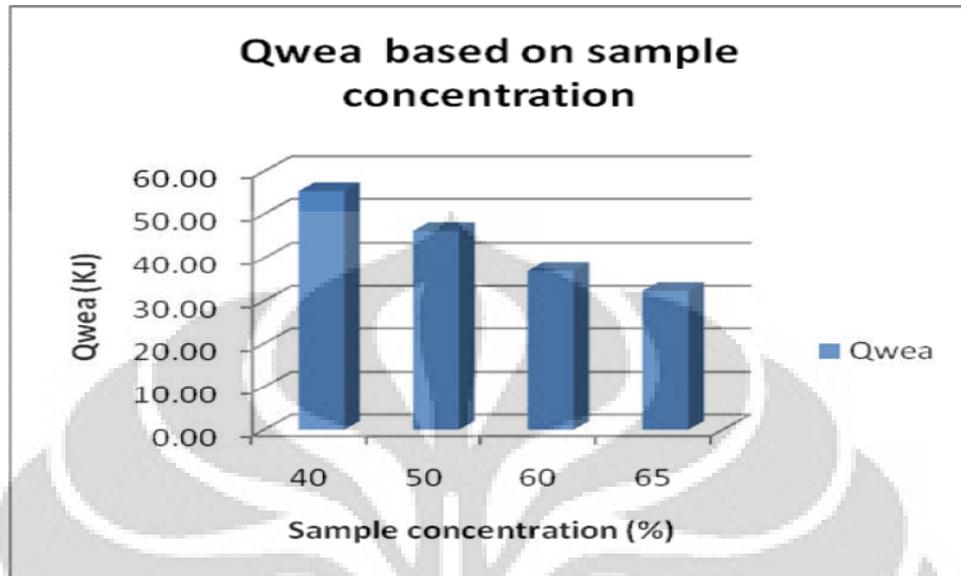
Grafik 5.20. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata untuk Memanaskan Air di dalam sampel (Q_{wh}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi



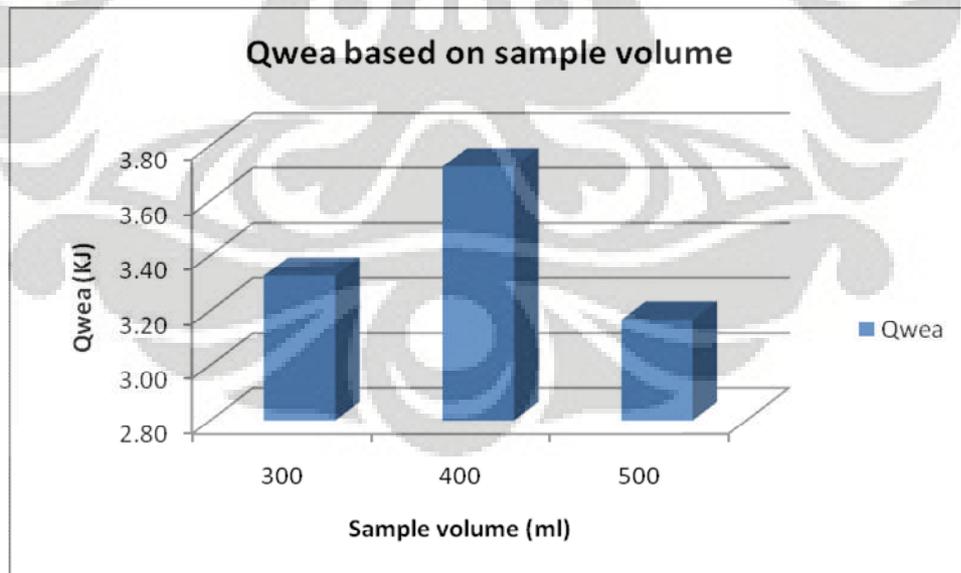
Grafik 5.21. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata untuk Memanaskan Air di dalam Sampel (Q_{wha}) Berdasarkan Variasi Volume

Grafik-grafik diatas menunjukkan perbandingan kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air (Q_{wha}) berdasarkan tiap-tiap konsentrasi dan volume. Terlihat dari grafik variasi konsentrasi bahwa kalor rata-rata yang diperlukan untuk memanaskan air tertinggi pada konsentrasi 40% dan terendah 65%. Hal ini dikarenakan semakin kecil konsentrasi alkohol berarti semakin besar konsentrasi air sehingga kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan juga semakin besar. Grafik tersebut juga mencerminkan peneliti yang cukup konsisten dalam pengambilan data. Berdasarkan grafik variasi volume menunjukkan kalor tertinggi yang dibutuhkan untuk memanaskan air yang terkandung di dalam sampel terjadi pada volume 500 ml dan terendah pada volume 300 ml. hal tersebut terjadi akibat semakin tinggi volume maka semakin banyak kandungan air di dalamnya.

