



UNIVERSITAS INDONESIA

**DESAIN, PEMBUATAN, PENGUJIAN, ANALISIS
KOLOM DISTILASI BUBBLE-CAP UNTUK PEMURNIAN
ETANOL**

SKRIPSI

IRSYADY NUR HIDAYAT

0405020391

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**DESAIN, PEMBUATAN, PENGUJIAN, ANALISIS
KOLOM DISTILASI BUBBLE-CAP UNTUK PEMURNIAN
ETANOL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

IRSYADY NUR HIDAYAT

0405020391

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI 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 : Irsyady Nur Hidayat

NPM : 0405020391

Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Irsyady Nur Hidayat

NPM : 0405020391

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Evaluasi Desain Kolom Distilasi Bubble-cap untuk
Pemurnian Etanol Sebagai Bahan Bakar Fuel Cell

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 : Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara ()

Penguji : Prof. Dr. Ir. Budiarmo, M.Eng. ()

Penguji : Dr. Ir. Wardjito, M.Eng. ()

Penguji : Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, M.T. ()

Ditetapkan di :

Tanggal :

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. yang telah memberikan nikmat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “Desain, Pembuatan, Pengujian, dan Analisis Kolom Distilasi Bubble-Cap untuk Pemurnian Etanol.”

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

1. Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara, selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
2. Keluarga penulis tercinta terutama Ibunda dan Ayahanda penulis yang selalu mendukung, mendoakan, dan menyemangati penulis.
3. Seluruh staf pengajar Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah memberikan ilmunya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan ilmu yang telah didapat.
4. Seluruh staf karyawan Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia yang telah membantu menyediakan sarana dan prasarana untuk penulis dalam melakukan kegiatan penelitian.
5. Abdurrahman, Adi Waskita, Andianto yang telah memberikan dukungan yang maksimal dalam pembuatan prototype kolom distilasi, mendoakan, dan menyemangati penulis.

Depok, Juli 2010

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Irsyady Nur Hidayat
NPM : 0405020391
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: **DESAIN, PEMBUATAN, PENGUJIAN, ANALISIS KOLOM DISTILASI BUBBLE-CAP UNTUK PEMURNIAN ETANOL**, beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : Juli 2010
Yang menyatakan,

(Irsyady Nur Hidayat)

Abstrak

Nama : Irsyady Nur Hidayat
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Desain, Pembuatan, Pengujian, dan Analisis Kolom
Distilasi Bubble-Cap untuk Pemurnian Etanol

Berkurangnya sumber energi primer yang berasal dari sumber energi yang tidak terbarukan memaksa manusia untuk sumber energi alternatif. Sumber energi tersebut diantaranya adalah sumber energi yang terbarukan dan bisa menjadi pengganti efektif bagi sumber energi primer yang sekarang banyak dipakai, terutama minyak bumi. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan adalah penggunaan sel bahan bakar sebagai penghasil energi listrik. Terdapat berbagai jenis sel bahan bakar, namun pada dewasa ini banyak dikembangkan sel bahan bakar berbahan bakar etanol. Dalam penelitian ini, dilakukan permodelan, pembuatan prototipe, pengujian dan simulasi pada satu kolom distilasi sebagai alat utama pengolahan etanol. Tujuannya adalah ingin menghasilkan produk etanol layak menjadi bahan bakar yaitu etanol dengan kadar diatas 95%. Oleh karena itu dilakukan pengujian dan simulasi untuk mempelajari faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi performa suatu kolom distilasi sehingga mencapai hasil yang diinginkan. Dalam pengujian dilakukan dua kali percobaan dengan memvariasikan *feed* (umpan masuk) sebesar 20% dan 40% etanol. Pada pengujian di dapatkan data berupa jatuh tekanan sepanjang kolom distilasi, konsentrasi distilat, debit aliran pada *feed* dan aliran keluar (distilat), dan dari data tersebut akan dievaluasi performa sistem dengan parameter waktu operasi minimum. Dari pengujian di dapat waktu operasi minimum sebesar 1145 detik untuk *feed* 20% etanol dengan error -5,2% dibandingkan waktu minimum teoritis, dan 789 detik untuk *feed* 40% dengan error 50,73% dari waktu minimum teoritis. Sedangkan dari simulasi didapatkan jatuh tekanan pada kolom sebesar 2 kPa, dan kecepatan pada *feed* sebesar 15 m/s. Dari penelitian didapatkan konsentrasi distilat sangat bergantung dengan waktu operasi. Semakin lama waktu operasi maka semakin kecil komposisi etanol pada distilat.

Kata kunci:

Etanol, distilasi, kolom distilasi, konsentrasi, *feed*, distilat, jatuh tekanan, debit aliran, CFD, simulasi, waktu operasi minimum.

Abstract

Name : Irsyady Nur Hidayat
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Design, Construction, Testing, and Analysis of
Bubble-Cap Distillation Column for Ethanol Purification

Reduced primary energy resources comes from fossil fuels makes man trying to find alternative energy sources. Alternative energy resources must come from renewable energy resources and can be an effective substitute for primary energy sources are now widely used, especially petroleum. One of use renewable energy is utilization fuel cells as a producer of electrical energy. There are various types of fuel cells, but at present the most developed fuel cells are fueled ethanol. In this research, modeling, prototyping, testing and simulation on a single distillation column as the primary means of ethanol processing. The goal is to produce decent products into fuel ethanol is ethanol with a concentration above 95%. Therefore, testing and simulation to study the factors that influence the performance of a distillation column in order to achieve the desired results. In this study conducted two experiments by varying the feed (inlet feed) of 20% and 40% ethanol. From the experiment will be obtained data in the form of pressure drop along the distillation column, distillate concentration, feed flow rate and exit flowrate (distillate flowrate), from this data will be evaluated performance of the distillation system with minimum operation time as a parameter. From examination showed the minimum operating time are 1145 seconds to feed 20% ethanol with error -5.2% compared to the theoretical minimum time, and 789 seconds to feed 40% with 50.73% error from the theoretical minimum time. From this study, a distillate concentration dependent with the operating time. The longer operation time, the smaller the composition of ethanol in the distillate.

Keyword:

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

DAFTAR ISI

Halaman Judul	ii
Halaman Pernyataan Orisinalitas	iii
Halaman Pengesahan	iv
Ucapan Terima Kasih	v
Halaman Persetujuan Publikasi Karya Ilmiah	vi
Abstrak.....	vii
Abstract.....	viii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xii
Daftar Tabel	xiii
Daftar Grafik	xiv
Daftar Lampiran	xv
Bab I: Pendahuluan	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Perumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Pembatasan Masalah	3
I.5 Metodologi Penelitian	4
I.6 Sistematika Penulisan	4
Bab II: Landasan Teori	6
II.1 Distilasi	6
II.2 Teori Distilasi Sistem Biner	7
II.3 Sistem Azeotropic	9
II.3.1 Diagram fase azeotropic	9
II.4 Diagram McCabe-Thiele	11
II.4.1 Perhitungan untuk Distilasi Kontinyu pada Sistem Biner.....	12
II.4.2 Operation Line.....	12
II.4.3 Jumlah Stage Minimum.....	14
II.4.4 Rasio Reflux minimum.....	15
II.5 Waktu Operasi Sistem Distilasi	15

II.6 Teori Dasar Aliran Udara.....	15
II.6.1 Bentu Aliran Udara.....	16
II.6.2 Pengukuran Aliran.....	17
II.6.2.1 Orifice Meter.....	18
II.7 Computational Fluid Dynamic..	20
II.7.1 Meshing.....	20
II.7.2 Pre-Processor.....	21
II.7.3 Solver.....	22
II.7.4 Pengukuran Aliran.....	22
Bab III: Metodologi Penelitian	23
III.1 Metode Penelitian	23
III.1.1 Objek, Waktu, dan Tempat Penelitian	23
III.1.2 Peralatan dan Bahan.....	24
III.1.2.1 Boiler.....	24
III.1.2.2 Kolom Distilasi.....	25
III.1.2.3 Kondenser.....	28
III.1.2.2 Manometer Miring (Inclined Manmeter).....	29
III.1.2.5 Hot Wire anemometer.....	30
III.1.2.6 Timbangan dan Gelas Ukur.....	31
III.1.2.7 Alat Pendukung Tambahan.....	31
III.1.3 Deskripsi Alat	32
III.1.4 Alur Kerangka Penelitian	32
III.2 Prosedur Pengujian.....	34
III.2.1 Permodelan Kolom Distilasi Bubble-Cap.....	35
Bab IV Analisa dan Pembahasan	37
IV.1 Jatuh Tekanan (Pressure Drop) pada Kolom Distilasi.....	37
IV.2 Analisa Aliran Pada Kolom Distilasi.....	39
IV.2.1 Perhitungan Head Loss pada Kolom Distilasi	39
IV.2.2 Permodelan dan Simulasi Aliran Pada Kolom Distilasi.....	40
IV.2.2.1 Model Komputasional.....	41
IV.2.2.2 Karakteristik Aliran Pada Kolom Distilasi	42
IV.3 Analisa Waktu Pengoperasian.....	46

IV.2.1 Hubungan Antara Waktu Operasi dengan Komposisi Distilat	48
Bab V: Penutup	53
IV.1 Kesimpulan	53
IV.2 Saran	53
Daftar Referensi	55
Lampiran	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram x-y sistem biner A-B	8
Gambar 2.2 Sistem Azeotropic	9
Gambar 2.3 diagram fase untuk proses distilasi	10
Gambar 2.4. Diagram fase air-etanol	10
Gambar 2.5 Diagram McCabe-Thiele untuk proses distilasi	12
Gambar 2.6. Diagram untuk mengetahui berapa jumlah stage memakai metode McCabe-Thiele.....	14
Gambar 2.7 Eksperimen untuk menggambarkan jenis aliran dalam pipa.....	17
Gambar 2.8 Variasi kecepatan di suatu titik terhadap waktu.....	17
Gambar 2.9 Orifice meter dan venturi meter	18
Gambar 2.10 Konstruksi orifice meter	19
Gambar 2.11 Orifice meter discharge coefficient	20
Gambar 2.12. Penggambaran sederhana bagaimana mesh bekerja berdasarkan bentuk domain.....	21
Gambar 3.1 Boiler.....	24
Gambar 3.2 Tray dan cap	25
Gambar 3.3 Susunan tray dan cap.....	25
Gambar 3.4 Susunan lengkap kolom distilasi	27
Gambar 3.5 Dimensi dari susunan tray-cap	28
Gambar 3.6 Susunan Kondenser. a) bagian-bagian kondenser koil dan badan kondenser, b) kondenser setelah dirakit	28
Gambar 3.7 Manometer miring.....	29
Gambar 3.8 Skema manometer miring	30
Gambar 3.9 model kolom distilasi	35
Gambar 4.1 model keseluruhan kolom distilasi dan domain komputasional	41
Gambar 4.2 a) inlet flow, b) outlet flow, dan c) kondisi batass	42
Gambar 4.3 Profil tekanan pada kolom distilasi	42
Gambar 4.4 Profil kecepatan pada kolom distilasi.....	43
Gambar 4.5 Profil kecepatan dilihat dari referensi front plane	46
Gambar 4.6 Profil flow trajectory dari aliran pada kolom distilasi.....	47
Gambar 4.7 Hubungan antara komposisi distilat dengan waktu operasi	52

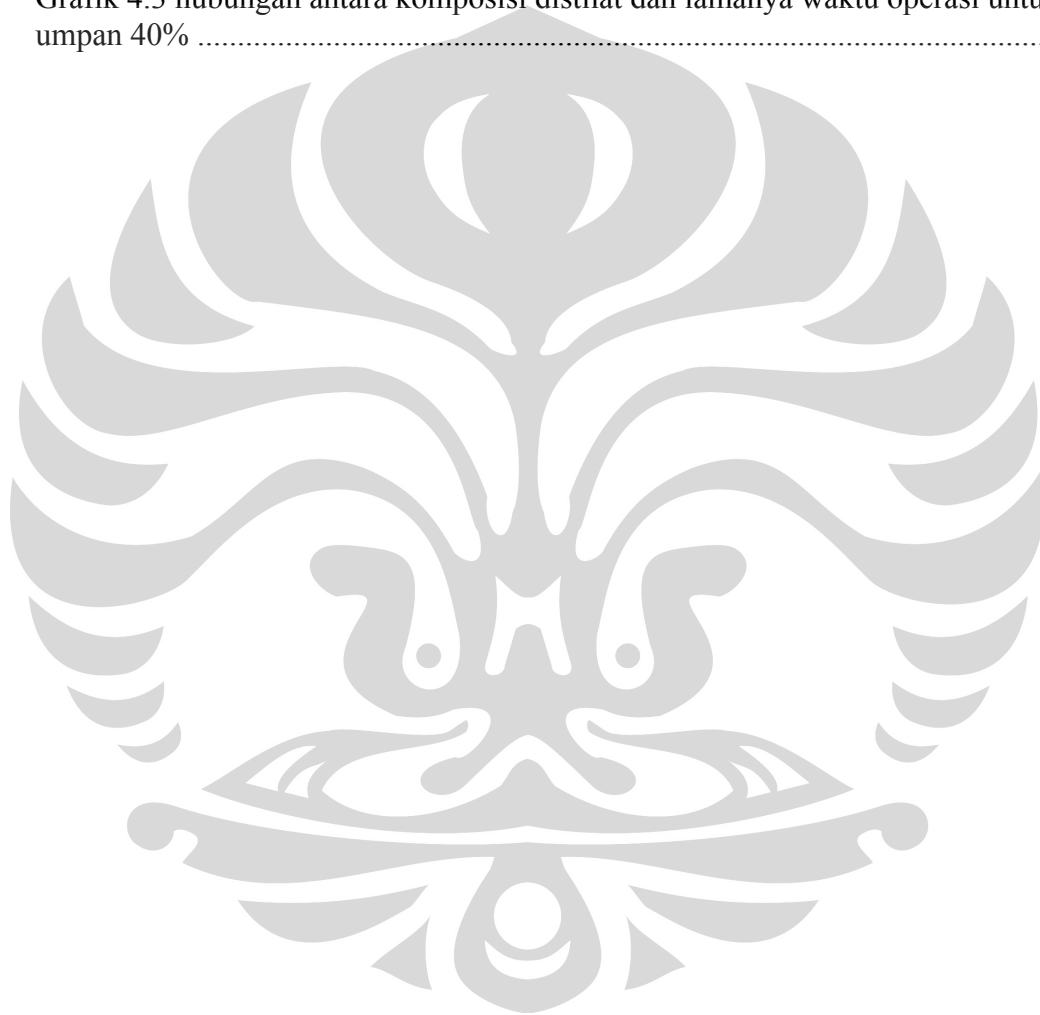
DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 keadaan aliran pada saat umpan 20% dan 40%	38
Tabel 4.2 Hasil perhitungan waktu teoritis	48



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Grafik perbandingan beda tekanan vs debit aliran	38
Grafik 4.2 hubungan antara komposisi distilat dan lamanya waktu operasi untuk umpan 20%	51
Grafik 4.3 hubungan antara komposisi distilat dan lamanya waktu operasi untuk umpan 40%	51



DAFTAR LAMPIRAN

Pemodelan dan Simulasi Kolom Distilasi untuk Mendapatkan Nilai Pressure Drop
sebagai Goal

Contoh Perhitungan Desain Kolom Distilasi

Skema Sistem Distilasi



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Sejak ditemukan minyak bumi pada pertengahan abad 19, lambat laun dunia mengalihkan sumber energi primer dari batubara menjadi minyak bumi. Walaupun batubara belakangan ini banyak dipakai lagi karena ketersediaan minyak mulai menipis, namun tidak bisa dipungkiri ketergantungan dunia terhadap minyak bumi sangat dominan. Hal ini karena mudahnya minyak bumi untuk diubah ke dalam bentuk energi yang lain. Selain itu minyak bumi mudah untuk diproduksi menjadi berbagai macam produk yang spesifik untuk tujuan yang spesifik pula. Sebagai contoh salah satu hasil minyak bumi adalah *gasoline* atau premium, bahan bakar ini banyak digunakan untuk bahan bakar kendaraan bermotor. Jika kita ingin memakainya untuk kebutuhan khusus seperti bahan bakar mobil balap yang perlu dilakukan adalah dengan menambahkan zat aditif kedalam bahan bakar tersebut. Berbeda dengan batubara yang sulit diubah kedalam bentuk energi lain maupun diubah komposisinya jika akan dipergunakan untuk keperluan khusus.

Pada tahun-tahun belakangan ini mulai ditemukan beberapa alternatif untuk minyak bumi salah satunya adalah gas bumi. Gas bumi bisa disebut sebagai pengganti minyak bumi karena rumus kimia yang mirip dengan minyak bumi karena sama-sama hidrokarbon. Gas bumi juga bisa di pakai dalam berbagai sektor kehidupan manusia seperti pembangkit listrik, bahan bakar rumah tangga, bahan bakar kendaraan bermotor, dll. Selain itu gas bumi juga menawarkan polusi udara yang jauh lebih kecil dibanding minyak bumi. Tetapi kelemahan dari gas bumi dibutuhkan tempat penyimpanan yang sangat khusus sehingga tidak fleksibel dan juga gas bumi merupakan bahan bakar fosil yang pasti suatu hari akan habis. Maka oleh karena itu dibutuhkan suatu sumber energi baru yang kemudahan pemakaian bisa menggantikan minyak bumi, polusi yang ditimbulkan kecil atau bahkan tidak berpolusi, dan yang paling penting adalah terbarukan.

Banyak usaha yang telah dilakukan pemerintah Indonesia untuk menanggulangi persoalan ini. Diantaranya adalah pada tahun 1980-an, pemerintah pernah menggelar secara intensif dan extensif program bahan bakar alternative, Kepres 43/1991 tentang konservasi energi, keputusan menteri koordinator bidang perekonomian tentang koordinasi dalam penyediaan dan pemanfaatan energi alternatif, *blueprint* pengelolaan energi nasional 2005 – 2025.

Saat ini salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan adalah etanol. Etanol dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif campuran premium (gasoline) dan pengganti kerosene sebagai bahan bakar untuk memasak. Penggunaan etanol ini telah digunakan secara luas di Brazil dan Amerika. Penggunaan etanol juga dapat mengurangi pencemaran udara akan CO₂ (Thommes, 2007). Kelebihan ini menjadikan etanol sebagai sumber energi alternative yang menjanjikan.

Anhydrous etanol yang mengandung etanol tidak lebih dari 1% air dapat dicampur dengan gasoline dalam jumlah yang bervariasi hingga kondisi etanol murni (E100). Etanol dapat diproduksi secara masal dengan proses fermentasi atau dengan hidrasi ethylen dari petroleum. Selama proses fermentasi, glukosa akan dikonversikan menjadi etanol dan karbon dioksida seperti dibawah ini.



(Thommes, 2007)

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

I.2 Perumusan Masalah

Melihat dari latar belakang yang telah dipaparkan, maka penelitian difokuskan untuk membuat suatu sistem yang bisa dioperasikan untuk skala perumahan. Oleh karena untuk dioperasikan pada skala perumahan maka sistem distilasi tersebut haruslah mudah dan murah dibuat, mudah dan murah untuk dioperasikan, serta bisa menghasilkan produk yang bisa dijual ke masyarakat.

Penelitian dilakukan dengan membuat prototype kolom distilasi lalu memodelkan dan mensimulasikan dengan kondisi sesuai dengan objek penelitian. Simulasi menggunakan perangkat komputasi berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mendapatkan model yang mendekati referensi kolom distilasi berdasarkan validasi dan verifikasi data serta mempelajari tekanan dan aliran udara di dalam kolom distilasi.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan data tentang jatuh tekanan di sepanjang kolom distilasi.
2. mendapatkan nilai konsentrasi produk akhir yang dihasilkan dari sistem distilasi.
3. mempelajari performa dari kolom berupa waktu operasi minimum.
4. mempelajari fenomena-fenomena aliran yang terjadi dan pengaruhnya terhadap produk akhir dari sistem distilasi.

I.4 Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini dibatasi pada:

1. Desain kolom distilasi bubble-cap sudah ditentukan berdasarkan referensi.
2. Dari desain referensi yang ada dibuat prototipe dan kemudain dimodelkan menggunakan perangkat lunak Solidworks 2009 dan disimulasikan menggunakan Flow Simulation Solidworks 2009.
3. Jenis kolom dibatasi pada kolom distilasi bubble-cap.

4. Penelitian fokus pada fenomena dan karakteristik pada kolom distilasi, bukan keseluruhan sistem distilasi.

I.5 Metodologi Penelitian

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

1. Studi literatur.

Metode yang digunakan dalam pencarian studi literatur ini dengan tinjauan kepustakaan berupa buku-buku yang ada di perpustakaan, jurnal-jurnal tertulis maupun *online*, serta referensi artikel yang terdapat di internet.

2. Pengambilan data.

Data diambil dari prototipe yang telah dibuat sebelumnya. Data yang diambil berupa nilai jatuh tekanan, konsentrasi produk akhir, dan debit aliran pada umpan masuk kolom distilasi.

3. Simulasi numerik.

Data debit aliran tersebut diambil rata-ratanya kemudian menjadi *input*-an pada simulasi Flow Simulation Solidworks 2009. Kemudian diperoleh data berupa jatuh tekanan pada sepanjang kolom distilasi, maupun pada setiap stage. Data ini digunakan sebagai validasi bagi data hasil eksperimen.

I.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

Bab I: Pendahuluan

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

Bab II: Landasan Teori

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

distilasi, serta penjelasan komponen CFD sebagai bagian dari penyelesaian penelitian ini.

Bab III: Metodologi Penelitian

Menjelaskan tentang tahapan-tahapan yang harus dilakukan selama kegiatan penelitian, peralatan dan alat ukur yang diperlukan selama penelitian, proses pengambilan data, proses pembuatan model dan simulasi yang dilakukan, serta melakukan tahap proses validasi dan verifikasi.

Bab IV: Analisa dan Pembahasan

Mendapatkan nilai jatuh tekanan dan konsentrasi produk akhir melalui eksperimen. Memuat hasil-hasil dari proses simulasi pada program Simulation Flow 2009, dan analisa membahas dari hasil data eksperimen dibandingkan dengan hasil dari simulasi. Memverifikasi data hasil simulasi. Serta hubungan simulasi pemodelan kolom distilasi dengan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil akhir dari produk distilasi.

