

# **PRA RENCANA PABRIK**

**ASAM OKSALAT DARI AMPAS TAPIOKA  
DENGAN PROSES OKSIDASI KAPASITAS PRODUKSI 1200  
TON/TAHUN**

**SKRIPSI**

Disusun Oleh:  
**RAHAYU MAYATI**  
**0414070**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2012**

5242

RECEIVED DIRECTOR GENERAL INVESTIGATIVE  
DIVISION  
- SECURITY MATTER -

APR 19 1954

COMMUNICATIONS SECTION

WASHINGTON, D.C.

SECRET

APR 19 1954

RECEIVED DIRECTOR GENERAL INVESTIGATIVE  
DIVISION  
- SECURITY MATTER -

APR 19 1954

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PRA RENCANA PABRIK**

**ASAM OKSALAT DARI AMPAS TAPIOKA  
DENGAN PROSES OKSIDASI  
KAPASITAS PRODUKSI 1200TON/TAHUN**

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Syarat Menempuh Wisuda  
Sarjana Pada Jenjang Strata Satu (S-1)  
Di Institut Teknologi Nasional Malang**

**Disusun Oleh :**

**AHYAR SORAYA            0514025  
RAHAYU MAYATI        0541070**

**Malang, 17 September 2012**

**Menyetujui,  
Ketua Jurusan**



**Jimmy, ST, MT  
NIP Y 1039900330**

**Menyetujui,  
Dosen Pembimbing**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'R. Dewi', is written over the text.

**Rini Kartika Dewi, ST, MT  
NIP Y 103.0100.370**

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

SECRET

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : RAHAYU MAYATI  
NIM : 04.14.070  
Jurusan/Program Studi : TEKNIK KIMIA  
Judul Skripsi : PRA RENCANA PABRIK ASAM OKSALAT DARI  
AMPAS TAPIOKA DENGAN PROSES OKSIDASI  
Dipertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :  
Hari : SABTU  
Tanggal : 11 AGUSTUS 2012  
Nilai : B

Ketua,



**Jimmy, ST, MT**  
**NIP Y 1039900330**

Sekretaris,



**M. Istnaeny Hudha, ST, MT**  
**NIP Y 1030400400**

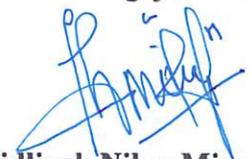
Anggota Penguji,

Penguji Pertama,



**M. Istnaeny Hudha, ST, MT**  
**NIP Y 1030400400**

Penguji Kedua,



**Faidliyah Nilna Minah, ST, MT**  
**NIP.P. 103.0400.392**

ИИП А 1030400700  
И. П. КОЗЛОВ И. П. КОЗЛОВ

ИИП Б 1030400700  
И. П. КОЗЛОВ И. П. КОЗЛОВ

Копия Копия

Упаков Копия

Копия Копия

ИИП А 1030000730  
И. П. КОЗЛОВ И. П. КОЗЛОВ

ИИП А 1030400700  
И. П. КОЗЛОВ И. П. КОЗЛОВ

Копия

Копия

ИИП

: В

Таблица

: 11.00.01.01.01

Нали

: 24.00.01

Добавлено приложением ИИП Копия ИИП Копия Копия Копия (2-1) Копия :

УИИП/С. П. КОЗЛОВ ДИСКУС И КОСЕС ОКСИД/СИ

Таблица

: ИИП/С. П. КОЗЛОВ ДИСКУС И КОСЕС ОКСИД/СИ

Упаков/Приложение Копия

: ДИСКУС И КОСЕС

ИИП

: 01.00.01

ИИП

: ИИП/С. П. КОЗЛОВ

БУКВЕНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИИП/С. П. КОЗЛОВ

ИИП/С. П. КОЗЛОВ ИИП/С. П. КОЗЛОВ

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : RAHAYU MAYATI  
NIM : 0414070  
Jurusan/Program Studi : Teknik Kimia / Teknik Kimia (S-1)

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi yang berjudul :

### **PRA RENCANA PABRIK**

### **ASAM OKSALAT DARI AMPAS TAPIOKA DENGAN PROSES OKSIDASI KAPASITAS PRODUKSI 1200 TON/TAHUN**

### **PERANCANGAN ALAT UTAMA EVAPORATOR**

Ini adalah Skripsi hasil karya saya sendiri, bukan merupakan duplikasi serta tidak mengutip atau menyadur sebagian atau seluruhnya dari karya orang lain yang tidak disebutkan dari sumber aslinya.

Malang, September 2012  
Yang membuat pernyataan,

RAHAYU MAYATI

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur ke hadirat Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya, maka penyusun dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat dari Ampas Tapioka dengan proses oksidasi kapasitas 1200 ton/tahun”**.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi tugas akhir mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang, sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana (Strata-1) Teknik Kimia.

Pada kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, terutama pada :

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Sidik Noertjahjono, MT, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri.
3. Bapak Jimmy ST.MT selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia.
4. Ibu Rini Kartika Dewi ST.MT selaku dosen pembimbing kami
5. Rekan-rekan yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penyusun menyadari Laporan Tugas Akhir ini masih kurang sempurna, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun dan semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Agustus 2012

Penyusun



## DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN .....	i
BERITA ACARA .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN ISI TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAKSI .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	I – 1
BAB II SELEKSI DAN URAIAN PROSES.....	II – 1
BAB III NERACA MASSA .....	III – 1
BAB IV NERACA PANAS .....	IV – 1
BAB V SPESIFIKASI ALAT.....	V – 1
BAB VI PERANCANGAN ALAT UTAMA .....	VI – 1
BAB VII INSTRUMENTASI DAN KESELAMATAN KERJA .....	VII – 1
BAB VIII UTILITAS .....	VIII – 1
BAB IX LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK .....	IX – 1
BAB X STRUKTUR DAN ORGANISASI PERUSAHAAN.....	X – 1
BAB XI ANALISA EKONOMI .....	XI – 1
BAB XII KESIMPULAN .....	XII – 1

## DAFTAR PUSTAKA

APPENDIKS A .....	APP.A – 1
APPENDIKS B .....	APP.B – 1
APPENDIKS C .....	APP.C – 1
APPENDIKS D .....	APP.D – 1
APPENDIKS E .....	APP.E – 1

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.1.	Pembuatan Asam Oksalat dengan cara Sintesis Na-Formiat.	II – 2
Gambar 2.1.2.	Pembuatan Asam Oksalat dengan cara Fermentasi .....	II – 3
Gambar 2.1.3.	Pembuatan Asam Oksalat dengan cara Peleburan Alkali .....	II – 4
Gambar 2.1.4.	Pembuatan Asam Oksalat dengan cara Fermentasi .....	II – 5
Gambar 9.1.1.	Peta Lokasi Pabrik Asam Oksalat.....	IX – 6
Gambar 9.2.1.	Denah Pabrik Asam Oksalat .....	IX – 9
Gambar 9.3.1.	<i>Lay Out Pilot Plant</i> Peralatan Proses.....	IX – 12
Gambar 10.3.1.	Struktur Organisasi Pabrik Asam Oksalat .....	X – 12
Gambar 11.6.1.	<i>Break Event Point</i> Pabrik Asam Oksalat .....	XI – 12
Gambar E.1. 6	Grafik Hubungan Indeks Harga Alat .....	APP E – 3

## ABSTRAKSI

Asam oksalat merupakan bahan kimia yang banyak digunakan untuk membersihkan karat dan kerak yang terakumulasi dalam sistem pendingin, sebagai *bleaching* pada industri tekstil, bahan baku untuk menetralkan kelebihan alkali pada proses pencucian dan menghilangkan karbonasi pada plat logam. Dalam pemasarannya asam oksalat merupakan padatan kristal berwarna putih. Adapun pembuatan asam oksalat pada pabrik ini menggunakan bahan baku ampas tapioka dan  $\text{HNO}_3$  dengan proses oksidasi.

Pabrik Ampas Tapioka dari Ampas Tapioka ini direncanakan didirikan di daerah Lampung dengan kapasitas 2800 ton/tahun dan waktu operasi pabrik selama 331 hari per tahun, 24 jam per hari. Bentuk perusahaan ini adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi garis dan staff.

Dari hasil perhitungan analisa ekonomi, didapatkan :

- *Total Capital Investment* (TCI) = Rp 119.819.063.091,56
- ROI setelah pajak = 34,01 %
- *Pay Out Time* (POT) = 2 tahun 46 hari
- *Break Even Point* (BEP) = 40,34 %

Karena nilai ROI setelah pajak lebih besar daripada bunga bank, maka Pabrik Asam Oksalat dari Ampas Tapioka layak untuk didirikan.

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Dewasa ini, industrialisasi dipilih sebagai jalur utama bagi pertumbuhan ekonomi sehingga banyak dibutuhkannya bahan-bahan kimia yang beraneka ragam. Dalam memenuhi kebutuhan tersebut, Indonesia lebih banyak mengimpor dari negara luar yang menyebabkan semakin berkurangnya devisa negara. Dalam usaha untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu adanya suatu pemanfaatan secara maksimal terhadap sumber daya yang ada sehingga diharapkan dapat meningkatkan devisa negara dan dapat menyerap tenaga kerja.

Salah satu bentuk pemanfaatan sumber daya alam yaitu pemanfaatan ampas tapioka dalam industri kimia sebagai bahan baku pembuatan asam oksalat.

Asam oksalat pada umumnya berupa kristal berwarna putih, digunakan untuk membersihkan karat dan kerak yang terakumulasi dalam sistem pendingin terutama pada ruang bakar serta untuk menghilangkan karbonasi pada plat logam dan logam-logam. Selain itu, asam oksalat juga digunakan untuk menetralkan kelebihan alkali pada pencucian dan sebagai *bleaching* pada industri tekstil.

#### 1.2. Perkembangan Industri Asam Oksalat

Didalam perkembangannya industri asam oksalat mulai berkembang dengan proses Hidrolisi pati dengan menggunakan asam yang ditemukan pertama kali oleh Kirehoff pada tahun 1812, tetapi produk secara komersil baru terlaksana pada tahun 1850. Reaksi hidrolisis asam masih banyak kelemahannya, maka para ahli mengembangkan reaksi hidrolisis dengan memakai enzim. Penggunaan hidrolisis enzim telah lama dipergunakan sebelum ditemukannya hidrolisis asam yaitu pada pembuat bir, minuman beralkohol lainnya, tape, dan pembuatan roti. Secara ilmiah hidrolisis asam baru dapat dimengerti sejak Payen dan Perzoz berhasil mengisolasi enzim amylase dari malt pada tahun 1833.

Pada tahun 1936 E.L Jackson dan C.S. Hudson telah menemukan oksidasi glukosa dengan larutan asam. Pada mulanya asam oksalat diproduksi dari sodium format, selanjutnya dikembangkan pembuatan asam oksalat dengan oksidasi asam

nitrat pada karbohidrat. Sebagian kecil merupakan hasil samping dari produk asam sitrat. Pada proses yang terakhir sejumlah asam oksalat dibentuk dengan pengontrol dari beberapa kondisi proses disesuaikan produksinya, kemungkinan bertambah atau diturunkan tergantung kondisi pasar saat itu.

Dewasa ini kebutuhan asam oksalat terus mengalami peningkatan sejalan dengan perkembangan industri yang semakin meningkat dari kualitas maupun kuantitas produksinya. Asam oksalat adalah salah satu industri kimia yang sangat dibutuhkan diberbagai industri dan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut diatas, indonesia masih mengimpor dari luar negeri sehingga pendirian pabrik asam oksalat dapat dipenuhi. Untuk mengurangi ketergantungan tersebut, maka perlu didirikan pabrik asam oksalat dengan kapasitas yang memadai. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan data import asam oksalat dari tahun 2007-2011 berdasarkan Biro Pusat Statistik Surabaya.

Kebutuhan asam oksalat di Indonesia setiap tahun selalu meningkat mengingat asam oksalat banyak dibutuhkan karena kegunaannya. Saat ini, Indonesia masih mengimpor asam oksalat dari negara luar untuk memenuhi kebutuhan asam oksalat dalam negeri. Untuk mengurangi ketergantungan tersebut, maka perlu didirikan pabrik asam oksalat dengan kapasitas yang memadai

### **1.3. Sejarah**

Pada awalnya, asam oksalat diproduksi dari sodium format kemudian dikembangkan sintesis asam oksalat dengan cara oksidasi gula (karbohidrat) menggunakan asam nitrat pada tahun 1776 oleh "Scheele". Saat ini terdapat 4 macam teknologi yang telah dikembangkan untuk sintesis asam oksalat secara komersial, yaitu peleburan selulosa oleh alkali, oksidasi karbohidrat dengan asam nitrat, fermentasi gula dan sintesis dari sodium format. Cara yang paling banyak digunakan adalah oksidasi dengan menggunakan asam nitrat karena lebih menguntungkan

### **1.4. Kegunaan**

Asam oksalat merupakan bahan kimia yang sangat dibutuhkan keberadaannya, antara lain yaitu:

- a. Sebagai pembersih logam-logam secara umum.

- b. Sebagai pembersih radiator mobil (*bleaching agent*), industri lilin dan tekstil.
- c. Pada industri kulit dibutuhkan dalam proses penyamakan.
- d. Oleh penatu digunakan sebagai asam pencuci untuk menghilangkan kotoran yang disebabkan oleh ion ferri dan merupakan penghapus noda  $\text{KMnO}_4$ .
- e. Pembuatan blue print paper dalam bentuk besi oksalat.
- f. Dalam industri kimia digunakan untuk membuat tinta, bahan kimia dalam fotografi, pemurnian gliserol, sebagai bahan warna, untuk membuat selluloid.
- g. Banyak digunakan dalam laboratorium kimia sebagai *reagent*.

#### 1.4. Sifat Bahan Baku dan Produk

##### 1.4.1. Sifat Bahan Utama

###### A. Ampas Tapioka

Sifat – sifat :

Sifat - sifat fisika :

- Berbentuk bongkah-bongkah
- Berwarna putih
- Kelarutan dalam air membentuk larutan pekat

Sifat - sifat kimia :

- Karbohidrat = 68 %
- Protein = 1,75 %
- Lemak = 0,25 %
- Serat Kasar = 10 %
- Air = 20 %

###### B. Asam Nitrat / $\text{HNO}_3$

Sifat – sifat :

Sifat - sifat fisika :

- Berat jenis =  $1,51 \text{ g/cm}^3$
- Titik didih =  $86 \text{ }^\circ\text{C}$
- Kemurnian = 95 %
- Cairannya berasap

Sifat - sifat kimia :

- Rumus molekul =  $\text{HNO}_3$

- Berat Molekul = 63 g/mol
- Bersifat racun dan merupakan asam pengoksidasi kuat
- Dalam suhu kamar akan terurai oleh cahaya/sinar
- Bila dicampur dengan HCl dengan perbandingan 1 : 3 akan menghasilkan aqua regia

#### 1.4.2. Sifat Bahan Pembantu

##### A. Asam Sulfat / $H_2SO_4$

Sifat – sifat :

Sifat fisika :

- Berupa cairan kental tidak berwarna/jernih
- Berat molekul = 98,1 g/mol
- Titik didih = 339 °C
- Berat jenis = 1,84 g/cm<sup>3</sup>
- Kemurnian = 93 – 97 %

Sifat - sifat kimia :

- Dapat melarutkan logam
- Merupakan pengoksidasi kuat
- Bersifat higroskopis
- Merupakan *sulfating agent* terhadap campuran organik
- Dengan air akan membentuk hidrat  $H_2SO_4 \cdot 2H_2O$  sambil mengeluarkan panas



##### B. Vanadium Pentaoksida / $V_2O_5$

Sifat – sifat

Sifat – sifat fisika :

- Merupakan serbuk yang berwarna kuning kemerahan
- Berat jenis = 3,357 g/cm<sup>3</sup>
- Titik didih = 1750 °C

Sifat – sifat kimia :

- Rumus molekul =  $V_2O_5$
- Bobot molekul = 181,88 g/mol
- Titik nyala = 690 °C



- Sukar larut dalam air, asam dan basa

### C. Air

Sifat – sifat

Sifat – sifat fisika :

- Berat molekul = 18 g/mol
- Berat jenis = 1 g/cm<sup>3</sup>
- Titik beku = 0 °C
- Titik didih = 100 °C

Sifat – sifat kimia :

- Rumus molekul = H<sub>2</sub>O
- Sebagai bahan pelarut sempurna

### 1.4.3. Sifat Produk

#### A. Asamoksalat anhidrid {(COOH)<sub>2</sub>}:

Sifat – sifat

Sifat – sifat fisika :

- Berat jenis = 1,653 g/cm<sup>3</sup>
- Berat molekul = 90,04 g/mol
- Titik leleh = 187,0 °C
- Panas pembakaran = 60 kkal/mol
- Panas penguraian (18 °C) = 195,36
- Panas pelarutan dalam air = - 9,58 kJ/mol
- Panas sublimasi = 90,58 kJ/mol
- Panas dekomposisi = 826.78 kJ/mol
- Larut dalam air, alkohol dan etil eter 23,6 g/100 g solvent
- Tekanan uap padat (57-107 °C) =  $\log P = - 4726,95/T + 11,3478$
- Panas jenis (-200 s/d 50 °C) =  $C_p = 0,295 + 0,00076 t$  (kal/g)

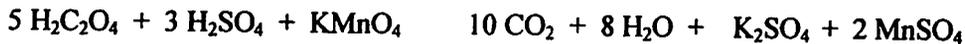
Asamoksalat dihidrida {(COOH)<sub>2</sub>.2 H<sub>2</sub>O}:

- Berat jenis = 1,653
- Berat molekul = 126,04 g/mol
- Titik leleh = 101,5 °C

- Indeks bias = 1,475
- Panas pelarutan dalam air = - 35,5 kJ/mol
- Panas pembentukan = - 1422 kJ/mol (pada 18 °C)
- Larut dalam air, alkohol dan etil eter 23,6 g/100 g solvent

#### B. Sifat – sifat kimia

- Asamoksalat bila dipanaskan dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat akan terurai menjadi CO<sub>2</sub>, CO dan H<sub>2</sub>
- Asamoksalat bila direaksikan dengan KMnO<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> encer pada suhu 60 °C akan teroksidasi menjadi :



- Dekomposisi asamoksalat dalam larutan air bisa berlangsung dengan bantuan sinar ultraviolet, sinar gamma atau sinar X.
- Bentuk esternya mudah mengalami reaksi kondensasi
- Dekomposisi asamoksalat juga dapat terjadi pada proses fusi dengan larutan alkali menghasilkan karbonat dan hidrogen
- Asamoksalat juga mengalami reaksi penggaraman dengan basa dan esterifikasi dengan alkohol seperti asam organik yang lain.

#### 1.5. Perkiraan Kapasitas Produksi

Data-data impor dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui pertumbuhan kebutuhan Asam Oksalat setiap tahun. Pertumbuhan kebutuhan Asam Oksalat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

$$X = X_0 (1+i)^n$$

dimana: X = peluang kapasitas pada tahun yang diinginkan

X<sub>0</sub> = data terakhir

i = tingkat kebutuhan

n = selisih tahun 2011 dan 2016 (5 tahun)

**Tabel 1.5.1. Data Produksi Asam oksalat di Indonesia**

<b>Tahun</b>	<b>Impor (Ton)</b>	<b>% Kenaikan</b>
2007	1436.055	-
2008	1108.102	- 0.1358
2009	1033.88	- 6.698
2010	1498.327	44.922
2011	1202.762	- 19.726
Rata – Rata		11.56

Sumber: Biro Pusat Statistik data *import*

$$\begin{aligned} \text{Impor tahun 2018} &= 1202.762 (1+ 0.1156)^5 \\ &= 1202.786 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Maka pada tahun 2018 diperkirakan impor Asam Oksalat ke Indonesia sebesar 1202.786 ton/tahun. Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa butil metakrilat dibutuhkan untuk keperluan industri di Indonesia. Dengan besarnya kebutuhan butil metakrilat, maka ditetapkan kapasitas produksi butil metakrilat sebesar 1202 ton/tahun.

- Berat Molekul = 63 g/mol
- Bersifat racun dan merupakan asam pengoksidasi kuat
- Dalam suhu kamar akan terurai oleh cahaya/sinar
- Bila dicampur dengan HCl dengan perbandingan 1 : 3 akan menghasilkan aqua regia

#### 1.4.2. Sifat Bahan Pembantu

##### A. Asam Sulfat / H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Sifat – sifat :

Sifat fisika :

- Berupa cairan kental tidak berwarna/jernih
- Berat molekul = 98,1 g/mol
- Titik didih = 339 °C
- Berat jenis = 1,84 g/cm<sup>3</sup>
- Kemurnian = 93 – 97 %

Sifat - sifat kimia :

- Dapat melarutkan logam
- Merupakan pengoksidasi kuat
- Bersifat higroskopis

- Sukar larut dalam air, asam dan basa

### C. Air

Sifat – sifat

Sifat – sifat fisika :

- Berat molekul = 18 g/mol
- Berat jenis = 1 g/cm<sup>3</sup>
- Titik beku = 0 °C
- Titik didih = 100 °C

Sifat – sifat kimia :

- Rumus molekul = H<sub>2</sub>O
- Sebagai bahan pelarut sempurna

### 1.4.3. Sifat Produk

#### A. Asamoksalat anhidrid {(COOH)<sub>2</sub>}:

Sifat – sifat

Sifat – sifat fisika :

- Berat jenis = 1,653 g/cm<sup>3</sup>
- Berat molekul = 90,04 g/mol
- Titik leleh = 187,0 °C
- Panas pembakaran = 60 kkal/mol
- Panas penguraian (18 °C) = 195,36
- Panas pelarutan dalam air = - 9,58 kJ/mol
- Panas sublimasi = 90,58 kJ/mol
- Panas dekomposisi = 826.78 kJ/mol
- Larut dalam air, alkohol dan etil eter 23,6 g/100 g solvent
- Tekanan uap padat (57-107 °C) =  $\log P = - 4726,95/T + 11,3478$
- Panas jenis (-200 s/d 50 °C) =  $C_p = 0,295 + 0,00076 t$  (kal/g)

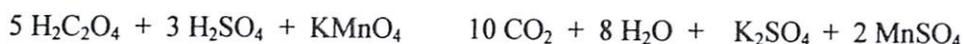
Asamoksalat dihidrida {(COOH)<sub>2</sub>.2 H<sub>2</sub>O}:

- Berat jenis = 1,653
- Berat molekul = 126,04 g/mol
- Titik leleh = 101,5 °C

- Indeks bias = 1,475
- Panas pelarutan dalam air = - 35,5 kJ/mol
- Panas pembentukan = - 1422 kJ/mol (pada 18 °C)
- Larut dalam air, alkohol dan etil eter 23,6 g/100 g solvent

#### B. Sifat – sifat kimia

- Asamoksalat bila dipanaskan dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat akan terurai menjadi CO<sub>2</sub>, CO dan H<sub>2</sub>
- Asamoksalat bila direaksikan dengan KMnO<sub>4</sub> dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> encer pada suhu 60 °C akan teroksidasi menjadi :



- Dekomposisi asamoksalat dalam larutan air bisa berlangsung dengan bantuan sinar ultraviolet, sinar gamma atau sinar X.
- Bentuk esternya mudah mengalami reaksi kondensasi
- Dekomposisi asamoksalat juga dapat terjadi pada proses fusi dengan larutan alkali menghasilkan karbonat dan hidrogen
- Asamoksalat juga mengalami reaksi penggaraman dengan basa dan esterifikasi dengan alkohol seperti asam organik yang lain.

#### 1.5. Perkiraan Kapasitas Produksi

Data-data impor dapat digunakan sebagai acuan untuk mengetahui pertumbuhan kebutuhan Asam Oksalat setiap tahun. Pertumbuhan kebutuhan Asam Oksalat diperoleh dengan perhitungan sebagai berikut:

$$X = X_0 (1+i)^n$$

dimana: X = peluang kapasitas pada tahun yang diinginkan

X<sub>0</sub> = data terakhir

i = tingkat kebutuhan

n = selisih tahun 2011 dan 2016 (5 tahun)



**Tabel 1.5.1. Data Produksi Asam oksalat di Indonesia**

Tahun	Impor (Ton)	% Kenaikan
2007	1436.055	-
2008	1108.102	- 0.1358
2009	1033.88	- 6.698
2010	1498.327	44.922
2011	1202.762	- 19.726
Rata – Rata		11.56

Sumber: Biro Pusat Statistik data *import*

$$\text{Impor tahun 2018} = 1202.762 (1 + 0.1156)^5$$

$$= 1202.786 \text{ ton/tahun}$$

Maka pada tahun 2018 diperkirakan impor Asam Oksalat ke Indonesia sebesar 1202.786 ton/tahun. Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa butil metakrilat dibutuhkan untuk keperluan industri di Indonesia. Dengan besarnya kebutuhan butil metakrilat, maka ditetapkan kapasitas produksi butil metakrilat sebesar 1202 ton/tahun.

## **BAB II**

### **SELEKSI DAN URAIAN PROSES**

#### **2.1. Jenis-Jenis Proses**

Asam oksalat dapat diproduksi dengan beberapa macam proses, sehingga diperlukan seleksi proses untuk mendapatkan hasil yang optimal. Beberapa macam proses pembuatan asam oksalat baik ditinjau dari proses pembuatan maupun dari bahan baku yang digunakan , yaitu antara lain proses :

- A. Peleburan alkali selulosa (*Donald f. Othmer, Carl, H, gamer and Joseph J. Jacobs Jr, 1942.*)
- B. Oksidasi asam Nitrat (*Othmer, D.F, Kirk, R.E, 1954.*)
  - 1. Oksidasi karbohidrat dengan asam nitrat
  - 2. Oksidasi Ethylene Glikol dengan asam nitrat
    - a. Proses sekutu
    - b. Proses uni soviet
    - c. Proses jepang
  - 3. Oksidasi propylene dengan asam nitrat
    - a. proses Rhone-Poulenc
- C. Proses Sintesa dari Sodium Formiat (*Faith, W.L, Keyes, D.E, and Carlk, R.L, 1957.*)
- D. Hasil samping fermentasi asam sitrat (*Faith, W.L, Keyes. D.E and Carlk R.L., 1957 hal. 275-279.*)



## A. Peleburan Alkali Sellulosa

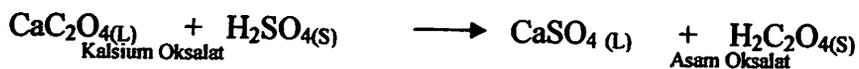
Metode ini ditemukan oleh Gay Lussac, yang digunakan secara komersial pada pertengahan abad 19<sup>th</sup>. Proses ini menggunakan bahan baku berupa bahan yang mengandung selulosa tinggi, misal serbuk gergaji, kulit padi, tongkol jagung dan lain-lain. Bahan ini dilebur dengan cairan sodium atau potassium hidroksida pekat atau campuran keduanya, pada suhu 200 °C.