5.2.3 Analisis Kalor Rata-Rata yang diperlukan Untuk Menguapkan Air (Qwea)



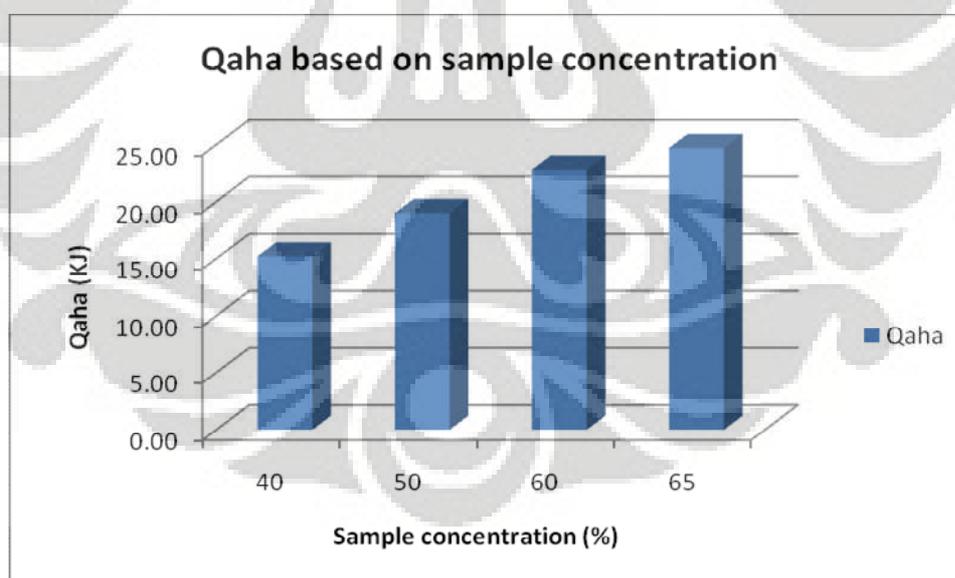
Grafik 5.22. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang dibutuhkan untuk Menguapkan Air (Qwea) Berdasarkan Variasi Konsentrasi



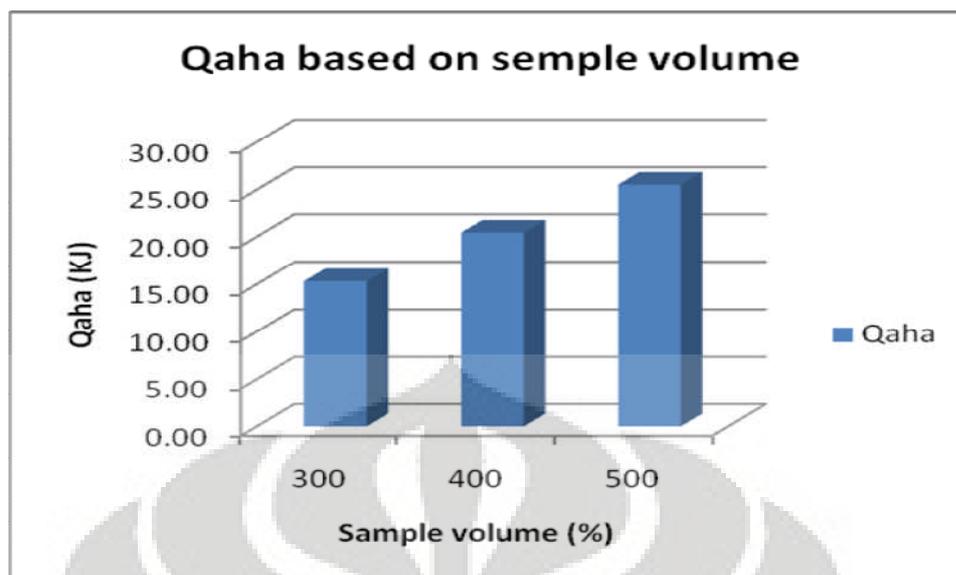
Grafik 5.23. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang dibutuhkan untuk Menguapkan Air (Qwea) Berdasarkan Variasi Volume

Grafik-grafik diatas menunjukkan perbandingan kalor rata-rata yang dibutuhkan untuk menguapkan air pada tiap-tiap konsentrasi dan volume sampel. Grafik variasi konsentrasi menunjukkan bahwa pada konsentrasi sampel 40% membutuhkan kalor tertinggi dibanding dengan konsentrasi lainnya. Hal ini disebabkan tingginya kadar air pada konsentrasi 40% dibanding konsentrasi sampel lainnya. Semakin tinggi massa air dalam suatu sampel maka semakin tinggi pula kalor rata-rata yang dibutuhkan untuk menguapkan air yang terkandung dalam sampel. Berdasarkan grafik variasi volume terlihat bahwa terjadi keanehan data yang diakibatkan peneliti yang kurang konsisten dalam pengambilan data. Secara teori seharusnya semakin tinggi volume sampel maka semakin tinggi pula kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan air yang terkandung dalam sampel.