Bab V: Penutup

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

BAB II

LANDASAN TEORI

II. 1 Distilasi

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

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

II.2 Teori Distilasi Sistem Biner

Pemisahan campuran pada kolom distilasi bertujuan untuk menghasilkan produk dengan spesifikasi yang diinginkan berdasarkan perpindahan massa dan kalor dari suatu piringan satu ke piringan lain pada titik keseimbangannya. Bila dilihat perpindahan massa dan kalor pada setiap piringan akan terjadi campuran antara suatu aliran uap yang berasal dari bawah piringan dengan aliran cair dari atas piringan untuk mencapai kesetimbangan antara fasa uap dan fasa cair. Kedua fasa kemudian terpisah membentuk aliran fasa uap dan fasa cair. Proses tersebut terjadi berulang-ulang di semua piringan dalam kolom distilasi. Jika dilihat dari perpindahan massa dan kalor pada setiap piringan, maka dapat kita anggap setiap piringan mengalami satu fasa kesetimbangan. Dengan adanya fasa kesetimbangan yang terjadi berulang-ulang, konsentrasi komponen-komponen dengan titik didih rendah akan meningkat pada aliran uap dan menurun pada fasa cair. Sedangkan konsentrasi komponen dengan titik didih tinggi meningkat pada aliran cair dan enurun pada aliran uap.

Untuk suatu campuran biner A dan B yang berada pada kesetimbangan antara fasa uap dan cairannya, kedua komponen mengikuti hubungan persamaan:

$$= \quad (2.1)$$

$$= \quad (2.2)$$

$$+ = 1 \quad (2.3)$$

$$+ = 1 \quad (2.4)$$

Bila fasa cair dan uap kedua komponen bersifat ideal, masing-masing komponen mengikuti hukum *Rauolt*, yaitu:

$$= \quad (2.5)$$

Dengan x_i dan y_i berturut menyatakan fraksi-fraksi komponen fasa cair dan fasa uap dengan P_i adalah tekanan uap komponen i pada temperatur sistem T .

Tekanan total sistem (P) dapat ditetapkan untuk setiap keadaan pada suhu tertentu dimana jumlah tekanan parsial P_A dan P_B sama dengan tekanan total sistem (P).

Dengan mengeliminasi Persamaan (2.1) dan (2.2), didapat:

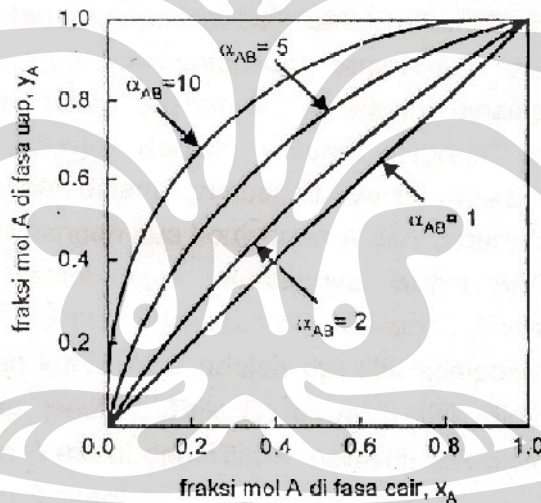
$$= + \quad (2.6)$$

Eliminasi X_B dari persamaan (2.6) dengan menggunakan persamaan (2.3) akan menghasilkan :

$$= (-) / (-) \quad (2.7)$$

Dari definisi komponen A ($0 < x_A < 1$), harga x_A dihitung dengan persamaan (2.7) (Untuk suatu harga P tertentu dan berbagai T). Setelah x_A didapat harga y_A tertentu mempunyai hubungan kesetimbangan dengan x_A dapat langsung dihitung menggunakan ungkapan pertama dari persamaan (2.1), (2.2), (2.3), dan (2.4) yaitu :

$$= (/) \quad (2.8)$$



Gambar 2.1 Diagram x-y sistem biner A-B

Dengan mengalurkan harga T terhadap x_A dan T terhadap y_A pada koordinat T vs x_A/y_A diperoleh diagram seperti gambar 2.1 sebagai diagram khas dari suatu sistem biner dimana komponen A lebih *volatile* (mudah menguap) dibanding komponen B .

Komponen A disebut lebih mudah menguap dibandingkan komponen B , jika setiap T dalam interval $T_A < T < T_B$, tekanan uap A lebih besar daripada tekanan uap B , yaitu $P_A > P_B$ garis-garis horisontal seperti CE yang

menghubungkan pasangan-pasangan kesetimbangan (x,y) yang dihitung pada P dan T tertentu menggunakan persamaan (2.7) dan (2.8) disebut *Tie lines*.

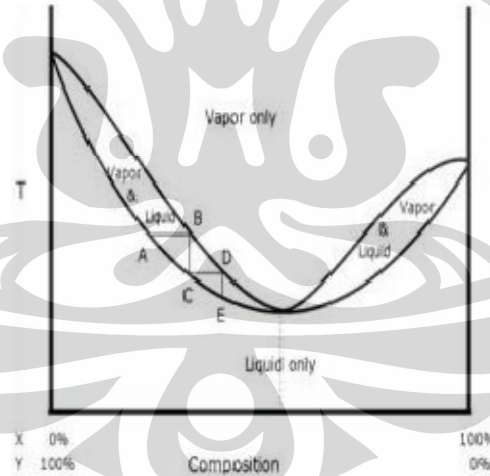
Tekanan uap (P_i) dan temperatur T dihubungkan dengan perantara persamaan *Antoine* yaitu :

$$\ln P_i = A - \frac{B}{T + C} \quad (2.9)$$

dengan harga A , B , dan C merupakan konstanta dari komponen i tersebut.

II.3 Sistem Azeotropic

Azeotrop merupakan kondisi dimana fase cair dan uapnya memiliki konsentrasi yang sama (Maron, 1965). Untuk mendehidrasi etanol menjadi etanol absolute dapat digunakan beberapa proses seperti heterogenius azeotrop distillation, yang menggunakan beberapa solven seperti benzene, pentane and cyclohexane; extractive distillation dengan solvents dan garam sebagai separating agents (Fu, 2004) adsorpsi dengan molecular sieve dan membrane (Black, 1972), (Lynn dan Hanson, 1988), (Jacques, 1999).

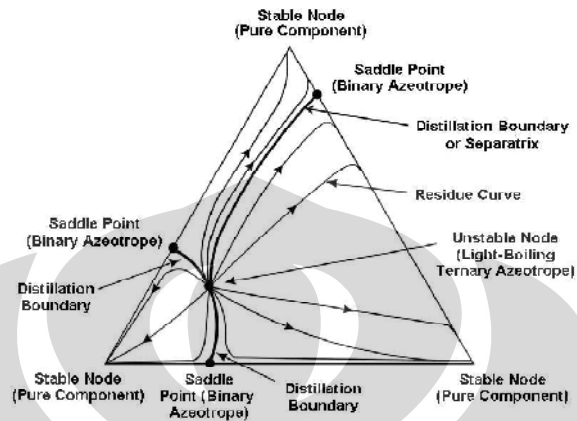


Gambar 2.2 Sistem Azeotropic

II.3.1 Diagram fase Azeotopic

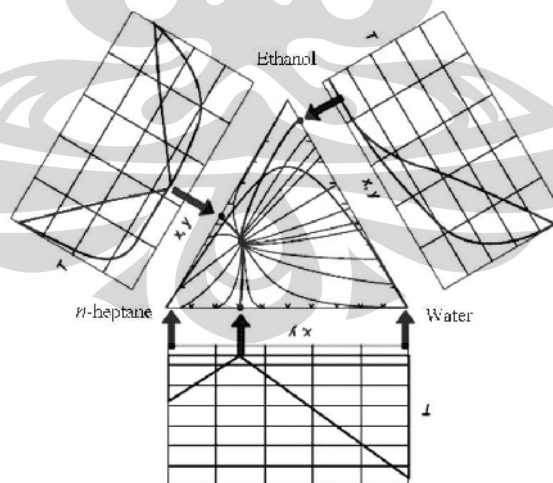
Diagram fase menunjukkan proporsi komposisi dari campuran tiga komponen yang bisa digunakan untuk memprediksi aliran masuk pada kolom distilasi dan hasil sampingan yang akan didapatkan dari proses tersebut. Dalam

diagram fase juga menunjukkan daerah batas dan kurva residu yang secara detail ditunjukkan gambar 2.3.



Gambar 2.3 diagram fase untuk proses distilasi

Pada gambar 2.3, bisa ditemukan hubungan antara campuran tiga komponen dengan campuran dua komponen. Pada gambar 2.4, kita bisa melihat campuran biner dan tersier azeotropic. Sehingga bisa di estimasi proporsi setiap komponen pada proses distilasi dari titik yang terdapat pada diagram fase tiga komponen (ternary diagram phase).



Gambar 2.4. Diagram fase air-etanol

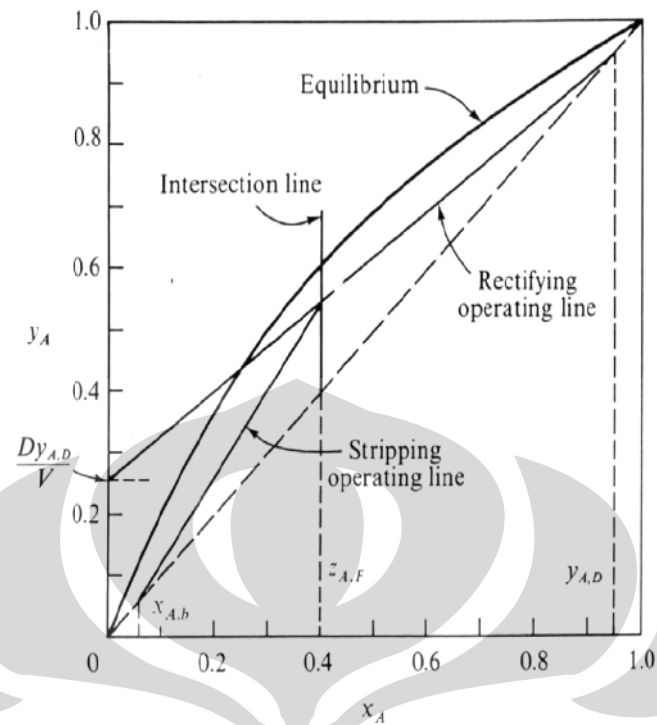
II.4 Diagram McCabe-Thiele

Diagram McCabe-Thiele banyak digunakan dalam industri kimia maupun industri perminyakan. Diagram McCabe-Thiele adalah bentuk yang paling mudah dalam menggambarkan penyelesaian secara grafik dari fenomena separasi yang terjadi dalam kolom distilasi yang memiliki $N + 1$ tahapan equilibrium ideal. Aliran uap dan cair pada kolom digambarkan terpisah kecuali pada beberapa lokasi (*tray*) yang diasumsikan terjadi campuran yang sempurna dan secara termodinamika berada dalam kesetimbangan. Namun gambaran diatas perlu disesuaikan dengan keadaan yang ada di kondisi sebenarnya. Pertama adalah tidak hubungan yang langsung antara *tray* secara fisik dengan keadaan kesetimbangan termodinamika. Kedua pada banyak kolom banyak *plat* atau *tray* yang telah digantikan oleh plat tersusun sehingga memberikan bidang kontak yang lebih luas antara fasa uap dan cair sepanjang kolom distilasi. Dengan demikian gambar yang ada tetap valid jika setiap *tray* dilihat sebagai satu keadaan kesetimbangan teoritis.

Pemisahan komponen dari suatu campuran biner dengan distilasi digambarkan menggunakan diagram dua dimensi, sudah barang tentu jika suatu campuran memiliki n-komponen maka dibutuhkan diagram dengan n-dimensi. Hasil dari grafik ini akan menunjukkan rancangan awal suatu kolom distilasi dan juga digunakan analisis hasil rancangan kolom serta sebagai penyeleksi rancangan sebagai alternatif operasi yang diinginkan.

Gambar 2.5 merupakan fenomena terjadinya pemisahan di kolom distilasi biner, umpannya adalah suatu campuran dari dua komponen A dan B. Semua komposisi cairan komponen A pada piringan adalah x_A dan komposisi komponen A dalam fasa uap pada piringan dari suatu kolom adalah y_A . Fraksi komponen B tidak berdiri sendiri karena dipengaruhi oleh komposisi komponen A sebagai suatu kesatuan.

Pada diagram xy , harga x_A adalah absisnya dan y_A adalah ordinatnya dengan harga dari 0 sampai 1 seperti terlihat pada gambar 2.5. Tiap titik pada diagram adalah pasangan kesetimbangan komposisi uap dan cair komponen A.



Gambar 2.5 Diagram McCabe-Thiele untuk proses distilasi

II.4.1 Perhitungan untuk distilasi kontinu pada sistem biner

Perhitungan kesetimbangan massa dinyatakan melalui persamaan dibawah ini:

$$= + \quad (2.10)$$

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

II.4.2 Operation Line

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

$$= \text{---} + \text{---}$$

$$= \frac{L_n}{D} + \frac{L_{n+1}}{D} \quad (2.11)$$

$$= \frac{L_n}{D} + \frac{L_{n+1}}{D} \quad (2.11)$$

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

$$= \frac{L_n}{D} + \frac{L_{n+1}}{D} \quad (2.12)$$

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

$$= \frac{L_{n+1}}{D} + \frac{L_n}{D} \quad (2.13)$$

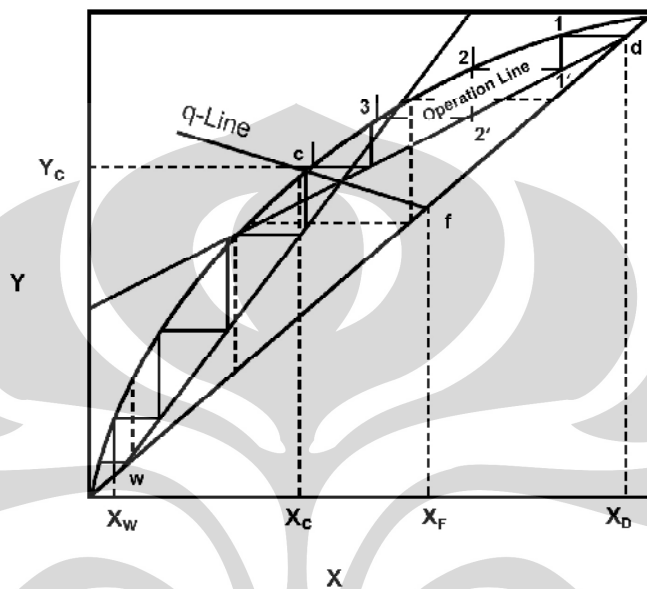
Variabel yang terdapat pada tanda kurung jika dimisalkan setiap 1 mol terdiri dari fase liquid q -mole dan fase uap $1-q$ mole, maka bisa dituliskan $L_{m+1} = L_n + qF$ dan $V_m = V_{n+1} - (1-q)F$, sehingga persamaan diatas berubah menjadi,

$$= \frac{L_n + qF}{D} + \frac{L_n}{D} \quad (2.14)$$

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

$$+ (1 -) = \quad (2.15)$$

Sehingga dalam prakteknya, nilai X pada garis q -line dan *operation line* seharusnya mendekati nilai campuran komponen ketika dimasukkan ke kolom distilasi.



Gambar 2.6. Diagram untuk mengetahui berapa jumlah stage memakai metode McCabe-Thiele

II.4.3 Jumlah stage minimum; n_m

Pada permasalahan ketika jumlah rasio reflux menjadi tidak terhingga, dengan menggunakan metode McCabe-Thiele, *operation line* menjadi garis diagonal dengan jumlah stage minimum menunjukkan jumlah yang terkecil sesuai dengan yang ditunjukkan oleh garis putus-putus pada gambar 3.

Cara lain untuk menentukan jumlah stage adalah dengan menggunakan hukum Raoult. Pada hukum Raoult perhitungan jumlah stage bergantung pada volatilitas relatif (α) sesuai dengan persamaan dibawah ini.

$$n_m + 1 = \frac{\log \left[\left(\frac{X_D}{1 - X_D} \right) \left(\frac{1 - X_W}{X_W} \right) \right]}{\log \alpha} \quad (2.16)$$

II.4.4 Rasio reflux minimum; R_m

Ketika terjadi permasalahan hasil perhitungan menunjukkan jumlah stage menjadi tidak terhingga, maka dengan menggunakan diagram metode McCabe-Thiele kita harus memperhatikan perpotongan antara *operation line* dan *q-line*. Perpotongan kedua garis tersebut akan sejajar dengan garis equilibrium. Pada gambar 2.6 ditunjukkan oleh titik c dan nilai rasio reflux yang di dapat dinamakan “minimum of reflux ratio”, mengikuti persamaan dibawah ini.

$$R_m = \frac{X_D - Y_c}{Y_c - X_c} \quad (2.17)$$

II.5 Waktu Operasi sistem distilasi

Waktu operasi adalah waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan suatu sistem distilasi hingga mencapai jumlah distilat yang diinginkan. Waktu operasi bergantung pada jumlah distilat yang diinginkan, jumlah *reflux ratio*, dan nilai dari *flowrate* uap pada kolom distilasi (I. M. Mujtaba et. All. 1997). Untuk menentukan waktu minimum pengoperasian sistem distilasi mengikuti rumus dibawah ini.

$$Ha_{\text{exp}} = D_{\text{av}} \Delta t = Dt_{\text{open}} = V_{\text{exp}} t_{\text{open}} = V_{\text{exp}} \frac{1}{(1 + R_{\text{exp}})} t_{\text{diff}} \quad (2.18)$$

II.6 Teori Dasar Aliran Udara

Udara merupakan *compressible fluid*, dimana massa jenis dari udara atau gas dapat berubah secara signifikan seiring dengan berubahnya tekanan dan temperatur.

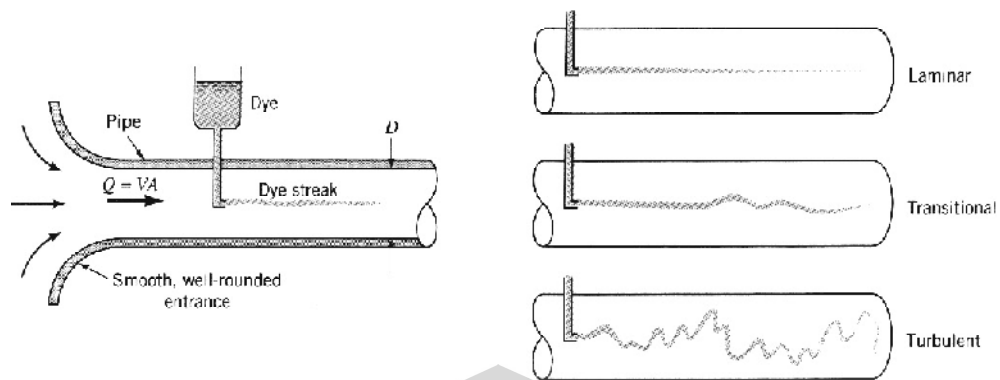
Variabel non-dimensional yang sangat berpengaruh dalam aliran udara adalah *Reynolds number*. *Reynolds number* merupakan ukuran rasio dari gaya inersia pada elemen fluida terhadap gaya viskos pada suatu elemen, didefinisikan sebagai berikut.

$$Re = \rho VD/\mu \quad (2.19)$$

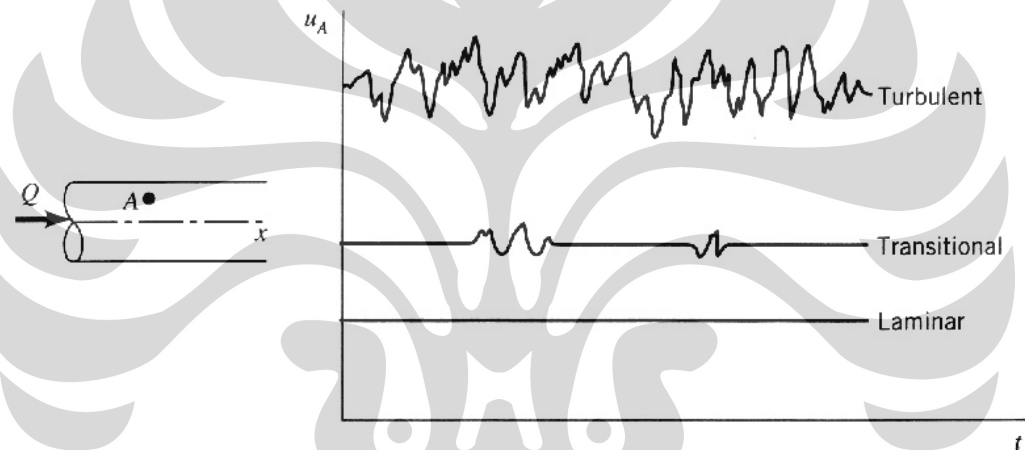
yang mana ρ adalah massa jenis fluida, V kecepatan fluida, D adalah panjang karakteristik yang pada kasus aliran udara dalam pipa/*duct* merupakan diameter dalam pipa/*duct*, dan μ adalah viskositas fluida.

II.6.1 Bentuk Aliran Udara

Bentuk dan aliran udara dalam pipa dapat dibedakan menjadi tiga jenis aliran, yaitu aliran laminar, aliran transisi, dan aliran turbulen. Aliran laminar merupakan aliran udara yang bergerak dengan kecepatan konstan dan seragam, mempunyai nilai bilangan Reynolds < 2100 . Aliran transisi (transitional) merupakan gabungan dari aliran laminar dan turbulen, dengan bilangan Reynolds antara 2100 dan 4100. Aliran turbulen merupakan aliran udara yang mempunyai kecepatan berbeda-beda pada setiap titik, dengan bilangan Reynolds > 4100 . Berdasarkan bilangan Reynolds ini, maka semakin turbulen, yaitu semakin besar nilai bilangan Reynolds, maka faktor inersia dari aliran fluida semakin dominan dibandingkan dengan faktor viskositasnya, dan sebaliknya apabila bilangan Reynolds semakin kecil maka faktor viskositas dari fluida semakin besar pengaruhnya dibanding dengan inersianya.



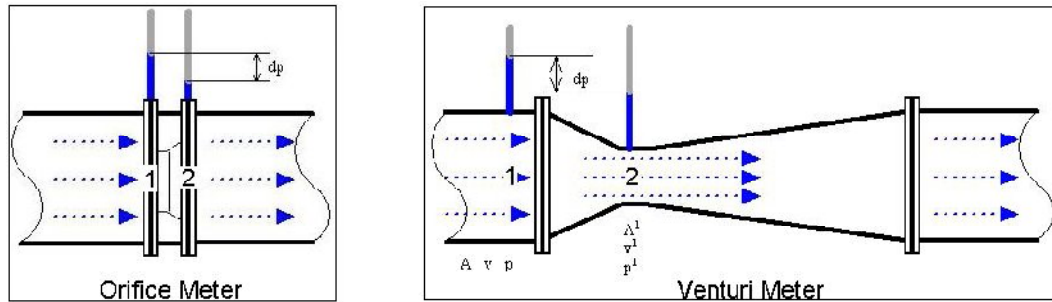
Gambar 2.7 Eksperimen untuk menggambarkan jenis aliran dalam pipa



Gambar 2.8 Variasi kecepatan di suatu titik terhadap waktu

II.6.2 Pengukuran Aliran

Beberapa alat ukur yang biasa digunakan untuk mengukur aliran diantaranya *orifice meter*, *venturi meter*, serta *pitot tube*. Alat-alat tersebut mempunyai prinsip kerja yang serupa, peningkatan kecepatan mengakibatkan penurunan tekanan dan juga sebaliknya. Perbedaan di antara ketiganya adalah fungsi spesifik, harga, akurasi, dan kedekatan dengan kondisi aktual.