Dari proses peleburan ini terbentuk 50 % garam yang kemudian membentuk asam oksalat dan sisanya sebagai garam karbonat. Pemurnian hasil ini dicuci dengan air panas, kemudian larutan didinginkan dan dipekatkan yang akhirnya akan membentuk natrium oksalat. Dengan mereaksikan  $\text{Ca(OH)}_2$  dengan natrium oksalat akan diperoleh kalsium oksalat dan natrium hidroksida dengan reaksi sebagai berikut :



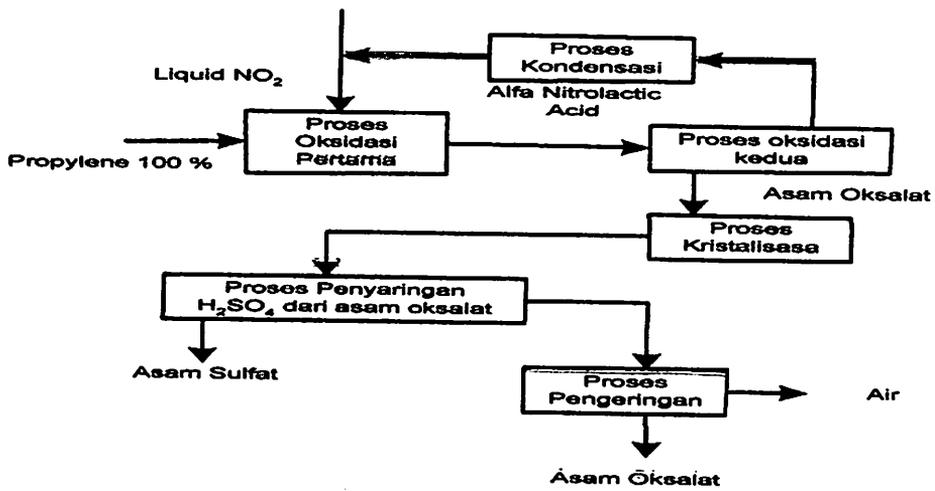
Calcium oksalat yang terbentuk direaksikan dengan asam sulfat, yang sebelumnya NaOH yang ada dipisahkan terlebih dahulu dengan filtratnya (proses pemisahan) dimana NaOH yang telah dipisahkan dapat digunakan kembali untuk proses peleburan

Reaksi yang terjadi pada penambahan asam sulfat :



Kondisi optimum untuk peleburan alkali adalah sebagai berikut :

- Perbandingan antara NaOH dengan bahan = 3: 1
- Konsentrasi NaOH 50 %
- Suhu akhir peleburan 200 °C



Gambar 2.1 Proses Peleburan Selulosa dengan Alkali

## B. Oksidasi Asam Nitrat

### 1. Oksidasi karbohidrat dengan asam nitrat

Cara ini ditemukan oleh “Scheele” pada tahun 1776. Asam oksalat diproduksi dengan mengoksidasi karbohidrat seperti glukosa, sukrosa, starch, dextrin dan selulosa dengan menggunakan asam nitrat. Biasanya untuk proses ini bahan yang digunakan adalah bahan yang banyak mengandung karbohidrat, misalnya tepung. Dimana tepung yang digunakan biasanya adalah tepung jagung, tepung gandum, tepung ubi jalar atau tepung yang lainnya dan bisa juga menggunakan gula atau mollasses. Pemilihan bahan baku karbohidrat untuk pembuatan asam oksalat tergantung pada kegunaan, aspek ekonomi dan karakteristik proses operasi. Pada proses pembuatan asam oksalat dengan menggunakan starch atau glukosa, hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain adalah rate penambahan asam nitrat, pengadukan dalam reaktor dan pengambilan kembali oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) yang dihasilkan pada proses tersebut. Hal-hal



### C Sintesis dari Natrium Formiat

Natrium formiat merupakan salah satu bahan untuk membentuk asam oksalat dengan proses sintesis. Dalam proses ini bahan yang dipakai adalah CO, Ca(OH)<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaOH.

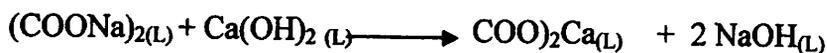
Natrium formiat dapat diperoleh dari reaksi antara NaOH dan CO dengan reaksi sebagai berikut :



Yang kemudian mengurai menjadi (COONa)<sub>2</sub> dan gas hidrogen dengan reaksi :



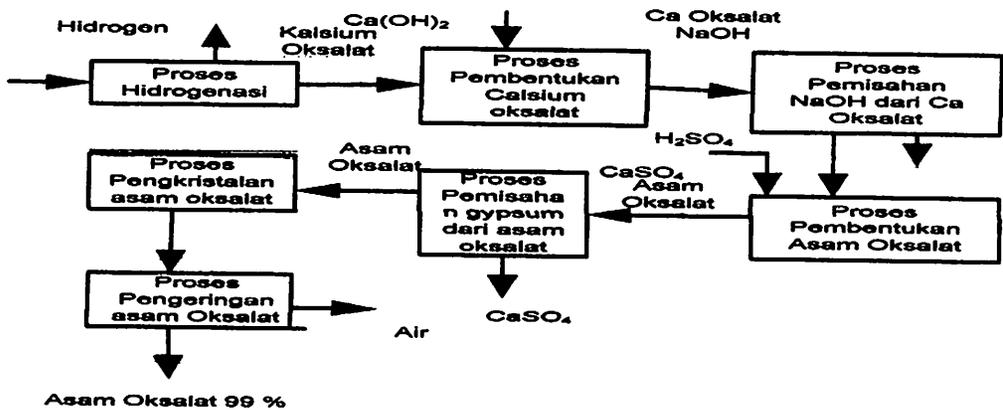
Natrium formiat direaksikan dengan kapur membentuk kalsium oksalat dan NaOH. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Produk ini kemudian dipisahkan dan kalsium oksalat yang diperoleh kemudian direaksikan dengan asam sulfat.

$(\text{COO})_2\text{Ca}_{(L)} + \text{H}_2\text{SO}_4_{(S)} \longrightarrow (\text{COOH})_2_{(L)} + \text{CaSO}_4_{(L)}$  Hasil yang didapat kemudian dipisahkan, ditingkatkan konsentrasinya, dikristalkan dan dikeringkan.

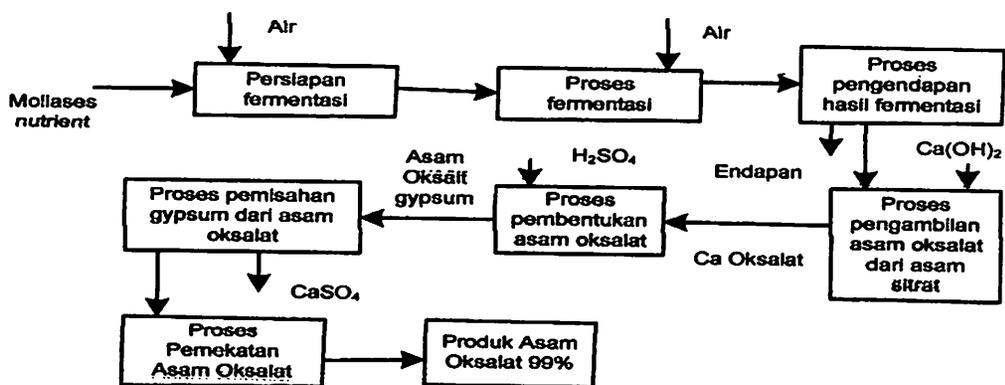
Kondisi operasi yang digunakan pada proses ini yaitu suhu operasi 380 °C dan tekanan 1 atm. Dengan kondisi tersebut, konversi yang dihasilkan sangat kecil dan kemurnian produk hanya mencapai 50 %.



Gambar 2.5 Proses Sintesa dari Natrium Formiat

#### D Hasil samping fermentasi asam sitrat

Asam oksalat dapat dihasilkan dengan menggunakan proses fermentasi gula dengan menggunakan jamur (seperti *Aspergillum* atau *Penicillium*) sebagai pengurainya. Produk yang diperoleh kemudian disaring, diasamkan dan dihilangkan warnanya. Setelah itu, produk dinaikkan konsentrasinya dengan evaporator dan hasilnya dikristalkan. Kemudian dilakukan pengeringan untuk memisahkan produk dengan airnya. Hasil dari asam oksalat tergantung dari nutrient (nitrogen) yang ditambahkan.



Gambar 2.6. Proses Hasil Samping Fermentasi Asam Sitrat

## 2.2. Seleksi Proses Pembuatan Asam Oksalat

Untuk lebih jelasnya tentang perbedaan pada berbagai proses antara keuntungan dan kerugian pada setiap proses dapat dilihat pada table 2.1

Tabel 2.1. Perbedaan keuntungan dan kerugian pada berbagai proses

Parameter	Macam Proses			
	Proses sodium formiat	Fermentasi	Peleburan alkali dengan Selulosa	Oksidasi asam nitrat
* Bahan baku	HCOONa	Molases, Nira, Gula	Selulosa	Glukosa dari Ampas Tapioka
* Kondisi Operasi				
Suhu	380 °C	30-35 °C	285 °C	71 °C
Tekanan	1 atm	1 atm	1 atm	1 atm
Konversi	97-98%	90%	< 45 %	63 – 65 %
Katalis	-	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Kemurnian	50 %	99%	60 %	99 %
*Aspek Ekonomi				
Investasi	Relatif tinggi	Relatif rendah	Relatif tinggi	Relatif rendah
Biaya operasi	Relatif tinggi	Relatif rendah	Relatif tinggi	Relatif rendah

Berdasarkan aspek tersebut di atas, maka pada pembuatan asam oksalat ini dipilih proses Oksidasi asam nitrat dengan pertimbangan sebagai berikut :

- a. Ramah terhadap lingkungan karena menggunakan pemanfaatan limbah dari hasil samping pabrik tepung tapioka yang berupa ampas tapioka sebagai bahan baku.
- b. Teknik proses pembuatan lebih sederhana dengan biaya investasi yang lebih rendah dibandingkan dengan proses yang lain.
- c. Suhu operasi yang digunakan relatif rendah sehingga tidak diperlukannya kalor yang tinggi.

- d. Konversi dan kemurnian produk yang dihasilkan relatif tinggi.

### 2.3 Uraian Proses

Pada proses pembuatan asam oksalat ini menggunakan bahan baku berupa glukosa dan asam nitrat dengan menggunakan katalis vanadium pentaoksida.

Secara garis besar, prosesnya terdiri dari :

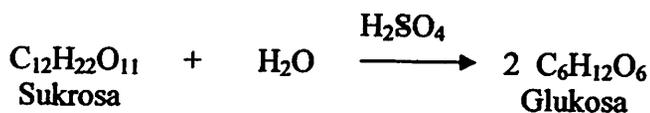
- a. Tahapan persiapan bahan baku
- b. Tahapan reaksi
- c. Tahapan pemisahan dan pemurnian
- d. Tahapan penanganan produk

#### 2.1.1. Tahapan Persiapan Bahan Baku

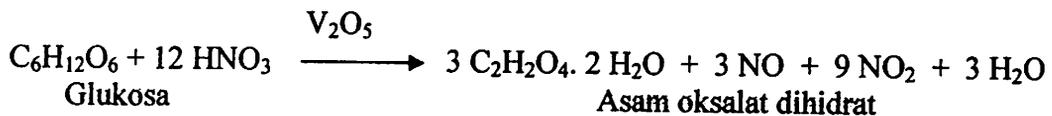
Ampas tapioka dari tangki penyimpanan (F-113) dialirkan ke dalam rool mill (S-115) untuk dijadikan bahan yang sangat halus. Bahan kemudian dimasukkan ke dalam tangki hidrolisa (R-110) untuk dihidrolisis menjadi glukosa sekaligus disterilisasi menjadi slurry pada 120 °C selama 1 jam. Produk yang didapat lalu dipisahkan dari impuritisnya menggunakan rotary vacuum filter (H-122), kemudian produk yang telah murni tersebut dipompakan ke dalam reaktor (R-120) untuk direaksikan dengan asam nitrat.

#### 2.1.2. Tahapan Reaksi

Pada tangki hidrolisa (R-110) terjadi reaksi perubahan karbohidrat (pati) menjadi glukosa dengan konversi hidrolisa sebesar 98 %. Reaksi yang terjadi adalah :



Setelah dipisahkan dari impuritisnya dengan menggunakan *rotary vacuum filter* (H-122), glukosa yang diperoleh kemudian dipompa ke dalam reaktor (R-120) untuk direaksikan dengan HNO<sub>3</sub> menggunakan katalis V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dengan reaksi :



Reaksi pembentukan asam oksalat dalam reaktor terjadi pada suhu 71 °C, tekanan 1 atm selama 2 jam. Normal yield sebesar 63 - 65 % dan reaksi berlangsung secara endotermis, sehingga diperlukan steam yang dialirkan melalui coil agar suhunya konstan. Hasil dari reaktor berupa asam oksalat yang berbentuk slurry dan gas NO. Slurry yang berupa asam oksalat dipompa ke dalam separator (H-137) untuk memisahkan katalis dari larutan induk,

### 2.1.3. Tahapan Pemisahan dan Pemurnian

Slurry asam oksalat dari reaktor (R-120) yang telah dipisahkan dari katalisnya, dialirkan ke dalam evaporator (V-130) untuk menaikkan konsentrasi asam oksalat dari 50 % hingga 70 %. Kemudian asam oksalat yang didapat dialirkan ke dalam kristaliser (X-140) untuk dikristalkan dengan cara menurunkan suhunya dari 100 °C menjadi 30 °C dengan menggunakan air pendingin yang melewati jaket pada tangki kristaliser. Kristal yang terbentuk kemudian dipisahkan dari larutan induk dengan menggunakan centrifuge (H-143), Sedangkan kristal yang ter bentuk dialirkan ke dalam *rotary dryer* (B-147) untuk dikeringkan dengan menggunakan udara kering pada suhu 100 °C dan tekanan 1



atm, sehingga kadar impuritisnya menjadi 1 %. Produk asam oksalat yang didapat ditampung dalam tangki penyimpanan (F-151).

#### *2.1.4. Tahapan Penanganan Produk*

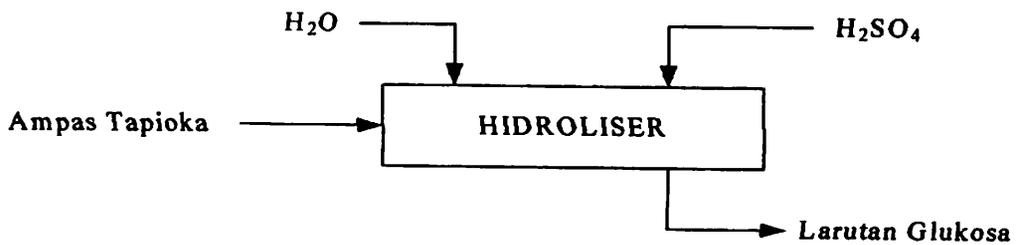
Produk asam oksalat dari tangki penyimpanan (F-151) dimasukkan ke bagian packing (P-152) untuk dikemas dan selanjutnya siap untuk dipasarkan.

## BAB III

### NERACA MASSA

Kapasitas produksi : 1202 ton/tahun  
Waktu operasi : 330 hari/tahun = 24 jam/hari  
Basis perhitungan : 151.7676 kg/jam

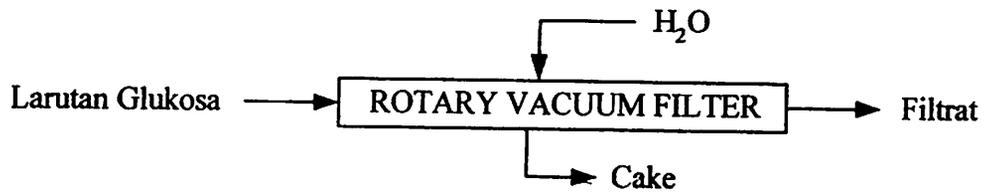
#### 1. HIDROLISER (R-110)



Fungsi : Untuk menghidrolisis sukrosa menjadi glukosa

Komposisi	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
Karbohidrat/sukrosa	103.20196800	2.08263357
Glukosa		106.45879926
Protein	2.65593300	2.65593300
Lemak	0.37941900	0.37941900
Serat kasar	15.17676000	15.17676000
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50568964	0.50063275
Air	30.35541572	609.84102629
Air dari utilitas	584.81115200	
Jumlah	737.08633736	737.09520387

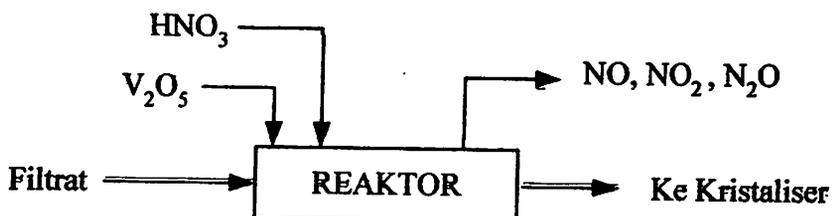
## 2. ROTARY VACUUM FILTER (H-122)



Fungsi : Untuk memisahkan protein, lemak dan karbohidrat dari larutan induk

Komposisi	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
		Filtrat	Cake
Glukosa	106.45879926	106.39946490	0.05933436
Sukrosa	2.08263357	2.08147282	0.00116075
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50063275	0.50035372	0.00027903
Protein	2.65593300		2.65593300
Lemak	0.37941900		0.37941900
Serat kasar	15.17676000		15.17676000
Air	609.84102629	609.50113397	0.33989233
Air pencuci	147.41904077	145.99849604	1.42054474
		864.48092145	20.03332320
Jumlah	884.51424465	884.51424465	

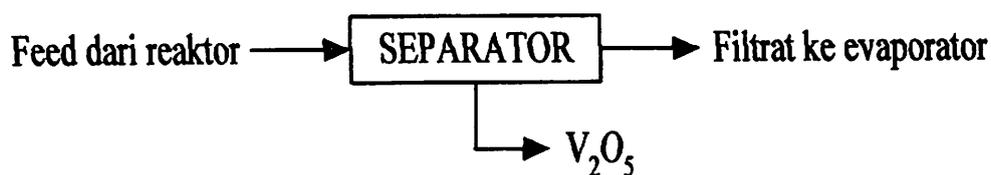
## 3. REAKTOR (R-120)



Fungsi : Untuk mereaksikan glukosa dengan asam nitrat membentuk asam oksalat

Komposisi	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
	Reaktor	Storage HNO <sub>3</sub>	
Glukosa	106.39946490		13.69617037
Sukrosa	2.08147282		2.08147282
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50035372		0.50035372
HNO <sub>3</sub>		519.64378095	95.07865426
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.12798930		2.12798930
Air	755.49963000	57.73819788	831.83702787
Asam oksalat			194.51421784
NO			34.04329057
NO <sub>2</sub>			56.58484130
N <sub>2</sub> O			13.48242964
	866.60891074	577.38197883	
<b>Jumlah</b>	<b>1443.99088958</b>		<b>1443.94644769</b>

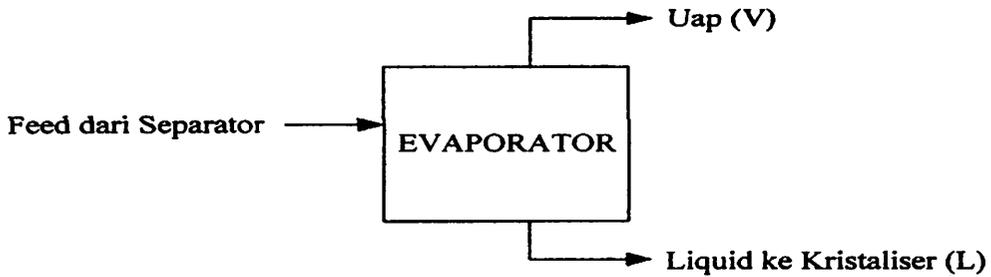
#### 4. SEPARATOR (H-137)



Fungsi : Untuk memisahkan katalis V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dari larutan induk

Komposisi	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
		Filtrat	Cake
Glukosa	13.69617037	13.69617037	
Sukrosa	2.08147282	2.08147282	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50035372	0.50035372	
HNO <sub>3</sub>	195.07865426	195.07865426	
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.12798930		2.12798930
Air	831.83702787	831.83702787	
Asam oksalat	194.51421784	194.51421784	
		1237.70789689	2.12798930
<b>Jumlah</b>	<b>1239.83588618</b>	<b>1239.83588618</b>	

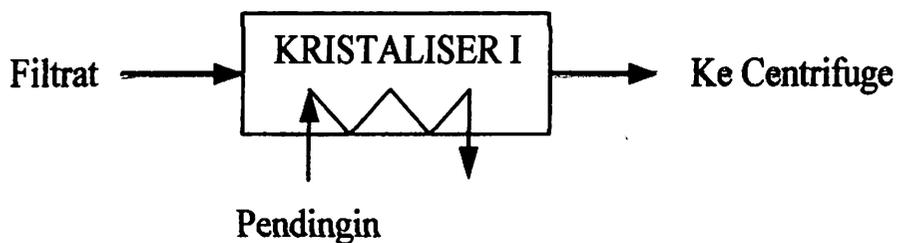
## 5. EVAPORATOR (V-130)



Fungsi : Untuk menguapkan air pada larutan asam oksalat sehingga konsentrasi larutan asam oksalat mencapai 50 % berat

Komposisi	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
		Liquid	Uap
Glukosa	13.69617037	13.69617037	
Sukrosa	2.08147282	2.08147282	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50035372	0.50035372	
HNO <sub>3</sub>	195.07865426	12.74388777	182.33476649
Air	831.83702787	54.34135153	777.49567633
Asam oksalat	194.51421784	194.51421784	
		277.87745406	959.83044282
Jumlah	1237.70789689	1237.70789689	

## 6. KRISTALISER (X-140)

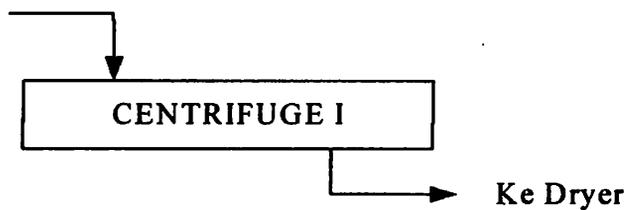


Fungsi : Untuk membentuk kristal asam oksalat

<b>Komposisi</b>	<b>Masuk (kg/jam)</b>	<b>Keluar (kg/jam)</b>
Glukosa	13.69617037	13.69617037
Sukrosa	2.08147282	2.08147282
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50035372	0.50035372
HNO <sub>3</sub>	12.74388777	12.74388777
Air	54.34135153	54.34135153
Asam oksalat (liq)	194.51421784	15.90535541
Kristal asam oksalat		178.60886243
<b>Jumlah</b>	<b>277.87745406</b>	<b>277.87745406</b>

### 7. CENTRIFUGE (H-143)

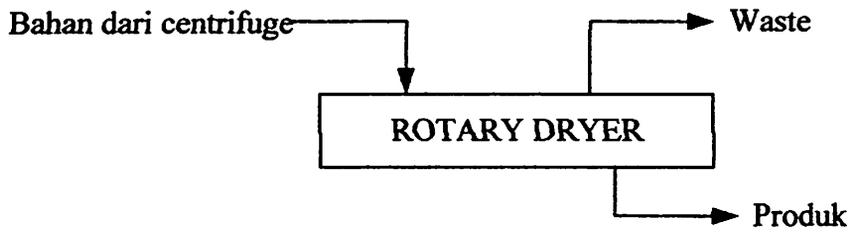
Bahan dari kristaliser I



Fungsi : Untuk memisahkan kristal dari larutan induk

<b>Komposisi</b>	<b>Masuk (kg/jam)</b>	<b>Keluar (kg/jam)</b>
Glukosa	13.69617037	13.69617037
Sukrosa	2.08147282	2.08147282
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50035372	0.50035372
HNO <sub>3</sub>	12.74388777	12.74388777
Air	54.34135153	54.34135153
Asam oksalat tdk terkristal	15.90535541	15.90535541
Kristal asam oksalat	178.60886243	178.60886243
<b>Jumlah</b>	<b>277.87745406</b>	<b>277.87745406</b>

**8. ROTARY DRYER (B-147)**



Fungsi : Untuk mengeringkan kristal asam oksalat

Komposisi	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
		Produk	Waste (uap)
Glukosa	13.69617037	0.13834516	13.55782522
Sukrosa	2.08147282	0.02102498	2.06044784
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50035372	0.00505408	0.49529964
HNO <sub>3</sub>	12.74388777	0.12872614	12.61516163
Air	54.34135153	0.54890254	53.79244899
Asam oksalat	178.60886243	176.10776281	1.78678539
		229.62894614	2.34315251
<b>Jumlah</b>	<b>315.33533487</b>	<b>231.97209865</b>	

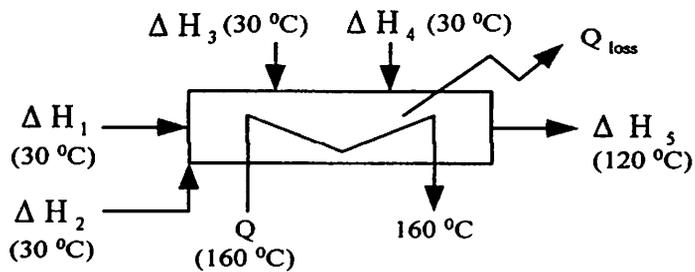
## BAB IV NERACA PANAS

Kapasitas produksi = 1202 ton/tahun  
 = 352,46727090 kg/jam

Suhu referensi = 25 °C

Satuan = kkal/jam

### 1. TANGKI HIDROLISA (R-110)



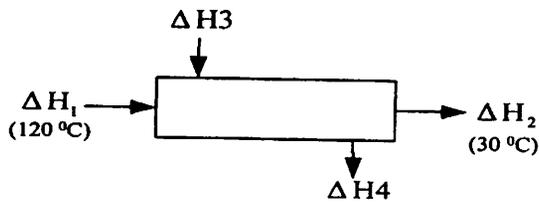
Neraca panas total :