5.2.4 Analisis Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Memanaskan Alkohol (Qaha)



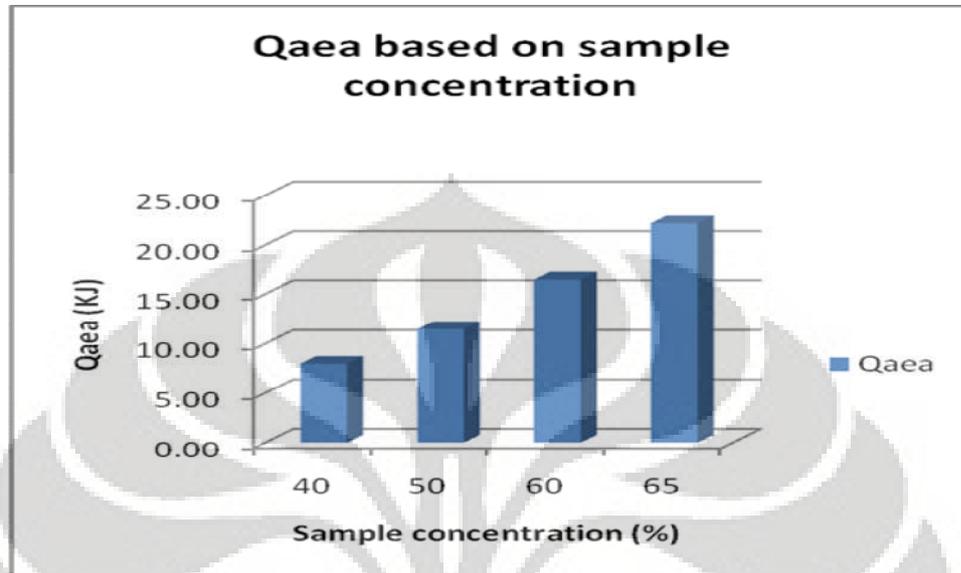
Grafik 5.24. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang dibutuhkan untuk Memanaskan Alkohol (Qaha) Berdasarkan Variasi Konsentrasi



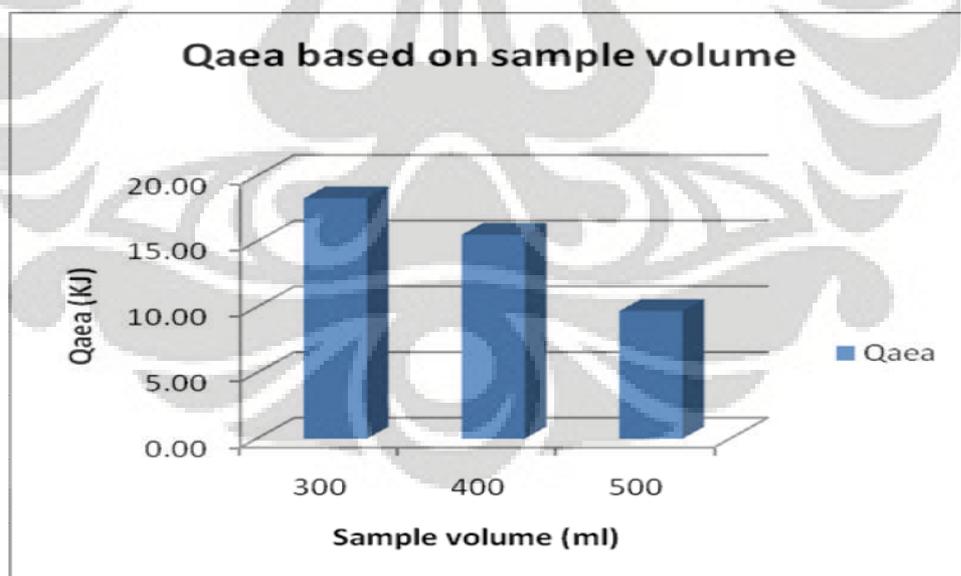
Grafik 5.25. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang dibutuhkan untuk Memanaskan Alkohol Berdasarkan Variasi Volume