Gambar 2.9 Orifice meter dan venturi meter

Apabila diambil kecepatan pada bagian (1) dan bagian (2), persamaannya akan menjadi:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (2.20)$$

dimana A_2 adalah luasan kecil aliran pada bagian *throat* (2) ($A_2 < A_1$). Persamaan Bernoulli, dengan mengabaikan perbedaan ketinggian, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 \quad (2.21)$$

Kombinasi dari kedua persamaan ini akan menjadi: (Ref. 10)

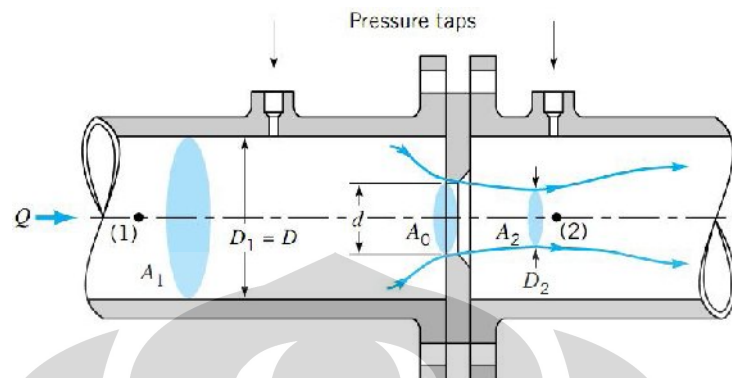
$$Q = A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]}} \quad (2.22)$$

Maka, aliran dapat ditentukan apabila nilai perbedaan tekanan bisa diperoleh. Aliran aktual akan lebih kecil dibandingkan dengan hasil yang didapat melalui perhitungan teoritis. Hal ini disebabkan karena berbagai perbedaan antara kondisi aktual dengan asumsi yang digunakan pada persamaan di atas.

II.6.2.1 Orifice meter

Salah satu alat pengukuran aliran yang sangat sering digunakan untuk mengukur aliran dalam pipa baik untuk gas maupun fluida cair, dan akan digunakan pada penelitian *textile ducting* ini adalah *orifice meter*. *Orifice meter*

adalah pelat dengan lubang di tengahnya yang biasanya dijepit diantara *flange* dua buah pipa yang disambung (Gambar 2.9)

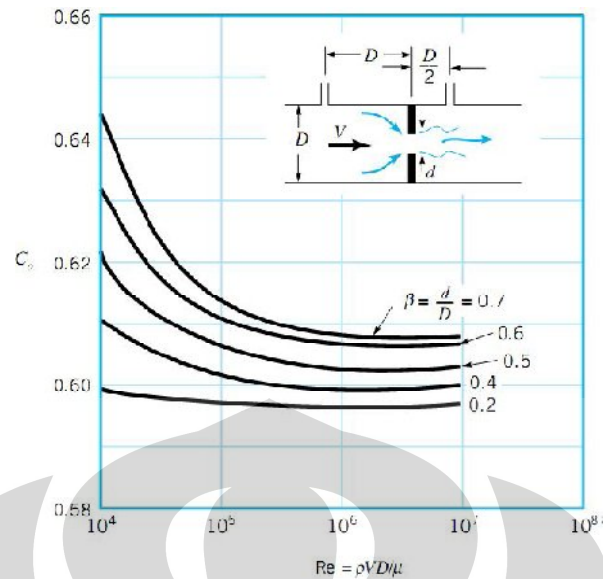


Gambar 2.10 Konstruksi *orifice meter*

Tekanan pada titik (2) dalam *vena contracta* akan lebih kecil dibandingkan dengan titik (1). Terdapat dua alasan sehingga hal ini terjadi, yaitu area *vena contracta*, A_2 lebih kecil dibandingkan dengan area lubang, A_0 [$A_2 = C_c A_0$, dimana C_c adalah koefisien kontraksi ($C_c < 1$)] dan resirkulasi dekat pelat *orifice* akan mempengaruhi *head loss*. Besarnya laju aliran adalah

$$Q = C_0 Q_{\text{ideal}} = C_0 A_0 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} \quad (2.23)$$

Dimana $A_0 = \pi d^2 / 4$ adalah luas penampang lubang pada pelat *orifice*. Nilai C_0 (*orifice discharge coefficient*) adalah fungsi dari $\beta = d/D$ dan *Reynolds number*, dimana $V = Q/A$. Nilai C_0 bergantung dari konstruksi dari *orifice meter* (contoh penempatan *pressure taps*, geometri lubang pelat *orifice* (*square* atau *beveled*) dan lain-lain). Kondisi *orifice* yang sangat presisi akan membuat pengukuran lebih akurat.



Gambar 2.11 Orifice meter discharge coefficient

II.7 Computational Fluid Dynamics

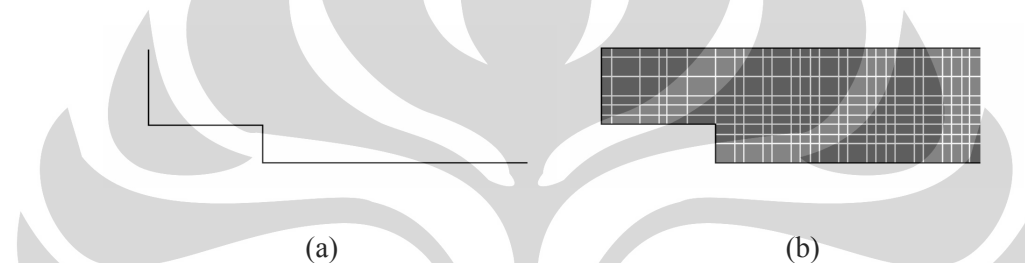
Computational Fluid Dynamics adalah perangkat lunak analisa suatu sistem fisik yang melibatkan aliran fluida, perpindahan kalor dan fenomena lain yang berhubungan dengan cara simulasi dengan bantuan komputer. Dengan kemampuan dan aplikasinya yang luas, sehingga CFD menawarkan kelebihan-kelebihan terhadap metode eksperimental pada desain sistem fluida, seperti:

- Pengurangan waktu dan biaya pada perancangan.
- Kemampuan untuk melakukan pengamatan pada eksperimen terkontrol yang sulit atau tidak mungkin untuk dilakukan (pada sistem yang besar).
- Kemampuan untuk melakukan pengamatan sistem dalam kondisi berbahaya dan di luar batasan normal kerjanya (pengamatan keselamatan dalam kecelakaan).
- Hasil pengamatan yang sangat mendetail.

II.7.1 Meshing

Persamaan diferensial parsial yang menentukan aliran fluida dan perpindahan panas tidak biasa diterima dalam solusi analitis, kecuali untuk kasus yang sangat sederhana. Oleh karena itu, untuk menganalisa aliran fluida, daerah aliran dibagi menjadi subdomain yang lebih kecil (membuat geometri sederhana

seperti heksahedral dan tetrahedral dalam 3 dimensi, dan kuadrilateral dan segitiga dalam 2 dimensi) dan persamaan pengatur diskritisasi dapat diselesaikan dengan membagi domain dalam beberapa bagian. Umumnya, satu dari tiga metode digunakan untuk menyelesaikan persamaan sistem: volume hingga, elemen hingga, atau elemen *differences*. Ketelitian harus diterapkan untuk meyakinkan kekontinuitas persamaan yang melewati dua permukaan di antara dua subdomain, demikian untuk mendapatkan persamaan perkiraan di dalam variasi bagian dapat dimasukkan bersama-sama untuk memberikan gambaran lengkap dari aliran fluida di tiap domain. Setiap bagian dari domain dikenal sebagai elemen atau sel, dan kumpulan dari semua elemen dikenal sebagai *mesh* atau *grid*.



Gambar 2.12. Penggambaran sederhana bagaimana *mesh* bekerja berdasarkan bentuk domain. (Sumber: http://www.cfd-online.com/Wiki/Mesh_generation, Anurag: 2005)

Program CFD berisi struktur numerik yang bisa menyelesaikan permasalahan-permasalahan fluida. Dan secara garis besar terdiri dari tiga elemen utama, yaitu.

II.7.2 Pre-Processor

Pre-processing berisikan masukan mengenai permasalahan fluida yang akan dianalisa dan perubahan masukan tersebut menjadi bentuk yang dapat diselesaikan oleh *solver*. Pada tahap *pre-processing* dilakukan:

- Pendefinisian geometri daerah yang akan diamati (*computational domain*).
- Pembuatan *grid*, pembagian domain menjadi bagian-bagian kecil *sub-domain* yang tidak bertindihan, yaitu menjadi sel-sel.
- Pemilihan fenomena fisik dan kimia yang akan dimodelkan.
- Penentuan sifat-sifat fluida.
- Spesifikasi kondisi batas dan kondisi awal.

II.7.3 Solver

Persamaan atur adalah berbentuk persamaan diferensial parsial. Untuk dapat diselesaikan dengan komputer, maka persamaan tersebut harus ditransformasikan ke dalam bentuk numerik. Terdapat tiga teknik utama penyelesaian numerik CFD, yaitu dengan *finite difference*, *finite element*, dan *finite volume*. Pada garis besarnya, metode numerik yang menjadi basis *solver* melakukan langkah-langkah berikut:

- Perkiraan variabel aliran yang belum diketahui dengan suatu fungsi sederhana.
- Diskritisasi dengan mensubstitusi perkiraan tersebut pada persamaan pengatur dan melakukan perhitungan matematis yang berulang.
- Penyelesaian dari persamaan pengatur.

II.7.4 Post-Processor

Pada tahap ini, paket program CFD menampilkan hasil perhitungan *solver* secara grafis yang meliputi:

- Tampilan geometri domain dan *grid*.
- Plot vektor.
- Plot kontur.
- Plot permukaan 2D atau 3D.
- Manipulasi tampilan (translasi, rotasi, dan lain-lain).
- Tampilan yang berwarna.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang diterapkan pada skripsi ini yaitu mencari referensi dari berbagai sumber mengenai proses produksi dari etanol. Selanjutnya mencari sumber tentang jenis-jenis kolom distilasi dan di analisa keuntungan serta kerugian dari berbagai macam bentuk dari kolom distilasi. Kemudian setelah menentukan bentuk serta dimensi dari kolom yang akan dibuat terlebih dahulu memodelkan ke dalam software modelling. Setelah desain alat selesai maka langkah selanjutnya adalah membangun alat tersebut dan mengambil data yang diperlukan. Dari data-data yang ada lalu disimulasikan kedalam software CFD untuk mempelajari fenomena serta perilaku aliran yang terjadi di dalam alat uji. Selanjutnya menganalisa kualitas produk akhir dihubungkan dengan fenomena-fenomena yang terjadi dalam alat uji.

Dari analisa kebutuhan serta keuntungan dan kerugian maka dipilihlah jenis kolom distilasi dengan jenis *bubble-cap tray*. Permodelan alat uji pada perangkat lunak solidworks 2009 dengan skala 1:1 dengan penyederhanaan model yaitu hanya diambil bagian kolomnya saja. Input yang digunakan pada simulasi yaitu data debit dari aliran yang masuk ke dalam kolom dan fluida yang digunakan udara dan etanol. Tujuan dari simulasi ini adalah mendapatkan data jatuh tekanan yang terjadi sepanjang kolom distilasi dan fraksi massa pada produk akhir. Kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan data hasil percobaan dan referensi, maka didapatlah validasi dan verifikasi model kolom distilasi yang mendekati kolom distilasi referensi.

III.1.1 Objek, Waktu, dan Tempat Penelitian

Objek dari penelitian kali ini adalah debit aliran *feed* pada kolom distilasi, tekanan dan temperatur fluida, tekanan udara, jatuh tekanan pada kolom distilasi, dan produk akhir atau distilat yang dihasilkan dari kolom distilasi. Tempat pengambilan data dilakukan di rumah X yang berlokasi di Kukusan, Depok, dan

di laboratorium mekanika fluida DTM FTUI. Waktu pengambilan data dilakukan dari bulan Maret 2010 sampai Juni 2010.

III.1.2 Peralatan dan Bahan

III.1.2.1 Boiler

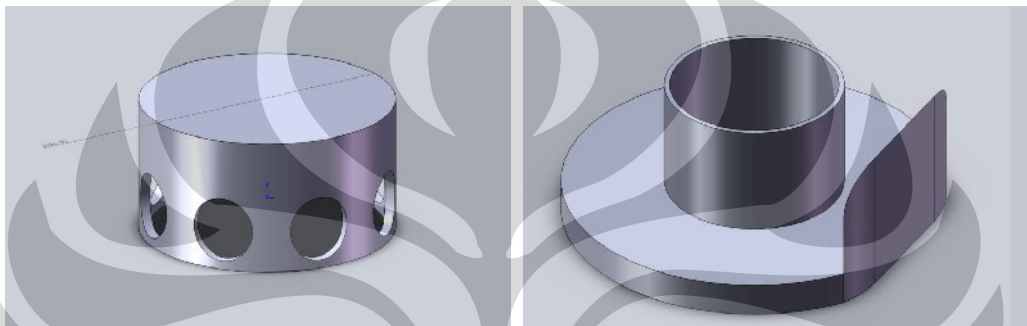
Boiler digunakan sebagai wadah sewaktu pemanasan etanol. Boiler yang dipakai mempunyai diameter 40 cm, tinggi 50 cm, dan tinggi tutup boiler 20 cm. Boiler terbuat dari stainless steel dengan ketebalan $\pm 0,4$ mm. Tutup atas boiler dibuat mendekati bentuk kerucut agar aliran berjalan mulus dan tidak terjadi hambatan aliran seperti pada boiler dengan tutup rata. Boiler dibuat dengan cara manual tanpa menggunakan mesin dan setiap sambungan disambung dengan dipatri. Boiler ini mempunyai daya tampung maksimum 20 liter.



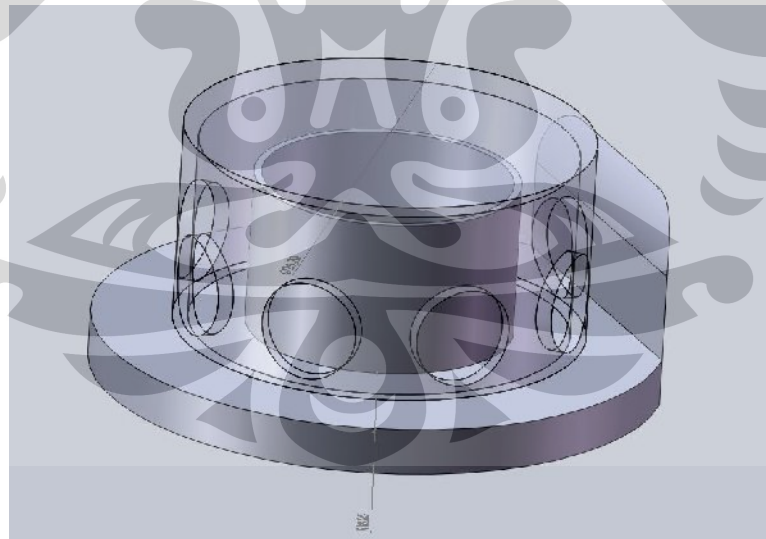
Gambar 3.1 Boiler

III.1.2.2 Kolom distilasi

Kolom distilasi berfungsi sebagai pemisah antara etanol dan air. Kolom terdiri dari tumpukan tray yang saling menyilang. Pada setiap tray dibuat sedemikian rupa sehingga kontak yang terus-menerus antara fase uap dan fase cair (detail lihat gambar). Sebagai akibatnya fluida akan terus berada dalam kondisi *bubble point* dimana fluida akan terus menguap pada setiap tray. Kolom distilasi terbuat dari tiga bahan yaitu stainless steel, tembaga, dan seng.



Gambar 3.2 Tray dan cap



Gambar 3.3 Susunan tray dan cap

Penggunaan bahan yang berbeda-beda memiliki tujuan tersendiri. Penggunaan tembaga pada leher tray dan cap dimaksudkan agar perpindahan panas berlangsung cepat karena pada bagian inilah terjadi pertemuan antara fase

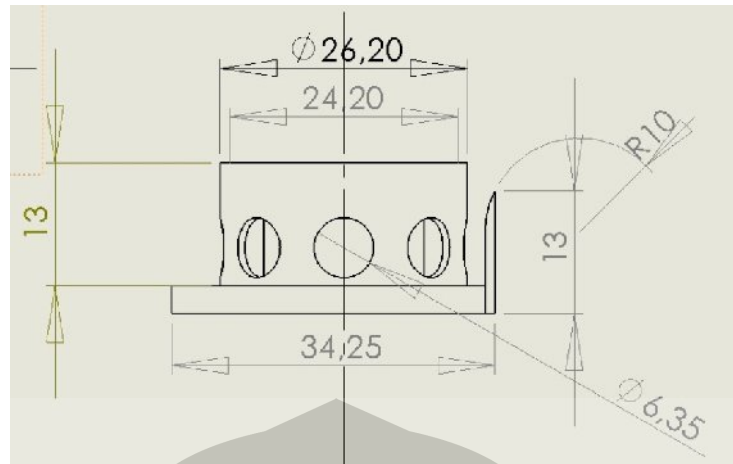
uap dan cair dari etanol. Dengan perpindahan panas yang cepat maka diharapkan tidak terjadi kerugian termal yang besar. Sedangkan penggunaan stainless steel pada dinding kolom dan cincin bawah tray karena faktor kekuatan struktur. Dan seng digunakan pada weir lebih dikarenakan alasan ekonomis.

Pada tahap pengoperasian penggunaan bahan yang berbeda-beda menimbulkan masalah karena tidak kuatnya sambungan antara material. Karena bahan berbeda maka proses penyambungan permanen seperti pengelasan tidak bisa dilakukan karena tembaga mempunyai titik leleh yang lebih rendah dibanding stainless steel, sehingga jika kedua bahan disambung dengan dilas tidak akan pernah tersambung karena tembaga telah meleleh terlebih dahulu sebelum material stainless steel meleleh. Oleh karena itu kami memakai lem besi untuk menyambung bagian-bagian dari kolom distilasi. Pada kondisi normal sambungan kuat dan tidak ada kebocoran, namun ketika mulai dialirkan uap panas maka masalah mulai timbul yaitu kebocoran pada sambungan. Sambungan dari lem besi memiliki temperatur operasi pada $18^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$. Pada suhu tersebut lem besi mendapatkan kekuatan maksimalnya. Namun temperatur kolom distilasi antara $80^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ dan ini menyebabkan lem besi menjadi getas sehingga rentan terhadap benturan. Hal ini yang menyebabkan kegagalan pada pengoperasian. Untuk mengatasi hal itu maka akhirnya kami mengganti semua bahan menjadi stainless steel, dan proses perakitan bagian-bagian kolom bisa menggunakan proses pengelasan sehingga struktur menjadi lebih kuat dan tahan lama.



Gambar 3.4 Susunan lengkap kolom distilasi

Kolom distilasi menggunakan pipa berukuran 1,5 inchi (3,81 cm) dengan tebal 0,8 mm. Kolom distilasi dibagi menjadi 11 *stage*, di setiap *stage* terdapat tray. jarak antara tray 15 cm. Di dalam tray terdapat susunan tray dan cap seperti gambar 3.3. dimensi dari tray dan cap ada di gambar 3.5. Setiap tray inilah yang berfungsi membuat terjadinya kontak yang terus menerus antara aliran fase uap dan fase cair dari etanol sehingga akhirnya didapat produk etanol dengan tingkat kemurnian yang tinggi.



Gambar 3.5 Dimensi dari susunan tray-cap

III.1.2.3 Kondenser

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



a)

b)

Gambar 3.6 Susunan Kondenser. a) bagian-bagian kondenser koil dan badan kondenser, b) kondenser setelah dirakit

Koil kondenser memiliki panjang ± 50 cm. Diameter dalam koil 1,5 inci atau $\pm 3,81$ cm. Diameter pipa koil $\frac{1}{4}$ inci atau $\pm 0,635$ cm. Semua ukuran pipa menggunakan satuan *British* karena yang banyak dipakai dalam pembuatan dan pemasaran pipa adalah satuan *British*. Oleh karena itu sering terjadi kesalahan dimensi sebab pada awal desain menggunakan satuan SI, sehingga perlu beberapa penyesuaian di dalam membangun alat ini.

III.1.2.4 Manometer Miring (*Inclined Manometer*)

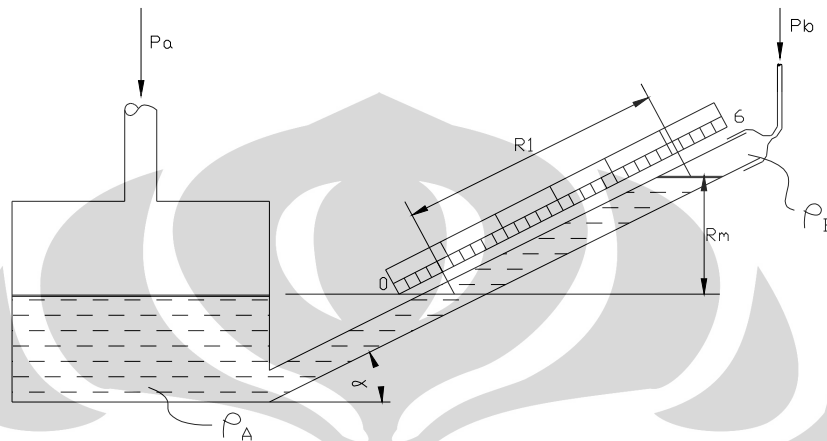
Pada manometer miring, fluida yang digunakan mempunyai *density* 0.98 air (H_2O), namun pembacaannya sudah dikalibrasi untuk satuan “*inches of water*” atau in. H_2O . *Inclined* manometer mempunyai profil miring sebagai tempat fluida untuk membuat pembacaan tekanan dengan skala yang lebih kecil. Manometer dipasang pada kedua ujung dari kolom distilasi untuk mendapatkan *pressure drop* sepanjang kolom distilasi, sedangkan dipasang pada dua tray untuk mendapatkan data *pressure drop* pada satu stage.