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + H_s + Q = \Delta H_5 + Q_{\text{loss}}$$

Panas Masuk (kkal/jam)		Panas Keluar (kkal/jam)	
H <sub>1</sub>	339.10939985	H <sub>5</sub>	60496.77805062
H <sub>2</sub>	490.22913940	Q <sub>LOSS</sub>	3184.04095003
H <sub>3</sub>	0.00205787		
H <sub>s</sub>	2600.68939200		
Q	60250.78901153		
	63680.81900065		63680.81900065



## 2. COOLER (E-121)

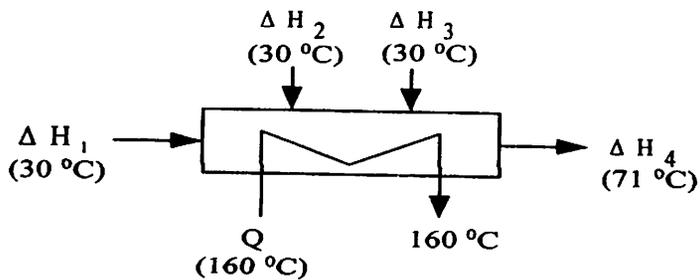


Neraca panas total :

$$\Delta H_1 + \Delta H_3 = \Delta H_2 + \Delta H_4$$

Panas Masuk (kkal/jam)		Panas Keluar (kkal/jam)	
H <sub>1</sub>	35719.38013	H <sub>2</sub>	49752.2461
H <sub>3</sub>	24777.95257	H <sub>4</sub>	10744.32329
<b>Jumlah</b>	<b>60496.7780</b>	<b>Jumlah</b>	<b>60496.7780</b>

## 3. REAKTOR (R-120)

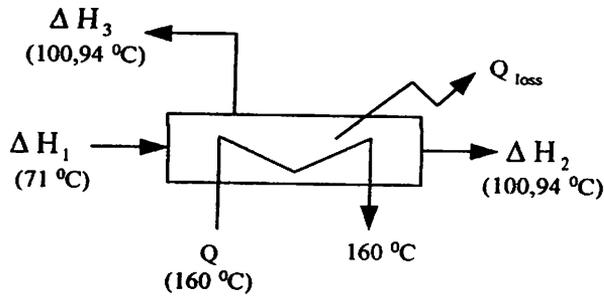


Neraca panas total :

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_R = \Delta H_4 + Q$$

Panas Masuk (kkal/jam)		Panas Keluar (kkal/jam)	
H <sub>1</sub>	7836.11564804	H <sub>4</sub>	123016.38656852
H <sub>2</sub>	2795.42369462	Q	6233321.48947457
H <sub>3</sub>	744.10136367		
H <sub>R</sub>	6344962.23533676		
<b>Jumlah</b>	<b>6356337.87604309</b>	<b>Jumlah</b>	<b>6356337.87604309</b>

#### 4. EVAPORATOR (V-130)

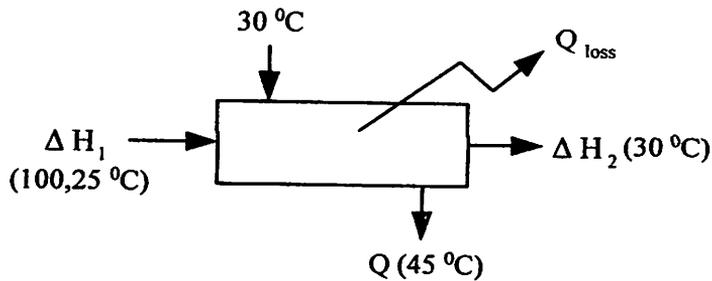


Neraca panas total :

$$\Delta H_1 + Q = \Delta H_2 + H_3 + Q_{\text{loss}}$$

Panas Masuk (kkal/jam)		Panas Keluar (kkal/jam)	
H <sub>1</sub>	107580.21965986	H <sub>2</sub>	43137.56546791
Q	1420927.72871393	H <sub>3</sub>	1408944.98548720
		Q <sub>loss</sub>	76425.39741869
<b>Jumlah</b>	<b>1528507.94837380</b>	<b>Jumlah</b>	<b>1528507.94837380</b>

#### 5. KONDENSOR (E-141)

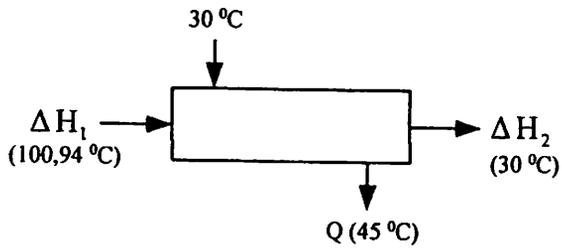


Neraca panas total :

$$\Delta H_1 = \Delta H_2 + Q_{\text{loss}} + Q$$

Panas Masuk (kkal/jam)		Panas Keluar (kkal/jam)	
H <sub>1</sub>	1408944.98548720	H <sub>2</sub>	8853.35510929
		Q <sub>loss</sub>	70447.24927436
		Q	1329644.38110355
<b>Jumlah</b>	<b>1408944.98548720</b>	<b>Jumlah</b>	<b>1408944.98548720</b>

**6. KRISTALISER (X-140)**

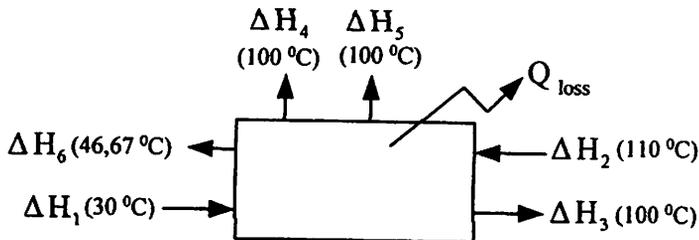


Neraca panas total :

$$\Delta H_1 + H_s = \Delta H_2 + Q$$

Panas Masuk (kkal/jam)		Panas Keluar (kkal/jam)	
H <sub>1</sub>	43137.56546791	H <sub>2</sub>	2840.14702765
H <sub>s</sub>	-490.86681353	Q	39806.55162673
<b>Jumlah</b>	<b>42646.69865438</b>	<b>Jumlah</b>	<b>42646.69865438</b>

**7. ROTARY DRYER (B-147)**



Neraca panas total :

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6 + Q_{loss}$$

Panas Masuk (kkal/jam)		Panas Keluar (kkal/jam)	
H <sub>1</sub>	1253.31921993	H <sub>3</sub>	10279.32151650
H <sub>2</sub>	175691.89962433	H <sub>4</sub>	8520.46678238
		H <sub>5</sub>	89787.20158619
		H <sub>6</sub>	40495.70359987
		Q <sub>loss</sub>	27862.52535932
<b>Jumlah</b>	<b>176945.21884426</b>	<b>Jumlah</b>	<b>176945.21884426</b>

## BAB V

### SPEKIFIKASI PERALATAN

#### 1. Storage $\text{HNO}_3$ (F-111)

- Nama alat : Storage bahan baku  $\text{HNO}_3$
- Fungsi : Sebagai storage bahan baku  $\text{HNO}_3$  90 % selama 7 hari.
- Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah *flat head* (datar).
- Kapasitas :  $124,04508348 \text{ kg/jam} = 273,469791 \text{ kg/hari}$
- Jumlah : 1 buah

#### Dimensi tangki:

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Di (diameter dalam) = 203,375 in
- Do (diameter luar) = 204 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 305,0625 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 5/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 34,370375 in
- Tinggi tangki = 339,43288 in



#### 2. Storage $\text{H}_2\text{SO}_4$ (F-112)

- Fungsi : Untuk menampung larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98 % selama 7 hari.
- Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah *flat head* (datar).

Kapasitas : 5,13496189 kg/jam = 11,32053699 lb/jam

Jumlah : 1 buah

Dimensi tangki:

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Di (diameter dalam) = 83,625 in
- Do (diameter luar) = 84 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 125,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 5/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 14,132625 in
- Tinggi tangki = 139,570125 in

### 3. Storage Ampas Tapioka (F-113)

Fungsi : Untuk menyimpan ampas tapioka selama 2 hari.

Type : persegi empat

Kapasitas : 25.2525 m<sup>3</sup>

Bahan konstruksi : beton

Dimensi storage : Panjang = 4 m

Lebar : 2 m

Tinggi : 5 m

Jumlah : 1 buah

#### 4. Belt Conveyor (J-114)

Type	: <i>Throughed Antifriction Idlers</i>
Kapasitas	: 5,449859883 lb/jam
Kecepatan	: 100 ft/min
Lebar belt	: 14 in
Daya ( <i>power</i> )	: 0,5 Hp
Jumlah	: 1 buah

#### 5. Roll Mill (S-115)

Fungsi	: Untuk menghaluskan ampas tapioka
Type	: <i>Continous Roller Mills</i>
Kapasitas actual	: 0,818 ft <sup>3</sup> /min
Lebar roll	: 3 in
Diameter roll	: 28 in
Daya (Power)	: 2 Hp
Jumlah	: 1 buah

#### 6. Bucket Elevator (J-116)

Type	: <i>Centrifugal discharge</i>
Kapasitas	: 341,1280038 kg/jam
Ukuran bucket	: (6 x 4 x 4 ½) in = 108 in = 9 ft
Kecepatan	: 5,9722939 ft/min
Putaran <i>head shaft</i>	: 43 rpm
<i>Bucket spacing</i>	: 12 in
Lebar <i>belt</i>	: 7 in

*Shaft* diameter : - *head* = 1 15/16 in  
 - *tail* = 1 11/16 in  
 Daya motor : 2 Hp  
 Bahan konstruksi : *Carbon steel*  
 Jumlah : 1 buah

### 7. Tangki Penampung Ampas Tapioka (F-117)

Fungsi : Untuk menampung ampas tapioka sebelum masuk ke tangki hidrolisa.

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah berbentuk conical, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

Kapasitas : 2,472040226 kg/jam = 59,32896543 lb/jam

Dimensi tangki:

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Di (diameter dalam) = 23,625 in
- Do (diameter luar) = 24 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 35,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 3,992625 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 6,819950 in
- Tinggi tangki = 46,250075 in
- Jumlah = 1 buah

## 8. Tangki Hidrolisa (R-110)

Fungsi : Untuk menghidrolisa karbohidrat yang terkandung dalam ampas tapioka menjadi glukosa.

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standard dished head* dan tutup bawah berbentuk conis, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

Kapasitas : 114.478114 kg/jam = 2.747.474736 lb/jam

### 1. Dimensi tangki :

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Di (diameter dalam) = 47,625 in
- Do (diameter luar) = 48 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 71,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 8,838329 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 15,748153 in
- Tinggi tangki = 96,023983 in
- Jumlah = 1 buah

### 2. Dimensi pengaduk :

- Jenis pengaduk = *Marine propeller*
- Bahan impeller = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*



- Diameter impeller = 15,875 in
- Tinggi impeller = 14,2875 in
- Panjang impeller = 3,96875 in
- Lebar impeller = 1,5875 in
- Daya pengaduk = 1 Hp
- Diameter poros = 0,71888 in
- Panjang poros = 69,957079 in
- Jumlah pengaduk = 1 buah

### 3. Nozzle untuk pemasukan recycle dari centrifuge

- Type = *Welding neck*
- Ukuran nominal pipa (NPS) =  $\frac{1}{2}$  in
- Diameter luar flange (A) =  $3 \frac{1}{2}$  in
- Ketebalan flange minimum (T) =  $\frac{7}{16}$  in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) =  $1 \frac{3}{8}$  in
- Diameter hubungan atas (E) =  $1 \frac{3}{16}$  in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 0,84 in
- Panjang julakan (L) =  $1 \frac{7}{8}$  in
- Diameter dalam flange (B) = 0,62 in

### 4. Nozzle untuk pemasukan feed

- Type = *Welding neck*
- Ukuran nominal pipa (NPS) = 1 in
- Diameter luar flange (A) =  $4 \frac{1}{4}$  in
- Ketebalan flange minimum (T) =  $\frac{9}{16}$  in

- Diameter luar bagian yang menonjol (R) = 2 in
- Diameter hubungan atas (E) = 1 15/16 in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 1,32 in
- Panjang julakan (L) = 2 3/16 in
- Diameter dalam flange (B) = 1,05 in

5. *Nozzle* untuk pemasukan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

- Type = *Welding neck*
- Ukuran nominal pipa (NPS) = ½ in
- Diameter luar flange (A) = 3 ½ in
- Ketebalan flange minimum (T) = 7/16 in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) = 1 ¾ in
- Diameter hubungan atas (E) = 1 3/16 in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 0,84 in
- Panjang julakan (L) = 1 7/8 in
- Diameter dalam flange (B) = 0,62 in

6. *Nozzle* untuk pemasukan dan pengeluaran coil pemanas

- Type = *Welding neck*
- Ukuran nominal pipa (NPS) = ½ in
- Diameter luar flange (A) = 3 ½ in
- Ketebalan flange minimum (T) = 7/16 in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) = 1 ¾ in
- Diameter hubungan atas (E) = 1 3/16 in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 0,84 in

- Panjang julakan (L) = 1 7/8 in
- Diameter dalam flange (B) = 0,62 in

#### 7. Nozzle untuk pengeluaran produk

- Type = *Welding neck*
- Ukuran nominal pipa (NPS) = 1 1/4 in
- Diameter luar flange (A) = 4 5/8 in
- Ketebalan flange minimum (T) = 5/8 in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) = 2 1/2 in
- Diameter hubungan atas (E) = 2 5/16 in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 1,66 in
- Panjang julakan (L) = 2 1/4 in
- Diameter dalam flange (B) = 1,38 in

#### 9. Pompa Centrifugal (L-118)

Fungsi	:	Mengalirkan larutan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 98 % ke tangki hidrolisa.
Type	:	<i>Centrifugal pump</i>
Ukuran	:	Pipa 1/2 in Sch. 40
Kapasitas	:	52,29883995 kg/jam
Daya	:	0,5 Hp
Bahan konstruksi	:	<i>Commercial steel</i>
Jumlah	:	1 buah

#### 10. Pompa Rotary (L-119)

Fungsi : Mengalirkan larutan dari tangki hidrolisa ke *rotary vacuum filter*.

Type : *Rotary pump*  
 Ukuran : pipa 1 ¼ in Sch. 40  
 Kapasitas : 1815,084436 kg/jam  
 Daya : 0,5 Hp  
 Bahan konstruksi : *Commercial steel*  
 Jumlah : 1 buah



### 11. Reaktor (R-120)

Fungsi : Untuk mereaksikan umpan masuk dengan  $\text{HNO}_3$  dan katalis  $\text{V}_2\text{O}_5$ .  
 Jumlah : 1 buah  
 Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah berbentuk *conical* dengan sudut  $120^\circ$ .  
 Perlengkapan : Pengaduk dan coil pemanas.  
 Kondisi operasi : - Temperatur =  $71^\circ\text{C}$   
 - Tekanan = 1 atm  
 - Waktu operasi = 2 jam  
 - Fase = liquid – solid  
 - Densitas campuran =  $72,972088 \text{ lb/ft}^3$   
 Bahan konstruksi : *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316* dengan harga  $f = 18750$  (Brownell & Young, App. D-4 hal. 342)  
 Jenis pengelasan : *Double welded butt joint* dengan  $E = 0,8$  (Brownell & Young, tabel 13.2 hal. 254)  
 Faktor korosi (C) : 1/16

Bahan masuk : 240.28343595 kg/jam = 5.7668024624 lb/jam

1. Dimensi tangki :

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Di (diameter dalam) = 71,625 in
- Do (diameter luar) = 72 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 107,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 12,052535 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) =  $\frac{3}{8}$  in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 23,176357 in
- Tinggi tangki = 142,666391 in
- Jumlah = 1 buah

2. Dimensi pengaduk :

- Jenis pengaduk = axial turbin 4 *blades* sudut 45° (G.G. Brown hal. 507).
- Bahan impeller = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*.
- Diameter impeller = 35,8125 in
- Tinggi impeller = 32,23125 in
- Panjang impeller = 8,953125 in
- Tebal blades = 5,96875 in
- Daya pengaduk = 0,5 Hp
- Diameter poros = 1,874984 in

- Panjang poros = 96,211910 in
- Jumlah pengaduk = 1 buah

### 3. *Nozzle* untuk pemasukan feed

- Type = *Welding neck*
- Ukuran nominal pipa (NPS) = 1 ¼ in
- Diameter luar flange (A) = 4 ⅝ in
- Ketebalan flange minimum (T) = ⅝ in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) = 2 ½ in
- Diameter hubungan atas (E) = 2 5/16 in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 1,66 in
- Panjang julakan (L) = 2 ¼ in
- Diameter dalam flange (B) = 1,38 in

### 4. *Nozzle* untuk pemasukan HNO<sub>3</sub>

- Type = *Welding neck*
- Ukuran nominal pipa (NPS) = ¾ in
- Diameter luar flange (A) = 3 ⅞ in
- Ketebalan flange minimum (T) = ½ in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) = 1 11/16 in
- Diameter hubungan atas (E) = 1 ½ in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 1,05 in
- Panjang julakan (L) = 2 1/16 in
- Diameter dalam flange (B) = 0,82 in

### 5. *Nozzle* untuk pemasukan V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

- Type = *Welding neck*
- Ukuran nominal pipa (NPS) =  $\frac{1}{2}$  in
- Diameter luar flange (A) =  $3 \frac{1}{2}$  in
- Ketebalan flange minimum (T) =  $\frac{7}{16}$  in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) =  $1 \frac{3}{8}$  in
- Diameter hubungan atas (E) =  $1 \frac{3}{16}$  in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 0,84 in
- Panjang julakan (L) =  $1 \frac{7}{8}$  in
- Diameter dalam flange (B) = 0,62 in

6. *Nozzle* untuk pemasukan dan pengeluaran coil pemanas

- Type = *Welding neck*
- Ukuran nominal pipa (NPS) = 3 in
- Diameter luar flange (A) =  $7 \frac{1}{2}$  in
- Ketebalan flange minimum (T) =  $\frac{15}{16}$  in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) = 5 in
- Diameter hubungan atas (E) =  $4 \frac{1}{4}$  in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 3,50 in
- Panjang julakan (L) =  $2 \frac{3}{4}$  in
- Diameter dalam flange (B) = 3,07 in

7. *Nozzle* untuk pengeluaran gas

- Type = *Welding neck*
- Ukuran nominal pipa (NPS) =  $\frac{3}{4}$  in
- Diameter luar flange (A) =  $3 \frac{7}{8}$  in

- Ketebalan flange minimum (T) =  $\frac{1}{2}$  in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) =  $1 \frac{11}{16}$  in
- Diameter hubungan atas (E) =  $1 \frac{1}{2}$  in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 1,05 in
- Panjang julakan (L) =  $2 \frac{1}{16}$  in
- Diameter dalam flange (B) = 0,82 in

8. *Nozzle* untuk pengeluaran produk

- Type = *Welding neck*
- Ukuran nominal pipa (NPS) =  $1 \frac{1}{4}$  in
- Diameter luar flange (A) =  $4 \frac{5}{8}$  in
- Ketebalan flange minimum (T) =  $\frac{5}{8}$  in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) =  $2 \frac{1}{2}$  in
- Diameter hubungan atas (E) =  $2 \frac{5}{16}$  in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 1,66 in
- Panjang julakan (L) =  $2 \frac{1}{4}$  in
- Diameter dalam flange (B) = 1,38 in

9. *Nozzle* untuk *Hand Hole*

- Type = *Welding neck*
- Ukuran nominal pipa (NPS) = 10 in
- Diameter luar flange (A) = 16 in
- Ketebalan flange minimum (T) =  $1 \frac{3}{16}$  in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) =  $12 \frac{3}{4}$  in
- Diameter hubungan atas (E) = 12 in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 10,75 in



- Panjang julakan (L) = 4 in
- Diameter dalam flange (B) = 10,02 in

#### 10. Coil Pemanas

- Panjang coil = 1 ¼ in
- Jumlah lilitan = 8 lilitan
- Tinggi coil = 75,04 in
- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*.

#### 11. Cooler (E-121)

- Fungsi : Untuk mendinginkan bahan dari suhu 120°C menjadi 30°.
- Type : *Shell and tube type HE 1 – 2*
- Kapasitas : 1815,084436 kg/jam
- Arah aliran : *Cocurrent*
- Ukuran tube : 1 ¼ in OD 16 BWG
- Panjang : 12 ft
- N<sub>t</sub> : 16, susunan □ (square) pitch 1 9/16 in
- Bahan : *Carbon steel*
- Jumlah : 1 buah

#### 12. Rotary Vacuum Filter (H-122)

- Fungsi : Untuk memisahkan protein, serat kasar dan lemak dari hasil hidrolisa yang menuju reaktor.
- Type : *Horisontal Rotary Drum*
- Kapasitas : 1815,08443619 kg/jam
- Diameter : 0,180779 m

Power (daya) : 0,5 Hp

Jumlah : 1 buah

### 13. Tangki Penampung Cake (F-123)

Fungsi : Untuk menampung cake dari *rotary vacuum filter* selama 1 minggu

Type : Bak terbuka

Panjang : 2,459384 m

Lebar : 1,844538 m

Tinggi : 1,229692 m

Bahan konstruksi : Beton

Jumlah : 1 buah

### 14. Tangki Penampung Filtrat (F-124)

Fungsi : Untuk menampung filtrat yang keluar dari *rotary vacuum filter*.

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah berbentuk *conical*, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

Kapasitas : 2140,577243 kg/jam

Jumlah : 1 buah

Dimensi tangki:

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Jumlah = 1 buah
- Di (diameter dalam) = 53,625 in
- Do (diameter luar) = 54 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in

- $L_s$  (tinggi silinder) = 80,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 9,141782 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 15,480204 in
- Tinggi tangki = 105,059486 in

### 15. Pompa Centrifugal (L-125)

- Fungsi : Mengalirkan larutan dari tangki penampung filtrat ke reaktor.
- Type : *Centrifugal pump*
- Ukuran : Pipa 1/8 in Sch. 40
- Kapasitas : 46,23587599 lb/jam
- Daya : 0,5 Hp
- Bahan konstruksi : *Commercial steel*
- Jumlah : 1 buah

### 16. Pompa HNO<sub>3</sub> (L-126)

- Fungsi : Mengalirkan larutan HNO<sub>3</sub> 90 % ke reaktor.
- Type : *Centrifugal pump*
- Ukuran : Pipa 3/4 in Sch. 40
- Kapasitas : 224,3249062 lb/jam
- Daya : 0,5 Hp
- Bahan konstruksi : *Commercial steel*
- Jumlah : 1 buah

### 17. Storage Katalis $V_2O_5$ (F-127)

Fungsi : Untuk menampung katalis  $V_2O_5$  selama 1 bulan

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah berbentuk *conical*, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

Kapasitas : 9,186437 kg/jam

Dimensi tangki:

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Jumlah = 1 buah
- Di (diameter dalam) = 39,625 in
- Do (diameter luar) = 40 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 59,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 7,267246 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 11,438752 in
- Tinggi tangki = 78,143498 in

### 18. Evaporator (V-130)

Type : *Short tube vertical* (calandria) dengan tutup atas berbentuk *standard dished* dan tutup bawah *conical*.

Jumlah feed masuk (F) : 205.8824 kg/jam

Suhu feed masuk evaporator : 71  $^\circ\text{C}$  = 159,80  $^\circ\text{F}$

Suhu feed keluar evaporator : 100,9425  $^\circ\text{C}$  = 213,70  $^\circ\text{F}$

Suhu steam ( $T_1$ ) : 160 °C = 320 °F  
 Tekanan operasi (P) : 1,04 atm = 15,2880 psia

Dimensi alat :

#### 1. Tube

- Susunan pipa : *Triangular pitch*
- Panjang pipa : 4 ft
- Diameter luar pipa : 0,840 in = 0,070 ft
- Diameter dalam pipa : 0,622 in = 0,052 ft
- Jumlah *tube* : 329 buah

#### 2. Silinder

- Bahan : HAS SA-240 grade M type 316
- Diameter luar silinder : 48 in
- Diameter dalam silinder : 47,625 in
- Tinggi silinder ( $L_s$ ) : 99,0396 in
- Tebal silinder ( $t_s$ ) : 3/16 in

#### 3. Perpipaan

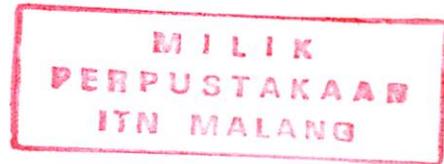
- Ukuran pipa pemasukan steam : 8 in
- Ukuran pipa pemasukan feed : 1½ in
- Ukuran pipa pemasukan produk : 1 in
- Ukuran pipa pemasukan uap : 18 in
- Ukuran pipa pemasukan kondensat : 1¼ in
- Ukuran *hand hole* : 10 NPS

#### 4. Gasket

- Bahan : Asbestos
- Tebal : 1/16 in
- Lebar : 3/16 in

#### 5. *Bolting* (baut)

- Bahan : SB 160
- Ukuran : 1 in
- Jumlah : 7 buah



#### 6. *Flange*

- Bahan : *Carbon steel SA – Grade M tipe 316*
- Tebal : 2 in
- OD : 67,195 in

#### 7. *Leg Support*

- Jenis : *I-Beam* (8 x 4)
- Luas (Ay) : 6,71 in<sup>2</sup>
- H : 8 in
- b : 4,171 in
- R<sub>2-2</sub> : 0,81 in
- I<sub>2-2</sub> : 4,4 in<sup>4</sup>

#### 8. *Base plate*

- Bahan konstruksi : *Carbon steel*
- Tebal *base plate* : 3/16 in
- Ukuran : 11 in x 6 in

- Jumlah baut : 4 buah
- Ukuran diameter baut :  $\frac{1}{2}$  in

#### 9. Pondasi

- Bahan : Beton
- Ukuran atas : 10 in x 10 in
- Ukuran bawah : 20 in x 20 in
- Tinggi pondasi : 15 in

### 19. Cooler (E-134)

Fungsi : Untuk mendinginkan bahan yang menuju absorber.

Type : *Shell and tube type HE 1 – 2*

Kapasitas : 1815,084436 kg/jam

Arah aliran : *Cocurrent*

Ukuran tube :  $\frac{3}{4}$  in OD 14 BWG

Panjang : 12 ft

$N_t$  : 16, susunan  $\square$  (square) pitch 1  $\frac{9}{16}$  in

Bahan : *Carbon steel*

Jumlah : 1 buah

### 20. Absorber (D-160)

Fungsi : Untuk mengabsorbsi gas-gas  $\text{NO}_2$  dengan menggunakan absorben larutan  $\text{H}_2\text{O}$ .