Grafik-grafik diatas menunjukkan perbandingan kalor rata-rata yang dibutuhkan untuk memanaskan alkohol yang terkandung dalam sampel pada tiap-tiap konsentrasi dan volume. Grafik variasi konsentrasi menunjukkan pada konsentrasi 40%, kalor yang diperlukan untuk memanaskan alkohol lebih sedikit dibandingkan dengan konsentrasi sampel yang lain. Grafik ini membuktikan semakin tinggi konsentrasi alkohol maka semakin tinggi pula kalor rata-rata yang dibutuhkan untuk memanaskan alkohol yang terkandung dalam sampel. Berdasarkan grafik variasi volume menunjukkan bahwa kalor rata-rata tertinggi yang diperlukan untuk memanaskan sampel terjadi pada sampel bervolume 500 ml, sedangkan terendah pada volume 300 ml. Hal ini membuktikan bahwa semakin tinggi volume sampel maka semakin tinggi pula kalor pemanasan rata-rata yang dibutuhkan, begitu pula sebaliknya.

5.2.5 Analisis Kalor Rata-Rata yang Diperlukan untuk Menguapkan Alkohol (Q_{aea})



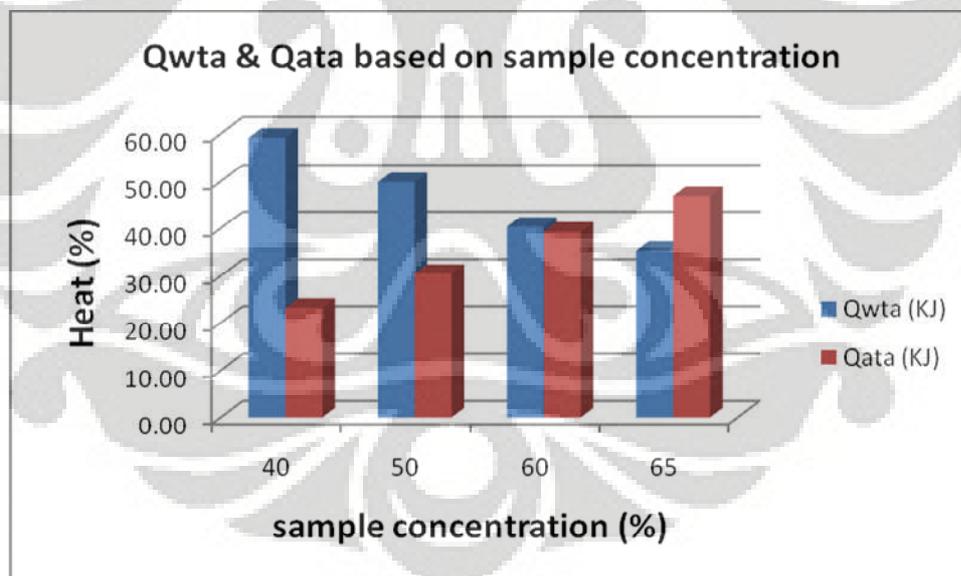
Grafik 5.26. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Alkohol (Q_{aea}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi



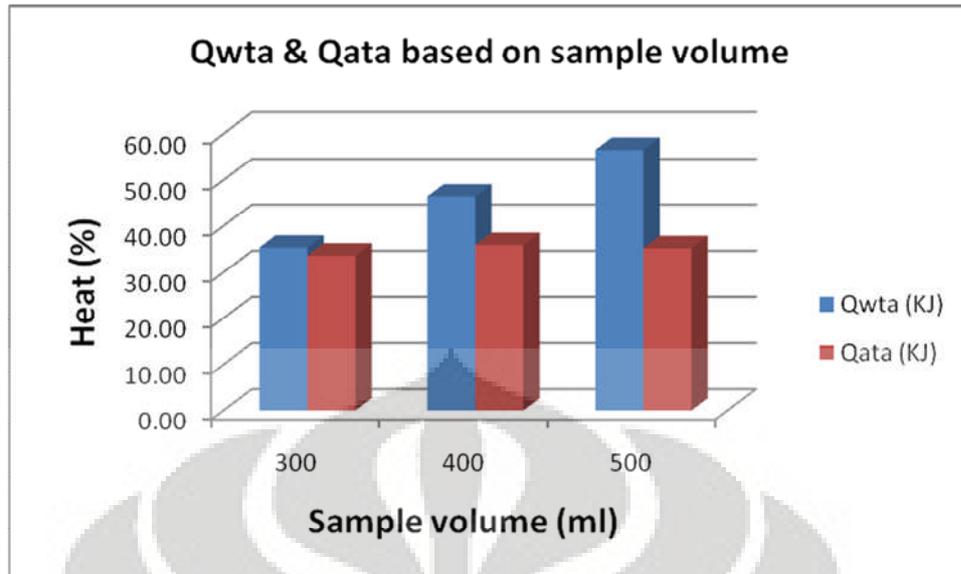
Grafik 5.27. Grafik Perbandingan Kalor Rata-Rata yang diperlukan untuk Menguapkan Alkohol (Q_{aea}) Berdasarkan Variasi Volume