Gambar 3.7 Manometer miring

Pada pengukuran jatuh tekanan menggunakan manometer miring karena diperlukan alat yang sensitif terhadap perubahan tekanan yang kecil. Hal ini karena tekanan yang diakibatkan oleh aliran uap etanol nilainya kecil. Dengan memakai manometer miring akan di dapatkan data yang akurat tentang perubahan

tekanan sepanjang kolom distilasi. Data perbedaan tekanan (Δp) di dapat dari perbedaan ketinggian fluida pada manometer kemudian dimasukkan kedalam rumus Δp untuk manometer miring. Sehingga di dapat data Δp . Rumus Δp untuk manometer miring adalah sebagai berikut.



Gambar 3.8 Skema manometer miring

$$- = (-)$$

III.1.2.5 Hot wire Anemometer

Hot wire anemometer digunakan untuk memperoleh data kecepatan udara yang masuk ke kolom distilasi. Dari data kecepatan udara di dapat debit yang masuk ke kolom distilasi, data debit udara dimasukkan ke dalam simulasi CFD sebagai validasi awal untuk proses simulasi aliran dengan menggunakan fluida etanol. Aliran udara berasal dari blower, kecepatan udara diukur pada aliran umpan masuk dari kolom distilasi. Umpan masuk kolom distilasi melalui pipa berukuran 1/2 inch (1,252 cm). Sehingga untuk mendapatkan debit aliran menggunakan rumus kontinuitas seperti tertera dibawah ini.

$$=$$

$$= -$$

Dengan A adalah luas penampang dari bidang yang dilewati aliran, dan V adalah kecepatan aliran. Dalam kasus ini data kecepatan diukur dari pembacaan pada hot wire anemometer.

Setelah mendapatkan data debit udara maka data tersebut dimasukkan ke dalam simulasi CFD dan dari simulasi akan di dapatkan data tentang jatuh tekanan. Simulasi terus dilakukan sampai hasil dari simulasi menunjukkan konvergen. Data dari simulasi akan dibandingkan dengan data yang berasal dari pengukuran secara langsung.

III.1.2.6 Timbangan dan gelas ukur

Timbangan digunakan untuk mengukur berat etanol sebelum di masak dan sesudah di masak. Sedangkan gelas ukur digunakan untuk mengukur volume etanol sebelum dan sesudah di masak. Dari kedua pengukuran ini akan di dapatkan data laju aliran massa dan debit dari aliran etanol yang telah di distilasi. Kedua data ini kembali dimasukkan ke dalam simulasi untuk mempelajari fenomena aliran yang terjadi pada kolom distilasi ketika proses distilasi sedang berlangsung.

III.1.2.7 Alat Pendukung Tambahan

Peralatan pendukung adalah alat yang berfungsi melengkapi alat uji maupun alat ukur namun tidak diujikan maupun menjadi media pengukur data. Peralatan tambahan yang digunakan antara lain pompa rendam (*submersible pump*), besi profil sebagai kerangka, selang bening, kompor sebagai pemanas, dan juga perangkat komputasi. Perangkat komputasi digunakan untuk mempelajari fenomena aliran yang terjadi setelah didapatkan data dari percobaan.

Perangkat komputasi berisikan perangkat lunak Solidworks 2009 beserta Simulation Flow 2009 sebagai pemodelan dan simulasi dan menggunakan komputasi sebagai media dari perangkat lunak. Adapun perangkat komputasi yang digunakan berupa notebook MSI Megabook EX300 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Intel Core2Duo P7350 2,0 GHz

- Memory SO-DIMM DDR2 PC6400 2 GB.
- HDD 250 GB
- VGA card ATI RADEON HD3450
- Windows 7 Professional SP1
- Solidworks 2009 SP 0.0 Premium Edition dan Simulation Flow
Solidworks 2009

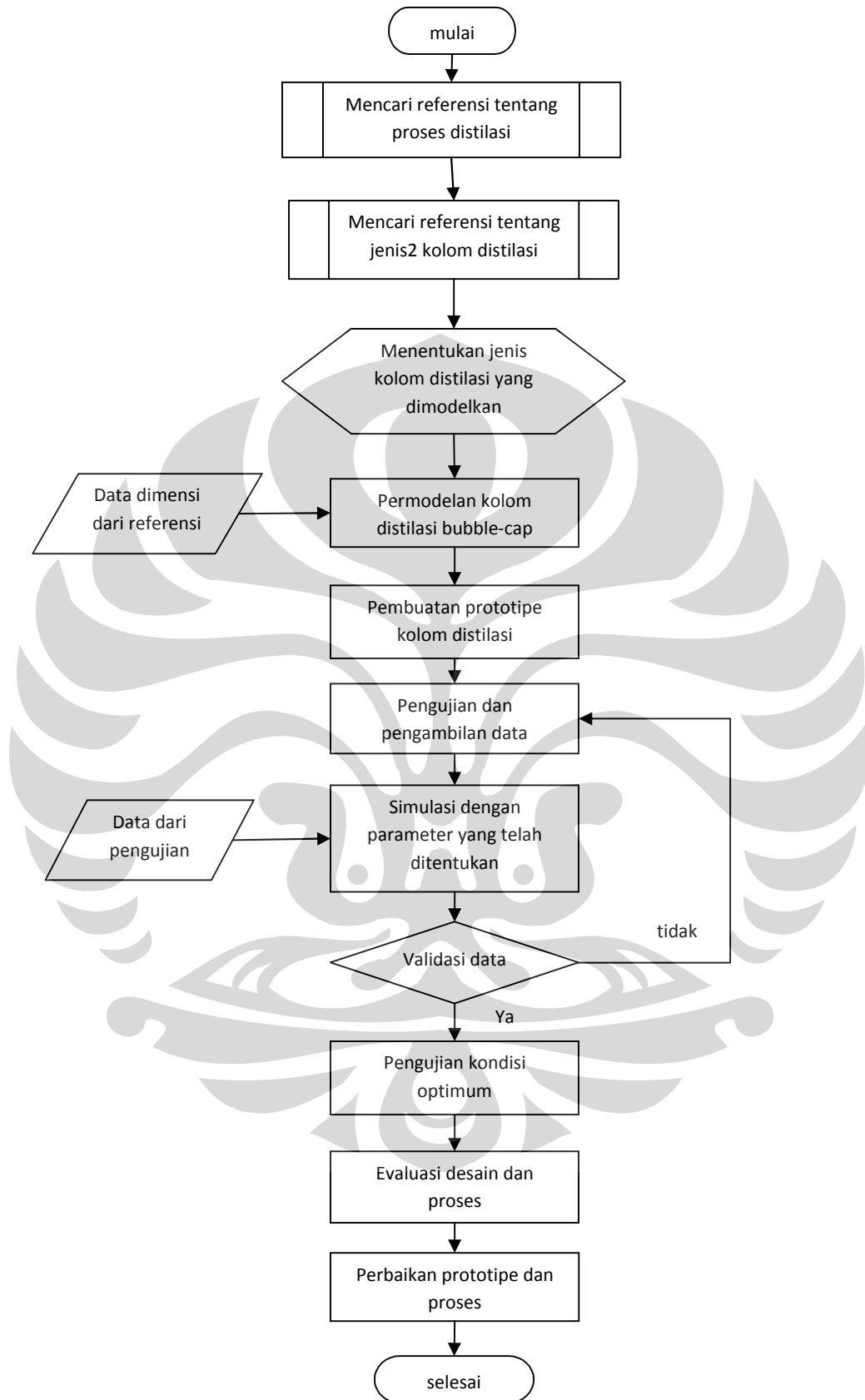
III.1.3 Deskripsi Alat

Alat kolom distilasi memiliki fungsi untuk memisahkan suatu campuran cairan berdasarkan perbedaan titik didih. Prinsip kerja sistem ini ketika satu komponen campuran yang memiliki titik didih lebih rendah, maka komponen tersebut akan berubah menjadi uap terlebih dahulu. Uap dari komponen ringan (komponen yang titik didih lebih rendah) akan masuk ke dalam kolom distilasi selanjutnya akan didinginkan di dalam kondenser. Cairan yang keluar dari kondenser yang disebut produk distilasi atau distilat.

Sistem distilasi memiliki tiga komponen yaitu boiler, kolom distilasi, dan kondenser. Boiler berfungsi menguapkan campuran, kolom distilasi berfungsi sebagai tempat pemisahan utama komponen cairan, dan kondenser sebagai media pendinginan uap yang keluar dari kolom distilasi. Tingkat pemisahan pada kolom distilasi yang menentukan kualitas distilat, sehingga kualitas kolom distilasi bisa dilihat dari kualitas distilat yang dihasilkan. Proses yang lebih jelas bisa dilihat di bagan pada lampiran halaman 71.

III.1.4 ALUR KERANGKA PENELITIAN

Adapun alur kerangka penelitian ini sebagai berikut :



III.2 PROSEDUR PENGUJIAN

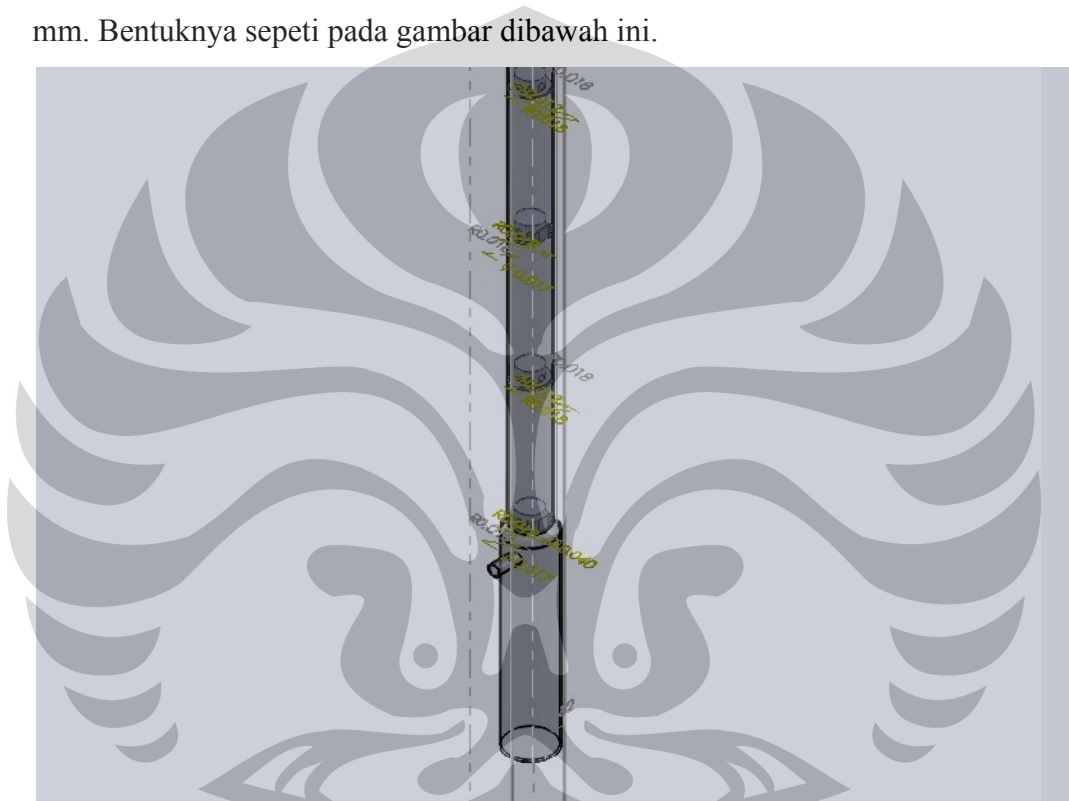
Dalam penelitian ini, dibutuhkan data mengenai pressure drop yang terjadi sepanjang kolom distilasi dan pada setiap stage. Selain itu diperlukan data dari produk akhir yang dihasilkan dan bagaimana kondisi optimum yang diperlukan sehingga tercapai hasil produk yang maksimal. Adapun langkah-langkah pengujiannya ada;ah sebagai berikut.

1. Menyiapkan seluruh alat uji, alat ukur, peralatan tambahan.
2. Menentukan berapa % kandungan etanol yang akan di distilasi. Dalam penelitian ini digunakan kadar etanol 20% dan 40%.
3. Memasukkan etanol yang akan di murnikan ke dalam boiler. Tidak ada penambahan etanol ketika proses distilasi berlangsung.
4. Menaruh boiler diatas kompor listrik. Kompor dipasang pada daya maksimum yaitu 600 Watt.
5. Masukkan pompa ke dalam wadah air untuk mensirkulasikan air pendingin kedalam kondenser.
6. Menaruh gelas ukur pada output kondenser.
7. Menyalakan kompor listrik dengan pengaturan daya sebesar 600 W, dan juga menyalakan pompa air untuk mengalirkan air pendingin kedalam kondenser. Sebelumnya passtikan di dalam sistem distilasi tidak ada kebocoran dan alat ukur telah terpasang.
8. Tunggu sampai distilat mulai keluar melalui pipa kondenser.
9. Setelah distilat mulai keluar dari kondenser, ditampung sampai distilat mencapai volume 100 ml. Setelah itu dicatat temperatur pada boiler, beda tekanan pada kolom distilasi, dan kadar etanol pada distilat.
10. Ulangi langkah no. 9 sampai temperatur pada boiler mencapai 100°C . Hal ini dilakukan karena pada temperatur 100°C diasumsikan etanol telah menguap dan yang tersisa hanya air.

Pengambilan data dilakukan sampai hasil dari eksperimen tidak menunjukkan perbedaan yang terlalu jauh atau hasil sudah konvergen. Dari hasil yang di dapat bisa dibandingkan dengan referensi yang telah ada atau data dari simulasi.

III.2.1 Permodelan Kolom Distilasi Bubble-Cap

Permodelan geometri kolom distilasi dibuat berdasarkan referensi memiliki dimensi $1\frac{1}{2}$ inch (3,81 cm) dengan tebal dinding 0,8 mm. Memiliki 11 stage. Jarak tiap stage 15 cm. Pada setiap stage memiliki susunan tray dan cap seperti pada gambar 3.3. Dimensi dari *column internal* adalah *downcomer clearance* 4 mm, ketebalan cincin bawah tray 3 mm, diameter lubang tray 16 mm, panjang weir 28 mm, tinggi weir 10 mm, *hole pitch* 16 mm, diameter cap 26,2 mm. Bentuknya seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.9 model kolom distilasi

Di dalam permodelan geometri tidak ada variasi karena dimensi dari kolom sudah detail diberikan. Variasi akan dilakukan pada tahap dilakukan pada tahap simulasi dengan variasi pada fluida kerja yang digunakan. Dalam simulasi menggunakan fluida kerja udara. Simulasi ditujukan untuk memvalidasi data yang telah diambil melalui eksperimen. Eksperimen dilakukan dengan meniupkan udara ke dalam kolom dengan menggunakan blower. Selanjutnya akan diukur kecepatan udara yang keluar dan debit bisa diketahui dengan rumus kontinuitas. Data debit inilah yang akan dimasukkan kedalam simulasi sehingga akan didapatkan data mengenai beda tekanan sepanjang kolom distilasi. Selanjutnya

data simulasi akan di bandingkan dengan data beda tekanan hasil eksperimen untuk mengecek validitas data.



BAB 1V

ANALISA DAN PEMBAHASAN

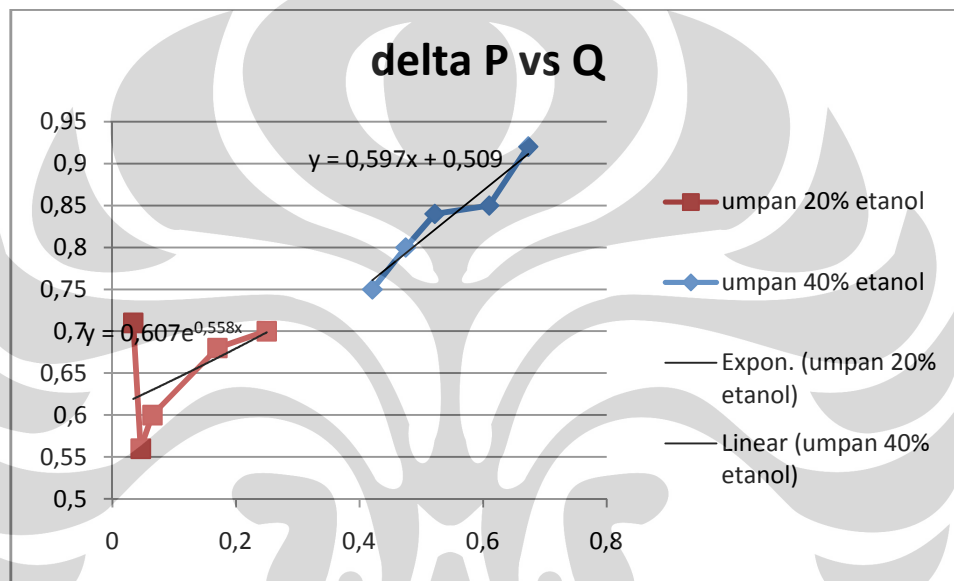
IV.1 Jatuh Tekanan (Pressure Drop) pada Kolom Distilasi

Sepanjang kolom distilasi tentunya pasti akan terjadi penurunan tekanan antara bagian dasar kolom dengan bagian puncak kolom. Penurunan tekanan bisa terjadi akibat perbedaan ketinggian ataupun karena friksi. Fator lain yang mempegaruhi jatuh tekanan adalah adanya halangan dalam aliran tersebut seperti adanya katup, susunan plat yang mengganggu jalur aliran, belokan, dan sebagainya. Dalam kolom distilasi terdapat major losses berupa faktor gesekan akibat dinding dari kolom, dan minor losses akibat adanya fitting (sambungan pipa), dan adanya tray dan cap.

Pengukuran jatuh tekanan dilakukan di antara stage pertama dan stage terakhir. Pengukuran tidak dilakukan pada titik masuk pada kolom karena pengukuran tekanan pada titik tersebut akan menimbulkan fluktuasi yang besar, sehingga data yang di dapat tidak menggambarkan keadaan yang sebenarnya. Aliran di dalam kolom mungkin tidak akan pernah sampai berkembang penuh karena di sepanjang kolom terdapat susunan tray dan cap pada setiap stage. Susunan tersebut akan mengganggu aliran dari fluida karena tujuan dari susunan tray dan cap adalah berusaha meningkatkan kontak antara aliran fase uap dan fase cair dari etanol.

Pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan komposisi umpan masuk yaitu 20% dan 40%. Aliran umpan masuk tidak diatur dengan katup atau regulator. Sehingga aliran umpan masuk seluruhnya masuk kedalam kolom distilasi. Panas yang diberikan pada boiler dijaga supaya tetap konstan sehingga bisa diasumsikan bahwa laju penguapan juga konstan. Kemudian laju pendinginan dalam juga dijaga konstan. Dengan laju penguapan dan laju pendinginan yang konstan maka akan ada hubungan antara debit distilat dengan beda tekanan di dalam kolom. Sesuai dengan rumus 2.17.

Penurunan tekanan berbanding lurus dengan vapor rate yang keluar dari boiler masuk kedalam kolom distilasi. Vapor rate berhubungan dengan temperatur pada boiler, ketika temperatur meningkat maka vapor rate akan naik dan mengakibatkan debit aliran yang masuk ke dalam kolom distilasi akan meningkat. Karena debit aliran meningkat maka tekanan pada sisi masuk dari kolom juga akan meningkat. Hal ini sesuai dengan percobaan yaitu ketika debit aliran meningkat maka beda tekanan juga meningkat. Walaupun pada percobaan tidak dilakukan perhitungan langsung untuk mendapatkan nilai dari laju penguapan.



Grafik 4.1 grafik perbandingan beda tekanan vs debit aliran

Dari data pressure drop hasil eksperimen menunjukkan kecenderungan beda tekanan turun ketika debit distilat turun. Baik pada umpan 20% maupun 40% etanol. Anomali terjadi pada proses distilasi 20% etanol, pada debit distilat menunjukkan 0,034 ml/s beda tekanan pada kolom distilasi berada pada 0,71 inch air. Seharusnya dengan debit yang kecil maka beda tekanan juga kecil tetapi disini menunjukkan sebaliknya. Untuk mengetahuinya bisa dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 keadaan aliran pada saat umpan 20% dan 40%

	T(oC)	Q Disilat (mL/det)	kadar(%)	Δp(inch water)
<i>feed 20%</i>	88	0,25	80	0,7
	96	0,17	80	0,68

	98	0,065	76	0,6
	100	0,046	51	0,56
	100	0,034	12	0,71
<i>feed 40%</i>	80	0,673	78	0,92
	82	0,61	87	0,85
	84	0,522	87,7	0,84
	87	0,475	84,5	0,8
	90	0,421	76,7	0,75

Pada tabel bisa dilihat data yang ditandai menunjukkan memang terjadi peningkatan beda tekanan pada saat debit distilat turun, namun jika dilihat pada komposisinya menunjukkan konsentrasi etanol yang sangat rendah hanya 12%. Temperatur pada boiler berada pada suhu 100⁰C atau pada titik didih air. Sehingga bisa disimpulkan pada kondisi tersebut etanol sudah hampir seluruhnya menjadi uap dan pada boiler memasuki fase penguapan air. Air yang diuapkan telah masuk kedalam kolom distilasi namun belum masuk kedalam kondenser sehingga sekilas terjadi anomali hubungan antara debit distilat dengan beda tekanan. Dari hasil ini bisa disimpulkan bahwa tekanan dalam kolom sangat tergantung dari laju penguapan pada kolom distilasi.

IV.2 Analisa Aliran pada Kolom Distilasi

IV.2.1 Perhitungan Head loss pada Kolom distilasi

Head loss pada kolom dipengaruhi berbagai macam faktor seperti kekasaran dinding, perbedaan ketinggian, dan gangguan aliran akibat susunan tray-cap pada kolom. Dalam percobaan sangat sulit untuk mendapatkan data kecepatan aktual ketika aliran melewati setiap kolom distilasi. Maka data kecepatan didapatkan dari aliran masuk dan aliran keluar dari kolom distilasi. Sedangkan rumus yang dipakai adalah sebagai berikut:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_L \quad (4.1)$$

Dengan p adalah tekanan dalam pipa, V adalah kecepatan aliran, z adalah beda ketinggian antara titik 1 dan 2, γ (gamma) adalah berat spesifik dari fluida, g

adalah gravitasi bumi, dan h_L adalah head loss sepanjang kolom distilasi. Dalam perhitungan asumsi α_1 dan α_2 karena nilai α dari aliran tidak diketahui jadi didekati dengan aliran ideal.