Type : *Sieve tray*

Kapasitas : 745,317488 kg/jam

Jumlah : 1 buah

Dimensi tangki :

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA-167 Grade 3 type 304*
- Jumlah tray = 6 buah
- Susunan lubang = triangular ( $\Delta$ )
- Di (diameter dalam) = 23,625 in
- Do (diameter luar) = 24 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 17,5 ft
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 3,9926 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 3,9926 in
- Tinggi tangki = 217,852 in

## 21. Pompa Centrifugal (L-135)

Fungsi : Mengalirkan larutan  $\text{HNO}_3$  dari absorber ke storage

Type : *Centrifugal pump*

Ukuran : Pipa 3/8 in Sch. 40

Kapasitas : 566,985824 lb/jam

Daya : 0,5 Hp

Bahan konstruksi : *Commercial steel*

Jumlah : 1 buah



## 22. Pompa Centrifugal (L-136)

Fungsi	: Mengalirkan larutan dari reaktor ke separator.
Type	: <i>Centrifugal pump</i>
Ukuran	: Pipa 1 ¼ in Sch. 40
Kapasitas	: 1.109661024 lb/jam
Daya	: 0,5 Hp
Bahan konstruksi	: <i>Commercial steel</i>
Jumlah	: 1 buah

## 23. Separator (H-137)

Fungsi	: Untuk memisahkan katalis $V_2O_5$ yang keluar dari reaktor.
Type	: Silinder horisontal dengan tutup atas dan bawah berbentuk <i>standard dished head</i> .
Kapasitas	: 2879,002022 kg/jam

Dimensi tangki :

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Jumlah = 1 buah
- Di (diameter dalam) = 47,625 in
- Do (diameter luar) = 48 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 142,875 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 8,048625 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in

- hb (tinggi tutup bawah) = 8,048625 in
- Tinggi tangki = 158,972250 in
- $Z_1$  = 2,976563 ft
- $Z_2$  = 7,966765 ft
- $Z_3$  = 1,984375 ft



#### 24. Tangki Penampung Katalis (F-138)

Fungsi : Untuk menampung katalis  $V_2O_5$  yang keluar dari separator selama 1 bulan

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah berbentuk *conical*, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

Kapasitas : 4,593218 kg/jam

Dimensi tangki:

- Bahan konstruksi = High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316
- Jumlah = 1 buah
- Di (diameter dalam) = 39,625 in
- Do (diameter luar) = 40 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 59,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 7,267246 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- hb (tinggi tutup bawah) = 11,438752 in
- Tinggi tangki = 78,143498 in

**25. Pompa Centrifugal (L-139)**

Fungsi	: Mengalirkan larutan dari decanter ke evaporator
Type	: <i>Centrifugal pump</i>
Ukuran	: Pipa 1 ¼ in Sch. 40
Kapasitas	: 6336,921648 lb/jam
Daya	: 0,5 Hp
Bahan konstruksi	: <i>Commercial steel</i>
Jumlah	: 1 buah

**26. Kristaliser (X-140)**

Fungsi	: Untuk mengkristalkan asam oksalat
Type	: <i>Swenson walker</i>
Kapasitas	: 46.23587599 kg/jam = 1.109661024 lb/jam
Panjang	: 25 ft
Diameter	: 5 ft
Surface area (A)	: 19,647381 ft <sup>2</sup>
Bahan konstruksi	: <i>Stainless steel</i>
Jumlah	: 1

**27. Pompa Centrifugal (L-142)**

Fungsi	: Mengalirkan larutan dari evaporator ke kristaliser.
Type	: <i>Centrifugal pump</i>
Ukuran	: Pipa ¾ in Sch. 40
Kapasitas	: 2015,091909 lb/jam

Daya : 0,5 Hp  
 Bahan konstruksi : *Commercial steel*  
 Jumlah : 1 buah

### 28. Centrifuge (H-143)

Fungsi : Untuk memisahkan slurry asam oksalat dengan H<sub>2</sub>O sebelum masuk rotary dryer.  
 Type : *Screen bowl decanter centrifuge*  
 Bahan : *Carbon steel*  
 Diameter : 44 in = 3,666667 ft  
 Tinggi : 22 in = 1,833333 ft  
 Daya : 1 Hp  
 Jumlah : 1 buah

### 29. Tangki Penampung Filtrat (F-144)

Fungsi : Untuk menampung filtrat yang keluar dari rotary vacuum filter.  
 Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah berbentuk *conical*, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .  
 Kapasitas : 408,989189 kg/jam

Dimensi tangki :

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Jumlah = 1 buah
- Di (diameter dalam) = 29,625 in
- Do (diameter luar) = 30 in

- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 44,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 5,928930 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 8,552001 in
- Tinggi tangki = 58,918431 in

### 30. Pompa Centrifugal (L-145)

- Fungsi : Mengalirkan larutan dari tangki penampung filtrat ke tangki hidrolisa
- Type : *Centrifugal pump*
- Ukuran : Pipa ½ in Sch. 40
- Kapasitas : 901,657565 lb/jam
- Daya : 0,5 Hp
- Bahan konstruksi : *Commercial steel*
- Jumlah : 1 buah

### 31. Screw Conveyor (H-146)

- Fungsi : Untuk mengangkut kristal asam oksalat dari centrifuge menuju *Rotary Dryer* untuk dikeringkan
- Type : *Horisontal Screw Conveyor*
- Kapasitas : 1336,121212 lb/jam
- Panjang screw : 15 ft

Diameter flight : 9 in  
Diameter pipa : 2,5 in  
Diameter shaft : 2 in  
Daya motor : 1 Hp  
Bahan konstruksi : *Carbon steel*  
Jumlah : 1 buah

### **32. Rotary Dryer (B-147)**

Fungsi : Untuk mengeringkan produk kristal asam oksalat dari kandungan air yang terdapat dalam kristal asam oksalat  
Type : *Single shell indirect heat rotary dryer*  
Panjang : 23,410019 ft  
Diameter : 7,135461 ft  
Daya motor : 4,5 Hp  
Bahan konstruksi : *Carbon Steel*  
Jumlah : 1 buah

### **33. Screw Conveyor (H-149)**

Fungsi : Untuk mengangkut kristal asam oksalat dari *Rotary Dryer* menuju tangki penampung produk  
Type : *Horisontal Screw Conveyor*  
Kapasitas : 505,05050505 kg/jam  
Panjang screw : 15 ft  
Diameter flight : 9 in

Diameter pipa : 2,5 in  
 Diameter shaft : 2 in  
 Daya motor : 0,5 Hp  
 Bahan konstruksi : *Carbon steel*  
 Jumlah : 1 buah

#### 34. Tangki Penampung Produk (F-151)

Fungsi : Untuk menampung produk asam oksalat sebelum masuk ke pengemasan.

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah berbentuk *conical*, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

Kapasitas : 352,690064 kg/jam = 777,540514 lb/jam

Dimensi tangki:

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Jumlah = 1 buah
- Di (diameter dalam) = 23,625 in
- Do (diameter luar) = 24 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 35,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 5,126520 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 6,819950 in
- Tinggi tangki = 47,383970 in

**35. Unit Pengemasan (P-152)**

Fungsi : Untuk mengemas hasil produk  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  kristal dari bin produk ke dalam plastic bag

Rate : 705,380127 lb/jam

Jumlah : 1 buah

**36. Storage Produk (F-153)**

Nama alat : Storage produk asam oksalat

Fungsi : Untuk menyimpan produk asam oksalat selama 30 hari (1 bulan)

Type : Persegi empat

Kapasitas : 352,690064 kg/jam

Bahan konstruksi : Beton

- Dimensi storage :
  - Panjang = 9,817498 m
  - Lebar = 4,908749 m
  - Tinggi = 8 m
- Jumlah : 1 buah



## 6.1. Rancangan dimensi reaktor

### A. Menentukan volume reaktor

Bahan masuk : 1580.9215 kg/jam = 3485.2996 lb/jam

$\rho$  campuran : 76.598315 lb/ft<sup>3</sup>

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{massa bahan masuk}}{\rho \text{ campuran}} \\ &= \frac{3485.2996 \text{ lb/jam}}{76.598315 \text{ lb/ft}^3} = 45.50111 \text{ ft}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

$$\text{Volume liquid} = 45.50111 \text{ ft}^3/\text{jam} \times 2 \text{ jam} = 91.002 \text{ ft}^3$$

Diasumsikan volume ruang kosong = 25 % volume liquid serta volume coil dan pengaduk = 10 % volume liquid.

$$\begin{aligned}\text{Volume ruang kosong} &= 25\% \times 91.002 \text{ ft}^3 \\ &= 22.7505 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume coil \& pengaduk} &= 10\% \times 91.002 \text{ ft}^3 \\ &= 9.1002 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jadi volume total} &= V \text{ liquid} + V \text{ ruang kosong} + V (\text{coil \& pengaduk}) \\ &= 91.002 \text{ ft}^3 + 22.7505 \text{ ft}^3 + 9.1002 \text{ ft}^3 \\ &= 122.8527 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

### B. Menentukan dimensi silinder

#### 1. Menghitung Diameter Silinder

Volume total = V tutup bawah + V silinder + V tutup atas

$$\text{Volume total} = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \tan \frac{1}{2} \alpha} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 D_i^3$$

$$D_i = D_o - 2 t_s$$

$$D_i = 72 \text{ in} - 2 (3/16) \text{ in}$$

$$D_i = 71.625000 \text{ in} = 5,968750 \text{ ft}$$

### Menentukan tinggi silinder ( $L_s$ )

$$L_s = 1,5 D_i = 1,5 (71,625) \text{ in} = 107,4375 \text{ in} = 8,953125 \text{ ft}$$

## C. Menentukan Dimensi Tutup

### 1. Menentukan dimensi tutup atas

➤ Tutup atas berbentuk standard dishead

$$- r = 72 \text{ in (Brownell \& Young tabel 5.7 hal. 90)}$$

$$- icr = 9/16 \text{ in (Brownell \& Young tabel 5.6 hal. 88)}$$

$$- sf = 2,0 \text{ (Brownell \& Young tabel 5.6 hal. 88)}$$

Tebal tutup atas ( $t_{ha}$ ) :

Dari Brownell & Young, persamaan 13.12 hal. 258 :

$$t_{ha} = \frac{0,885 \times P_i \cdot D_i}{f \cdot E - 0,1 \cdot P_i} + C$$

$$t_{ha} = \frac{0,885 \times (75) \cdot (71,625)}{(18750) \cdot (0,8) - 0,1 \cdot (75)} + (1/16)$$

$$t_{ha} = 0,066927 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Tinggi tutup atas ( $h_a$ ) :

$$a = D_i/2 = (72,625/2) \text{ in} = 35,8125 \text{ in}$$

$$AB = a - icr = (35,8125 - [9/16]) \text{ in} = 35,25 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (72 - [9/16]) \text{ in} = 71,4375 \text{ in}$$

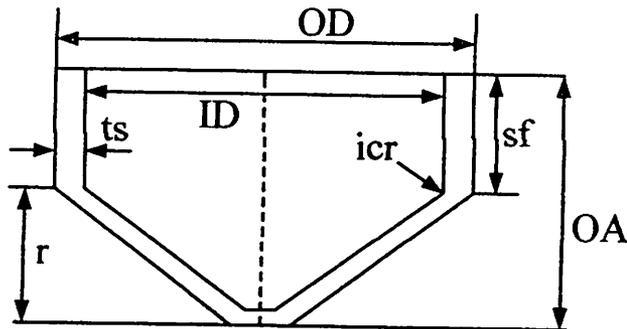
$$AC = \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} = \sqrt{(71,4375)^2 - (35,25)^2} = 62,134965 \text{ in}$$

$$b = r - AC = (72 - 62,134965)\text{in} = 9,865035 \text{ in}$$

$$ha = tha + b + sf = (3/16)\text{in} + 9,865035 \text{ in} + 2,0 \text{ in}$$

$$ha = 12,052535 \text{ in}$$

## 2. Menentukan dimensi tutup bawah



Tebal tutup bawah (thb) :

$$thb = \frac{P_i \cdot de}{2 (f \cdot E - 0,6 P_i) \cos \alpha} + C \quad , \text{dimana } de = D_i$$

$$thb = \frac{(75) \cdot (72,625)}{2 [(18750) \cdot (0,8) - (0,6)(75)] \cos 60} + \left(\frac{1}{16}\right)$$

$$thb = 0,421703 \text{ in} \approx 6/16 \text{ in} = \frac{3}{8} \text{ in}$$

Dari Brownell & Young, tabel 5.6 hal. 88, untuk  $ts = \frac{3}{8} \text{ in}$ , maka  $sf = 1,5 - 3$ , diambil harga  $sf = 2,5 \text{ in}$ .

Tinggi tutup bawah (hb) :

$$r = \frac{\frac{1}{2} \cdot D_i}{\text{tg } \frac{1}{2} \alpha}$$

$$r = \frac{\frac{1}{2} \cdot (72,625)}{\text{tg } \frac{1}{2} (120)} = 20,676357 \text{ in}$$

$$hb = r + sf = 20,676357 \text{ in} + 2,5 \text{ in}$$



$$122.34518 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 D_i^3, \text{ dimana } L_s = 1,5 D_i$$

$$122.34518 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot 1,5 D_i + 0,0847 D_i^3$$

$$D_i^3 = 91.758022 \text{ ft}^3$$

$$D_i = 4.510396 \text{ ft} = 54.124753 \text{ in}$$

## 2. Menghitung volume liquid dalam shell

V.liquid dalam shell = V liquid – V tutup bawah

$$\begin{aligned} &= 91.758022 - \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg} \frac{1}{2} \alpha} \\ &= 91.758022 - \frac{3.14 \cdot (2,382101)^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} \\ &= 94.58022 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

## 3. Menentukan tebal silinder ( $t_s$ )

Dirancang suatu vessel yang tahan terhadap tekanan 75 psig.

$$t_s = \frac{P_i \cdot D_i}{2(f \cdot E - 0,6 P_i)} + C$$

$$t_s = \frac{(75) \cdot 28,585211}{2[(18750) \cdot (0,8) - (0,6)(75)]} + (1/16)$$

$$t_s = 0.187500 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

### Standarisasi $D_o$

$$D_o = D_i + 2 t_s$$

$$D_o = 28.960211 \text{ in} + (3/16) \text{ in}$$

$$D_o = 28.960211 \text{ in}$$

Standarisasi  $D_o = 72 \text{ in}$  (Brownell & Young, tabel 5-7, hal. 91)

## BAB VI

### PERANCANGAN ALAT UTAMA

- Nama alat : **Reaktor Mixed Flow**
- Fungsi : Untuk mereaksikan umpan masuk dengan katalis  $V_2O_5$  dan  $HNO_3$ .
- Jumlah : 1 buah
- Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk standar dishead dan tutup bawah berbentuk conical dengan sudut  $120^\circ$ .
- Perlengkapan : Pengaduk dan coil pemanas.
- Kondisi operasi : - Temperatur =  $71^\circ C$   
- Tekanan = 1 atm  
- Waktu operasi = 2 jam  
- Fase = liquid – liquid  
- Densitas campuran =  $76.598315 \text{ lb/ft}^3$
- Direncanakan :
- Bahan konstruksi : High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316.  
 $f = 18750$  (Brownell & Young, App. D-4 hal. 342)
  - Jenis pengelasan : Double welded butt joint.  
 $E = 0,8$  (Brownell & Young, tabel 13.2 hal. 254)
  - Faktor korosi (C) :  $1/16$
- Bahan masuk :  $1580.9215 \text{ kg/jam} = 3485.2996 \text{ lb/jam}$

$Z_i$  = Tinggi impeller dari dasar tangki

$Z_l$  = Tinggi liquid dalam silinder

$W$  = Lebar baffle (daun) impeller

a. Menentukan diameter impeller

$$D_t/D_i = 3$$

$$D_i = D_t/3.0$$

$$D_i = (71,625 \text{ in})/3.0 = 23.875 \text{ in}$$

b. Menentukan tinggi impeller dari dasar tangki

$$Z_i/D_i = 0,9$$

$$Z_i = 0,9 D_i$$

$$Z_i = 0,9 \times (23.875 \text{ in}) = 21.4875 \text{ in}$$

c. Menentukan panjang impeller

$$L/D_i = \frac{1}{4}$$

$$L = \frac{1}{4} \cdot D_i$$

$$L = (0,25) \times (23.875 \text{ in}) = 5.96875 \text{ in}$$

d. Menentukan lebar impeller

$$W/D_i = 0,1$$

$$W = 0,1 \cdot D_i$$

$$W = (0,1) \times (23.875) = 2.3875 \text{ in}$$

e. Menentukan tebal blades

$$J/D_t = 1/12 \quad (\text{Geankoplis, table 3.4-1 hal. 144})$$

$$J = D_t/12$$

$$J = (71,625 \text{ in})/12 = 5,96875 \text{ in}$$

Dari Hesse, tabel 16-1 hal. 457, untuk bahan Hot Rolled Steel SAE 1020, mengandung karbon = 20%, dengan batas = 36000 lb/in<sup>2</sup>.

S = maksimum design shering stress yang diijinkan

$$\begin{aligned} S &= 20\% \times (36000) \text{ lb/in}^2 \\ &= 7200 \text{ lb/in}^2 \end{aligned}$$

Maka didapatkan diameter poros pengaduk (D) :

$$D = \left( \frac{16 \times T}{\pi \times S} \right)^{1/3}$$

$$D = \left( \frac{16 \times 420.1666 \text{ lb.in}}{3.14 \times 7200 \text{ lb/in}^2} \right)^{1/3}$$

$$D = 0.667259 \text{ in}$$

## 2. Panjang poros

Rumus :

$$L = h + i - Z_i$$

Dimana :

L = panjang poros (ft)

Z<sub>i</sub> = jarak impeller dari dasar tangki = 32,23125 in = 2,685938 ft

i = panjang poros diatas bejana tangki = 8,953125 in = 0,746094 ft

h = tinggi silinder + tinggi tutup atas

$$= (107,4375 + 12,052535) \text{ in} = 119,490035 \text{ in} = 9,957503 \text{ ft}$$

Jadi panjang poros pengaduk :

$$\begin{aligned} L &= (119,490035 \text{ in} + 8,953125 \text{ in}) - 32,23125 \text{ in} \\ &= 96,211910 \text{ in} = 8,017659 \text{ ft} \end{aligned}$$



$$= (8587.7007 / 550)$$

$$= 15 \text{ Hp}$$



Kehilangan-kehilangan daya :

- Gain Losses (kebocoran daya pada proses dan bearing) diperkirakan 10% dari daya masuk.
- Transmission System Losses (kebocoran belt atau gear) diperkirakan 15% dari daya masuk.

Sehingga daya yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} P \text{ yang dibutuhkan} &= (0,1 + 0,15) P + P \\ &= (0,25) (0.772543 \text{ Hp}) + 0.772543 \text{ Hp} \\ &= 0.96567 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Jadi digunakan pengaduk dengan daya = 1 Hp.

• **Perhitungan poros pengaduk**

1. Diameter poros

$$T = \frac{\pi \cdot S \cdot D^2}{16} \quad (\text{Hesse, pers. 16-1 hal. 465})$$

Dengan :

$$T = \text{momen puntir (lb.in)} = \frac{63025 \cdot H}{N} \quad (\text{Hesse, hal. 469})$$

$$H = \text{daya motor pada poros} = 1 \text{ Hp}$$

$$N = \text{putaran pengaduk} = 150 \text{ rpm}$$

Sehingga :

$$T = \frac{(63025) \cdot (1)}{150} = 420.1666 \text{ lb.in}$$

• **Perhitungan daya pengaduk**

$$P = \frac{\Phi \times \rho \times n^3 \times D_i^5}{gc}$$

Dimana :

P = daya pengaduk

$\Phi$  = power number

$\rho$  = densitas bahan = 78,368725 lb/ft<sup>3</sup>

$D_i$  = diameter impeller = 23.875 in = 1,9897 ft

gc = 32,2 lb.ft/dt<sup>2</sup>.lbf

n = putaran pengaduk, ditetapkan n = 120 rpm = 2,0 rps (Perry, edisi 6 hal. 19-6)

Menghitung bilangan Reynold ( $N_{Re}$ )

$$N_{Re} = \frac{D^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu} \quad (\text{Geankoplis, pers. 3.4-1 hal. 144})$$

dengan  $\mu$  bahan = 0,3 cp = (0,3) x (6,7197.10<sup>-4</sup>) = 2,02.10<sup>-4</sup> lb/ft.s

$$N_{Re} = \frac{(1,9897 \text{ ft})^2 \times (2,0) \times (78,368725 \text{ lb/ft}^3)}{2,02 \cdot 10^{-4} \text{ lb/ft} \cdot \text{s}}$$

$N_{Re} =$

Dari Mc Cabe II hal. 47, diketahui aliran liquid adalah turbulen ( $N_{Re} > 2100$ ).

Dari G.G. Brown fig. 4.77 hal.. 507, diperoleh  $\Phi = 0,7$ .

$$P = \frac{(0,7) \times (72,972088 \text{ lb/ft}^3) \times (2,0)^3 \times (2,984375 \text{ ft})^5}{32,2 \text{ lb} \cdot \text{ft} / \text{dt}^2 \cdot \text{lbf}}$$

P = 8587.7007 lb.ft/dt

### 6.3. Perhitungan Nozzle

Perencanaan :

- Nozzle pada tutup atas standard dishead
  - Nozzle untuk pemasukan umpan/feed
  - Nozzle untuk pemasukan larutan  $\text{HNO}_3$
  - Nozzle untuk pemasukan katalis  $\text{V}_2\text{O}_5$
  - Nozzle untuk pengeluaran gas
- Nozzle untuk silinder reaktor
  - Nozzle untuk pemasukan koil
  - Nozzle untuk pengeluaran koil
- Nozzle pada tutup bawah conical
  - Nozzle untuk pengeluaran produk
- Digunakan flange standard type Welding neck pada :
  - Nozzle untuk pemasukan feed
  - Nozzle untuk pemasukan larutan  $\text{HNO}_3$
  - Nozzle untuk pemasukan katalis  $\text{V}_2\text{O}_5$
  - Nozzle untuk pengeluaran gas
  - Nozzle untuk pemasukan koil
  - Nozzle untuk pengeluaran koil
  - Nozzle untuk pengeluaran produk
- Bahan konstruksi untuk nozzle menggunakan High Alloy Steel.

## Dasar Perhitungan

### a. Nozzle pemasukan feed

- Rate feed masuk = 237.916507 kg/jam = 524.510732 lb/jam
- Densitas feed = 78.295789 lb/ft<sup>3</sup>

Perhitungan :

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{\text{Rate feed masuk}}{\rho \text{ feed}}$$

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{237.916507 \text{ lb/jam}}{78.295789 \text{ lb/ft}^3} = 6.699092 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0.001861 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Dari Peter & Timmerhause fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} \text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0.001861)^{0,45} \cdot (78.29578)^{0,13} \\ &= 0.406089 \text{ in} = 0.033841 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa 1¼ in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 1,380 in
- OD = 1,660 in
- A = 0,01040 ft<sup>2</sup>

### b. Nozzle pemasukan larutan HNO<sub>3</sub>

- Rate HNO<sub>3</sub> masuk = 86.463244 kg/jam = 190.616868 lb/jam
- Densitas HNO<sub>3</sub> = 72.866074 lb/ft<sup>3</sup>

Perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate HNO}_3 \text{ masuk}}{\rho \text{ HNO}_3} \\ &= \frac{190.616868 \text{ lb/jam}}{72.866074 \text{ lb/ft}^3} = 2.615989 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0.000727 \text{ ft}^3/\text{dt}\end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned}\text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0.000727)^{0,45} \cdot (72.866074)^{0,13} \\ &= 0.263507 \text{ in} \\ &= 0.021959 \text{ ft}\end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa  $\frac{3}{4}$  in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 0,824 in
- OD = 1,050 in
- A = 0,00371 ft<sup>2</sup>

c. Nozzle pemasukan katalis V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

- Rate V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> masuk = 0.354006 kg/jam = 0.780442 lb/jam
- Densitas V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 209,578405 lb/ft<sup>3</sup>

Perhitungan :

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{\text{Rate V}_2\text{O}_5 \text{ masuk}}{\rho \text{ V}_2\text{O}_5}$$

$$= \frac{0.780442 \text{ lb/jam}}{209,578405 \text{ lb/ft}^3} = 0.003724 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0.000001 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Dari Peter & Timmerhause fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} \text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0,000013)^{0,45} \cdot (209,578405)^{0,13} \\ &= 0,050159 \text{ in} \\ &= 0,004180 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa ½ in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 0,622 in
- OD = 0,840 in
- A = 0,00211 ft<sup>2</sup>

d. Nozzle pemasukan dan pengeluaran koil pemanas

- Rate steam masuk = 9458,346218 kg/jam = 20851,870072 lb/jam
- Densitas steam = 31,204 lb/ft<sup>3</sup>

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate steam masuk}}{\rho \text{ steam}} \\ &= \frac{20851,870072 \text{ lb/jam}}{31,204 \text{ lb/ft}^3} = 668,243497 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,185623 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} \text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0,185623)^{0,45} \cdot (31,204)^{0,13} \\ &= 2,858883 \text{ in} \\ &= 0,238240 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa 3 in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 3,068 in
- OD = 3,500 in
- A = 0,05130 ft<sup>2</sup>

e. Nozzle pengeluaran produk

- Rate produk keluar = 2879,002022 kg/jam = 6347,047858 lb/jam
- Densitas produk = 70,743949 lb/ft<sup>3</sup>

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate produk keluar}}{\rho \text{ produk}} \\ &= \frac{6347,047858 \text{ lb/jam}}{70,743949 \text{ lb/ft}^3} = 89,718597 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,024922 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} \text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0,024922)^{0,45} \cdot (70,743949)^{0,13} \\ &= 1,288206 \text{ in} \end{aligned}$$

$$= 0,107350 \text{ ft}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa  $1\frac{1}{4}$  in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 1,380 in
- OD = 1,660 in
- A = 0,01040 ft<sup>2</sup>

f. Nozzle untuk Hand Hole

o Dimensi Hand Hole

Dari Brownell dan Young, fig. 12.3, hlm 222, maka sebuah hand hole direncanakan dengan diameter 10 in. Flange untuk hand hole digunakan tipe standar 150 lb forged slip on-flange (168).