Kedua grafik diatas menunjukkan perbandingan kalor rata-rata yang dibutuhkan untuk menguapkan alkohol yang terkandung dalam sampel pada tiap-tiap konsentrasi dan volume sampel. Grafik variasi konsentrasi menunjukkan bahwa kalor rata-rata tertinggi terjadi pada sampel dengan konsentrasi 65% dan terendah pada konsentrasi 40%. Semakin tinggi konsentrasi alkohol maka semakin banyak volume alkohol yang terkandung sehingga kalor yang dibutuhkan juga semakin banyak. Grafik variasi volume menunjukkan fluktuasi data yang tidak semestinya terjadi akibat peneliti yang tidak konsisten dalam pengambilan data. Secara teori menjelaskan bahwa semakin banyak volume sampel maka akan semakin banyak pula kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan alkohol yang terkandung dalam sampel.

5.2.6 Analisis Kalor Total yang dibutuhkan Air (Q_{wta}) dan Kalor Total yang dibutuhkan Alkohol (Q_{ata}) dalam Proses Distilasi



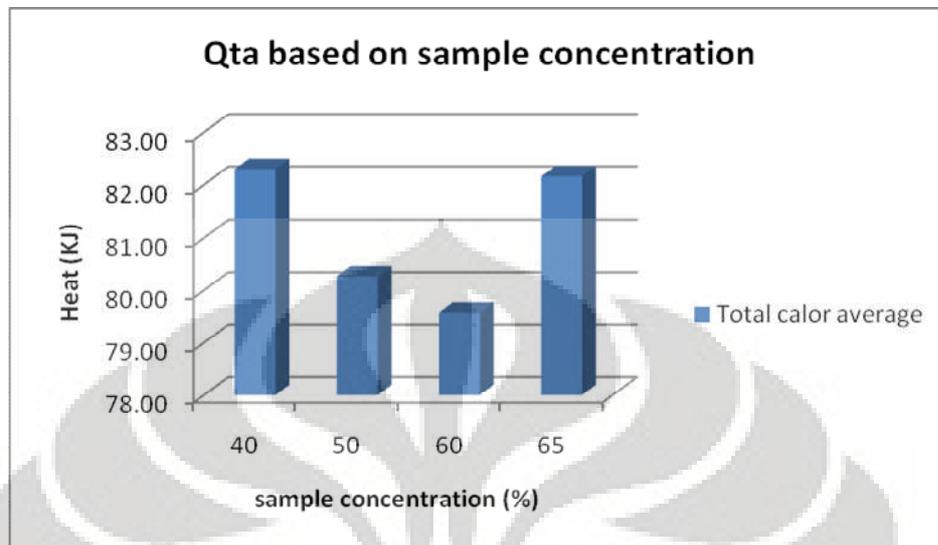
Grafik 5.28. Grafik Perbandingan Q_{wta} & Q_{ata} Berdasarkan Variasi Konsentrasi



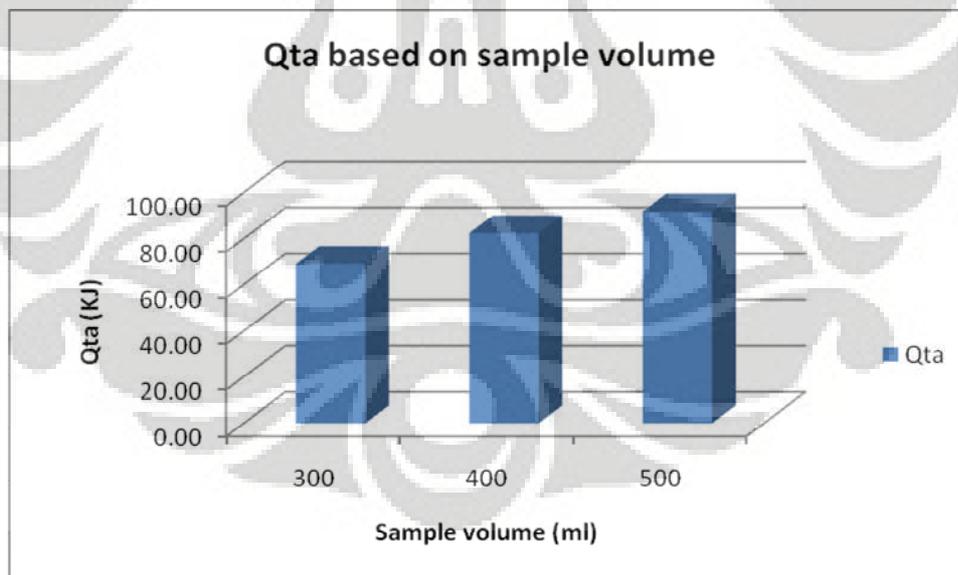
Grafik 5.29. Grafik Perbandingan Qwta & Qata Berdasarkan Variasi Volume