Beda tekanan telah diketahui dari pengukuran, nilai kecepatan juga di dapat dari pengukuran, beda ketinggian di ketahui dari jarak antara tray pertama sampai tray ke-11. Persamaan 4.1 jika disusun ulang pada sisi kiri hanya ada beda tekanan maka persamaan menjadi.

$$\frac{\Delta p}{\rho} = \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2} + (z_2 - z_1) + h_L$$

Nilai beda tekanan diambil dari tabel data beda tekanan. Nilai yang dipakai adalah nilai pada bukaan 100% yaitu 82,1172. Kecepatan (V_1 dan V_2) diambil dari rata-rata pengukuran yaitu sebesar 13,75 m/s dan 1,53 m/s. Sedangkan nilai ρ memakai density udara, nilainya dari referensi yaitu 1,23 kg/m³. Nilai² yang ada dimasukkan ke persamaan diatas sehingga menjadi.

$$\frac{82,1172}{1,23 \times 9,81} = \frac{(1,53^2 - 13,75^2)}{2 \times 9,81} + (1,65) + h$$

$$h = 5,234 + 9,52 - 1,65$$

$$h = 13,105$$

IV.2.2 Permodelan dan Simulasi Aliran Pada Kolom Distilasi

Simulasi dilakukan untuk membantu memahami fenomena aliran yang terjadi di dalam alat utama pemurnian etanol. Dari simulasi diharapkan akan bisa dipelajari tentang bagaimana perilaku aliran ketika melewati setiap tray pada alat utama pemurnian etanol, penurunan tekanan pada alat utama pemurnian etanol, dan kecepatan aliran ketika melewati alat utama pemurnian etanol. Fenomena-fenomena tersebut akan diteliti sejauh mana pengaruhnya terhadap produk akhir dari alat utama pemurnian etanol.

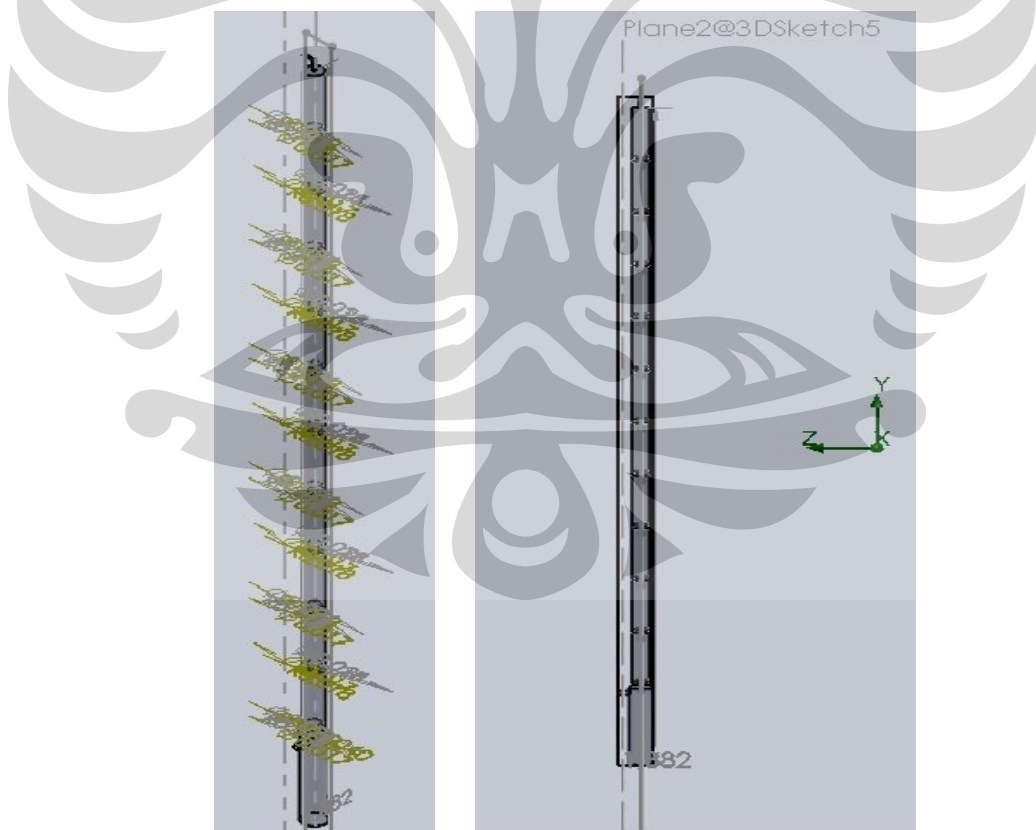
Simulasi aliran dilakukan mengalirkan udara ke dalam alat utama pemurnian etanol. Simulasi aliran menggunakan perangkat lunak Solidworks

Flow Simulation 2009 dengan udara sebagai fluida kerja. Udara dipilih sebagai fluida kerja karena dalam Solidworks Flow Simulation 2009 belum bisa menganalisa fraksi massa dari etanol, dan dari simulasi ini akan digunakan sebagai validasi terhadap eksperimen yang telah dilakukan. Eksperimennya adalah meniupkan udara kedalam alat utama pemurnian etanol dan dicatat data-data mengenai kecepatan aliran, serta penurunan tekanan. Berikut hasil dari simulasi aliran pada alat utama pemurnian etanol.

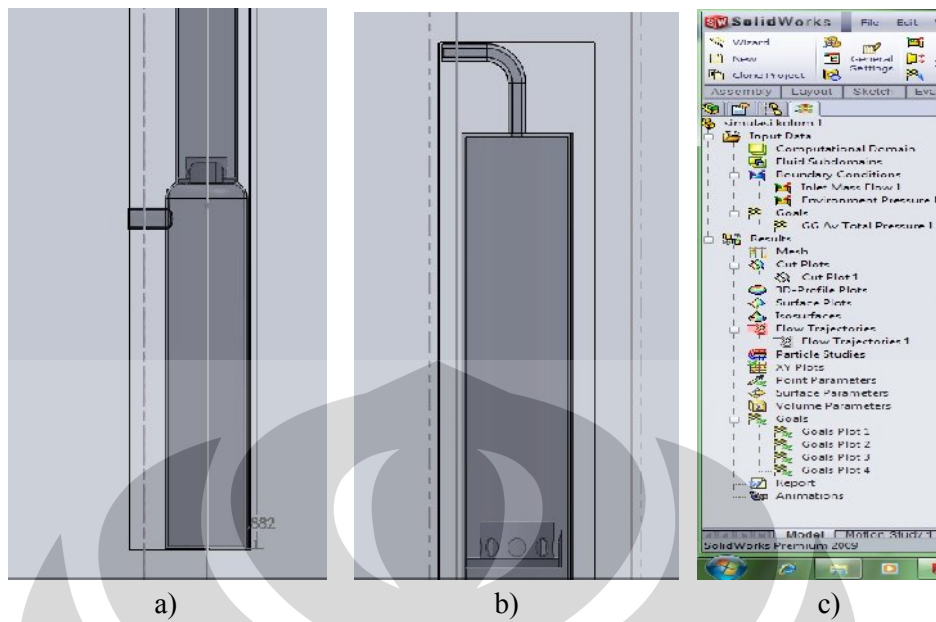
IV.2.2.1 Model Komputasional

Simulasi dilakukan dengan menggunakan geometri dari alat utama pemurnian etanol. Modelnya bisa dilihat pada gambar 4.12. Simulasi aliran hanya dilakukan pada kolom distilasi bukan pada keseluruhan sistem pemurnian etanol.

Simulasi aliran menggunakan simulasi *intenal flow* pada kolom distilasi. Domain komputasi dan kondisi batas dapat dilihat pada gambar 4.12 dan 4.13



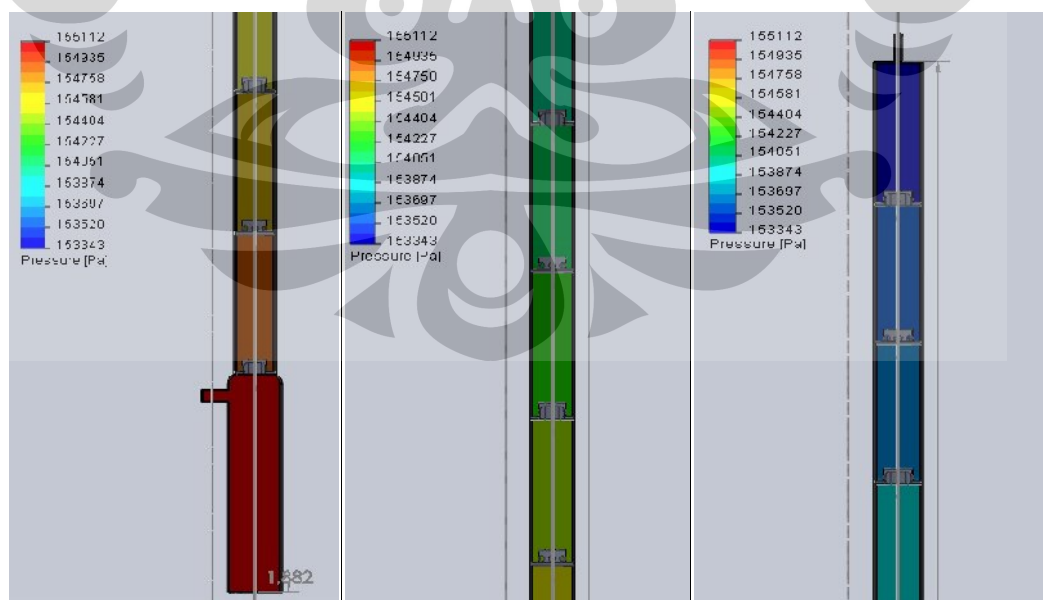
Gambar 4.1 model keseluruhan kolom distilasi dan domain komputasional



Gambar 4.2 a) inlet flow, b) outlet flow, dan c) kondisi batass

IV.2.2.2 Karakteristik Aliran pada Kolom Distilasi

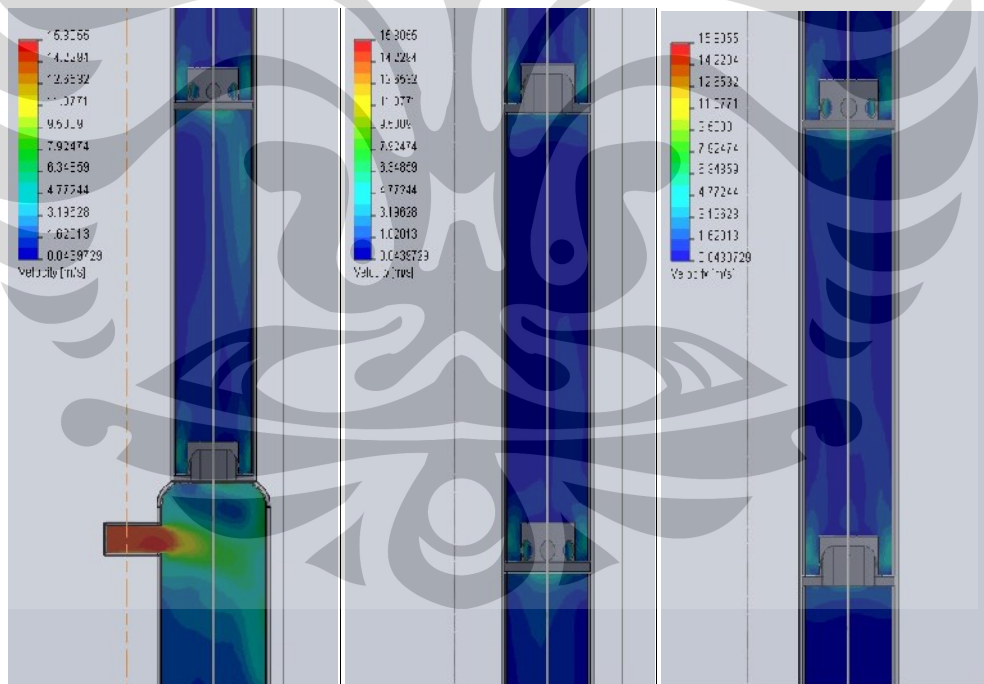
Dalam simulasi ini karakteristik aliran yang akan diteliti adalah penurunan tekanan pada kolom distilasi, kecepatan sepanjang kolom distilasi dan pada setiap stage, dan profil kecepatan pada setiap stage.



Gambar 4.3 Profil tekanan pada kolom distilasi

Pada gambar diatas menunjukkan profil tekanan sepanjang kolom distilasi. Bisa dilihat bahwa tekanan paling besar terletak pada sisi masuk dari aliran dan tekanan minimum terdapat pada puncak kolom. Penurunan tekanan secara gradual sepanjang pipa dipengaruhi oleh susunan stage dalam kolom distilasi. Hal ini terlihat dari gambar bahwa terjadi perbedaan tekanan yang signifikan ketika aliran melewati stage. Hal ini sesuai dengan fungsi dari setiap stage yaitu memberikan kontak yang kontinyu antara fasa uap dan fasa cair sehingga terjadi penurunan tekanan yang cukup besar.

Hasil dari simulasi menunjukkan penurunan tekanan yang terjadi sebesar 2 kPa, sedangkan penurunan tekanan pada eksperimen sebesar 82,1172 Pa. Terjadi selisih yang cukup besar pada hasil akhir namun dari segi fenomena aliran terdapat fenomena penurunan tekanan yang sangat mirip dengan eksperimen sehingga bisa dikatakan hasil simulasi yang didapatkan sesuai dengan kondisi sebenarnya.



Gambar 4.4 Profil kecepatan pada kolom distilasi

Hasil simulasi aliran juga menghitung kecepatan aliran pada kolom distilasi. Simulasi dilakukan dengan memasukkan data debit awal sebesar 0.002063 kg/s dan kecepatan pada arah X sebesar 13,65 m/s. Pada gambar

diperlihatkan bahwa kecepatan masuk terdapat pada sisi masuk aliran, hal ini karena energi kinetik aliran pada sisi masuk masih besar.

Penurunan kecepatan diakibatkan oleh gesekan pada dinding dan gravitasi bumi sehingga semakin ke atas besarnya kecepatan semakin kecil. Pada fenomena ini terlihat peran susunan tray-cap pada setiap stage. Dari gambar terlihat pada setiap stage kecepatan aliran naik secara konstan, namun diantara stage kecepatan turun hampir mendekati 0 m/s. Fenomena ini menunjukkan bahwa peran susunan tray-cap tidak hanya memberikan efek kontak yang kontinyu tetapi juga berfungsi menaikkan kecepatan aliran sehingga bisa memastikan aliran sampai ke puncak kolom distilasi. Jika aliran tidak bisa mencapai puncak kolom maka produk distilat etanol tidak akan bisa dihasilkan.

Visualisasi aliran sebelumnya dilihat dari sisi kanan kolom dengan referensi *right plane* pada solidworks, sekarang mari kita lihat dari sisi depan kolom. Jika dilihat dari sisi depan terlihat terjadi pengulangan profil kecepatan ketika aliran melewati setiap stage. Aliran yang melewati daerah *downcomer* kecepatannya meningkat drastis dari sekitar 1 m/s pada clearance area menjadi sekitar 10 m/s. Hal ini disebabkan terjadi penyempitan jalur aliran sehingga energi aliran berubah dari energi tekanan berubah menjadi energi kinetik ditandai dengan kenaikan kecepatan. Fenomena ini mengikuti persamaan bernoulli yang menyebutkan bahwa energi aliran sepanjang pipa besarnya konstan namun bisa berubah bentuk menjadi energi tekanan (tekanan statik), energi kinetik fluida (tekanan dinamik), dan energi potensial fluida.

Profil aliran seperti dibawah ini menyebabkan aliran bisa sampai ke puncak kolom distilasi. Hal ini penting karena jika aliran tidak bisa mencapai puncak kolom maka distilat tidak akan pernah didapatkan. Peningkatan kecepatan pada setiap stage mendorong aliran yang berada diatasnya agar bisa terus naik ke stage berikutnya. Oleh karena itu disini terlihat susunan tray dan cap berfungsi sebagai katup yang menjaga kecepatan sehingga bisa terus mengalir sampai puncak kolom.

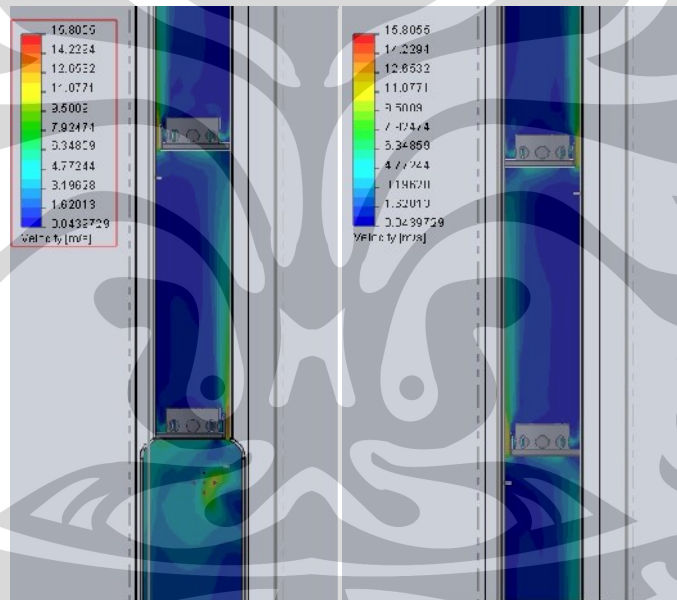
Disamping dari profil kontur aliran dalam simulasi harus dilihat bagaimana keadaan aliran ketika fluida mengalir di dalam pipa. Keadaan aliran bisa dilihat dari fitur *flow trajectories*. Fitur ini menggambarkan aliran sebagai suatu partikel yang bergerak dalam sebuah jalur aliran. Hasilnya adalah garis-garis aliran yang akan menggambarkan keadaan aliran ketika melewati sebuah pipa atau geometri tertentu. Untuk *flow trajectories* pada kolom distilasi bisa dilihat pada gambar 4.6.

Kondisi aliran pada gambar 4.6 menunjukkan kondisi aliran pada setiap stage pada kolom distilasi. Aliran pada setiap stage sangat penting diamati karena pada daerah inilah diprediksi banyak pertemuan aliran. Pertemuan aliran inilah yang nantinya akan mempengaruhi produk akhir dari proses distilasi. Semakin banyak pertemuan aliran pada setiap stage akan meningkatkan produk akhir dari komposisi etanol pada produk akhir distilasi.

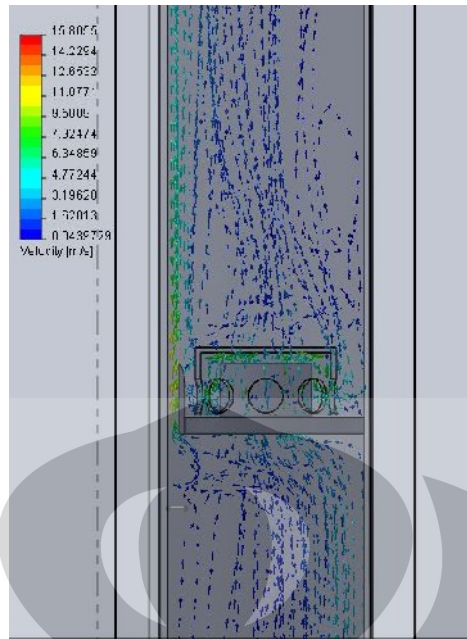
Aliran pada stage yang ditunjukkan pada gambar 4.6 menggambarkan kecepatan aliran mulai meningkat pada saat melewati celah sempit pada stage, baik di bagian *downcomer* maupun pada leher tray. Namun pada celah leher tray kecepatan aliran lebih cepat berkurang daripada aliran yang melewati celah *downcomer*. Kondisi ini diakibatkan tidak ada penghalang ketika aliran telah meninggalkan celah *downcomer*. Pengurangan kecepatan pada bagian ini hanya dipengaruhi oleh gesekan antara dinding kolom dan juga fluida yang ada di sekitarnya. Sentuhan yang terjadi tidak banyak jika dibandingkan dengan aliran yang melewati celah leher tray. Pada saat aliran melewati celah leher tray maka aliran akan bertemu halangan berupa *cap* yang menutupi leher tray. Dengan adanya *cap* tersebut aliran dibelokkan kebawah agar aliran bisa melewati lubang yang ada di bagian bawah *cap*. Tujuan aliran melewati lubang adalah agar aliran uap etanol yang berasal dari bagian bawah tray bertemu dengan cairan etanol yang jatuh dari tray berikutnya. Ketika cairan jatuh akan ditampung pada plat tray. Cairan akan terkumpul dan ketika uap dari bawah tray naik melewati lubang-lubang *cap*, cairan akan bertemu dengan uap dan terjadi proses perpindahan panas. Karena proses perpindahan panas cairan akan berubah fase kembali menjadi uap dan akan naik ke stage berikutnya. Naiknya uap akan di pengaruhi

oleh dorongan uap yang ada dibawahnya, sehingga diperlukan pemanasan yang terus menerus agar laju aliran uap terjaga.

Fenomena terkumpulnya aliran didalam cap dan penyempitan mendadak pada leher tray yang menyebabkan kecepatan aliran meningkat drastis ketika memasuki celah pada leher tray. Namun ketika pembelokan aliran terdapat gesekan yang kontinyu baik antara fluida dengan dinding *cap* dan leher tray, maupun antara fluida dengan fluida menyebabkan fluida kehilangan energi kinetik ditandai dengan penurunan kecepatan. Penurunan kecepatan yang lebih besar terjadi ketika fluida meninggalkan *cap*. Ketika meninggalkan *cap* fluida memasuki geometri yang lebih besar sehingga kecepatan menurun secara signifikan sesuai dengan hukum kontinuitas.



Gambar 4.5 Profil kecepatan dilihat dari referensi *front plane*



Gambar 4.6 Profil *flow trajectory* dari aliran pada kolom distilasi

IV.3 Analisa Waktu Pengoperasian

Dalam usaha untuk mengoptimasi suatu sistem distilasi kita harus menentukan parameter apa yang akan dioptimasi. Secara umum terdapat tiga tujuan dalam pengoptimalan proses yaitu keuntungan maksimum, hasil ditilat maksimum, dan waktu operasi minimum. Dalam kondisi dewasa ini waktu pengoperasian proses distilasi (*distillation process time*) adalah faktor yang penting ketika menjalankan process distilasi. Karena jika kita mengoperasikan suatu sistem lebih lama maka akan ada biaya tambahan seperti biaya untuk listrik, bahan bakar, gaji pegawai, perawatan peralatan, dll. Oleh karena itu dalam analisa ini saya akan mengukur performa sistem distilasi berdasarkan waktu pengoperasian minimum dari sistem distilasi.