1. Ukuran nominal (NPS) = 10 in
2. Diameter luar flange (A) = 16 in
3. Ketebalan flange (T) =  $1\frac{3}{16}$  in
4. Diameter luar pembesaran permukaan (R) =  $12\frac{3}{4}$  in
5. Diameter pusat dari dasar (E) = 12 in
6. Panjang (L) =  $1\frac{15}{16}$  in
7. Jumlah lubang baut = 12 buah
8. Diameter lubang = 1 in
9. Diameter baut =  $\frac{7}{8}$  in
10. Bolt circle =  $14\frac{1}{4}$
11. Dalam (B) = 10,88

o Tutup Hand Hole



Dari Brownell dan Young, fig. 12.6, hlm 222, dipilih standar 150 lb blind flange (168).

1. Ukuran nominal pipa (NPS) = 10 in
2. Diameter luar flange (A) = 16 in
3. Tebal flange minimum (T) =  $1 \frac{3}{16}$  in
4. Diameter luar pembesaran permukaan =  $12 \frac{3}{4}$  in
5. Diameter lubang baut = 1 in
6. Jumlah lubang baut = 12 buah
7. Diameter baut =  $\frac{7}{8}$  in
8. Bolt circle =  $14 \frac{1}{4}$

Dari Brownell & Young tabel 12.2 hal. 221 diperoleh dimensi flange untuk semua nozzle, dipilih flange standar type welding neck dengan dimensi nozzle sebagai berikut :

Tabel 6.6.1. Dimensi Flange pada masing-masing Pipa

Nozzle	NPS	A	T	R	E	K	L	B
A	$1 \frac{1}{4}$	$4 \frac{3}{8}$	$\frac{5}{8}$	$2 \frac{1}{2}$	$2 \frac{5}{16}$	1,66	$2 \frac{1}{4}$	1,38
B	$\frac{3}{4}$	$3 \frac{7}{8}$	$\frac{1}{2}$	$1 \frac{1}{16}$	$1 \frac{1}{2}$	1,05	$2 \frac{1}{16}$	0,82
C	$\frac{1}{2}$	$3 \frac{1}{2}$	$\frac{1}{16}$	$1 \frac{3}{8}$	$1 \frac{3}{16}$	0,84	$1 \frac{7}{8}$	0,62
D	3	$7 \frac{1}{2}$	$\frac{15}{16}$	5	$4 \frac{1}{4}$	3,50	$2 \frac{3}{4}$	3,07
E	$\frac{3}{4}$	$3 \frac{7}{8}$	$\frac{1}{2}$	$1 \frac{1}{16}$	$1 \frac{1}{2}$	1,05	$2 \frac{1}{16}$	0,82
F	$1 \frac{1}{4}$	$4 \frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$2 \frac{1}{2}$	$2 \frac{5}{16}$	1,66	$2 \frac{1}{4}$	1,38
G	10	16	$1 \frac{3}{16}$	$12 \frac{3}{4}$	12	10,75	4	10,02

Keterangan :

- Nozzle A = Nozzle untuk pemasukan feed
- Nozzle B = Nozzle untuk pemasukan larutan  $\text{HNO}_3$
- Nozzle C = Nozzle untuk pemasukan katalis  $\text{V}_2\text{O}_5$
- Nozzle D = Nozzle untuk pemasukan dan pengeluaran koil pemanas
- Nozzle E = Nozzle untuk pengeluaran gas
- Nozzle F = Nozzle untuk pengeluaran produk
- Nozzle G = Nozzle untuk Hand Hole
- NPS = Ukuran pipa nominal, in
- A = Diameter luar flange, in
- T = Ketebalan flange minimum, in
- R = Diameter luar pembesaran permukaan, in
- E = Diameter pusat dari dasar, in
- K = Diameter hubungan pada titik pengelasan, in
- L = Panjang julakan, in
- B = Diameter dalam flange, in

Tabel 6.6.2. Dimensi Diameter Flange

No.	Nozzle	NPS	Diamtr Lbng	Diamtr Baut	Sirkulasi Baut	Jumlah Baut
1.	Feed	1 ¼	5/8	½	3 ½	3
2.	$\text{HNO}_3$	¾	5/8	½	2 5/4	3
3.	$\text{V}_2\text{O}_5$	½	5/8	½	2 5/8	2
4.	Steam	3	¾	5/8	6	10
5.	Gas	¾	5/8	½	2 5/4	3
6.	Produk	1 ¼	5/8	½	3 ½	3
7.	Hand Hole	10	1	7/8	14	52

Dari Hesse, tabel 16-1 hal. 457, untuk bahan Hot Rolled Steel SAE 1020, mengandung karbon = 20%, dengan batas = 36000 lb/in<sup>2</sup>.

S = maksimum design shering stress yang diijinkan

$$\begin{aligned} S &= 20\% \times (36000) \text{ lb/in}^2 \\ &= 7200 \text{ lb/in}^2 \end{aligned}$$

Maka didapatkan diameter poros pengaduk (D) :

$$D = \left( \frac{16 \times T}{\pi \times S} \right)^{1/3}$$

$$D = \left( \frac{16 \times 420.1666 \text{ lb.in}}{3.14 \times 7200 \text{ lb/in}^2} \right)^{1/3}$$

$$D = 0.667259 \text{ in}$$

## 2. Panjang poros

Rumus :

$$L = h + i - Z_i$$

Dimana :

L = panjang poros (ft)

Z<sub>i</sub> = jarak impeller dari dasar tangki = 32,23125 in = 2,685938 ft

i = panjang poros diatas bejana tangki = 8,953125 in = 0,746094 ft

h = tinggi silinder + tinggi tutup atas

$$= (107,4375 + 12,052535) \text{ in} = 119,490035 \text{ in} = 9,957503 \text{ ft}$$

Jadi panjang poros pengaduk :

$$\begin{aligned} L &= (119,490035 \text{ in} + 8,953125 \text{ in}) - 32,23125 \text{ in} \\ &= 96,211910 \text{ in} = 8,017659 \text{ ft} \end{aligned}$$



### 6.3. Perhitungan Nozzle

Perencanaan :

- Nozzle pada tutup atas standard dishead
  - Nozzle untuk pemasukan umpan/feed
  - Nozzle untuk pemasukan larutan  $\text{HNO}_3$
  - Nozzle untuk pemasukan katalis  $\text{V}_2\text{O}_5$
  - Nozzle untuk pengeluaran gas
- Nozzle untuk silinder reaktor
  - Nozzle untuk pemasukan koil
  - Nozzle untuk pengeluaran koil
- Nozzle pada tutup bawah conical
  - Nozzle untuk pengeluaran produk
- Digunakan flange standard type Welding neck pada :
  - Nozzle untuk pemasukan feed
  - Nozzle untuk pemasukan larutan  $\text{HNO}_3$
  - Nozzle untuk pemasukan katalis  $\text{V}_2\text{O}_5$
  - Nozzle untuk pengeluaran gas
  - Nozzle untuk pemasukan koil
  - Nozzle untuk pengeluaran koil
  - Nozzle untuk pengeluaran produk
- Bahan konstruksi untuk nozzle menggunakan High Alloy Steel.

## Dasar Perhitungan

### a. Nozzle pemasukan feed

- Rate feed masuk = 237.916507 kg/jam = 524.510732 lb/jam
- Densitas feed = 78.295789 lb/ft<sup>3</sup>

Perhitungan :

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{\text{Rate feed masuk}}{\rho \text{ feed}}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{237.916507 \text{ lb/jam}}{78.295789 \text{ lb/ft}^3} = 6.699092 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0.001861 \text{ ft}^3/\text{dt}\end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhause fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned}\text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0.001861)^{0,45} \cdot (78.29578)^{0,13} \\ &= 0.406089 \text{ in} = 0.033841 \text{ ft}\end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa 1¼ in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 1,380 in
- OD = 1,660 in
- A = 0,01040 ft<sup>2</sup>

### b. Nozzle pemasukan larutan HNO<sub>3</sub>

- Rate HNO<sub>3</sub> masuk = 86.463244 kg/jam = 190.616868 lb/jam
- Densitas HNO<sub>3</sub> = 72.866074 lb/ft<sup>3</sup>

Perhitungan :

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate HNO}_3 \text{ masuk}}{\rho \text{ HNO}_3} \\ &= \frac{190.616868 \text{ lb/jam}}{72.866074 \text{ lb/ft}^3} = 2.615989 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0.000727 \text{ ft}^3/\text{dt}\end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhause fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned}\text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0.000727)^{0,45} \cdot (72.866074)^{0,13} \\ &= 0.263507 \text{ in} \\ &= 0.021959 \text{ ft}\end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa  $\frac{3}{4}$  in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 0,824 in
- OD = 1,050 in
- A = 0,00371 ft<sup>2</sup>

c. Nozzle pemasukan katalis V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

- Rate V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> masuk = 0.354006 kg/jam = 0.780442 lb/jam
- Densitas V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 209,578405 lb/ft<sup>3</sup>

Perhitungan :

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{\text{Rate V}_2\text{O}_5 \text{ masuk}}{\rho \text{ V}_2\text{O}_5}$$

$$= \frac{0.780442 \text{ lb/jam}}{209,578405 \text{ lb/ft}^3} = 0.003724 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0.000001 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} \text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0,000013)^{0,45} \cdot (209,578405)^{0,13} \\ &= 0,050159 \text{ in} \\ &= 0,004180 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa ½ in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 0,622 in
- OD = 0,840 in
- A = 0,00211 ft<sup>2</sup>

d. Nozzle pemasukan dan pengeluaran koil pemanas

- Rate steam masuk = 9458,346218 kg/jam = 20851,870072 lb/jam
- Densitas steam = 31,204 lb/ft<sup>3</sup>

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate steam masuk}}{\rho \text{ steam}} \\ &= \frac{20851,870072 \text{ lb/jam}}{31,204 \text{ lb/ft}^3} = 668,243497 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,185623 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} Di \text{ opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0,185623)^{0,45} \cdot (31,204)^{0,13} \\ &= 2,858883 \text{ in} \\ &= 0,238240 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa 3 in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 3,068 in
- OD = 3,500 in
- A = 0,05130 ft<sup>2</sup>

e. Nozzle pengeluaran produk

- Rate produk keluar = 2879,002022 kg/jam = 6347,047858 lb/jam
- Densitas produk = 70,743949 lb/ft<sup>3</sup>

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate produk keluar}}{\rho \text{ produk}} \\ &= \frac{6347,047858 \text{ lb/jam}}{70,743949 \text{ lb/ft}^3} = 89,718597 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,024922 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} Di \text{ opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0,024922)^{0,45} \cdot (70,743949)^{0,13} \\ &= 1,288206 \text{ in} \end{aligned}$$



$$= 0,107350 \text{ ft}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa 1½ in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 1,380 in
- OD = 1,660 in
- A = 0,01040 ft<sup>2</sup>

f. Nozzle untuk Hand Hole

o Dimensi Hand Hole

Dari Brownell dan Young, fig. 12.3, hlm 222, maka sebuah hand hole direncanakan dengan diameter 10 in. Flange untuk hand hole digunakan tipe standar 150 lb forged slip on-flange (168).

1. Ukuran nominal (NPS) = 10 in
2. Diameter luar flange (A) = 16 in
3. Ketebalan flange (T) = 1 3/16 in
4. Diameter luar pembesaran permukaan (R) = 12 ¾ in
5. Diameter pusat dari dasar (E) = 12 in
6. Panjang (L) = 1 15/16 in
7. Jumlah lubang baut = 12 buah
8. Diameter lubang = 1 in
9. Diameter baut = 7/8 in
10. Bolt circle = 14 ¼
11. Dalam (B) = 10,88

o Tutup Hand Hole

Dari Brownell dan Young, fig. 12.6, hlm 222, dipilih standar 150 lb blind flange (168).

1. Ukuran nominal pipa (NPS) = 10 in
2. Diameter luar flange (A) = 16 in
3. Tebal flange minimum (T) =  $1 \frac{3}{16}$  in
4. Diameter luar pembesaran permukaan =  $12 \frac{3}{4}$  in
5. Diameter lubang baut = 1 in
6. Jumlah lubang baut = 12 buah
7. Diameter baut =  $\frac{7}{8}$  in
8. Bolt circle =  $14 \frac{1}{4}$

Dari Brownell & Young tabel 12.2 hal. 221 diperoleh dimensi flange untuk semua nozzle, dipilih flange standar type welding neck dengan dimensi nozzle sebagai berikut :

Tabel 6.6.1. Dimensi Flange pada masing-masing Pipa

Nozzle	NPS	A	T	R	E	K	L	B
A	$1 \frac{1}{4}$	$4 \frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$2 \frac{1}{2}$	$2 \frac{5}{16}$	1,66	$2 \frac{1}{4}$	1,38
B	$\frac{3}{4}$	$3 \frac{7}{8}$	$\frac{1}{2}$	$1 \frac{11}{16}$	$1 \frac{1}{2}$	1,05	$2 \frac{1}{16}$	0,82
C	$\frac{1}{2}$	$3 \frac{1}{2}$	$\frac{7}{16}$	$1 \frac{3}{8}$	$1 \frac{3}{16}$	0,84	$1 \frac{7}{8}$	0,62
D	3	$7 \frac{1}{2}$	$\frac{15}{16}$	5	$4 \frac{1}{4}$	3,50	$2 \frac{3}{4}$	3,07
E	$\frac{3}{4}$	$3 \frac{7}{8}$	$\frac{1}{2}$	$1 \frac{11}{16}$	$1 \frac{1}{2}$	1,05	$2 \frac{1}{16}$	0,82
F	$1 \frac{1}{4}$	$4 \frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$2 \frac{1}{2}$	$2 \frac{5}{16}$	1,66	$2 \frac{1}{4}$	1,38
G	10	16	$1 \frac{3}{16}$	$12 \frac{3}{4}$	12	10,75	4	10,02

Keterangan :

- Nozzle A = Nozzle untuk pemasukan feed
- Nozzle B = Nozzle untuk pemasukan larutan HNO<sub>3</sub>
- Nozzle C = Nozzle untuk pemasukan katalis V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- Nozzle D = Nozzle untuk pemasukan dan pengeluaran koil pemanas
- Nozzle E = Nozzle untuk pengeluaran gas
- Nozzle F = Nozzle untuk pengeluaran produk
- Nozzle G = Nozzle untuk Hand Hole
- NPS = Ukuran pipa nominal, in
- A = Diameter luar flange, in
- T = Ketebalan flange minimum, in
- R = Diameter luar pembesaran permukaan, in
- E = Diameter pusat dari dasar, in
- K = Diameter hubungan pada titik pengelasan, in
- L = Panjang julakan, in
- B = Diameter dalam flange, in

Tabel 6.6.2. Dimensi Diameter Flange

No.	Nozzle	NPS	Diamtr Lbng	Diamtr Baut	Sirkulasi Baut	Jumlah Baut
1.	Feed	1 ¼	5/8	½	3 ½	3
2.	HNO <sub>3</sub>	¾	5/8	½	2 5/4	3
3.	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	½	5/8	½	2 5/8	2
4.	Steam	3	¾	5/8	6	10
5.	Gas	¾	5/8	½	2 5/4	3
6.	Produk	1 ¼	5/8	½	3 ½	3
7.	Hand Hole	10	1	7/8	14	52

#### 6.4. Perhitungan Coil Pemanas

Dalam reaktor, reaksi terjadi adalah reaksi endotermis dan beroperasi pada suhu 71°C. Sehingga diperlukan coil pemanas dengan steam sebagai media pemanas untuk memberikan panas pada reaksi tersebut sehingga reaksi tetap pada suhu 71°C.

##### Dasar perencanaan :

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan steam dalam reactor} &= 9573.1858 \text{ kkal/jam} \\ &= 37964.7278 \text{ Btu/jam}\end{aligned}$$

- Steam masuk pada suhu 160°C (= 320°F)
- Steam keluar pada suhu 160°C (=320°F)
- Panas laten steam pada suhu 160°C = 661,944 kkal/kg (Kern, tabel 7 hal. 816)
- Tekanan operasi 75 psig
- Menggunakan coil pemanas dengan bentuk spiral
- Bahan konstruksi = High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316  
(Brownell & Young, tabel 13.1 hal. 251)
- Menentukan  $\Delta T_{LMTD}$  :
  - $t_1$  = suhu bahan masuk = 25°C = 77°F
  - $t_2$  = suhu bahan keluar = 71°C = 159,8°F
  - $T_1$  = suhu steam masuk = 160°C = 320°F
  - $T_2$  = suhu steam keluar = 160°C = 320°F
  - $\Delta t_1$  = (320 – 77) °F = 243°F
  - $\Delta t_2$  = (320 – 159,8) °F = 160,2°F

$$\begin{aligned}
 - \Delta T_{\text{LMTD}} &= \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(243 - 160,2)^\circ\text{F}}{\ln \frac{243^\circ\text{F}}{160,2^\circ\text{F}}} \\
 &= 198,733478^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

- Menentukan suhu kaloric :

$$- T_c = \frac{1}{2} (T_1 + T_2) = \frac{1}{2} (320 + 320)^\circ\text{F} = 320^\circ\text{F}$$

$$- t_c = \frac{1}{2} (t_1 + t_2) = \frac{1}{2} (77 + 159,8)^\circ\text{F} = 118,4^\circ\text{F}$$

- Ukuran pipa yang digunakan 2 in IPS Sch. 40, dengan ukuran :

(Kern, tabel 11 hal. 844)

$$- D_o = 2,380 \text{ in} = 0,198333 \text{ ft}$$

$$- D_i = 2,067 \text{ in} = 0,172250 \text{ ft}$$

$$- a'' = 0,622 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

$$- a_p = 3,350 \text{ in}^2 = 0,023264 \text{ ft}^2$$

#### Dasar perhitungan :

- Koefisien perpindahan panas bagian dalam pipa coil pemanas

Diketahui :

$$h_{i0} \text{ steam} = 1500 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F}$$

( $h_{i0}$  = koefisien perpindahan panas dari pipa luar yang dikoreksi terhadap diameter pipa dalam, Btu/h.ft<sup>2</sup>.°F)

- Koefisien perpindahan panas bagian permukaan shell reaktor.

$$\begin{aligned}
 \circ G_p &= \frac{\text{Massa steam}}{a_p} = \frac{9573.1858 \text{ lb/jam}}{0,023264 \text{ ft}^2} \\
 &= 907201.94903 \text{ lb/h.ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \circ N_{Re} &= \frac{D_i \times G_p}{\mu \times 2,42} \\
 &= \frac{(0,172250 \text{ ft}) \times (896319,191163 \text{ lb/h.ft}^2)}{(0,024 \times 2,42) \text{ lb/h.ft}} \\
 &= 2690522.3092 > 2100 \quad (\text{aliran turbulen})
 \end{aligned}$$

Dari Mc Cabe II hal. 47, diketahui alirannya adalah turbulen ( $N_{Re} > 2100$ ).

$$\circ J_H = 2000 \quad (\text{Kern, fig. 20.2 hal. 718})$$

$$\circ h_o = J_H \cdot \frac{k}{D_i} \cdot \left( \frac{C_p \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \cdot \left( \frac{\mu}{\mu \cdot W} \right)^{0,14}$$

Dimana :

$$- \left( \frac{\mu}{\mu \cdot W} \right)^{0,14} = 1$$

$$- C_p = \text{kapasitas panas campuran} = 0,886 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

$$- \mu = \text{viskositas campuran} = 0,024 \text{ cp}$$

$$- k = \text{konduktivitas thermal campuran} = 0,2 \quad (\text{Kern, tabel 5 hal. 801})$$

$$- D_i = 0,172250 \text{ ft}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 h_o &= (2000) \times \left( \frac{0,2}{0,172250} \right) \times \left( \frac{(0,886) \times (0,024 \times 2,42)}{0,2} \right)^{1/3} \\
 &= 4318.744798 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

- Tahanan panas pada pipa dalam keadaan bersih

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$$

$$U_c = \frac{(1500 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F}) \times (4318,744798 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F})}{(1500 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F}) + (4318,744798 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F})}$$

$$= 1113,318666 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F}$$

- Tahanan panas pada pipa dalam keadaan kotor

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d}$$

$$0,003 = \frac{1113,318666 - U_d}{1113,318666 \times U_d}$$

$$3,339958 U_d = 1113,318666 - U_d$$

$$U_d = 475,786154 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F}$$

- Luas permukaan perpindahan panas

$$A = \frac{Q}{U_d \times \Delta T_{LMTD}} \text{ ft}^2$$

$$= \frac{25286236,06540 \text{ Btu/h}}{(475,786154 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F}) \times (198,733478 \text{ °F})}$$

$$= 67,433787 \text{ ft}^2$$

- Panjang coil pemanas

$$L = A / a''$$

$$L = \frac{67,433787 \text{ ft}^2}{0,622 \text{ ft}^2/\text{ft}}$$

$$L = 108,414449 \text{ ft}$$

- Jumlah lilitan coil pemanas

$$n_c = \frac{L}{(\pi \times D_{\text{coil}})}$$

$D_{\text{pengaduk}} < D_{\text{coil}} < D_{\text{bejana}} = 2,984375 \text{ ft} < D_{\text{coil}} < 5,968750 \text{ ft}$

$D_{\text{coil}} = 4,5 \text{ ft}$

$$n_c = \frac{108,414449 \text{ ft}}{(\pi \times 4,5 \text{ ft})}$$
$$= 7,665668 \approx 8 \text{ lilitan}$$

- Tinggi coil pemanas

$$L_c = [(n_c - 1)(n_c + D_o) + D_o]$$
$$= [(8 - 1) \times (8 + 0,198333 \text{ ft})] + (0,198333 \text{ ft})$$
$$= 6,253333 \text{ ft} = 75,04 \text{ in}$$

Karena  $L_c (= 6,253333 \text{ ft}) < L_{ls} (= 6,844322 \text{ ft})$ , jadi perhitungan coil pemanas sudah memadai.

## 6.5. Sambungan Tutup (Head) dengan Dinding Reactor

Bagian tutup reaktor dan bagian shell reaktor dihubungkan secara flange dan bolting untuk mempermudah perbaikan dan perawatan reaktor.

### 1. Flange

Dari Brownell & Young, App. D-4 hal. 342, didapatkan :

Bahan konstruksi : High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316

Tensile strength minimum : 75000 psia

Allowable stress (f) : 18750

Type flange : Ring flange loose type

### 2. Bolting

Dari Brownell & Young, App. D-4 hal. 344, didapatkan :

Bahan konstruksi : High Alloy Steel SA 193 Grade B8c type 347

Tensile strength minimum : 75000 psia



Allowable stress (f) : 15000

### 3. Gasket

Dari Brownell & Young, Fig. 12.11 hal. 228, didapatkan :

Bahan konstruksi : asbestos filled

Gasket factor (m) : 3,75

Min design seating stress (y) : 9000 psia

#### 6.5.1. Perhitungan Tebal Gasket

Dari Brownell & Young, persamaan 12.2 hal. 226 :

$$\frac{d_o}{d_i} = \sqrt{\frac{y - p.m}{y - p(m + 1)}}$$

Dimana :

- $d_o$  = diameter luar gasket
- $d_i$  = diameter dalam gasket
- $y$  = yield stress (9000 psia)
- $p$  = internal pressure (89,7 psia)
- $m$  = gasket factor (3,75)



Diketahui  $d_i$  gasket =  $D_o$  shell = 72 in = 6 ft

Maka didapatkan :

$$\frac{d_o}{6} = \sqrt{\frac{9000 - (89,7 \times 3,75)}{9000 - 89,7(3,75 + 1)}}$$

$$\frac{d_o}{6} = 1,005217$$

$$d_o = 6,031304 \text{ ft}$$

$$= 72,375650 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar gasket minimum} &= \frac{d_o - d_i}{2} \\
 &= \frac{(72,375650 - 72) \text{ in}}{2} \\
 &= 0,187825 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Diambil gasket (n) = 3/16 in = 0,1875 in

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter rata-rata gasket (G)} &= d_i + n \\
 &= 72 \text{ in} + 0,1875 \text{ in} \\
 &= 72,1875 \text{ in} \\
 &= 6,015625 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

### 6.5.2. Perhitungan Tebal Flange

Dari Brownell & Young, persamaan 12.85 hal. 239 :

$$f_t = \frac{Y \cdot M_0}{t^2 \cdot B}$$

Sehingga didapatkan rumus :

$$t = \sqrt{\frac{Y \times M}{f \times B}} \quad \text{dan}$$

$$k = A/B$$

Dimana :

- A = diameter luar flange (72,310395 in = 6,025866 ft)
- B = diameter dalam flange (72 in = 6 ft)
- f = stress yang diijinkan untuk bahan flange (18750 psia)

Maka :

$$k = A/B = (6,025866 \text{ ft}) : (6 \text{ ft})$$

$$k = 1,004311$$

Dari Brownell & Young, fig. 12.22 hal 238, didapatkan :

- $Y = 100$
- $M = 3179225,913 \text{ lb.in}$

Sehingga tebal flange :

$$t = \sqrt{\frac{(100) \times (3179225,913 \text{ lb.in})}{(18750 \text{ psia}) \times (72 \text{ in})}}$$

$$t = 15,345951 \text{ in}$$

$$= 1,278829 \text{ ft}$$

### 6.5.3. Perhitungan Jumlah dan Ukuran Baut (Bolting)

➤ Perhitungan beban baut

- Dari Brownell & Young, persamaan 12.88 hal. 240 :

Beban gasket supaya tidak bocor ( $H_y$ )

$$W_{m2} = H_y = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

- Dari Brownell & Young, fig. 12.12 hal. 229 :

$$\begin{aligned} \text{Lebar setting gasket bawah} &= b_o = n/2 \\ &= (0,375/2) = 0,1875 \end{aligned}$$

- Sehingga didapatkan  $H_y$  :

$$H_y = W_{m2} = (\pi) \times (0,1875) \times (72,1875) \times (9000)$$

$$H_y = 383845,982143 \text{ lb}$$

- Dari Brownell & Young, persamaan 12.90 hal. 240 :

Beban baut agar tidak bocor ( $H_p$ )

$$H_p = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot p$$

$$H_p = 2 \times (\pi) \times (0,1875) \times (72,1875) \times (3,75) \times (89,7)$$

$$H_p = 383845,982143 \text{ lb}$$

- Dari Brownell & Young, persamaan 12.89 hal. 240 :

Beban karena tekanan dalam (H)

$$H = \pi/4 \cdot G^2 \cdot p$$

$$H = (\pi/4) \times (72,1875)^2 \times (89,7)$$

$$H = 367266,313477 \text{ lb}$$

- Dari Brownell & Young, persamaan 12.91 hal. 240 :

Total berat beban pada kondisi operasi ( $W_{m1}$ )

$$W_{m1} = H + H_p$$

$$= 367266,313477 \text{ lb} + 383845,982143 \text{ lb}$$

$$= 395884,467773 \text{ lb}$$

Karena  $W_{m1} > W_{m2}$ , maka yang mengontrol adalah  $W_{m1}$ .