Grafik-grafik diatas menunjukkan perbandingan kalor total rata-rata yang diperlukan oleh air (Q_{wta}) dan kalor total rata-rata yang diperlukan oleh alkohol (Q_{ata}) untuk tiap-tiap konsentrasi dan volume. Dari grafik terlihat keseimbangan kalor yang diterima oleh air dan alkohol. apabila konsentrasi air semakin menurun, maka kalor yang diserap oleh alkohol semakin besar. Berdasarkan grafik variasi volume membuktikan bahwa semakin tinggi volume sampel maka kalor total rata-rata yang diterima oleh air dan alkohol juga semakin besar.

5.2.7 Analisis Kalor Total Rata-Rata yang Diserap Sampel



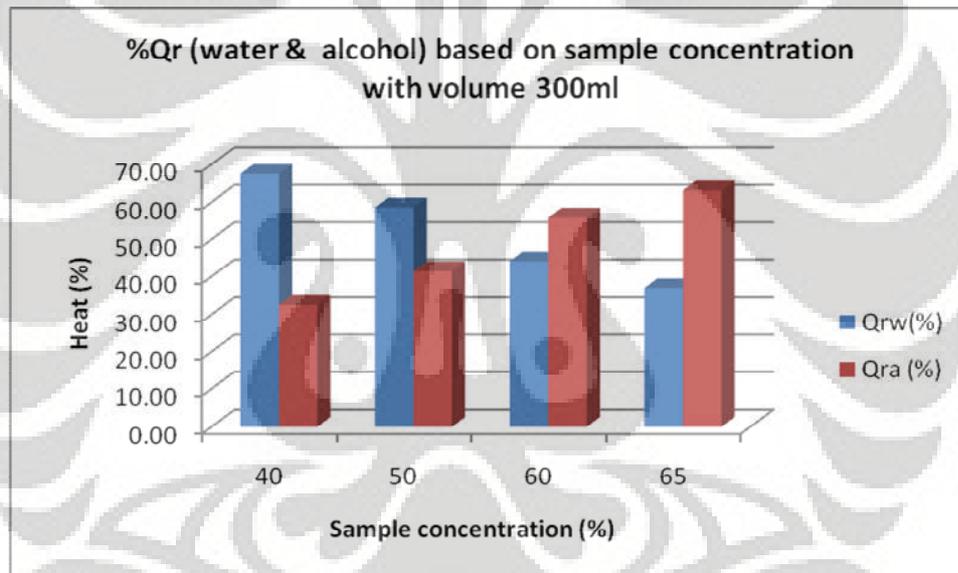
Grafik 5.30. Grafik Perbandingan Kalor Total Rata-Rata (Q_{ta}) Berdasarkan Variasi Konsentrasi



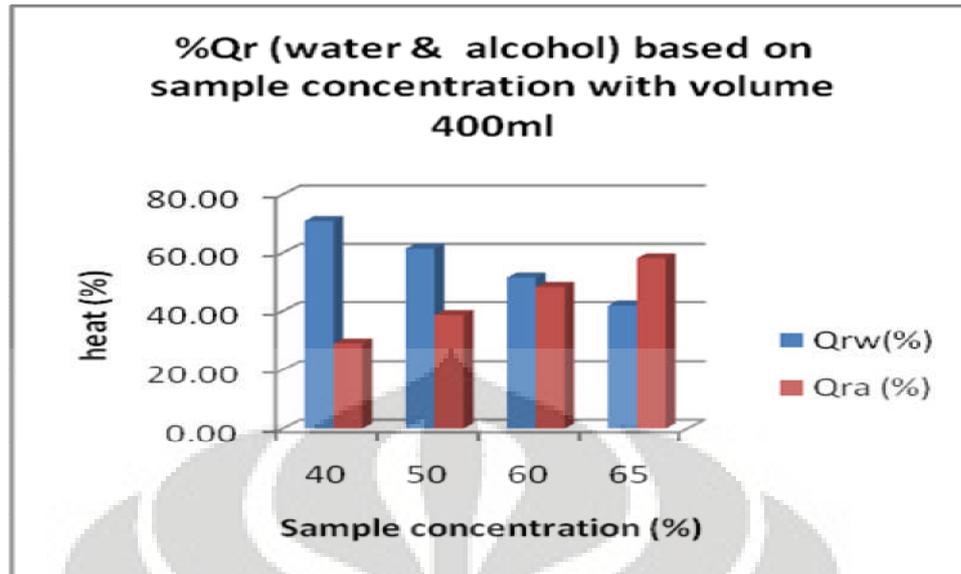
Grafik 5.31. Grafik Perbandingan Kalor Total Rata-Rata (Q_{ta}) Berdasarkan Variasi Volume