Pengukuran waktu operasi dilakukan dari awal mulai terjadi penguapan sampai jumlah distilat yang diinginkan berhasil diperoleh. Kemudian dicatat waktunya lalu dibandingkan waktu teoritis. Waktu teoritis dihitung dengan menggunakan persamaan 2.17 kemudian nanti akan dilihat sejauh mana efektifitas kolom berdasarkan waktu operasi distilasi. Detail data bisa dilihat di tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan waktu teoritis

	Vol distilat (mL)	t_{exp} (s)	Q Distilat (mL/det)	t_{diff} teoritis	error time
feed 20% dan flowrate feed 0,157 ml/s	93	372	0,25	592,3566879	-37,2
	128	773	0,17	815,2866242	-5,1867188
	78	1200	0,065	496,8152866	141,538462
	57	1237	0,046	363,0573248	240,717544
	115	3391	0,034	732,4840764	362,945217
feed 40% flowrate feed 1,014 ml/s	148	220	0,673	145,9566075	50,7297297
	210	345	0,61	207,1005917	66,5857143
	117	224	0,522	115,3846154	94,1333333
	140	295	0,475	138,0670611	113,664286
	125	297	0,421	123,2741617	140,9264

Beberapa variabel yang digunakan dalam penghitungan waktu teoritis adalah jumlah distilat (H_a) dan waktu eksperimen (t_{exp}) didapat melalui eksperimen. Dalam eksperimen ini R_{exp} (rasio reflux) adalah nol karena tidak ada kondensat yang dikembalikan kedalam kolom distilasi.

Dari tabel bisa dilihat bahwa secara umum terdapat perbedaan besar antara waktu teoritis dengan waktu aktual hasil eksperimen. Namun dari eksperimen tersebut bisa disimpulkan dengan bahwa terdapat dua pilihan dalam mengoptimalkan waktu pengoperasian yaitu menaikkan flowrate feed atau menaikkan laju pendinginan. Seperti pada eksperimen pertama dengan umpan feed 20%, kondisi optimum waktu pengoperasian di dapat pada data ke-2 dengan flowrate distilat 0,17 ml/s, maka yang paling memungkinkan adalah memperbesar flowrate feed sampai pada nilai 0,17 ml/s atau sama dengan laju pendinginan. Hal ini bisa dilakukan dengan memperbesar panas yang diberikan pada boiler.

Percobaan kedua menunjukkan kondisi optimum terjadi pada flowrate distilat sebesar 0,673 ml/s. dengan error time sebesar 51%, maka langkah yang paling memungkinkan dalam memperoleh waktu operasi minimum adalah menambah laju pendinginan dengan cara memperbesar flowrate fluida pendingin,

menambah jumlah kondenser, menjaga temperatur fluida pendingin jika sistem kondenser adalah sistem sirkulasi. sehingga didapatkan hasil yang paling optimum. Dengan menambah laju pendinginan maka tentu akan menambah biaya yang akan dikeluarkan sehingga dibutuhkan penelitian lebih lanjut tentang metode mana yang harus diterapkan sehingga proses distilasi etanol memperoleh waktu minimum, hasil yang maksimum, dan keuntungan yang maksimum.

IV.3.1 Hubungan Antara Waktu Operasi dengan Komposisi Distilat

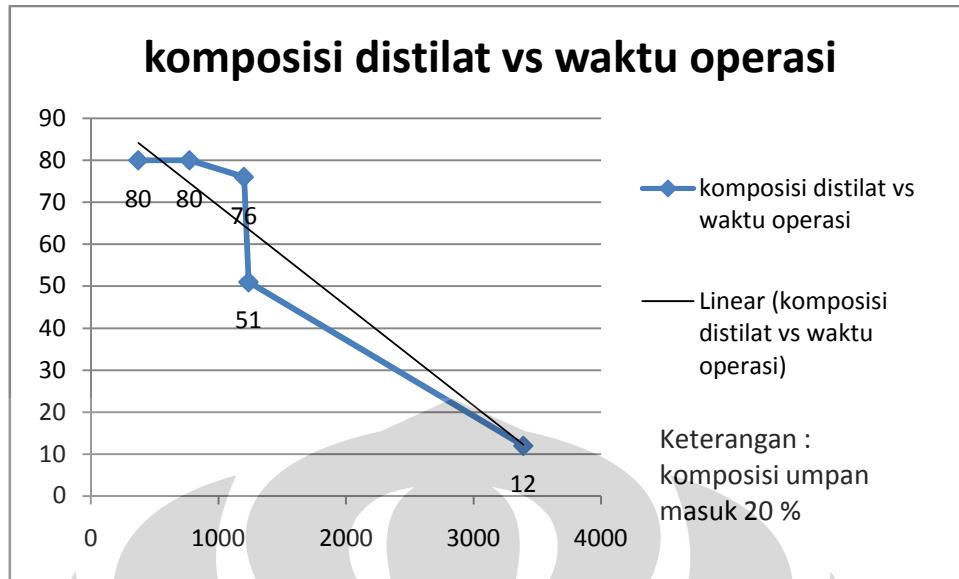
Seperti dijelaskan sebelumnya waktu operasi adalah salah satu faktor penting dalam proses distilasi. Jika waktu yang dibutuhkan semakin lama maka biaya produksi dari keseluruhan proses juga meningkat. Selain itu waktu proses juga menentukan kualitas produk yang dihasilkan. Hal ini karena distilasi bekerja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

Pada penelitian kali ini terdapat dua jenis umpan masuk yaitu etanol 20% dan etanol 40%. Volume total dari campuran sebesar 2250 ml. Etanol yang akan dimurnikan dipanaskan dengan kompor dengan pemanasan yang dijaga tetap konstan sehingga diharapkan kenaikan suhu pada boiler akan tetap konstan. Sampel distilat yang diambil sebanyak lima buah untuk masing-masing percobaan. Setiap sampel diambil jika volumenya mencapai ± 150 ml atau distilat sudah dihasilkan selama waktu lima menit. Hal ini dilakukan karena untuk menjaga agar distilat tidak terlalu banyak ketika *flowrate* distilat besar dan tidak akan tercampur dengan produk yang belakangan ketika *flowrate* distilat kecil. Diusahakan temperatur pada boiler berkisar antara $80^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$ agar distilat

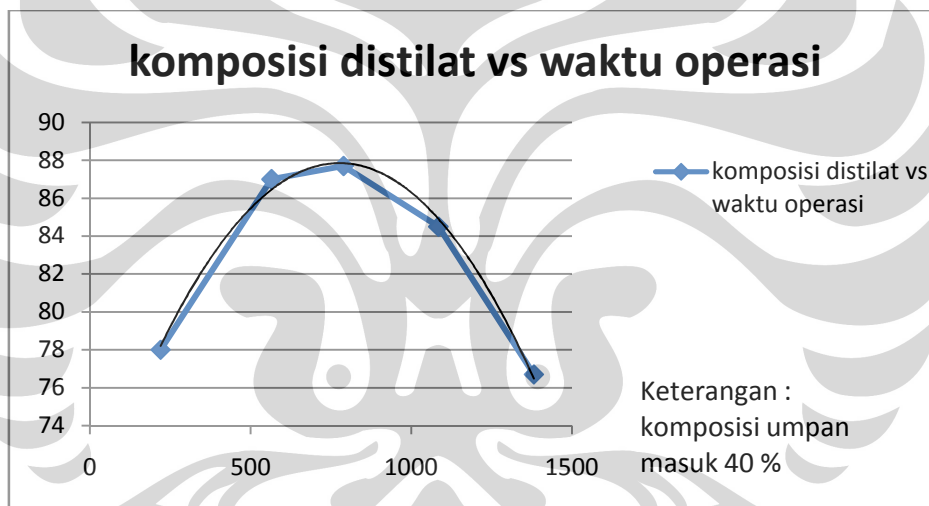
mengandung etanol dengan kadar yang tinggi dan juga agar air yang berada dalam campuran tidak sempat menguap dan mempengaruhi kadar etanol pada distilat.

Ketika distilat mulai dihasilkan dan mencapai jumlah yang diinginkan maka distilat langsung diukur volume dan komposisi etanol dari distilat. Waktu yang diperlukan untuk mendapatkan distilat tersebut dicatat sehingga dari data tersebut kita akan mengetahui juga besar *flowrate* dari distilat yang dihasilkan.

Dari hasil yang didapatkan bahwa waktu operasi berpengaruh pada komposisi cairan distilat. Pada awal pengambilan sampel yaitu sampel pertama sampai sampel ketiga menunjukkan komposisi cairan yang tidak terlalu berbeda. Bahkan pada percobaan kedua sampel ketiga menunjukkan komposisi etanol tertinggi dengan waktu operasi selama 789 detik. Sedangkan pada percobaan pertama komposisi tertinggi didapatkan pada sampel pertama dan kedua dengan waktu operasi selama 1145 detik. Perbedaan waktu operasi diakibatkan berbeda nilai *flowrate* dari kedua percobaan. Namun dari kedua percobaan terdapat tren yang sama yaitu semakin lama waktu pengoperasian maka kadar etanol yang didapat juga semakin kecil. Terjadi anomali pada percobaan kedua ketika sampel distilat pertama memiliki komposisi etanol yang lebih rendah dibanding dengan sampel kedua dan ketiga. Hal ini terjadi karena pada percobaan kedua kolom distilasi telah terpakai sebelumnya untuk percobaan pertama. Pada percobaan pertama suhu boiler mencapai 100°C dengan waktu operasi mencapai hampir dua jam. Hal ini menyebabkan pada percobaan satu air pada campuran telah menguap dan telah mengisi kolom distilasi. Walaupun *bottom product* telah diambil sebelumnya namun masih terdapat cairan yang tertinggal di dalam susunan tray pada kolom distilasi sehingga mempengaruhi hasil dari produk awal distilasi. Dalam kasus seperti inilah dibutuhkan perhitungan waktu start-up dari kolom distilasi. Sehingga dari perhitungan tersebut akan diketahui pada detik ke berapa akan dimulai pengambilan produk distilat.

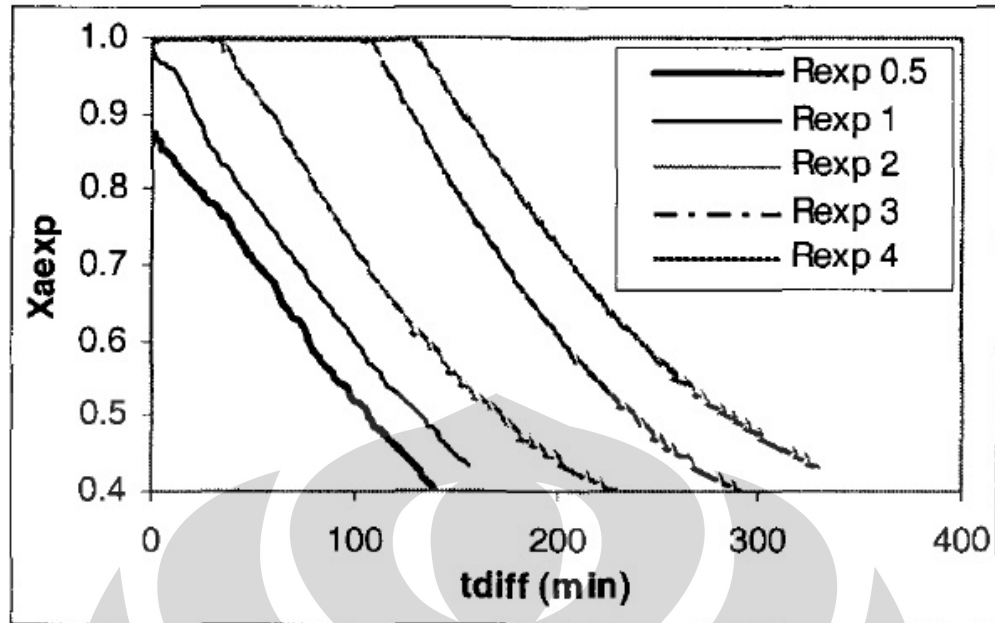


Grafik 4.2 hubungan antara komposisi distilat dan lamanya waktu operasi untuk umpan 20%

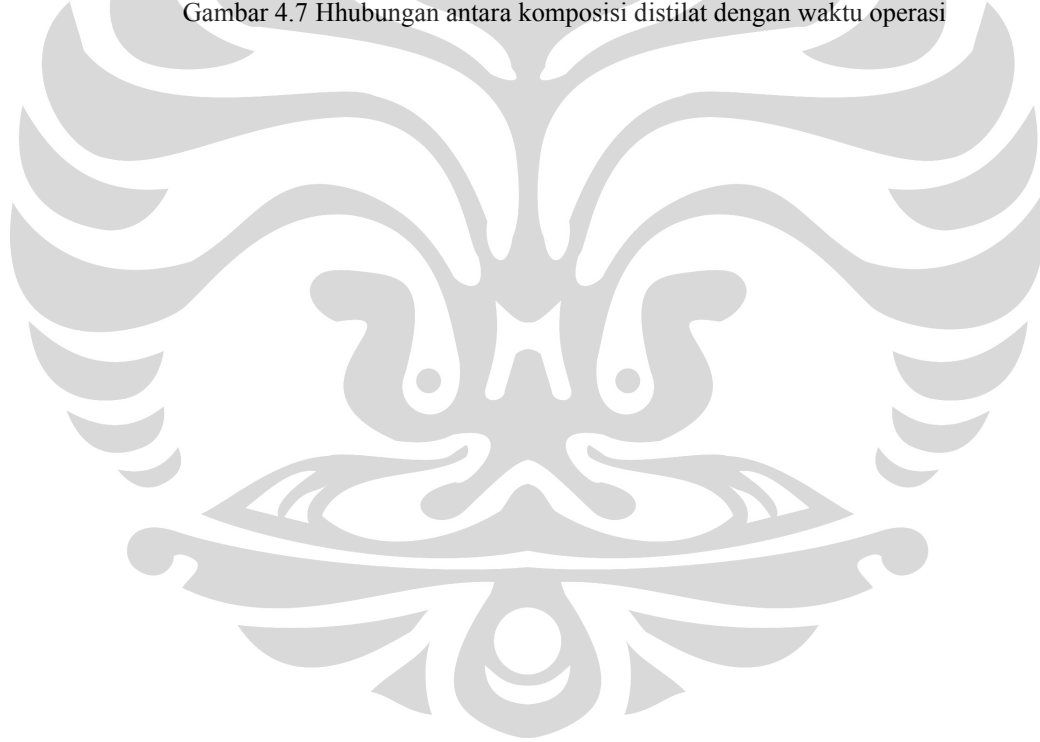


Grafik 4.3 hubungan antara komposisi distilat dan lamanya waktu operasi untuk umpan 40%

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



Gambar 4.7 Hhubungan antara komposisi distilat dengan waktu operasi



BAB V

PENUTUP

IV.1 Kesimpulan

Dari hasil pemodelan dan simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai jatuh tekanan sepanjang kolom distilasi berkisar antara 0,56 – 0,7 inch air pada umpan 20% etanol, dan 0,75 – 0,92 inch air pada umpan 40% etanol.
2. Head loss keseluruhan sepanjang kolom distilasi sebesar 4,95 m. Nilai ini cukup besar jika dibandingkan dengan panjang kolom distilasi.
3. Nilai konsentrasi rata-rata yang di dapat dari proses distilasi adalah 71,75% etanol pada umpan 20% etanol, dan 82,78% etanol pada 40% etanol.
4. Waktu operasi aktual optimum pada sistem distilasi pada waktu operasi selama 1145 detik dengan hasil distilat sebanyak 221 ml dan error time 5% dari waktu teoritis untuk umpan feed 20% etanol, sedangkan waktu optimum sistem distilasi adalah selama 789 detik dengan hasil 475 ml dan error time sebesar 51% dari waktu teoritis.
5. Komposisi distilat bergantung pada waktu operasi. Semakin lama waktu operasi maka semakin kecil komposisi etanol pada distilat.

IV.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Harus diteliti lebih jauh lagi tentang fenomena aliran seperti head loss per tray.
2. Performa kolom distilasi harus ditingkatkan lagi mengingat waktu operasi actual telah berbeda jauh dengan waktu operasi teoritis.

3. Perlunya perancangan secara keseluruhan dari system distilasi untuk mendapatkan performa yang optimum dari suatu system distilasi.



Daftar Referensi

- [1] Mujtaba, I. M. (1997). *Batch Distillation: Process and Design*. London: Imperial College Press
- [2] Green, Don W., Maloney, James O. Perry, Robert H. (1997): *Perry's Chemical Engineers' Handbook (7th ed.)*. New York: McGraw-Hill.
- [4] Udeye, V. Mopoung, S. Vorasingha, A. Amornsakchai, P. (Februari 2009): *Ethanol Heterogeneous Azeotropic Distillation Design and Construction*. Phitsanulok. Dept of Chemistry Naresuan University.
- [5] Hermawan, Fery. (2009). *Rancang Bangun dan Analisa Turbin Angin untuk Bangunan Rendah Energi (Zero Energy Building)*. Skripsi: DTM FTUI.
- [6] Tassios, Dimitrios P. (1974). *Extractive and Azeotropic Distillation*. Washington DC: American Chemical Society.
- [7] Munson, Bruce R., Donald F. Young, and Theodore H. Okiishi. (2002) *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 4th ed. John Wiley & Sons, Inc.
- [8] Warberg, Tore Haug. (2005): *McCabe-Thiele Diagrams for Binary Distillation*. Dept. of Chemical Engineering
- [9] Universitas Indonesia. *Pedoman Teknis Penulisan Tugas Akhir Mahasiswa Universitas Indonesia*. (2008). Depok: Universitas Indonesia.

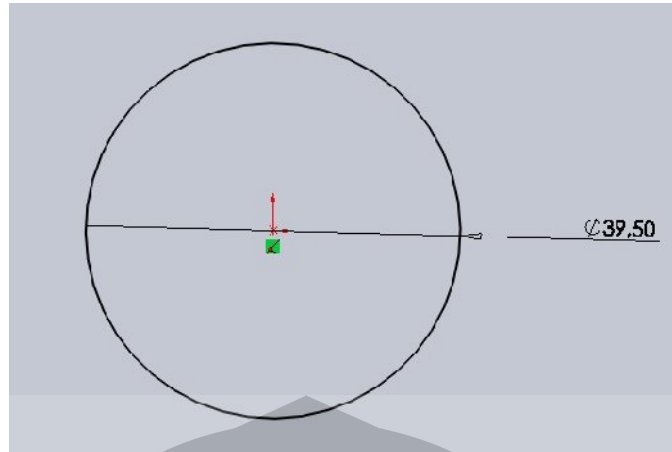
PERMODELAN DAN SIMULASI ALIRAN PADA KOLOM DISTILASI UNTUK MENDAPATKAN NILAI PRESSURE DROP SEBAGAI GOAL

Permodelan dan Simulasi aliran yang dilakukan pada penelitian kali ini bertujuan mempelajari kondisi aliran ketika mengalir di dalam kolom distilasi. Hal tersebut sangat penting karena dengan mengetahui kondisi aliran maka kita bisa mendapatkan faktor apa saja yang mempengaruhi suatu produk akhir dari proses distilasi. Dalam simulasi ini analisa aliran difokuskan pada kolom distilasi, karena di dalam kolom proses pertemuan aliran terjadi secara intensif. Dan pada kolom distilasi proses utama pemisahan campuran etanol-air sehingga sangat penting untuk mengetahui fenomena aliran yang terjadi di dalam kolom distilasi.

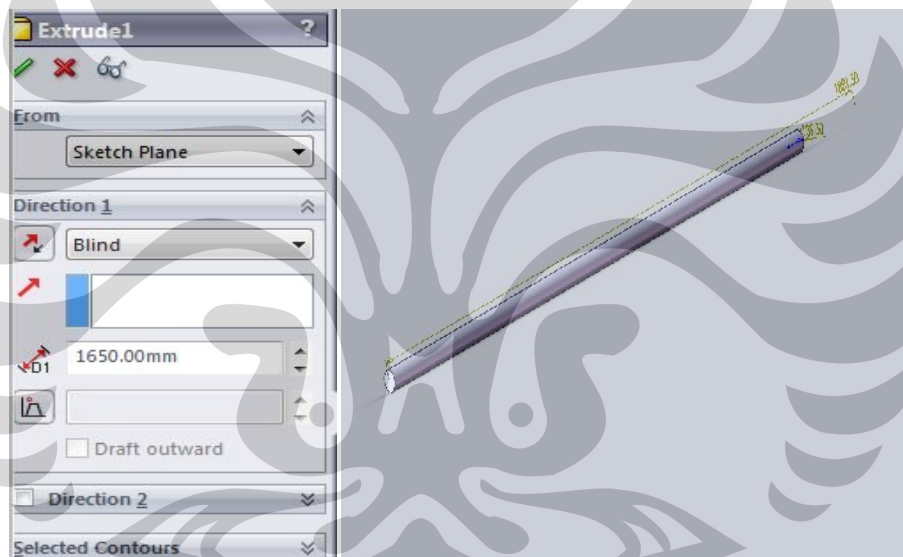
Pada tahap permodelan dilakukan permodelan geometri berdasarkan dimensi yang telah ditentukan sebelumnya. Setelah permodelan langkah selanjutnya adalah simulasi aliran. Supaya bisa mempelajari fenomena aliran maka pada simulasi kali ini digunakan *pressure drop* sebagai *goal* dari simulasi. Dari *goal* tersebut maka kita bisa mempelajari distribusi aliran sepanjang kolom, distribusi kecepatan, dan arah aliran ketika melewati setiap stage pada kolom distilasi. Langkah-langkah permodelan dan simulasi akan dijelaskan secara rinci seperti dibawah ini.

Tahap Permodelan

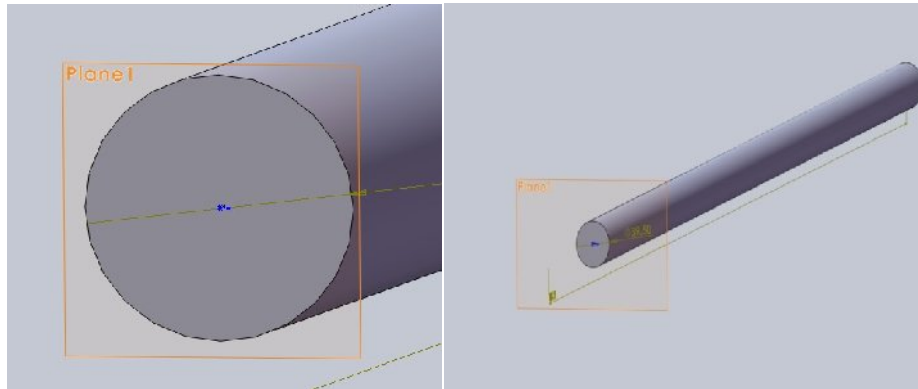
- Pembuatan kolom distilasi
 1. Membuat sebuah lingkaran penuh dengan diameter 39,5 mm.