➤ Perhitungan luas minimum bolting area

Dari Brownell & Young, persamaan 12.93 hal.240

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{f_a}$$

$$A_{m2} = \frac{383845,982143 \text{ lb}}{15000 \text{ lb/in}^2}$$

$$= 25,589732 \text{ in}^2$$

$$= 0,177706 \text{ ft}^2$$

➤ Perhitungan Bolting Optimum

Dari Brownell & Young, tabel 10.4 hal. 188 :

- Ukuran baut = 2 in

- Root area =  $2,3 \text{ in}^2$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah bolting optimum} &= \frac{A_{m2}}{\text{root area}} = \frac{25,589732 \text{ in}^2}{2,3 \text{ in}^2} \\ &= 11,12597 \\ &\approx 12 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dari Brownell & Young, tabel 10.4 hal. 188 :

- Bolt spacing distance preference ( $B_s$ ) = 3 in
- Minimum radial distance (R) =  $2 \frac{1}{2}$  in
- Edge distance (E) = 2 in
- Bolting circle diameter (C) :

$$C = D_i \text{ shell} + 2 (14,5 \cdot g_o + R)$$

Dimana :

- $D_i \text{ shell} = 71,625 \text{ in}$
- $g_o = \text{tebal shell } (t_s) = 3/16 \text{ in}$

Maka bolting circle diameter (C) :

$$\begin{aligned} C &= (71,625 \text{ in}) + 2 [(14,5) \cdot (3/16 \text{ in}) + (2 \frac{1}{2} \text{ in})] \\ &= 79,5625 \text{ in} \end{aligned}$$

- Diameter luar flange :

$$\begin{aligned} \text{OD} &= C + 2 E \\ &= (79,5625 \text{ in}) + (2 \times 2 \text{ in}) \\ &= 83,5625 \text{ in} \end{aligned}$$

- Check lebar gasket :

$$A_b \text{ actual} = \text{jumlah bolt} \times \text{root area}$$

$$A_b \text{ actual} = 12 \times 2,3 \text{ in}^2$$

$$A_b \text{ actual} = 27,6 \text{ in}^2$$

◦ Lebar gasket minimum

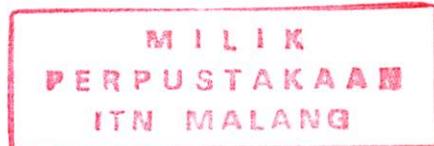
$$\begin{aligned} L &= A_b \text{ actual} \times \frac{f}{2 \times \pi \times y \times g} \\ &= 27,6 \times \frac{15000}{2 \times \pi \times 9000 \times 72,1875} \\ &= 0,007346 \text{ in} \end{aligned}$$

Karena  $L < 2 \text{ in}$ , jadi perhitungan bolting optimum memenuhi.

➤ Perhitungan Moment

➤ Dari Brownell & Young, persamaan 12.94 hal. 242, untuk keadaan bolting up (tanpa tekanan uap dalam) :

$$W = \left( \frac{A_m + A_b}{2} \right) f_a$$



$$\begin{aligned} W &= \left( \frac{25,589732 + 27,6}{2} \right) \times 15000 \\ &= 398922,991071 \text{ lb} \end{aligned}$$

➤ Dari Brownell & Young, persamaan 12.101 hal. 242 :

$$h_G = \frac{C - G}{2}$$

$$h_G = \frac{79,5625 \text{ in} - 72,1875 \text{ in}}{2} = 3,6875 \text{ in}$$

➤ Moment flange ( $M_a$ ) :

Dari Brownell & Young, halaman 243 :

$$M_a = W \cdot h_G$$

$$M_a = (398922,991071 \text{ lb}) \times (3,6875 \text{ in})$$

$$M_a = 1471028,529576 \text{ lb.in}$$

➤ Dari Brownell & Young, persamaan 12.95 hal. 243 :

Dalam kondisi operasi :

$$W = W_{ml} = 395884,467773 \text{ lb}$$

➤ Hidrastic and force pada daerah dalam flange ( $H_D$ )

Dari Brownell & Young, persamaan 12.96 hal. 243 :

$$H_D = 0,785 \cdot B^2 \cdot p$$

Dimana :

-  $B = D_o \text{ shell reactor} = 72 \text{ in}$

-  $p = \text{tekanan operasi} = 89,7 \text{ lb/in}^2$

Maka :

$$\begin{aligned} H_D &= (0,785) \times (72 \text{ in})^2 \times (89,7 \text{ lb/in}^2) \\ &= 365028,768 \text{ lb} \end{aligned}$$

➤ Jarak radial bolt circle pada aksi ( $h_D$ )

Dari Brownell & Young, persamaan 12.100 hal. 243 :

$$\begin{aligned} h_D &= \frac{C - B}{2} \\ &= \frac{1}{2} (79,5625 \text{ in} - 72 \text{ in}) \\ &= 3,78125 \text{ in} \end{aligned}$$

➤ Moment  $M_D$

Dari Brownell & Young, persamaan 12.96 hal. 242 :

$$\begin{aligned} M_D &= H_D \times h_D \\ &= (365028,768 \text{ lb}) \times (3,78125 \text{ in}) \end{aligned}$$

$$M_D = 1380265,029 \text{ lb.in}$$

➤ Dari Brownell & Young, persamaan 12.98 hal. 242 :

$$\begin{aligned} H_G &= W - H = W_{ml} - H \\ &= (395884,467773 \text{ lb}) - (367266,313477 \text{ lb}) \\ &= 28618,154297 \text{ lb} \end{aligned}$$

➤ Moment  $M_G$

Dari Brownell & Young, persamaan 12.98 hal. 242 :

$$\begin{aligned} M_G &= H_G \times h_G \\ &= (28618,154297 \text{ lb}) \times (3,6875 \text{ in}) \\ &= 105529,443970 \text{ lb.in} \end{aligned}$$

➤ Dari Brownell & Young, persamaan 12.97 hal. 242 :

$$\begin{aligned} H_T &= H - H_D \\ &= (367266,313477 \text{ lb}) - (365028,768 \text{ lb}) \\ &= 2237,545477 \text{ lb} \end{aligned}$$

➤ Dari Brownell & Young, persamaan 12.102 hal. 244 :

$$\begin{aligned} h_T &= \frac{h_D + h_G}{2} \\ &= \frac{1}{2} (3,78125 \text{ in} + 3,6875 \text{ in}) \\ &= 3,734375 \text{ in} \end{aligned}$$

➤ Moment  $M_T$

Dari Brownell & Young, persamaan 12.97 hal. 242 :

$$\begin{aligned} M_T &= H_T \times h_T \\ &= (2237,545477 \text{ lb}) \times (3,734375 \text{ in}) \end{aligned}$$



$$M_T = 8355,833889 \text{ lb.in}$$

Moment total pada keadaan operasi ( $M_o$ ) :

$$\begin{aligned} M_o &= M_D + M_G + M_T \\ &= (1380265,029 + 105529,443970 + 8355,833889) \text{ lb.in} \\ &= 1494150,306859 \text{ lb.in} \end{aligned}$$

Karena  $M_a < M_o$ , maka  $m_{\max} = M_o = 1494150,306859 \text{ lb.in}$

### **Kesimpulan Perancangan :**

#### **1. Flange**

Bahan konstruksi : High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316

Tensile strength minimum : 75000 psia

Allowable stress (f) : 18750

Tebal flange : 15,345951 in

Diameter dalam ( $D_i$ ) flange : 72 in

Diameter luar ( $D_o$ ) flange : 72,310395 in

Type flange : Ring flange loose type

#### **2. Bolting**

Bahan konstruksi : High Alloy Steel SA 193 Grade B8c type 347

Tensile strength minimum : 75000 psia

Ukuran baut : 2 in

Jumlah baut : 12 buah

Allowable stress (f) : 15000

### 3. Gasket

Bahan konstruksi	:	asbestos filled
Gasket factor (m)	:	3,75
Min design seating stress (y)	:	9000 psia
Tebal gasket	:	3/16 in = 0,1875 in

### 6.6. Perhitungan Sistem Penyangga Reactor

Sistem penyangga dirancang agar mampu untuk penyangga beban reactor dan perlengkapannya.

Beban-beban yang ditahan oleh penyangga reactor meliputi :

- Berat shell reactor
- Berat tutup atas standard dishead
- Berat tutup bawah reactor
- Berat liquid dalam reactor
- Berat pengaduk dan perlengkapannya
- Berat coil pemanas
- Berat attachment

#### Dasar Perhitungan :

##### □ Berat shell reactor

Rumus :

$$W_s = \pi/4 (D_o^2 - D_i^2) H \cdot \rho$$

Dimana :

-  $W_s$  = berat shell reactor, lb

- $D_o$  = diameter luar shell = 72 in = 6 ft
- $D_i$  = diameter dalam shell = 71,625 in = 5,96875 ft
- $H$  = tinggi shell reactor ( $L_s$ ) = 142,666391 in = 11,888866 ft
- $\rho$  = densitas dari bahan konstruksi = 489 lb/ft<sup>3</sup>

(Perry, edisi 6 tabel 3-118 hal. 3-95, stell cold drawn)

Berat reactor :

$$\begin{aligned}
 W_s &= (\pi/4) \times [(6 \text{ ft})^2 - (5,96875 \text{ ft})^2] \times (11,888866 \text{ ft}) \times (489 \text{ lb/ft}^3) \\
 &= 1708,491239 \text{ lb} \\
 &= 774,966542 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

□ **Berat tutup atas standard dishead**

Rumus :

$$W_d = A \cdot t \cdot \rho$$

$$A = 6,28 \cdot L \cdot h \quad (\text{Hesse, persamaan 4-16 hal. 92})$$

Dimana :

- $W_d$  = berat tutup atas reactor, lb
- $A$  = luas tutup atas standard dishead, ft<sup>2</sup>
- $t$  = tebal tutup atas (tha) = 3/16 in = 0,1875 in
- $\rho$  = densitas dari bahan konstruksi = 489 lb/ft<sup>3</sup>

(Perry, edisi 6 tabel 3-118 hal. 3-95, stell cold drawn)

- $L$  = crown radius ( $r$ ) = 72 in = 6 ft
- $h$  = tinggi tutup atas reactor ( $h_a$ ) = 12,052535 in = 1,004378 ft

Luas tutup atas :

$$A = (6,28) \times (72 \text{ in}) \times (12,052535 \text{ in})$$

$$= 5449,674114 \text{ in}^2$$

$$= 37,844959 \text{ ft}^2$$

Berat tutup atas :

$$W_d = (37,844959 \text{ ft}^2) \times (0,1875/12) \text{ ft} \times (489 \text{ lb/ft}^3)$$

$$W_d = 289,159141 \text{ lb}$$

$$= 131,161726 \text{ kg}$$

□ **Berat tutup bawah conical**

Rumus :

$$W_d = A \cdot t \cdot \rho$$

$$A = 0,785 (D + m) \sqrt{4h^2 + (D - m)^2} + 0,78 d^2$$

(Hesse, persamaan 4-16 hal. 92)

Dimana :

-  $W_d$  = berat tutup bawah reactor, lb

-  $A$  = luas tutup bawah conical,  $\text{ft}^2$

-  $t$  = tebal tutup bawah (thb) =  $\frac{3}{8}$  in = 0,375 in

-  $\rho$  = densitas dari bahan konstruksi = 489  $\text{lb/ft}^3$

(Perry, edisi 6 tabel 3-118 hal. 3-95, stell cold drawn)

-  $D$  = diameter dalam silinder = 71,625 in = 5,96875 ft

-  $h$  = tinggi tutup bawah reaktor (thb) = 23,176357 in = 1,931363 ft

-  $m$  = flat spot diameter =  $\frac{1}{2} D = \frac{1}{2} (71,625 \text{ in})$

$$= 35,8125 \text{ in} = 2,984375 \text{ ft}$$

Luas tutup bawah :

$$A = \left[ (0,785) \times (5,96875 + 2,984375) \times \sqrt{(4 \times 1,931363^2) + (5,96875 - 2,984375)^2} \right]$$

$$+ (0,785 \times 5,96875)$$

$$A = 57,705764 \text{ ft}^2$$

$$= 8309,630084 \text{ in}^2$$

Berat tutup bawah :

$$W_d = (57,705764 \text{ ft}^2) \times (0,375/12)\text{ft} \times (489 \text{ lb/ft}^3)$$

$$W_d = 881,816213 \text{ lb}$$

$$= 399,98921 \text{ kg}$$

□ **Berat liquid dalam reactor**

Rumus :

$$W_l = m \cdot t$$



Dimana :

-  $m$  = berat larutan dalam reactor = 7318,32446 lb/jam

-  $t$  = waktu tinggal liquid dalam reactor = 2 jam

Maka :

$$W_l = (7318,32446 \text{ lb/jam}) \times (2 \text{ jam})$$

$$= 14636,648919 \text{ lb}$$

$$= 6639,140397 \text{ kg}$$

□ **Berat poros pengaduk dalam reactor**

Rumus :

$$W_p = V \cdot \rho$$

$$V = \pi/4 \cdot D^2 \cdot L$$

Dimana :

-  $W_p$  = berat poros pengaduk dalam reactor, lb

- $V$  = volume poros pengaduk,  $\text{ft}^3$
- $\rho$  = densitas dari bahan konstruksi =  $489 \text{ lb/ft}^3$   
(Perry, edisi 6 tabel 3-118 hal. 3-95, stell cold drawn)
- $D$  = diameter poros pengaduk =  $1,374984 \text{ in} = 0,134016 \text{ ft}$
- $L$  = panjang poros pengaduk =  $96,211910 \text{ in} = 8,017659 \text{ ft}$

Volume poros pengaduk :

$$V = (\pi/4) \times (0,134016 \text{ ft})^2 \times (8,017659 \text{ ft})$$

$$= 0,113142 \text{ ft}^3$$

Berat poros pengaduk :

$$W_p = (0,113142 \text{ ft}^3) \times (489 \text{ lb/ft}^3)$$

$$= 55,326550 \text{ lb}$$

$$= 25,095958 \text{ kg}$$

□ **Berat impeller dalam reactor**

Rumus :

$$W_i = V \cdot \rho$$

$$V = 4 (p \cdot l \cdot t)$$

$$p = D_i / 2$$

Dimana :

- $W_i$  = berat impeller dalam reactor, lb
- $V$  = volume dari total blades,  $\text{ft}^3$
- $\rho$  = densitas dari bahan konstruksi =  $489 \text{ lb/ft}^3$   
(Perry, edisi 6 tabel 3-118 hal. 3-95, stell cold drawn)
- $p$  = panjang 1 kupingan blade, ft

- $l$  = lebar 1 kupingan blade = 3,58125 in = 0,298438 ft
- $t$  = tebal 1 kupingan blade = 5,96875 in = 0,497396 ft
- $D_i$  = diameter pengaduk = 1,374984 in = 0,134016 ft

Volume impeller pengaduk :

- $p = D_i / 2$   
 $= (0,134016 \text{ ft}) / 2$   
 $= 0,067008 \text{ ft}$
- $V = (4) \times (0,067008 \text{ ft}) \times (0,298438 \text{ ft}) \times (0,497396 \text{ ft})$   
 $= 0,039787 \text{ ft}^3$

Berat impeller pengaduk :

$$\begin{aligned}
 W_i &= (0,039787 \text{ ft}^3) \times (489 \text{ lb/ft}^3) \\
 &= 19,455863 \text{ lb} \\
 &= 8,825122 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

□ Berat coil pemanas dalam reactor

$$W_c = \pi/4 (D_o^2 - D_i^2) H \cdot \rho$$

Dimana :

- $W_c$  = berat coil pemanas dalam reactor, lb
- $D_o$  = diameter luar pipa coil pemanas = 2,38 in = 0,198333 ft
- $D_i$  = diameter dalam pipa coil pemanas = 2,067 in = 0,172250 ft
- $H$  = panjang coil pemanas = 108,414449 ft
- $\rho$  = densitas dari bahan konstruksi = 489 lb/ft<sup>3</sup>

(Perry, edisi 6 tabel 3-118 hal. 3-95, stell cold drawn)

Berat coil pemanas :

$$\begin{aligned}W_c &= (\pi/4) \times [(0,198333)^2 - (5,96875)^2] \text{ft}^2 \times (11,888866 \text{ ft}) \times (489 \text{ lb/ft}^3) \\ &= 402,633262 \text{ lb} \\ &= 182,633250 \text{ kg}\end{aligned}$$

□ Berat Attachment

Berat attachment merupakan berat dari seluruh perlengkapan seperti nozzle, dan sebagainya.

Dari Brownell & Young, halaman 157 :

$$W_a = 18\% W_s$$

Dimana :

-  $W_a$  = berat attachment, lb

-  $W_s$  = berat shell reactor = 1708,491239 lb = 774,966542 kg

Sehingga :

$$\begin{aligned}W_a &= (0,18) \times (1708,491239 \text{ lb}) \\ &= 307,528423 \text{ lb} \\ &= 139,493978 \text{ kg}\end{aligned}$$

Berat total penyangga :

$$\begin{aligned}W_T &= W_s + W_d (\text{tutup atas}) + W_d (\text{tutup bawah}) + W_i + W_p + W_i + W_c + W_a \\ &= (774,966542 + 131,161726 + 399,98921 + 6639,140397 + \\ &\quad 25,095958 + 8,825122 + 182,633250 + 139,493978) \text{ kg} \\ &= 8301,306183 \text{ kg} \\ &= 18301,059611 \text{ lb}\end{aligned}$$

Dengan faktor keamanan adalah 10%, maka berat total beban penyangga =



$$\begin{aligned}
&= (1,1) \times (18301,059611 \text{ lb}) \\
&= 20131,165572 \text{ lb} \\
&= 9131,436801 \text{ kg}
\end{aligned}$$

### 6.7. Perhitungan Kolom Penyangga Reactor (Leg)

Perencanaan :

- Menggunakan 4 buah kolom penyangga (kaki penahan)
- Jenis kolom yang digunakan : I beam

Dasar Perhitungan :

#### □ Beban tiap kolom

Dari Brownell & Young, persamaan 10.76 hal. 195 :

$$P = \frac{4 \cdot P_w \cdot (H - L)}{n \cdot D_{bc}} + \frac{\Sigma W}{n}$$

Dimana :

- P = beban tiap kolom, lb
- $P_w$  = total beban permukaan karena angin, lb
- H = tinggi vessel dari pondasi, ft
- L = jarak antara vessel dengan dasar pondasi, ft
- $D_{bc}$  = diameter anchor bolt circle, ft
- n = jumlah support
- W = berat total, lb
- P = beban kompresi total maksimum untuk tiap leg, lb

Reaktor diletakkan didalam ruangan, sehingga tidak dipengaruhi adanya tekanan angin (beban tekanan angin tidak dikontrol).

Maka berlaku rumus :

$$P_w = 0$$

$$P = \frac{\Sigma W}{n}$$

$$P = \frac{2196,127153 \text{ lb}}{4}$$

$$= 5032,791393 \text{ lb}$$

Direncanakan :

- Jarak kolom penyangga dari tanah (L) = 5 ft
- Tinggi silinder (H) = 142,666391 in  
= 11,888866 ft
- Panjang penyangga =  $\frac{1}{2} (H + L)$   
=  $\frac{1}{2} (11,888866 + 5) \text{ ft}$   
= 10,944433 ft  
= 131,333196 in

Jadi tinggi penyangga (leg) = 10,944433 ft = 131,333196 in

□ **Tral ukuran I beam**

Tral ukuran I beam 5" ukuran 5 x 3 dengan pemasangan memakai beban eksentrik (terhadap sumbu).

Dari Brownell & Young, App. G-3 hal. 355, didapatkan :

- Nominal size = 5 in
- Berat = 10 lb
- Area of section ( $A_y$ ) = 2,87 in<sup>2</sup>
- Depth of beam (h) = 5 in

- Width of flange (b) = 3 in
- Axis (r) = 2,05 in

Analisa terhadap sumbu Y-Y

Dengan :

$$- L/r = (131,333196 \text{ in}) / (2,05 \text{ in})$$

$$L/r = 64,064974$$

Karena  $L/r$  antara 60 – 200 , maka :

$$\begin{aligned}
 - f_c \text{ aman} &= \frac{18000}{1 + \left( \frac{\left( \frac{L}{r} \right)^2}{18000} \right)} \\
 &= \frac{18000}{1 + \left( \frac{(64,0649)^2}{18000} \right)} \\
 &= 14657,767705 \text{ psia}
 \end{aligned}$$

$$- f_c = \frac{P}{A}$$

$$A = \frac{P}{f_c} = \frac{2196,127153 \text{ lb}}{14657,767705 \text{ lb/in}^2}$$

$$= 0,343353 \text{ in}^2 < 2,87 \text{ in}^2 \text{ (memadai)}$$

Karena  $A < A$  yang tersedia, berarti trial I beam sudah memadai.

Kesimpulan perancangan penyangga (leg) :

- Ukuran I beam = 5 x 3 in
- Berat = 10 lb
- Jumlah penyangga = 4 buah

- Peletakan beban dengan beban eksentrik.

## 6.8. Base Plate

Perencanaan :

- Dibuat base plate dengan toleransi panjang adalah 5% dan toleransi lebar 20% (Hesse, hal. 163).
- Digunakan besi cor sebagai bahan konstruksi dari base plate.

**Dasar Perhitungan :**

### □ Luas base plate

Rumus :

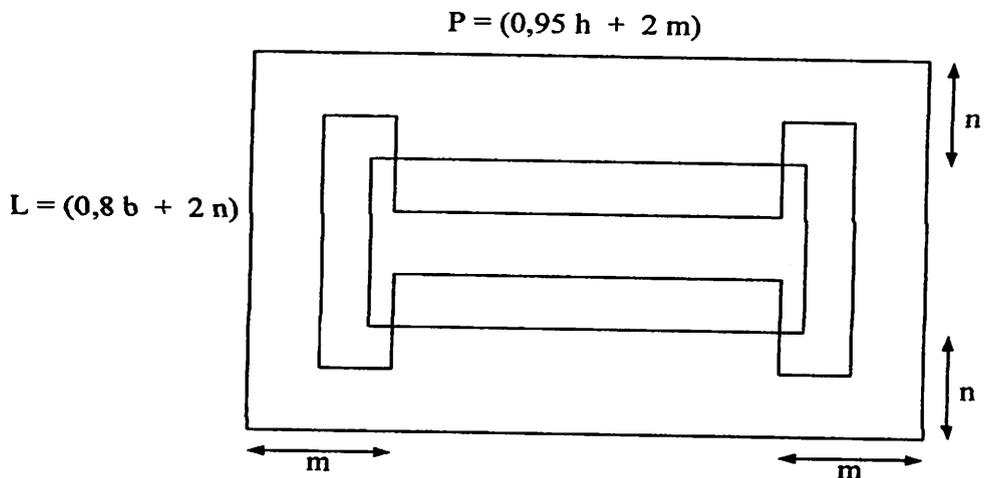
$$A_{bp} = \frac{P}{f_{bp}}$$

Dimana :

- $A_{bp}$  = luas base plate, in<sup>2</sup>
- $P$  = beban dari tiap-tiap base plate = 20131,165572 lb
- $f_{bp}$  = stress yang diterima oleh pondasi (bearing capacity yang terbuat dari beton = 600 lb/in<sup>2</sup> (Hesse, tabel 7-7 hal. 162)

Sehingga :

$$\begin{aligned} A_{bp} &= \frac{20131,165572 \text{ lb}}{600 \text{ lb/in}^2} \\ &= 33,551943 \text{ in}^2 \end{aligned}$$



□ Panjang dan lebar base plate

$$A_{bp} = p \times l$$

Dimana :

- $A_{bp}$  = luas base plate  
= 33,551943 in<sup>2</sup>
- $p$  = panjang base plate, in  
=  $2m + 0,95h$
- $l$  = lebar base plate, in  
=  $2n + 0,8b$

Diasumsikan  $m = n$  (Hesse, hal. 163)

$$b = 3 \text{ in}$$

$$h = 5 \text{ in}$$

Maka :

$$A_{bp} = (2m + 0,95h) \times (2n + 0,8b)$$

$$33,551943 = [2m + (0,95 \times 5)] \times [2n + (0,8 \times 3)]$$

$$= (2m + 4,75) \times (2m + 2,4)$$

$$33,551943 = 4m^2 + 14,3m + 11,4$$

$$0 = 4m^2 + 14,3m - 19,251943$$

Dengan menggunakan rumus abc, didapatkan :

$$m_{1,2} = \frac{(-14,3) \pm \sqrt{(14,3)^2 - (4 \times 4) \cdot (19,251943)}}{2 \times 4}$$

$$m_1 = 1,042366$$

$$m_2 = -4,617366$$

$$\text{Diambil } m = n = m_1 = 1,042366$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{- Panjang base plate (p)} &= 2m + 0,95h \\ &= (2 \times 1,042366) + (0,95 \times 5) \\ &= 6,834732 \text{ in} \approx 7 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Lebar base plate (l)} &= 2n + 0,8b \\ &= (2 \times 1,042366) + (0,8 \times 3) \\ &= 4,484732 \text{ in} \approx 5 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari perhitungan didapatkan panjang base plate 7 in dan lebar base plate 5 in, maka ditetapkan ukuran base plate yang digunakan adalah 7 x 5 in dengan luas (A) = 35 in<sup>2</sup>.

#### □ Peninjauan terhadap bearing capacity

$$f = \frac{P}{A}$$

Dengan :

$$\text{- } f = \text{bearing capacity, lb/in}^2$$

$$\text{- } P = \text{beban tiap kolom} = 20131,165572 \text{ lb}$$

-  $A = \text{luas base plate} = 35 \text{ in}^2$

Maka :

$$f = \frac{20131,165572 \text{ lb}}{35 \text{ in}^2}$$
$$= 575,176159 \text{ lb/in}^2 < 600 \text{ lb/in}^2$$

Karena  $f < f_{bp}$ , maka dimensi base plate sudah memenuhi

□ **Peninjauan terhadap harga m dan n**

- Panjang base plate (p)

$$p = 2m + 0,95h$$

$$7 = 2m + (0,95 \times 5)$$

$$m = 1,125$$

- Lebar base plate (l)

$$l = 2n + 0,8b$$

$$5 = 2n + (0,8 \times 3)$$

$$n = 1,300$$

Karena harga  $n > m$ , maka tebal base plate dihitung berdasarkan harga n.