Kedua grafik diatas menunjukkan perbandingan kalor total rata-rata yang diterima sampel pada tiap-tiap konsentrasi dan volume sampel. Dari grafik variasi konsentrasi menunjukkan fluktuasi data yang mencerminkan kurang konsistennya peneliti dalam proses pengambilan data. Teori menjelaskan semakin tinggi konsentrasi sampel maka semakin tinggi pula kalor total rata-rata yang diterima. Berdasarkan grafik variasi volume menunjukkan semakin tinggi volume sampel maka semakin tinggi pula kalor total rata-rata yang diserap sampel.

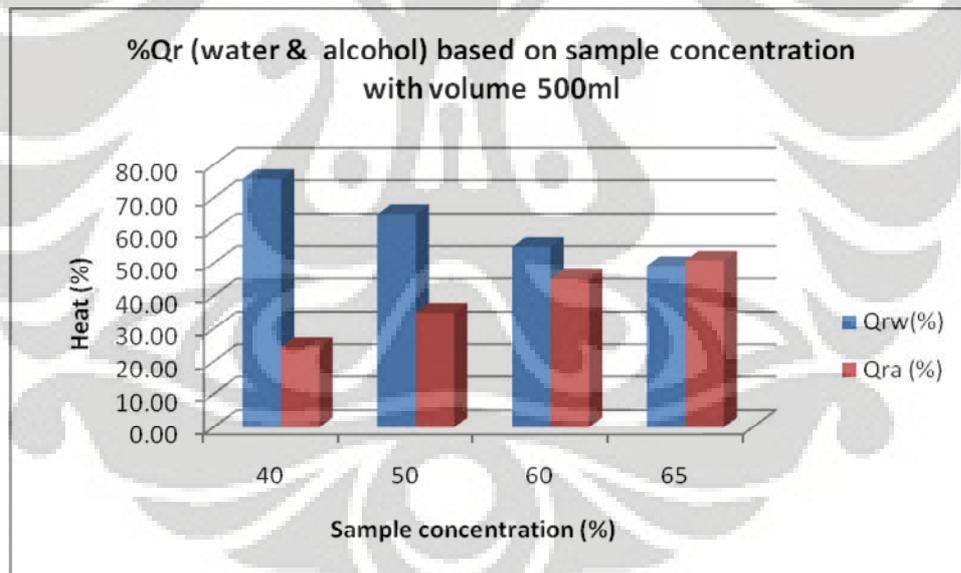
5.2.8 Analisis Persentase Penyerapan Kalor pada Air (% Q_{rw}) dan pada Alkohol (% Q_{ra})



Grafik 5.32. Grafik Perbandingan % Q_{rw} dan % Q_{ra} tiap Konsentrasi Sample pada Volume 300 ml



Grafik 5.33. Grafik Perbandingan %Qrw dan %Qra tiap Konsentrasi Sample pada Volume 400 ml



Grafik 5.34 Grafik Perbandingan %Qrw dan %Qra tiap Konsentrasi Sample pada Volume 500 ml

Ketiga grafik diatas menunjukkan perbandingan persentase kalor yang diserap (%Qr) oleh air dan persentase kalor yang diserap oleh alkohol untuk tiap konsentrasi. Dari ketiga grafik diatas juga menunjukkan meratanya kalor yang

diserap oleh air dan alkohol. apabila konsentrasi alkohol kecil maka kalor akan banyak diserap oleh air dan apabila konsentrasi alkohol besar maka kalor akan sedikit diserap oleh air.



BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan terhadap pengaruh variasi volume dan variasi konsentrasi terhadap penerimaan kalor dan efisiensi termal pada proses distilasi bioetanol, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Semakin rendah konsentrasi alkohol, maka akan semakin tinggi penyerapan kalor oleh air dan semakin rendah penyerapan kalor oleh alkohol yang terkandung dalam sampel.
2. Semakin tinggi volume sampel, maka akan semakin tinggi penyerapan kalor oleh alkohol dan air.
3. Semakin banyak volume output yang dihasilkan *portable mini distillatory*, maka semakin tinggi penyerapan kalor dan efisiensinya (dengan lama waktu pemanasan yang sama).
4. Perhitungan dengan melibatkan volume residu memiliki efisiensi rata-rata yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan perhitungan tanpa melibatkan volume residu.

6.2 SARAN

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian mengenai pengaruh variasi volume, variasi konsentrasi, maka masukan yang dapat diberikan kedepannya sehingga optimalisasi hasil dapat tercapai yaitu :

1. Perlu adanya thermocontrol otomatis yang diintegrasikan pada *portable mini distillator* sehingga suhu *heater* tidak akan melebihi suhu pemanasan yang diinginkan.
2. Apabila akan dilakukan perancangan ulang *portable mini distillator*, sebaiknya kotak kondensor dibuat tertutup dan air pendingin pada kondensor dibuat bersiklus. Hal ini berguna untuk mempertahankan suhu dingin dalam waktu lama.

DAFTAR REFERENSI

- Djojodiharjo, Harijono, *Termodinamika Teknik : Aplikasi Dan Termodinamika Statistik*, Penerbit Gramedia, Jakarta, 1987.
- Treybal, Robert E, *Mass-Transfer operations*. McGraw-Hill, 1981.
- Ralph J. Fessenden, Joan S. Fessenden, *Dasar-Dasar Kimia Organik*, Binarupa Aksara, Jakarta, 1997.
- Arismunandar, Wiranto, *Penggerak Mula: Motor Bakar Torak*, Penerbit ITB, Edisi kelima cetakan kesatu, Bandung, 2000.
- Arends, BPM., dan Barendschot, H., *Motor Bensin*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2000.
- Cengel, Yunus A., dan Boles, Michael A., *Thermodynamic: An Engineering Approach*, Mc.Graw-Hill Inc., United States of America, 1994.
- Anonim, Petunjuk Praktikum Motor Bakar, *Laboratorium Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin*, Fakultas Teknik UGM, 2004.
- Indarto, Yuli, *Bioethanol Alternatif Energi Terbarukan : Kajian Prestasi Mesin dan Implementasi di Lapangan*, 2005.
- Benson, Rowland and N.D Whitehouse. *Internal Combustion Engine Volume I*, Pergamon Press, 1983.
- Sugiarto, Bambang. *Motor Pembakaran Dalam*. ISBN 979-97726-7-2.



Data Sebelum dan Sesudah Proses Destilasi Berdasarkan Variasi Volume dan Konsentrasi

Mi (%)	Vo (ml)	Mi (%)	Vo (ml)	Mi (%)	Vo (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

Mi (%)	Mo (%)	Mi (%)	Mo (%)	Mi (%)	Mo (%)
40	91	40	89	40	80
50	92	50	92	50	90
60	96	60	93	60	93
65	97	65	96	65	95

Mi (%)	Residu (ml)	Mi (%)	Residu (ml)	Mi (%)	Residu (ml)
40	239.5	40	342	40	434
50	243	50	342	50	436
60	225	60	339	60	438.5
65	220	65	332	65	432.5

Time (min)	V _{distilat} (ml)						
10	0	10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0	20	0
30	0	30	0	30	1	30	1
40	1	40	1	40	4	40	5
50	2	50	3	50	7	50	9
60	3	60	5	60	11	60	13

Time (min)	V _{distilat} (ml)						
10	0	10	0	10	0	10	0
20	0	20	0	20	0	20	0
30	0	30	1	30	1	30	1
40	0.5	40	2	40	2	40	3
50	1	50	3.5	50	5	50	7
60	2	60	6	60	7	60	10

Mi (%)	Residu pada pipa (ml)	Mi (%)	Residu pada pipa (ml)	Mi (%)	Residu pada pipa (ml)
40	6	40	6	40	3.5
50	8	50	8	50	5
60	15	60	10	60	9
65	16	65	14	65	10

Mi (%)	V _{distilat} (ml)	Mi (%)	V _{distilat} (ml)	Mi (%)	V _{distilat} (ml)
40	40.5	40	41	40	56
50	31	50	32	50	44
60	25	60	29	60	32
65	22	65	29	65	27.5

M (%)	time (min)	M (%)	time (min)	M (%)	time (min)
40	159	40	169	40	171
50	148	50	165	50	169
60	146	60	166	60	168
65	132	65	152	65	159