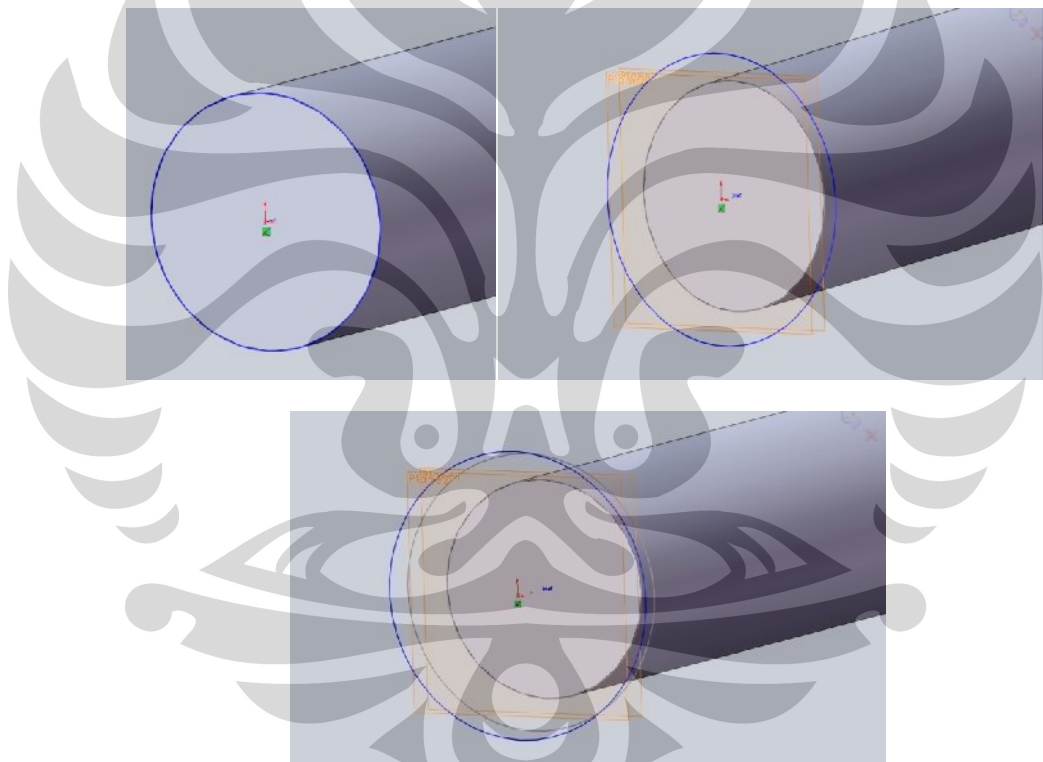
2. Setelah lingkaran dibuat, langkah selanjutnya adalah *extrude* lingkaran tersebut sehingga menjadi bentuk silinder pejal. Panjang silinder 1650 mm.



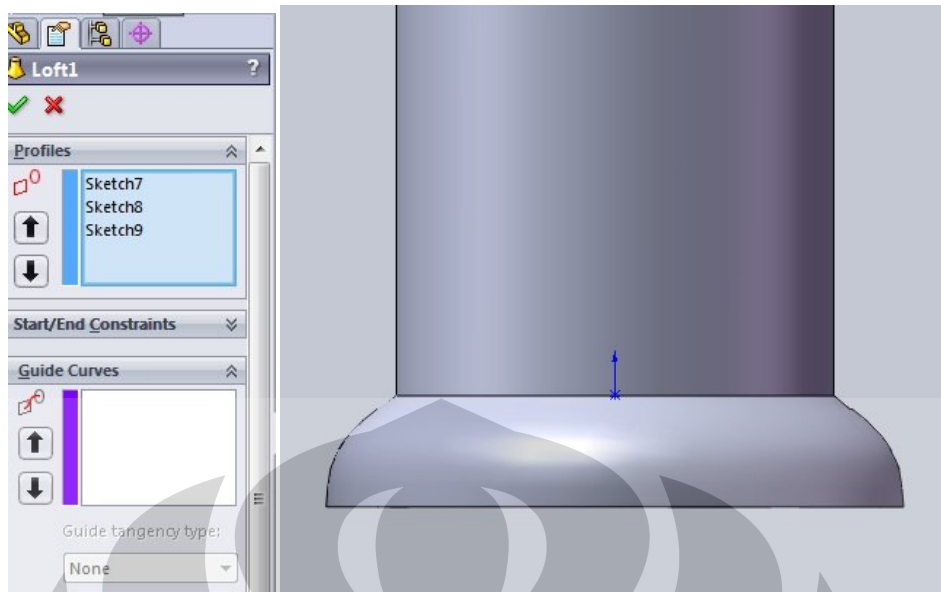
3. Buat dua *plane* pada bagian bawah silinder untuk referensi permodelan selanjutnya. Jadikan dasar silinder sebagai acuan, tempatkan *plane1* di depan dasar silinder dengan jarak 5 mm dan *plane2* berjarak 5 mm di depan *plane1*.



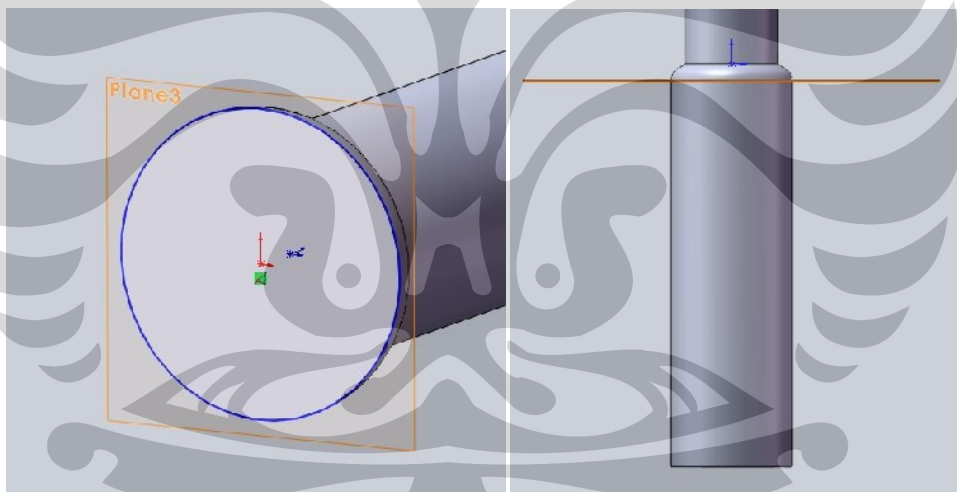
4. Buat tiga lingkaran, lingkaran pertama ditempatkan pada dasar silinder dengan diameter sama dengan silinder. Lingkaran kedua ditempatkan pada *plane1* dengan diameter 50 mm, dan lingkaran ketiga ditempatkan pada *plane2* dengan diameter 52 mm.



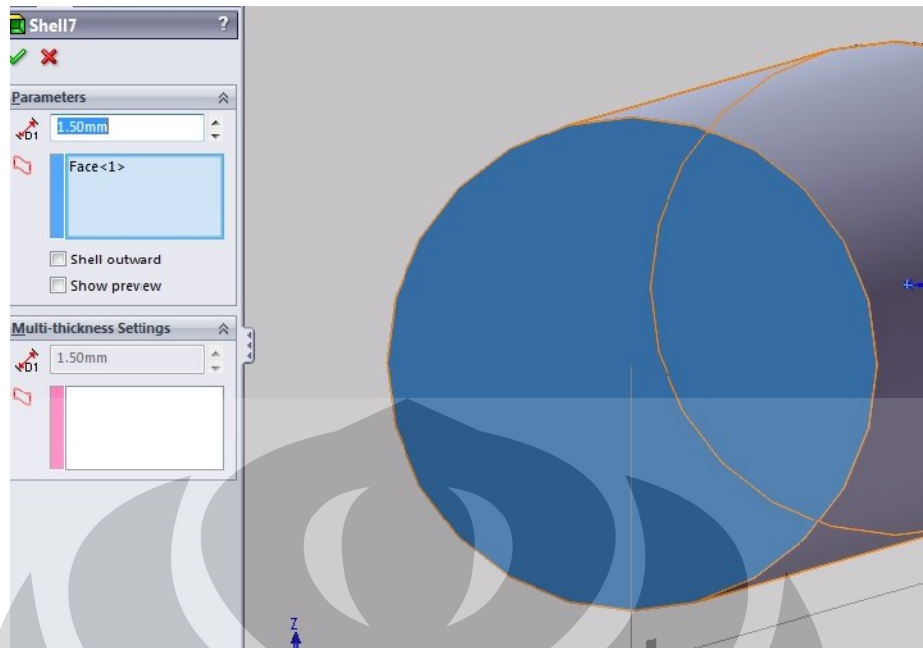
5. Pilih fitur loft. Pilih ketiga lingkaran yang telah dibuat pada langkah 4 sebagai profil pada fitur loft. Hasilnya seperti pada gambar dibawah ini.



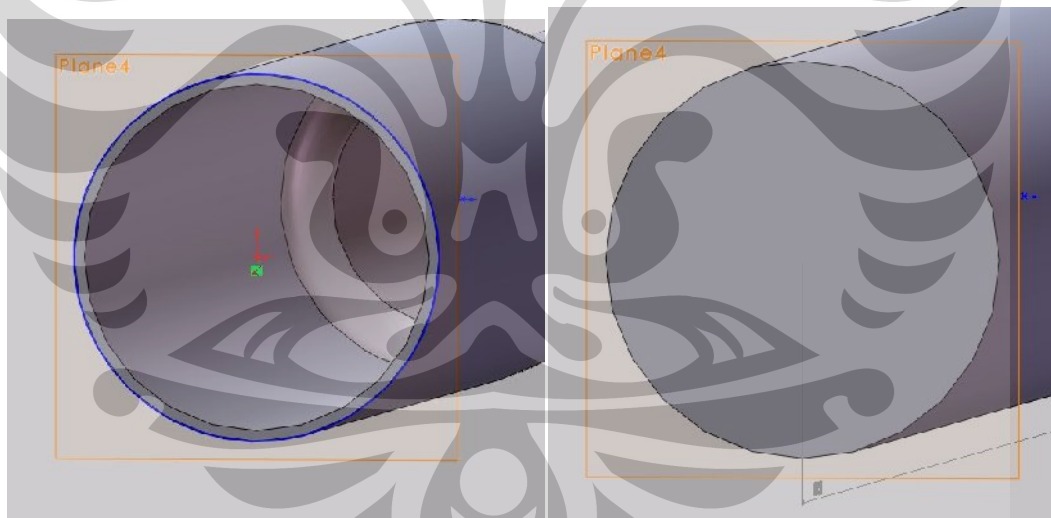
6. Buat plane pada dasar kolom, namakan *plane3*. Buat lingkaran pada *plane3* dengan diameter 52 mm. Kemudian *extrude* lingkaran tersebut sepanjang 220 mm sehingga menjadi seperti gambar dibawah ini.



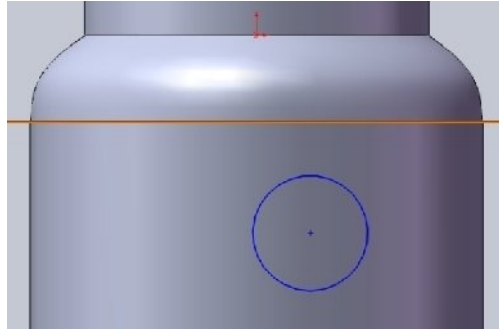
7. Langkah selanjutnya pilih fitur shell. Fitur shell berguna mengubah suatu geometri pejal menjadi geometri berongga dengan ketebalan tertentu. Pada permodelan ini pilih Face<1> sebagai parameter dan ketebalan dinding kolom di set sebesar 1,5 mm.



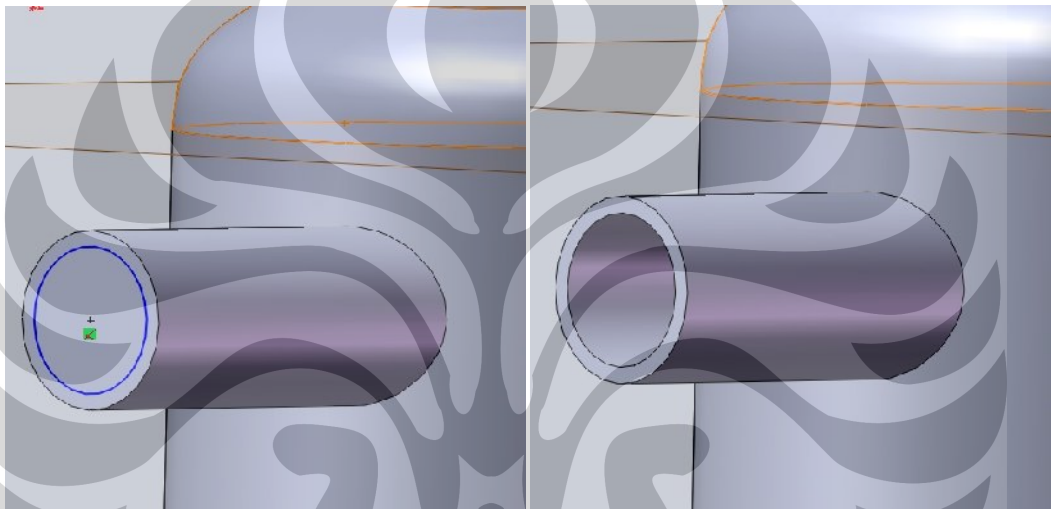
8. Buat plane pada dasar kolom, namakan plane4. Kemudian buat lingkaran dengan diameter 52 mm. Extrude lingkaran tersebut sepanjang 1,5 mm. Sekarang bagian dasar kolom telah tertutup.



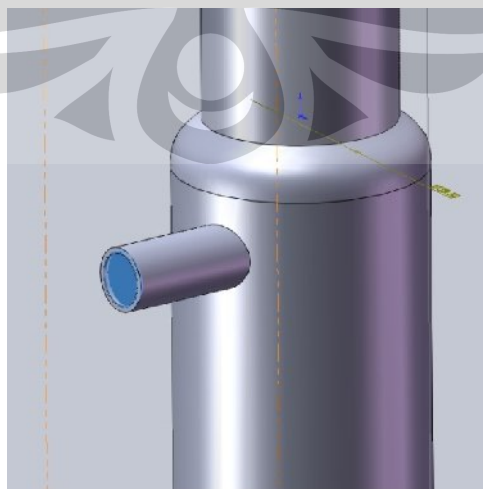
9. Buat lingkaran seperti pada gambar dengan jarak dari plane4 sebesar 50 mm dan jarak dari dinding kolom sebesar 40 mm. Diameter lingkaran sebesar 13,22 mm. extrude lingkaran tersebut sampai menyentuh dinding.



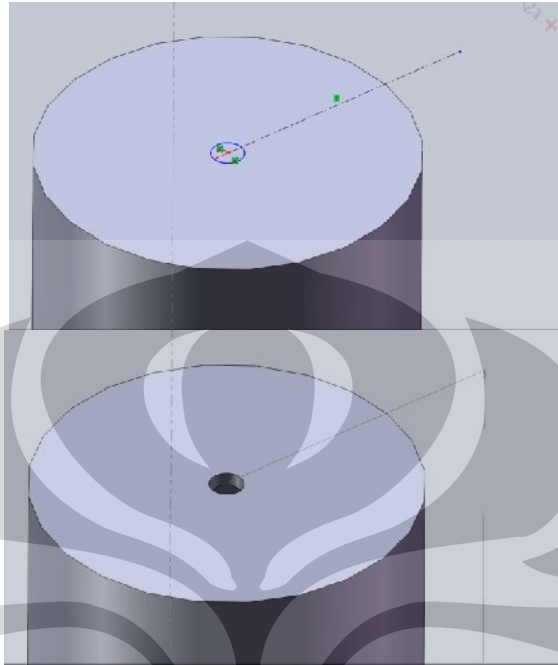
10. Buat lingkaran seperti gambar dibawah ini dengan diameter 10,86 mm. kemudian pilih menu extrude cut untuk membuat lubang pada *drat* yang ada.



11. Buat lid pada lubang seperti yang ditunjukkan pada gambar. Sebelum membuat lid permukaan yang berada di sekitar lubang harus diubah menjadi menjadi sketch dengan fitur convert entities. Fitur ini terdapat pada menu sketch.

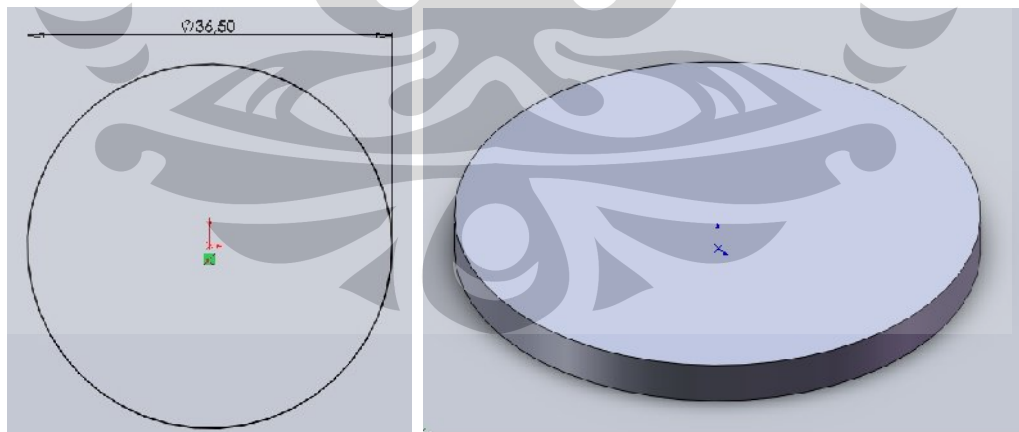


12. Buat lingkaran pada puncak kolom. Lingkaran ini konsentris dengan sumbu silinder. diameter lingkaran sebesar 3,5 mm. Kemudian pilih fitur extrude cut untuk membuat lubang pada puncak kolom.

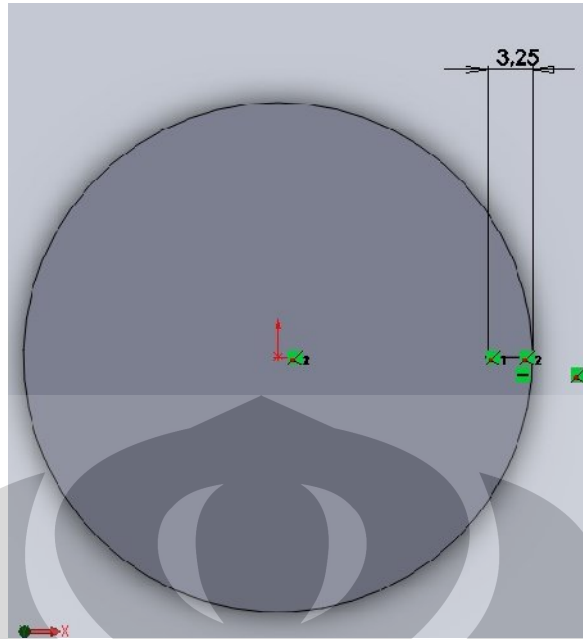


➤ Pembuatan tray dan cap

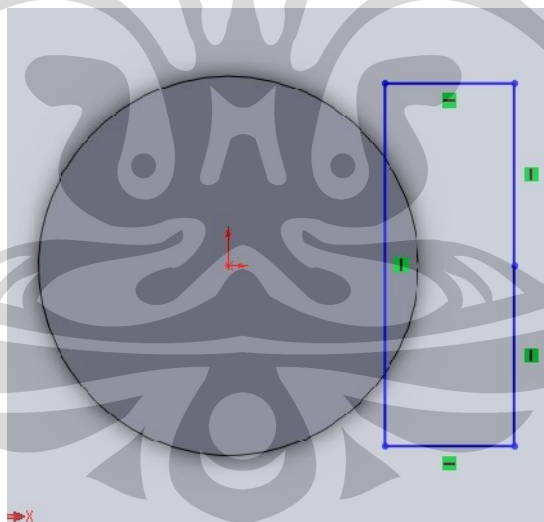
1. Buat lingkaran diameter 36,5 mm. Kemudian extrude dengan ketebalan 3 mm.



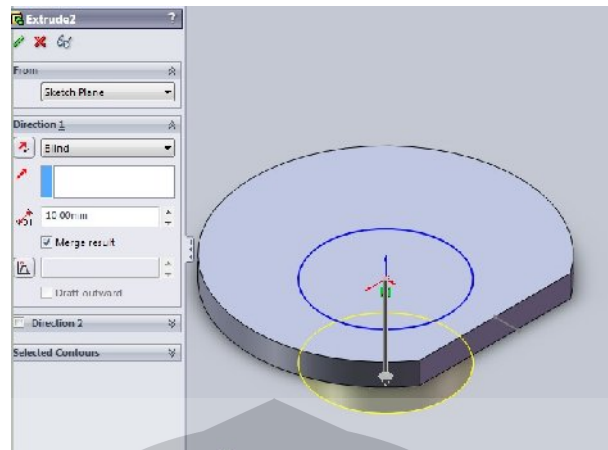
2. Buat garis dengan panjang 3,25 mm diukur dari luar lingkaran seperti pada gambar.



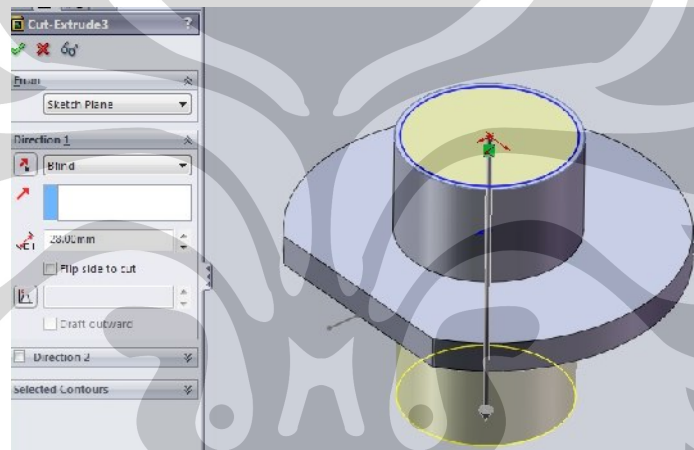
3. Garis yang telah dibuat sebelumnya dijadikan referensi untuk membuat sketsa seperti gambar dibawah ini. Kemudian dari sketsa tersebut pilih fitur extrude cut untuk menghilangkan sisi pinggir lingkaran.