□ **Tebal base plate**

Dari Hesse, persamaan 7-12 hal. 163 :

$$t = \sqrt{0,00015 \cdot p \cdot n^2}$$

Dengan :

-  $t = \text{tebal base plate, in}$

-  $p = \text{actual unit pressure yang terjadi pada base late} = 805,246623 \text{ psi}$

-  $n = 1,3 \text{ in}$

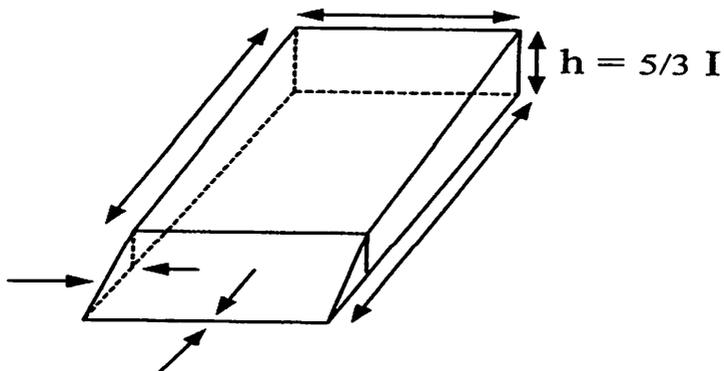
Tebal base plate :

$$\begin{aligned} t &= \sqrt{0,00015 \times (805,246623) \times (1,3)^2} \\ &= 0,45808 \text{ in} \\ &= 7,23/16 \text{ in} \approx \frac{1}{2} \text{ in} \end{aligned}$$

□ **Ukuran Baut**

Beban tiap baut :

$$\begin{aligned} P_{\text{baut}} &= \frac{P}{n_{\text{baut}}} \\ &= \frac{5032,791393 \text{ lb}}{4} \\ &= 1258,197848 \text{ lb} \end{aligned}$$



$$A_{\text{baut}} = \frac{P_{\text{baut}}}{f_{\text{baut}}}$$

Dimana  $f_{\text{baut}}$  = stress tiap baut max =  $15000 \text{ lb/in}^2$

$$A_{\text{baut}} = \frac{1258,197848 \text{ lb}}{15000 \text{ lb/in}^2}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{baut}} &= 0,083880 \text{ in} \\ &= 1,34/16 \text{ in} \end{aligned}$$



$$\approx 3/16 \text{ in}$$

Dari Brownell & Young, tabel 10.4 hal. 188 diperoleh ukuran baut  $\frac{1}{2}$  in dengan dimensi baut sebagai berikut :

- Ukuran baut :  $\frac{1}{2}$  in
- Root area : 0,126
- Bolt spacing min :  $1 \frac{1}{4}$  in
- Min radial distance :  $\frac{13}{16}$  in
- Edge distance :  $\frac{5}{8}$  in
- Nut dimension :  $\frac{7}{8}$  in
- Max filled radius :  $\frac{1}{4}$  in

### 6.9. Perhitungan Lug dan Gusset

Perencanaan :

- Digunakan 2 buah plate horisontal (untuk lug) dan 2 buah plate vertikal (untuk gusset).

Dasar Perhitungan :

#### □ Tebal plate horisontal

Rumus :

$$t_{hp} = \sqrt{\frac{6 M_o}{f_{all}}}$$

$$M_o = \frac{\beta^3 \cdot t^2 \cdot P \cdot B \cdot R^2}{12 (1 - \mu) A \cdot h}$$

$$\beta = \sqrt[3]{\frac{3 (1 - \mu)^2}{R^2 \cdot t^2}}$$

Keterangan :

- $t_{hp}$  = tebal plate horisontal, in
- $M_o$  = bending moment (axial), lb.in
- $f_{all}$  = stress axial = 15000 lb/in<sup>2</sup>
- $t$  = tebal shell = 3/16 in = 0,1875 in
- $P$  = gaya axial, ( $\Sigma W/n$ ), lb
- $B$  = jarak dari sumbu tebal shell ke sumbu penyangga, in
- $R$  = jari-jari vessel = (71,625/2) in
- $\mu$  = poisson ratio = 0,3 (untuk baja)
- $A$  = lebar lug (horisontal plate), in
- $h$  = tinggi gusset = tinggi lug, in

Mencari  $\beta$

$$\beta = \sqrt[3]{\frac{3(1-0,3)^2}{\left(\frac{71,625}{2}\right)^2 \times \left(\frac{3}{16}\right)^2}}$$

$$= 0,319459$$

$$B = \frac{1}{2} t_s + 1 \frac{1}{2} + \frac{1}{2} b'$$

$$= \frac{1}{2} (0,1875) + 1 \frac{1}{2} + \frac{1}{2} (3)$$

$$= 3,093750 \text{ in}$$

$$A = h' + 2 db$$

$$= 5 + 2 \left(\frac{1}{2}\right)$$

$$= 6 \text{ in}$$

$$h = \left(\frac{5}{3}\right) \cdot 1$$

$$= \left(\frac{5}{3}\right) \cdot (b' + 2 db)$$

$$= \left(\frac{5}{3}\right) \times (3 + 2 \cdot \frac{1}{2})$$

$$= 6,666667 \text{ in}$$

Bending moment (axial) :

$$M_o = \frac{(0,319459)^3 \times \left(\frac{3}{16}\right)^2 \times (1258,197848) \times (3,093750) \times \left(\frac{71,625}{2}\right)^2}{12 \times (1 - 0,3) \times (6) \times (6,666667)}$$

$$= 17,029904$$

Tebal plate horisontal :

$$t_{hp} = \sqrt{\frac{6 \times (17,029904)}{15000}}$$

$$= 0,082535 \text{ in}$$

$$= (1,32/16) \text{ in} \approx 2/16 \text{ in}$$

□ **Tebal plate vertikal**

$$t_g = (3/8) \times t_{hp}$$

$$= (3/8) \times (2/16) \text{ in}$$

$$= 0,046875 \text{ in}$$

$$= (0,75/16) \text{ in} \approx 1/16 \text{ in}$$

Kesimpulan perancangan lug dan gusset :

- Lug
  - Lebar = 6 in
  - Tebal = 2/16 in
  - Tinggi = 6,666667 in
- Gusset
  - Lebar = 6 in
  - Tebal = 1/16 in

- Tinggi = 6,66667 in

## 6.10. Perhitungan Pondasi

Perencanaan :

- Beban total yang harus ditahan pondasi :
  - Berat reaktor total
  - Berat kolom penyangga
  - Berat base plate
- Ditentukan :
  - Masing-masing penyangga diberi pondasi
  - Spesifik untuk semua penyangga sama

**Dasar Perhitungan :**

□  $W = 20131,165572 \text{ lb}$

□ **Beban yang harus ditanggung tiap kolom**

Rumus:

$$W_{bp} = p \cdot l \cdot t \cdot \rho$$

Dimana :

-  $p$  = panjang base plate = 7 in = 0,583333 ft

-  $l$  = lebar base plate = 5 in = 0,416667 ft

-  $t$  = tebal base plate = 0,5 in = 0,041667 ft

-  $\rho$  = densitas dari bahan konstruksi = 489 lb/ft<sup>3</sup>

**Beban yang ditanggung tiap kolom :**

$$\begin{aligned} W_{bp} &= (0,58333 \text{ ft}) \times (0,416667 \text{ ft}) \times (0,041667 \text{ ft}) \times (489 \text{ lb/ft}^3) \\ &= 4,952257 \text{ lb} \end{aligned}$$

□ **Beban tiap penyangga**

Rumus:

$$W_p = L \cdot A \cdot F \cdot \rho$$

Dimana :

- L = tinggi kolom = 10,944433 ft
- A = luas kolom I beam = 2,87 in<sup>2</sup> = 0,019931 ft<sup>2</sup>
- F = faktor koreksi = 1
- ρ = densitas dari bahan konstruksi = 489 lb/ft<sup>3</sup>

Beban tiap penyangga :

$$\begin{aligned} W_p &= (10,944433 \text{ ft}) \times (0,019931 \text{ ft}^2) \times (1) \times (489 \text{ lb/ft}^3) \\ &= 106,6649 \text{ lb} \end{aligned}$$

□ **Beban total**

$$\begin{aligned} W_T &= W + W_{bp} + W_p \\ &= (20131,165572 + 4,952257 + 106,6649) \text{ lb} \\ &= 20242,782729 \text{ lb} \end{aligned}$$

Dianggap hanya ada gaya vertikal dan berat kolom itu sendiri bekerja pada pondasi, maka ditetapkan :

- Luas tanah = 15 x 5 in
- Luas bawah = 25 x 25 in
- Tinggi = 15 in
- Luas permukaan tanah rata-rata :

$$\begin{aligned} A &= \left( \frac{15 + 25}{2} \right) \times \left( \frac{15 + 25}{2} \right) \\ &= 400 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

- Volume pondasi :

$$\begin{aligned} V &= A \times t \\ &= (400 \text{ in}^2) \times (15 \text{ in}) \\ &= 6000 \text{ in}^3 = 3,472222 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

- Berat pondasi

$$W = V \times \rho$$

Dimana :

$$\rho = \text{densitas semen} = 144 \text{ lb/ft}^3 \quad (\text{perry, edisi 6 tabel 3-18})$$

Maka :

$$\begin{aligned} W &= (3,472222 \text{ ft}^3) \times (144 \text{ lb/ft}^3) \\ &= 500 \text{ lb} \\ &= 226,79851 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Tekanan tanah :

Pondasi didirikan diatas semen sand dan gravel, dengan :

- Save bearing minimum = 5 ton/ft<sup>2</sup>
- Save bearing maximum = 10 ton/ft<sup>2</sup>

Kemampuan tekanan tanah sebesar :

$$\begin{aligned} P &= 10 \text{ ton/ft}^2 \\ &= 22400 \text{ lb/ft}^2 \\ &= 155,555556 \text{ lb/in}^2 \end{aligned}$$

Tekanan pada tanah :

$$P = \frac{W}{A}$$

Dimana :

- $W =$  berat beban total + berat pondasi
- $A =$  luas bawah pondasi =  $(25 \times 25) \text{ in}^2 = 625 \text{ in}^2$

Sehingga :

$$P = \frac{20242,782729 \text{ lb} + 500 \text{ lb}}{625 \text{ in}^2}$$

$$P = 33,188452 \text{ lb/in}^2 < 155,555556 \text{ lb/in}^2$$

Karena tekanan yang diberikan oleh tanah lebih kecil daripada kemampuan tanah menahan pondasi, maka pondasi dengan ukuran  $(15 \times 15)$  in luas atas dan  $(25 \times 25)$  in luas bawah dengan tinggi pondasi 15 in dapat digunakan.

### **Kesimpulan Spesifikasi Reaktor**

- Fungsi : Untuk mereaksikan umpan masuk dengan  $\text{HNO}_3$  dan katalis  $\text{V}_2\text{O}_5$ .
- Jumlah : 1 buah
- Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk standar dishead dan tutup bawah berbentuk conical dengan sudut  $120^\circ$ .
- Perlengkapan : Pengaduk dan coil pemanas.
- Kondisi operasi :
  - Temperatur =  $71^\circ\text{C}$
  - Tekanan = 1 atm
  - Waktu operasi = 2 jam
  - Fase = liquid – solid
  - Densitas campuran =  $72,972088 \text{ lb/ft}^3$

- Bahan konstruksi : High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316.  
 $f = 18750$  (Brownell & Young, App. D-4 hal. 342)
- Jenis pengelasan : Double welded butt joint.  
 $E = 0,8$  (Brownell & Young, tabel 13.2 hal. 254)
- Faktor korosi (C) : 1/16
- Bahan masuk : 3319,570199 kg/jam = 7318,324460 lb/jam

### Spesifikasi Reaktor :

#### 1. Dimensi tangki :

- Bahan konstruksi = High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316
- $D_i$  (diameter dalam) = 71,625 in
- $D_o$  (diameter luar) = 72 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 107,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 12,052535 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/8 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 23,176357 in
- Tinggi tangki = 142,666391 in
- Jumlah = 1 buah

#### 2. Dimensi pengaduk :

- Jenis pengaduk = axial turbin 4 blades sudut 45°
- Bahan impeller = High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316.
- Diameter impeller = 35,8125 in



- Tinggi impeller = 32,23125 in
- Panjang impeller = 8,953125 in
- Tebal blades = 5,96875 in
- Daya pengaduk = 7 Hp
- Diameter poros = 1,374984 in
- Panjang poros = 96,211910 in
- Jumlah pengaduk = 1 buah

### 3. Nozzle untuk pemasukan feed

- Type = Welding neck
- Ukuran nominal pipa (NPS) = 1 ¼ in
- Diameter luar flange (A) = 4 ⅝ in
- Ketebalan flange minimum (T) = ⅝ in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) = 2 ½ in
- Diameter hubungan atas (E) = 2 ⅝ in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 1,66 in
- Panjang julakan (L) = 2 ¼ in
- Diameter dalam flange (B) = 1,38 in

### 4. Nozzle untuk pemasukan HNO<sub>3</sub>

- Type = Welding neck
- Ukuran nominal pipa (NPS) = ¾ in
- Diameter luar flange (A) = 3 ⅞ in
- Ketebalan flange minimum (T) = ½ in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) = 1 ⅛ in

- Diameter hubungan atas (E) =  $1 \frac{1}{2}$  in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 1,05 in
- Panjang julakan (L) =  $2 \frac{1}{16}$  in
- Diameter dalam flange (B) = 0,82 in

5. Nozzle untuk pemasukan  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

- Type = Welding neck
- Ukuran nominal pipa (NPS) =  $\frac{1}{2}$  in
- Diameter luar flange (A) =  $3 \frac{1}{2}$  in
- Ketebalan flange minimum (T) =  $\frac{1}{16}$  in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) =  $1 \frac{3}{8}$  in
- Diameter hubungan atas (E) =  $1 \frac{3}{16}$  in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 0,84 in
- Panjang julakan (L) =  $1 \frac{7}{8}$  in
- Diameter dalam flange (B) = 0,62 in

6. Nozzle untuk pemasukan dan pengeluaran coil pemanas

- Type = Welding neck
- Ukuran nominal pipa (NPS) = 3 in
- Diameter luar flange (A) =  $7 \frac{1}{2}$  in
- Ketebalan flange minimum (T) =  $\frac{15}{16}$  in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) = 5 in
- Diameter hubungan atas (E) =  $4 \frac{1}{4}$  in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 3,50 in
- Panjang julakan (L) =  $2 \frac{3}{4}$  in

- Diameter dalam flange (B) = 3,07 in

7. Nozzle untuk pengeluaran gas

- Type = Welding neck
- Ukuran nominal pipa (NPS) =  $\frac{3}{4}$  in
- Diameter luar flange (A) =  $3\frac{7}{8}$  in
- Ketebalan flange minimum (T) =  $\frac{1}{2}$  in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) =  $1\frac{1}{16}$  in
- Diameter hubungan atas (E) =  $1\frac{1}{2}$  in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 1,05 in
- Panjang julakan (L) =  $2\frac{1}{16}$  in
- Diameter dalam flange (B) = 0,82 in

8. Nozzle untuk pengeluaran produk

- Type = Welding neck
- Ukuran nominal pipa (NPS) =  $1\frac{1}{4}$  in
- Diameter luar flange (A) =  $4\frac{5}{8}$  in
- Ketebalan flange minimum (T) =  $\frac{5}{8}$  in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) =  $2\frac{1}{2}$  in
- Diameter hubungan atas (E) =  $2\frac{5}{16}$  in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 1,66 in
- Panjang julakan (L) =  $2\frac{1}{4}$  in
- Diameter dalam flange (B) = 1,38 in

## 9. Nozzle untuk Hand Hole

- Type = Welding neck
- Ukuran nominal pipa (NPS) = 10 in
- Diameter luar flange (A) = 16 in
- Ketebalan flange minimum (T) =  $1 \frac{3}{16}$  in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) =  $12 \frac{3}{4}$  in
- Diameter hubungan atas (E) = 12 in
- Diameter hub. pada titik pengelasan (K) = 10,75 in
- Panjang julakan (L) = 4 in
- Diameter dalam flange (B) = 10,02 in

## 10. Coil Pemanas

- Panjang coil =  $1 \frac{1}{4}$  in
- Jumlah lilitan = 8 lilitan
- Tinggi coil = 75,04 in
- Bahan konstruksi = High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316.

## 11. Flange

- Bahan konstruksi : High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316
- Tensile strength minimum : 75000 psia
- Allowable stress (f) : 18750
- Tebal flange : 15,345951 in
- Diameter dalam ( $D_i$ ) flange : 72 in
- Diameter luar ( $D_o$ ) flange : 72,310395 in
- Type flange : Ring flange loose type

### 15 Bolting

- Bahan konstruksi : High Alloy Steel SA 193 Grade B8c type  
347
- Tensile strength minimum : 75000 psia
- Ukuran baut : 2 in
- Jumlah baut : 12 buah
- Allowable stress (f) : 15000

### 13. Gasket

- Bahan gasket = Asbestos filled
- Lebar (L) = 0,187825 in
- Tebal gasket (n) = 3/16 in
- Gasket factor (m) = 3,75
- Diameter rata-rata = 72,1875 in
- Tinggi coil = 75,04 in

### 14. Sistem Penyangga

- Jenis = Kolom I beam
- Jumlah = 4 buah
- Panjang (L) = 131,333196 in
- Ukuran Nominal Pipa (NPS) = 5 in
- Area of section (Ay) = 2,87 in<sup>2</sup>
- Depth of beam (h) = 5 in
- Width of flange = 3 in
- Axis (r) = 2,05 in

### 15. Base Plate

- Panjang (p) = 7 in
- Lebar (l) = 5 in
- Tebal (t) =  $\frac{1}{2}$  in
- Ukuran baut =  $\frac{1}{2}$  in
- Jumlah baut = 4
- Bahan = Cast iron

### 16. Lug dan Gusset

- Tebal plate horisontal =  $\frac{2}{16}$  in
- Tebal plate vertikal =  $\frac{1}{16}$  in
- Lebar lug dan gusset = 6 in
- Tebal lug dan gusset =  $\frac{2}{16}$  in
- Tinggi lug dan gusset = 6,66667 in

### 17. Sistem Pondasi

- Luas tanah = 15 in x 5 in
- Luas bawah = 25 in x 25 in
- Tinggi Pondasi = 15 in
- Bahan = Cemen Sand dan Gravel

## BAB VI

### PERANCANGAN ALAT UTAMA



#### Evaporator (V-130)

- Nama alat : *Single Effect Evaporator*
- Fungsi : Untuk memekatkan larutan asam oksalat dari konsentrasi 15,90 % menjadi 50 %
- Type : *Short tube vertical* (calandria) dengan tutup atas berbentuk *standard dished* dan tutup bawah conical.
- Bahan : HAS SA-240 grade M type 316
- Perlengkapan : *Shell and tube exchanger*, dimana pada tube mengalir fluida yang akan dipekatkan, sedangkan pada bagian shell mengalir steam yang berfungsi sebagai pemanas.
- Dasar pemilihan : - Biaya rendah  
- Koefisien perpindahan panas tinggi
- Prinsip kerja : Evaporator merupakan alat untuk memekatkan larutan yang terdiri dari silinder besar (*shell*) yang didalamnya terdapat pipa-pipa kecil (*tube*). Liquid dengan konsentrasi 15,90 % masuk ke dalam tube evaporator dan kemudian disirkulasikan. Sedangkan steam yang digunakan sebagai pemanas berada di dalam shell sehingga terjadi kontak tidak langsung antara steam dan liquid. Sebagian liquid (H<sub>2</sub>O) akan menguap dan sebagian liquid akan turun melalui *down take*

untuk keluar sebagai liquid dengan konsentrasi yang lebih pekat.

### 6.1. Kondisi Operasi

Jumlah larutan masuk (F)	:	205.8824 kg/jam	
Suhu larutan masuk evaporator	:	71 °C	= 159,80 °F
Suhu larutan keluar evaporator	:	100,9425 °C	= 213,70 °F
Suhu steam (T <sub>1</sub> )	:	160 °C	= 320 °F
Tekanan operasi (P)	:	1,04 atm	= 15,2880 psia

### 6.2. Menentukan Luas Pemanasan

Dari neraca massa, didapatkan :

$$\text{Massa liquid diuapkan (V)} = 1960,36910973 \text{ kg/jam}$$

Dari neraca panas didapatkan :

$$\text{Massa steam (S)} = 2.146,59809397 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} Q &= S \times \lambda_s = 2.146,59809397 \text{ kg/jam} \times 661,944 \text{ kkal/kg} \\ &= \frac{1.420.927,72871393 \text{ kkal/jam}}{0,252 \text{ kkal/Btu}} \\ &= 5.638.602,09807115 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{LMTD}} &= \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln [(T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)]} \\ &= \frac{(320 \text{ }^\circ\text{F} - 213,70 \text{ }^\circ\text{F}) - (320 \text{ }^\circ\text{F} - 159,80 \text{ }^\circ\text{F})}{\ln[(320 \text{ }^\circ\text{F} - 213,70 \text{ }^\circ\text{F})/(320 \text{ }^\circ\text{F} - 159,80 \text{ }^\circ\text{F})]} \\ &= 131,4128 \text{ }^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Dari Kern, hlm 840, diketahui untuk medium anorganik ( $\mu < 2,0$ ), maka  $U_D = 200 - 700 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F}$



Sehingga didapatkan :

$$A = \frac{Q}{U_D \times \Delta T_{LMTD}} = \frac{5.638.602,09807115 \text{ Btu/jam}}{200 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \times 131,4128 \text{ } ^\circ\text{F}} \\ = 214,5378 \text{ ft}^2$$

(Memenuhi untuk *single effect evaporator type short tube*)

$$\text{Steam ekonomi} = \frac{V}{S} = \frac{1.960,36910973 \text{ kg/jam}}{2.146,59809397 \text{ kg/jam}} = 0,91324460$$

### 6.3. Menentukan Dimensi Bagian Pemanas (Tube)

Dari Kern tabel 11 hlm 844 dirancang dimensi pemanas dengan menggunakan tube dengan ukuran  $\frac{1}{2}$  in sch 40.

$$\text{Panjang tube} = 7 \text{ ft}$$

$$\text{Diameter luar (OD)} = 1.32000000 \text{ in} = 0,110 \text{ ft}$$

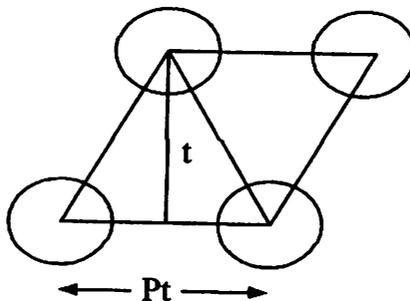
$$\text{Diameter dalam (ID)} = 1.04900000 \text{ in} = 0,08741667 \text{ ft}$$

$$\text{Susunan tube} = \text{triangular}$$

$$\text{Luas per tube} = \pi \times \text{ID} \times L = 3,14 \times 0,08741667 \text{ ft} \times 7 \text{ ft} \\ = 1,92141833 \text{ ft}^2$$

$$\text{Jumlah tube} = \frac{A}{\text{Luas per tube}} = \frac{24,2699 \text{ ft}^2}{1,9214 \text{ ft}^2} = 12,6 \text{ } 312 \approx 25 \text{ buah}$$

Direncanakan susunan pipa berbentuk segitiga (*triangular pitch*).



$$\text{Diasumsikan : } Pt = 1,5625 \text{ in} = 0,13020833 \text{ ft}$$

$$\text{Diketahui : } Pt = OD + C$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga : } C &= Pt - OD = 0,130 \text{ ft} - 1,320 \text{ ft} \\ &= 1,189 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan triangular pitch} &= \frac{1}{2} \times \text{panjang alas} \times \frac{1}{2} Pt \sin 60^\circ \\ &= \frac{1}{2} \times 0,130 \text{ ft} \times (\frac{1}{2} \times 0,130 \text{ ft} \times \sin 60^\circ) \\ &= 0,00367069 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah luasan triangular} = (n - 2) \times \text{luasan triangular}$$

Dimana  $n$  = jumlah tube, maka :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah luasan triangular untuk penempatan tube} &= (329 - 2) \times 0,0036 \text{ ft}^2 \\ &= 0,08442597 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Safety factor untuk penempatan tube} &= 10 \% = (1,1 \times 0,08442597 \text{ ft}^2) \\ &= 0,09286856 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

#### 6.4. Menentukan Dimensi Evaporator

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas larutan masuk} &= 205.88240000 \text{ kg/jam} \times 2,2046 \text{ lb/kg} \\ &= 453.88833904 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Suhu bahan masuk} = 71^\circ\text{C} = 159,80^\circ\text{F}$$

$$\text{Volume larutan} = \frac{m}{\rho} = \frac{6336,92164822 \text{ lb/jam}}{70,68197600 \text{ lb/ft}^3} = 59.21592999 \text{ ft}^3$$

Waktu tinggal di dalam evaporator adalah 1 jam.