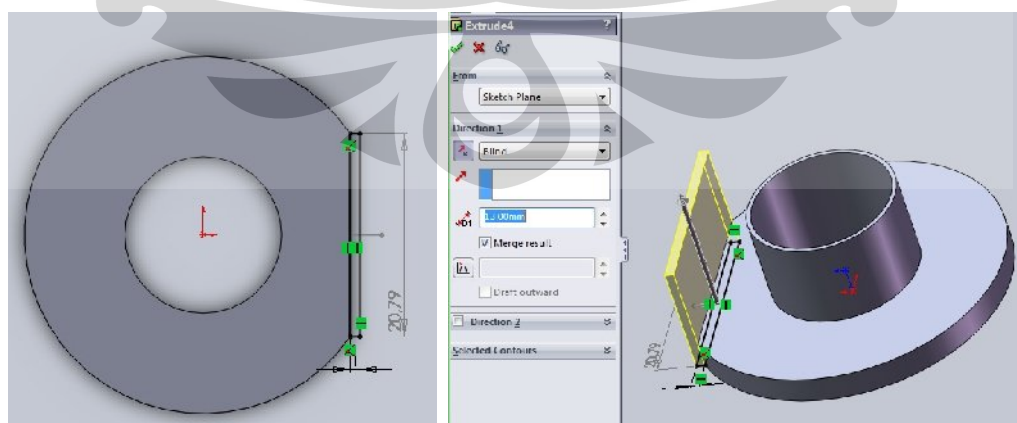
4. Buat lingkaran pada salah satu sisi lempengan dengan diameter 17 mm. kemudian extrude sepanjang 10 mm.



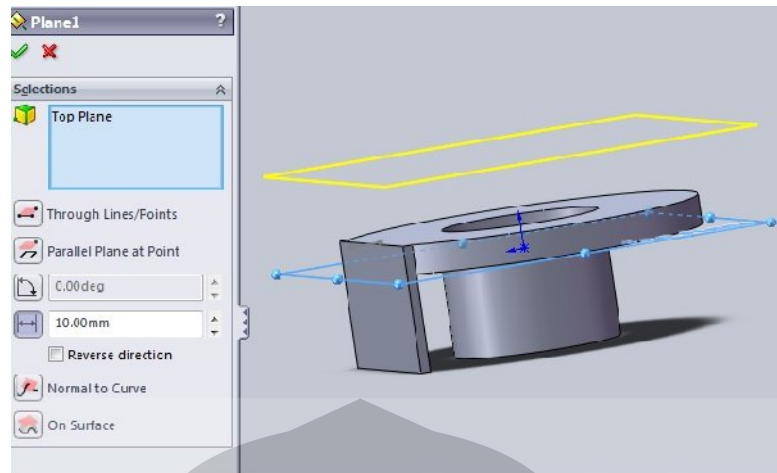
5. Buat lingkaran pada bagian atas hasil extrude langkah no. 4 dengan diameter 16 mm. pilih fitur extrude-cut untuk membuat lubang seperti pada gambar.



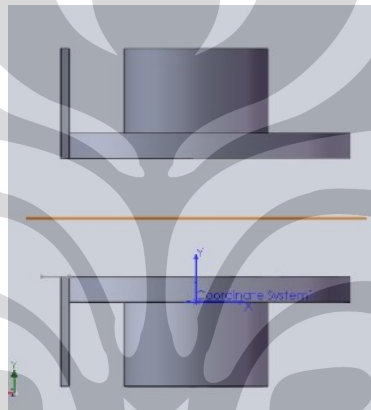
6. Bikin sketsa seperti pada gambar dibawah ini. Kemudian extrude sepanjang 13 mm. terbentuklah cikal bakal weir



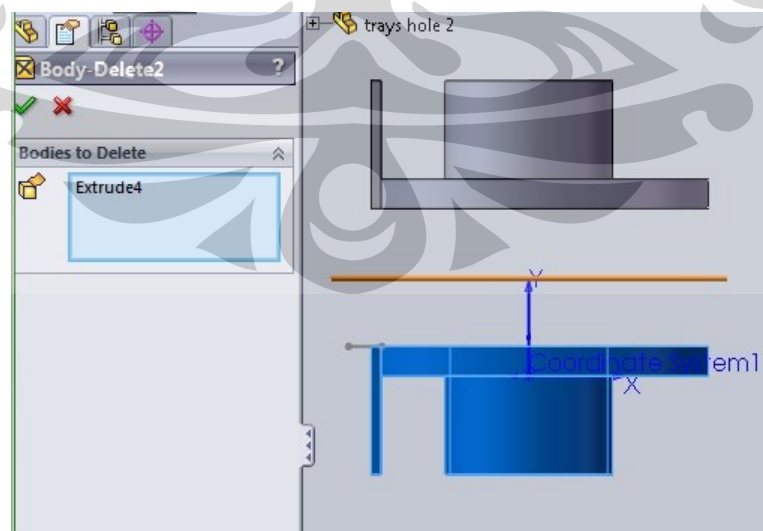
7. Buat plane dan namakan plane1. Plane1 berjarak 10 mm dari *top plane* yang menjadi referensi.



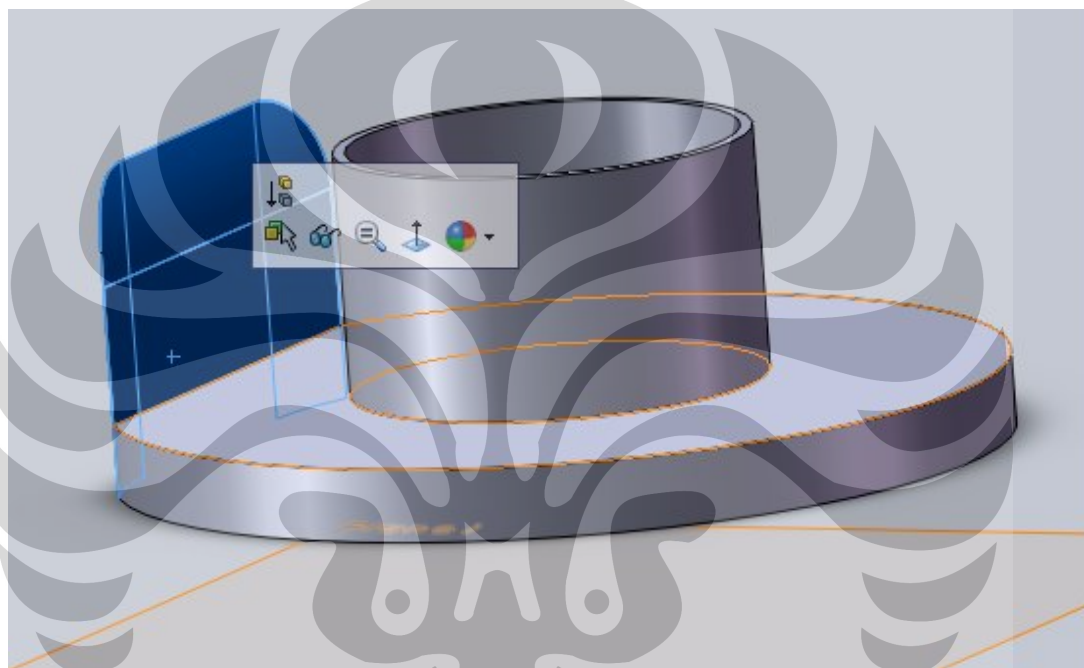
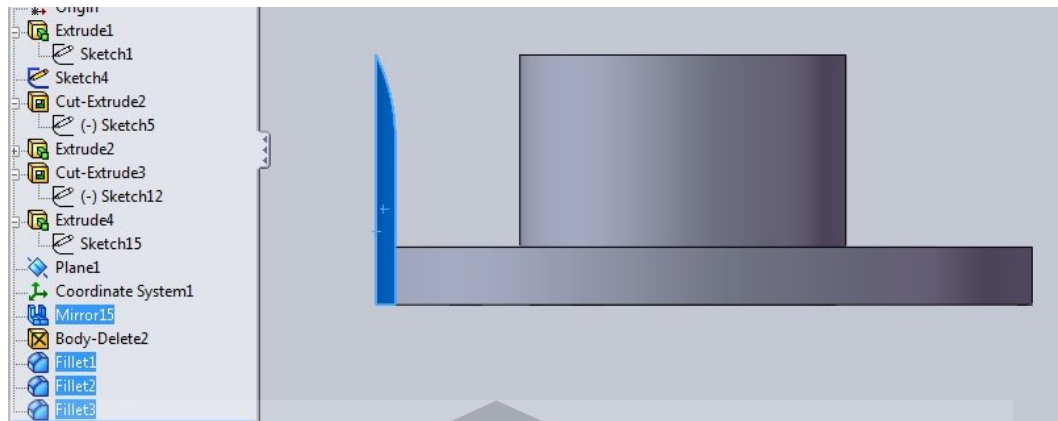
8. Pilih fitur mirror, gunakan plane1 sebagai sumbu referensi.



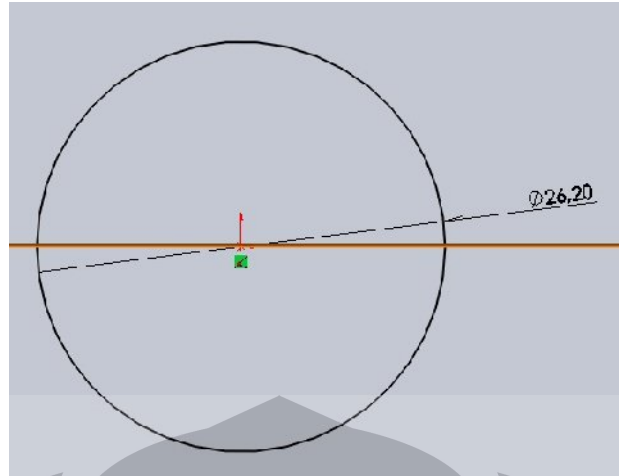
9. Gunakan fitur body-delete untuk menghilangkan body yang arahnya berlawanan dengan sumbu referensi positif.



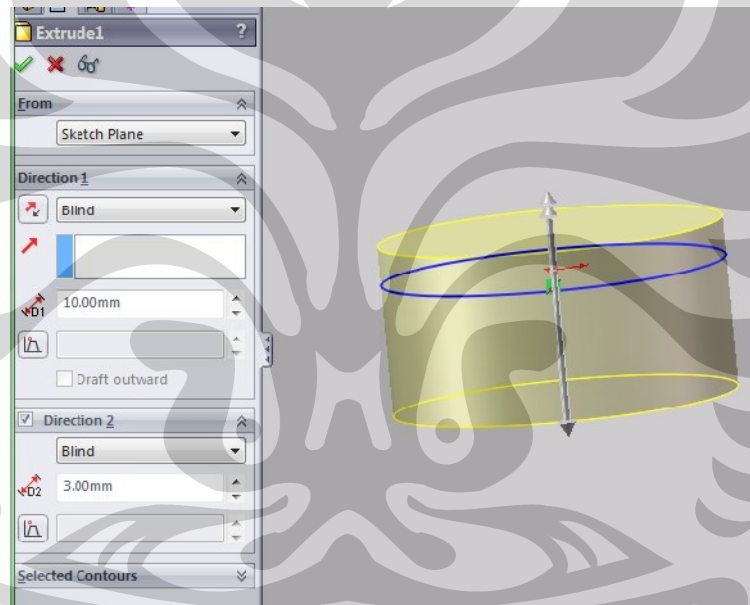
10. Gunakan fitur fillet untuk membentuk weir seperti gambar dibawah ini.



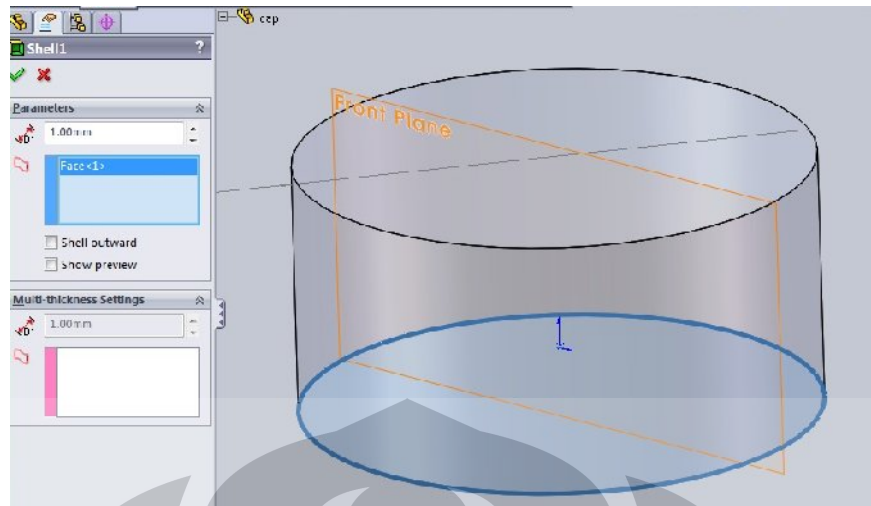
- Permodelan cap
 1. Membuat lingkaran dengan diameter 26,2 mm.



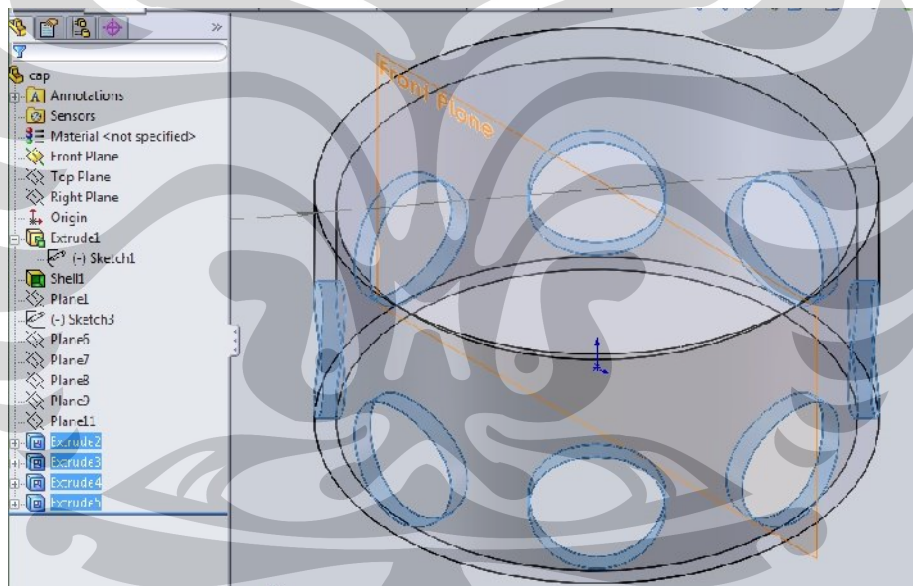
2. Lingkaran yang telah di buat kemudian diextrude dua arah, ke bawah sepanjang 10 mm dan ke atas sepanjang 3 mm.



3. Pilih fitur shell, beri ketebalan dinding sebesar 1 mm.



4. Buat lingkaran pada sisi silinder dengan diameter 6,35 mm. extrude sebanyak empat kali mengelilingi silinder sehingga terbentuk seperti pada gambar dibawah ini.



CONTOH PERHITUNGAN DESAIN KOLOM DISTILASI

Berikut ini contoh perhitungan pada kolom distilasi :

$$1. \quad = \frac{\quad}{\quad} = 3,65 \times 10 \quad \frac{\quad}{\quad} = 0,52 \times 10 \quad /$$

2. Faktor sistem

Faktor sistem untuk hidrokarbon pada sistem umum = 1,00

3. Faktor Flooding, F_F

Inisial Faktor *Flooding* diambil sebesar = 0,08

4. Panjang Lintasan Aliran (*Flow Path Length*), L_F

$L_F = 0,75 \times (F_F/N_P)$ -> N_P adalah jumlah pass dalam kolom, yaitu sebesar 2 pass.

$$L_F = 0,75 \times (0,08/2) = 0,03 \text{ m}$$

5. Faktor Kapasitas Uap (*Vapor Capacity Factor*)

Berdasarkan tabel , dengan jarak tray 0,15 m maka Faktor Kapasitas Uap = 0,08

6. Area Aktif Minimum , A_{AM}

$$= \frac{\quad + 1,36 \cdot \quad}{3600 \times \quad \times \quad}$$

$$= \frac{0,52 \times 10 \quad + 1,36 \cdot 0,673 \cdot 0,03}{3600 \times 0,08 \times 0,8} = 1,214 \times 10$$

7. Kecepatan Desain Downcomer, U_d

Diambil nilai yang terkecil dari 3 persamaan dibawah ini :

$$- \quad U_D = 0,17 \times S$$

$$= 0,17 \times 1 = 0,17 \text{ m/s}$$

$$- \quad U_D = 0,07 \times (\rho_L - \rho_V)^{0,5} \times 1$$

$$= 0,07 \times (190 - 1,6) \times 1 = 1,96 \text{ m/s}$$

$$- \quad U_d = 0,008 \times (T_s)^{0,5} \times (\rho_L - \rho_V)^{0,5} \times 1$$

$$= 0,008 \times (0,15)^{0,5} \times (788,5)^{0,5} \times 1 = 0,086 \text{ m/s}$$

Dari tiga nilai kecepatan dipakai nilai kecepatan desain downcomer sebesar 0,086 m/s

8. Area Downcomer Minimum, A_{DM}

$$A_{DM} = q_L / (3600 \times F_F \times U_D)$$

$$= 1,516 \times 10^{-3} / (3600 \times 0,8 \times 0,086) = 6,12 \times 10^{-6}$$

Nilai A_{DM} diatas kurang dari 11% dari Area Aktif Minimum, maka nilai A_{DM} yang diambil berdasarkan rumus dibawah ini.

$$A_{DM} = 0,11 \times 1,214 \times 10^{-4} = 13,35 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

9. Area Minimum Kolom, A_{CM}

Diambil nilai terbesar dari dua persamaan dibawah ini ;

$$- A_{CM} = A_{AM} + 2 \cdot A_{DM}$$

$$= 1,2214 \times 10^{-4} + 2 (13,35 \times 10^{-6}) = 1,48 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$- A_{CM} = V_{LOAD} / (2810 \times C_F \times F_F)$$

$$= 0,52 \times 10^{-3} / (2810 \times 0,08 \times 0,8) = 2,89 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Nilai A_{CM} yang diambil yaitu $1,48 \times 10^{-4} \text{ m}^2$.

10. Diameter Kolom Minimum, D_{CM}

$$D_{CM} = 1,13 \times (A_{CM})^{0,5}$$

$$= 1,13 \times (1,48 \times 10^{-4})^{0,5} = 0,014 \text{ m} = 1,5 \text{ cm.}$$

Agar memudahkan proses pembuatan dipilih $D_C = 3,81 \text{ cm} = 0,0381 \text{ m}$

11. Area Kolom , A_C

$$A_C = \pi \times (D_C)^2 / 4$$

$$= 0,7854 (0,0381)^2$$

$$= 0,00114 \text{ m}^2$$

12. Area Downcomer, A_D

$$A_D = A_C \times (A_{DM} / A_{CM})$$

$$= 0,00114 \text{ m}^2 \times (13,35 \times 10^{-6} / 1,48 \times 10^{-4})$$

$$= 1,0284 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

13. Lebar Downcomer

Diteteapkan sebesar 0,004 m.

14. Area Aktif, A_A

$$A_A = A_C - (2 \times A_D)$$

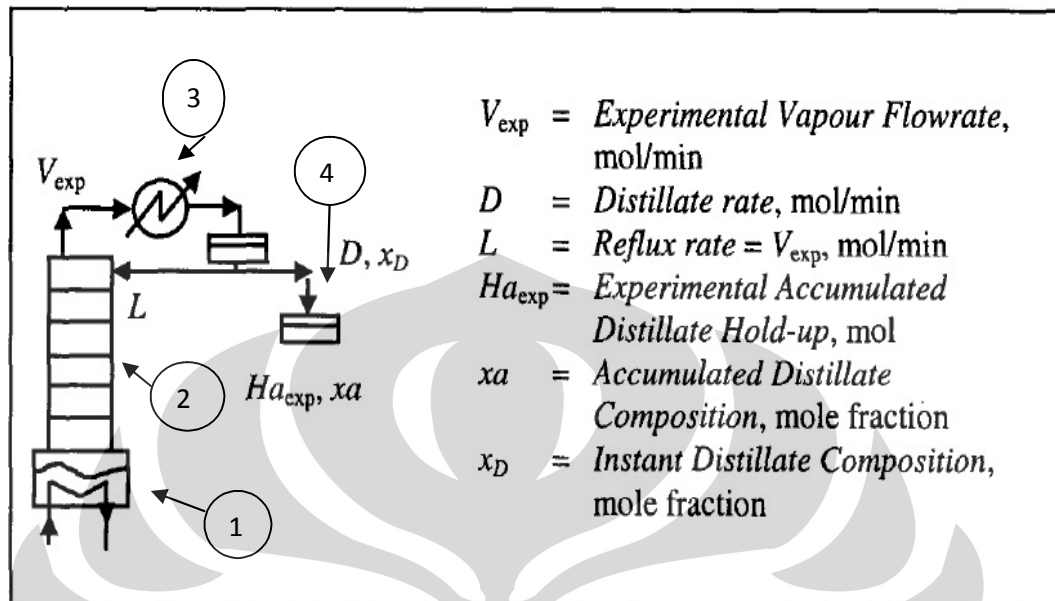
$$= 0,00114 \text{ m}^2 - (2 \times 13,35 \times 10^{-6})$$

$$= 0,0011133 \text{ m}^2$$

15. Tinggi Weir, h_w

Ditentukan sebesar 0,01m

SKEMA SISTEM DISTILASI



- Bagian – bagian Kolom Distilasi :
 1. Boiler/Reboiler
 2. Kolom Distilasi
 3. Kondenser
 4. Receiver
- Cara Kerja kolom distilasi :
 1. Campuran etanol-air dimasukkan ke dalam boiler kemudian dipanaskan.
 2. Ketika dipanaskan etanol akan mencapai titik didihnya lebih cepat dari air sehingga etanol menguap terlebih dahulu.
 3. Uap yang dihasilkan dari boiler akan masuk ke kolom distilasi. Pada kolom distilasi proses pemisahan utama campuran etanol-air terjadi.
 4. Setelah uap etanol-air meninggalkan kolom selanjutnya akan dikondensasi di kondenser.
 5. Cairan hasil kondensasi atau distilat akan ditampung sementara pada *distillate receiver*.

6. Sebagian distilat akan dialirkan kembali ke dalam kolom distilasi sebagai reflux, dan sebagian yang lain akan diambil sebagai hasil produk distilasi.