##### a. Menentukan Diameter Evaporator

Diasumsikan : ruang kosong di dalam silinder = 20 %

$$L_s = 1,5 \text{ di}$$

Sehingga :

$$\text{Volume total silinder} = (100/80) \times 59,215 \text{ ft}^3/\text{jam} = 74,01993412 \text{ ft}^3$$

$$\begin{aligned} V_T &= V_1 + V_2 + V_3 \\ &= \left( \frac{\pi}{24} \times \frac{di^3}{\text{tg } \frac{1}{2}\alpha} \right) + \left( \frac{\pi}{4} \times di^2 \times L_s \right) + (0,0847 \times di^3) \\ &= \left( \frac{\pi}{24} \times \frac{di^3}{\text{tg } 60^\circ} \right) + \left( \frac{\pi}{4} \times di^2 \times 1,5di \right) + (0,0847 \times di^3) \end{aligned}$$

$$112,0675 \text{ ft}^3 = 0,0755 \text{ di}^3 + 1,1775 \text{ di}^3 + 0,0847 \text{ di}^3$$

$$di^3 = 83,7763 \text{ ft}^3$$

$$di = 4,3756 \text{ ft} = 52,5072 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} V_L &= V_1 + V_2 \\ &= \left( \frac{\pi}{24} \times \frac{di^3}{\text{tg } 60} \right) + \left( \frac{\pi}{4} \times di^2 \times L_{LS} \right) \end{aligned}$$

$$89,6540 \text{ ft}^3 = \left( \frac{\pi}{24} \times \frac{(4,3756 \text{ ft})^3}{\text{tg } 60^\circ} \right) + \left( \frac{\pi}{4} \times (4,3756 \text{ ft})^2 \times L_{LS} \right)$$

$$89,6540 \text{ ft}^3 = 6,3281 \text{ ft}^3 + 15,0295 L_{LS}$$

$$L_{LS} = 5,5442 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan (P) hidrostatik} &= 70,68197600 \text{ lb/ft}^3 \times 5,5442 \text{ ft} \\ &= 391,8750 \text{ lb/ft}^2 \\ &= 2,7214 \text{ lb/in}^2 \approx 2,7214 \text{ psia} \end{aligned}$$

$$\text{Tekanan operasi (100,9425 } ^\circ\text{C)} = 15,2880 \text{ psia}$$

$$\begin{aligned} P \text{ design} &= P \text{ operasi} + P \text{ hidrostatik} = 15,2880 \text{ psia} + 2,7214 \text{ psia} \\ &= 18,0094 \text{ psia} \end{aligned}$$

$$C = 1/16 \text{ in}$$

Dari Brownel dan Young, App-D, hlm 342, diketahui untuk bahan SA 240 grade M  
maka harga  $f = 18.750$  psi

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{\pi \times d_i}{2 [(f \times E) - (0,6 \times \pi)]} + C \\ &= \frac{18,0094 \text{ psi} \times 52,5072 \text{ in}}{2 [(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,6 \times 18,0094 \text{ psi})]} + \frac{1}{16} \text{ in} \\ &= 0,0940 \times 16/16 = \frac{1,5047}{16} \approx \frac{3}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_o &= d_i + 2 t_s = 52,5072 \text{ in} + (2 \times 3/16) \\ &= 52,8822 \text{ in} \\ &= 48 \text{ in (standarisasi } d_o \text{ ke bawah)} \end{aligned}$$

Dari Brownel dan Young, tabel 5.7, hlm 89-90, untuk  $d_o = 48$  in, maka didapat :

$$\begin{aligned} - \text{icr} &= 3 \text{ in} & - r &= 48 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari Brownel dan Young, tabel 5.6, hlm 88, untuk  $C = 3/16$ , maka  $sf = 1\frac{1}{2}$  in.

$$\begin{aligned} \text{harga di baru : } d_i &= d_o - 2 t_s = 48 \text{ in} - (2 \times 3/16 \text{ in}) \\ &= 47,625 \text{ in} = 3,9688 \text{ ft} \end{aligned}$$

sehingga :

$$V_T = \left( \frac{\pi}{24} \times \frac{d_i^3}{\text{tg } \frac{1}{2} \alpha} \right) + \left( \frac{\pi}{4} \times d_i^2 \times L_s \right) + (0,0847 \times d_i^3)$$

$$\begin{aligned} 112,0675 \text{ ft}^3 &= \left( \frac{\pi}{24} \times \frac{(3,9688 \text{ ft})^3}{\text{tg } 60^\circ} \right) + \left( \frac{\pi}{4} \times (3,9688 \text{ ft})^2 \times L_s \right) + [0,0847 \\ &\quad \times (3,9688 \text{ ft})^3] \\ &= 4,7221 \text{ ft}^3 + 12,3648 \text{ ft}^2 L_s + 5,2949 \text{ ft}^3 \\ L_s &= 8,2533 \text{ ft} = 99,0396 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{Didapat } \frac{L_s}{d_i} = \frac{8,2533 \text{ ft}}{3,9688 \text{ ft}} = 2,08 > 1,5 \text{ (memenuhi)}$$

$$V_L = V_1 + V_2$$

$$= \left( \frac{\pi}{24} \times \frac{d_i^3}{\text{tg } 60^\circ} \right) + \left( \frac{\pi}{4} \times d_i^2 \times L_{LS} \right)$$

$$89,6540 \text{ ft}^3 = \left( \frac{\pi}{24} \times \frac{(3,9688 \text{ ft})^3}{\text{tg } 60^\circ} \right) + \left( \frac{\pi}{4} \times (3,9688 \text{ ft})^2 \times L_{LS} \right)$$

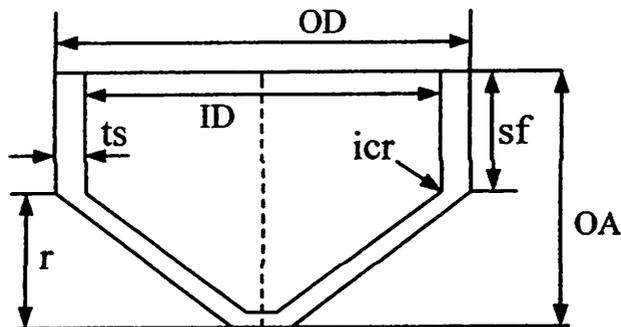
$$89,6540 \text{ ft}^3 = 4,7221 \text{ ft}^3 + 12,3648 L_{LS}$$

$$L_{LS} \text{ baru} = 6,8688 \text{ ft} = 82,4256 \text{ in}$$

### b. Menentukan Tinggi Ruang Uap

$$L_{RU} = 2 \times \text{tinggi tube} = 2 \times 7 \text{ ft} = 14 \text{ ft}$$

### c. Menentukan Tinggi dan Tebal Tutup Bawah (conical) OD



$$thb = \frac{P_i \times d_e}{2 [(f \times E) - (0,6 \times P_i)] \cos 60^\circ} + C$$

dimana  $d_e = d_i$ , sehingga :

$$thb = \frac{18,0094 \text{ psi} \times 47,625 \text{ in}}{2 [(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,6 \times 18,0094 \text{ psi})] \cos 60^\circ} + \frac{1}{16}$$

$$= 0,1197 \times 16/16$$

$$= \frac{1,9152}{16} \approx \frac{3}{16} \text{ in}$$

$$H_b = \frac{0,5 \times d_o}{\text{tg } \frac{1}{2} \alpha} = \frac{0,5 \times 4 \text{ ft}}{\text{tg } 60^\circ} = 1,1547 \text{ ft} \times 12 \text{ in/ft}$$

$$= 13,8564 \text{ in}$$

$$sf = 1\frac{1}{2} \text{ in}$$

**d. Menentukan Tinggi dan Tebal Tutup atas (standard dished)**

$$t_{ha} = \frac{0,885 \times P_i \times r}{(f \times E) - (0,1 \times P_i)} + C$$

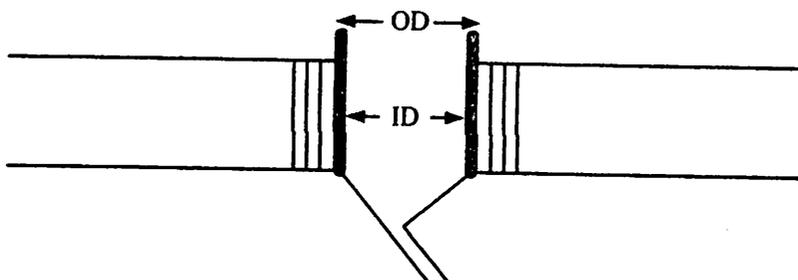
$$= \frac{0,885 \times 18,0094 \text{ psi} \times 48 \text{ in}}{(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,1 \times 18,0094 \text{ psi})} + \frac{1}{16}$$

$$= 0,1135 \times 16/16 = \frac{1,816}{16} \approx \frac{3}{16} \text{ in}$$

$$h_a = 0,169 \text{ di} = 0,169 \times 3,9688 \text{ ft} = 0,6707 \text{ ft}$$

$$= 7.87962500 \text{ in}$$

**e. Menentukan Down Take**



Direncanakan pan masakan calandria dengan pipa down take di tengah .

Dari Hugot, hlm 664, diketahui : diameter down take = 0,25 diameter shell

$$D_{DT} = 0,25 D_{shell} = 0,25 \times 47,625 \text{ in}$$

$$= 11,9063 \text{ in}$$

$$\text{Diameter ruang kosong} = D_{shell} - D_{down take} - D_{tube}$$

$$= 47,625 \text{ in} - 11,9063 \text{ in} - 0,622 \text{ in}$$

$$= 33.91975000 \text{ in}$$

### f. Menentukan Tinggi Total Evaporator

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi total evaporator} &= H_a + L_s + H_b \\
 &= 8,0484 \text{ in} + 99,0396 \text{ in} + 13,8564 \text{ in} \\
 &= 86.88241431 \text{ in}
 \end{aligned}$$

## 6.5. Menentukan Dimensi Lubang

### a. Lubang Steam Masuk

$$\text{Suhu steam masuk} = 160 \text{ }^{\circ}\text{C} = 320 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa steam masuk} &= 173,72410240 \text{ kg/jam} \times 2,2046 \text{ lb/kg} \\
 &= 382,992 \text{ lb/jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Dari Kern, tabel 7, hlm 817 didapatkan : } S_v \text{ pada } 320 \text{ }^{\circ}\text{F} = 4,914 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

$$\rho \text{ steam} = \frac{1}{S_v} = \frac{1}{4,914 \text{ ft}^3/\text{lb}} = 0,2035 \text{ lb/ft}^3$$

Dari Kern, fig. 15, hlm 825 didapatkan :

$$\mu \text{ steam} = 0,0145 \text{ cp} = 9,743 \cdot 10^{-6} \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kecepatan volumetrik (Q)} &= \frac{4732,39015796 \text{ lb/jam}}{0,2035 \text{ lb/ft}^3} = 23.254,98849122 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 1883.938416\text{ft}^3/\text{det}
 \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen. Dari Peter dan Timmerhause, fig. 14-2, hlm 496, didapat :

$$\begin{aligned}
 \text{di optimum} &= 3,9 \times (Q)^{0,45} \times (\rho)^{0,13} \\
 &= 3,9 \times (6,45971903)^{0,45} \times (0,2035)^{0,13} \\
 &= 14.95314599 \text{ in} \approx 8 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Standarisasi ukuran pipa dari Kern, tabel 11, hlm 844 didapat :

$$\text{Ukuran pipa nominal} = 8 \text{ in sch 40}$$

$$\text{OD} = 16 \text{ in}$$

$$\text{ID} = 15250 \text{ in} = 1,270 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi}{4} \times \text{ID}^2 = \frac{\pi}{4} \times (0,6651 \text{ ft})^2 \\ &= 182,5615 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan linear (V)} &= \frac{Q}{A} = \frac{5,921 \text{ ft}^3/\text{dt}}{182,561 \text{ ft}^2} \\ &= 0,0324 \text{ ft/dt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{\text{Re}} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} = \frac{0,6651 \text{ ft} \times 18,5998 \text{ ft/dt} \times 0,2035 \text{ lb/ft}^3}{9,743 \cdot 10^{-6} \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}} \\ &= 433,82387087 \end{aligned}$$

$N_{\text{Re}} > 4000$ , maka aliran turbulen benar

#### b. Lubang Feed Masuk

$$\text{Suhu feed masuk} = 71 \text{ }^{\circ}\text{C} = 159,80 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah feed masuk} &= 205,8824 \text{ kg/jam} \times 2,2046 \text{ lb/kg} \\ &= 453,888339 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ campuran} = 76,64969085 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu \text{ campuran} = 1,65 \text{ cp} = 0,00048232 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}$$

Dari Ulrich, tabel 4-7 hlm 91 diketahui range viskositas maksimum untuk evaporator *short tube* adalah  $0,01 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 0,0067197 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan volumetrik (Q)} &= \frac{453,888339 \text{ lb/jam}}{76,64969085 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 5,92159473 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,001644887 \text{ ft}^3/\text{dtk} \end{aligned}$$



Diasumsikan aliran turbulen. Dari Peter dan Timmerhause, hlm 496 didapat :

$$\begin{aligned} \text{di optimum} &= 3,9 \times (Q)^{0,45} \times (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \times (0,02490187)^{0,45} \times (70,681976)^{0,13} \\ &= 1,28759458 \text{ in} \approx 1\frac{1}{2} \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi ukuran pipa dari Kern, tabel 11, hlm 844 didapat :

$$\text{Ukuran pipa nominal} = 1\frac{1}{2} \text{ in sch 40}$$

$$\text{OD} = 0,84 \text{ in}$$

$$\text{ID} = 0,622 \text{ in} = 0,05183333 \text{ ft}$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times \text{ID}^2 = \frac{\pi}{4} \times (0,1342 \text{ ft})^2 = 0,00210906 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan linear (V)} = \frac{Q}{A} = \frac{0,02490187 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,0141 \text{ ft}^2} = 0,7799 \text{ ft/dt}$$

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} = \frac{0,1342 \text{ ft} \times 1,7661 \text{ ft/dt} \times 70,68197600 \text{ lb/ft}^3}{1,1088 \cdot 10^{-3} \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}} \\ &= 6424,40979292 \end{aligned}$$

$N_{Re} > 4000$ , maka aliran turbulen benar

### c. Lubang Produk Keluar

$$\text{Suhu feed keluar} = 213,6965 \text{ C}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah feed keluar} &= 46,2358 \text{ kg/jam} \times 2,2046 \text{ lb/kg} \\ &= 101,93161221 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ campuran} = 105,12728306 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,4873 \text{ cp} = 0,00032750 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan volumetrik (Q)} &= \frac{2015,09190891 \text{ lb/jam}}{70,68197600 \text{ lb/ft}^3} = 0,96960189 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,00026933 \text{ ft}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen. Dari Peter dan Timmerhause, hlm 496 didapat :

$$\begin{aligned} \text{di optimum} &= 3,9 \times (Q)^{0,45} \times (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \times (0,00791924)^{0,45} \times (70,681976)^{0,13} \\ &= 0,1768 \text{ in} \approx 2 \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi ukuran pipa dari Kern, tabel 11, hlm 844 didapat :

$$\text{Ukuran pipa nominal} = 1 \text{ in sch 40}$$

$$\text{OD} = 0,405 \text{ in}$$

$$\text{ID} = 0,269 \text{ in} = 0,02241667 \text{ ft}$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times \text{ID}^2 = \frac{\pi}{4} \times (0,0874 \text{ ft})^2 = 0,00039447 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan linear (V)} = \frac{Q}{A} = \frac{0,00791924 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,0060 \text{ ft}^2} = 0,6827 \text{ ft/dt}$$

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} = \frac{0,0874 \text{ ft} \times 1,3199 \text{ ft/dt} \times 70,68197600 \text{ lb/ft}^3}{1,1088 \cdot 10^{-3} \text{ lb/ft.dt}} \\ &= 4913,0686 \end{aligned}$$

$N_{Re} > 4000$ , maka aliran turbulen benar

#### d. Lubang Uap Keluar

$$\text{Suhu uap keluar} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C} = 212 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah uap keluar} &= 159,646 \text{ kg/jam} \times 2,2046 \text{ lb/kg} \\ &= 351,9567 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ campuran} = 0,0129 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,0115 \text{ cp} = 7,727 \cdot 10^{-6} \text{ lb/ft.dt}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan volumetrik (Q)} &= \frac{4321,82973930 \text{ lb/jam}}{0,0129 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 335.025,56118641 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 93,06265589 \text{ ft}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen. Dari Peter dan Timmerhause, hlm 496 didapat :

$$\begin{aligned} \text{di optimum} &= 3,9 \times (Q)^{0,45} \times (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \times (93,06265589)^{0,45} \times (0,0129)^{0,13} \\ &= 17,03688604 \text{ in} \approx 18 \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi ukuran pipa dari Kern, tabel 11, hlm 844 didapat :

$$\text{Ukuran pipa nominal} = 18 \text{ in sch 30}$$

$$\text{OD} = 18 \text{ in}$$

$$\text{ID} = 17,25 \text{ in} = 1,4375 \text{ ft}$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times \text{ID}^2 = \frac{\pi}{4} \times (1,4375 \text{ ft})^2 = 1,6221 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan linear (V)} = \frac{Q}{A} = \frac{93,06265589 \text{ ft}^3/\text{dt}}{1,6221 \text{ ft}^2} = 57,3717 \text{ ft/dt}$$

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} = \frac{1,4375 \text{ ft} \times 57,3717 \text{ ft/dt} \times 0,0129 \text{ lb/ft}^3}{7,727 \cdot 10^{-6} \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}} \\ &= 137.684,2839 \end{aligned}$$

$N_{Re} > 4000$ , maka aliran turbulen benar

#### e. Lubang Kondensat Keluar

$$\text{Suhu kondensat keluar} = 160 \text{ }^{\circ}\text{C} = 320 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah kondensat keluar} &= 382,9921 \text{ kg/jam} \times 2,2046 \text{ lb/kg} \\ &= 844,3445073 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ campuran} = 61,0128 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu \text{ campuran} = 0,4506 \text{ cp} = 3,0282 \cdot 10^{-4} \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan volumetrik (Q)} &= \frac{4321,82973930 \text{ lb/jam}}{61,0128 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 70,83480416 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,01967633 \text{ ft}^3/\text{det} \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen. Dari Peter dan Timmerhause, hlm 496 didapat :

$$\begin{aligned} \text{di optimum} &= 3,9 \times (Q)^{0,45} \times (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \times (0,01967633)^{0,45} \times (61,0128)^{0,13} \\ &= 0,3909 \text{ in} \approx 0,5 \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi ukuran pipa dari Kern, tabel 11, hlm 844 didapat :

$$\text{Ukuran pipa nominal} = 1/2 \text{ in sch 40}$$

$$\text{OD} = 0,84 \text{ in}$$

$$\text{ID} = 0,622 \text{ in} = 0,115 \text{ ft}$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times \text{ID}^2 = \frac{\pi}{4} \times (0,115 \text{ ft})^2 = 0,01075 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan linear (V)} = \frac{Q}{A} = \frac{6,760 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,010 \text{ ft}^2} = 628,890 \text{ ft/dtk}$$

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} = \frac{0,051 \text{ ft} \times 628,890 \text{ ft/dt} \times 61,0128 \text{ lb/ft}^3}{3,0282 \cdot 10^{-4} \text{ lb/ft.dtk}} \\ &= 32424,810 \end{aligned}$$

$N_{Re} > 4000$ , maka aliran turbulen benar

### 6.6. Menentukan Flange Untuk Pipa

Dari Brownell dan Young, fig. 12.2, hlm 221, ukuran flange pada lubang menggunakan standar 150 lb *steel weeding-neck flanges* (168) sehingga didapatkan :

Tabel 6.6.1. Dimensi Flange pada masing-masing Pipa

No.	Lubang	NPS	A	T	R	E	K	L	B
1.	Steam	8	13 ½	1 1/8	10 5/8	9 11/16	8,63	4	7,98
2.	Feed	1½	5	11/16	2 7/8	2 9/16	1,90	2 7/16	1,61
3.	Produk	1	4 ¼	9/16	2	1 15/16	1,32	2 3/16	1,05
4.	Uap	18	25	1 9/16	21	19 7/8	18	5 ½	17,25
5.	Kondensat	1¼	4 5/8	5/8	2 ½	2 5/16	1,66	2 ¼	1,38

Dimana :

- A = Diameter luar flange (in)  
 T = Ketebalan minimum flange (in)  
 R = Diameter luar dari pembesaran permukaan (in)  
 E = Diameter hubungan pada dasar (in)  
 K = Diameter pada titik pengelasan (in)  
 L = Panjang hubungan (in)  
 B = Diameter dalam (in)

Tabel 6.6.2. Dimensi Diameter Flange

No.	Nozzle	NPS	Diameter Lubang	Diameter Baut	Sirkulasi Baut	Jumlah Baut
1.	Steam	8	7/8	¾	11 ¾	39
2.	Feed	1½	5/8	½	3 7/8	4
3.	Produk	1	5/8	½	3 1/8	2
4.	Uap	18	1 ¼	1 ½	22 ¾	140
5.	Kondensat	1¼	5/8	½	3 ½	3

## 6.7. Menentukan Dimensi *Hand Hole*

### a. Dimensi *Hand Hole*

Dari Brownell dan Young, fig. 12.3, hlm 222, maka sebuah *hand hole* direncanakan dengan diameter 10 in. *Flange* untuk *hand hole* digunakan tipe standar 150 lb *forged slip on-flange* (168).

1. Ukuran nominal (NPS) = 10 in
2. Diameter luar *flange* (A) = 16 in
3. Ketebalan *flange* (T) = 1 3/16 in
4. Diameter luar pembesaran permukaan (R) = 12 ¾ in
5. Diameter pusat dari dasar (E) = 12 in

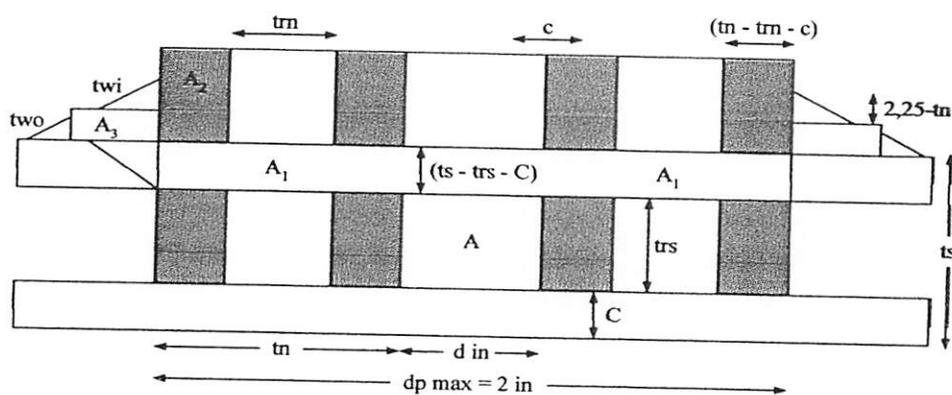
- |                       |   |            |
|-----------------------|---|------------|
| 6. Panjang (L)        | = | 1 15/16 in |
| 7. Jumlah lubang baut | = | 12 buah    |
| 8. Diameter lubang    | = | 1 in       |
| 9. Diameter baut      | = | 7/8 in     |
| 10. Bolt circle       | = | 14 1/4     |
| 11. Dalam (B)         | = | 10,88      |

### b. Tutup Hand Hole

Dari Brownell dan Young, fig. 12.6, hlm 222, dipilih standar 150 lb *blind flange* (168).

- |                                       |   |           |
|---------------------------------------|---|-----------|
| 1. Ukuran nominal pipa (NPS)          | = | 10 in     |
| 2. Diameter luar flange (A)           | = | 16 in     |
| 3. Tebal flange minimum (T)           | = | 1 3/16 in |
| 4. Diameter luar pembesaran permukaan | = | 12 3/4 in |
| 5. Diameter lubang baut               | = | 1 in      |
| 6. Jumlah lubang baut                 | = | 12 buah   |
| 7. Diameter baut                      | = | 7/8 in    |
| 8. Bolt circle                        | = | 14 1/4    |

### 6.8. Menentukan perlu tidaknya Penguat pada Lubang



**a. Lubang Steam Masuk**

$$\text{Diameter lubang} = 16 \text{ in}$$

$$\text{Diameter dalam (ID)} = 15,250 \text{ in} = 1,2708 \text{ ft}$$

$$\text{Diameter luar (OD)} = 16 \text{ in} = 1,333 \text{ ft}$$

Diasumsikan :

$$\text{Tebal pengelasan luar (two)} = 5/16 \text{ in}$$

$$\text{Tebal pengelasan dalam (twi)} = 6/16 \text{ in}$$

$$t_p = \frac{1}{2} \text{ in}$$

Diketahui : -  $t_{\min} = t$  terkecil antara  $t_s$ ,  $t_n$  dan  $t_p$

$$t_n = (DO - DI)_{\text{lubang}} = 8,625 \text{ in} - 7,981 \text{ in} = 0,750 \text{ in}$$

$$two_{\min} = 0,5 \times t_{\min} = 0,5 \times 3/16 \text{ in} = 0,0938 \text{ in}$$

$two > two_{\min}$ , sehingga pengelasan memadai.

$$twi_{\min} = 0,5 \times t_{\min} = 0,5 \times 3/16 \text{ in} = 0,13125 \text{ in}$$

$twi > twi_{\min}$ , sehingga pengelasan memadai.

Diameter penguat maksimum

$$d_p = 2 \times d_{\text{inmaks}} = 2 \times 7,981 \text{ in} = 30,5 \text{ in}$$

$$d_i = 46,625 \text{ in} = 3,885 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} trs &= \frac{P_i \times d_i}{2 [(f \times E) - (0,6 \times P_i)]} = \frac{18,0094 \text{ psi} \times 47,625 \text{ in}}{2 [(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,6 \times 18,0094 \text{ psi})]} \\ &= 0,00399414 \text{ in} \end{aligned}$$

c lubang = 0, sehingga :

$$\begin{aligned} trn &= \frac{P_i \times d_{in}}{2 [(f \times E) - (0,6 \times P_i)]} = \frac{18,0094 \text{ psi} \times 7,981 \text{ in}}{2 [(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,6 \times 18,0094 \text{ psi})]} \\ &= 0,00130639 \text{ in} \end{aligned}$$

$$A = t_{rs} \times d_{in} = 0,0286 \text{ in} \times 7,981 \text{ in} = 0,06091065 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= d_{in} \times (t_s - t_{rs} - c) = 7,981 \text{ in} (3/16 \text{ in} - 0,0286 \text{ in} - 0) \\ &= 2,79846435 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= 2 \times [((2 \frac{1}{4} \times t_n) + t_p)(t_n - t_{rn} - c)] \\ &= 2 \times [((2 \frac{1}{4} \times 0,644 \text{ in}) + \frac{1}{2} \text{ in})(0,644 \text{ in} - 0,0048 \text{ in} - 0)] \\ &= 3,27553452 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 + A_2 &= 2,798 \text{ in} + 3,275 \text{ in} \\ &= 6,073 \text{ in} \quad \text{Jadi tidak diperlukan penguat} \end{aligned}$$

#### b. Lubang Feed masuk

$$\text{Diameter lubang} = 0,5 \text{ in}$$

$$\text{Diameter dalam (ID)} = 0,622 \text{ in} = 0,0518 \text{ ft}$$

$$\text{Diameter luar (OD)} = 0,840 \text{ in} = 0,070 \text{ ft}$$

Diasumsikan :

$$\text{Tebal pengelasan luar (two)} = 4/16 \text{ in}$$

$$\text{Tebal pengelasan dalam (twi)} = 5/16 \text{ in}$$

$$t_p = 0,5 \text{ in}$$

$$t_s = 0,1875 \text{ in}$$

Diketahui : -  $t_{\min} = t$  terkecil antara  $t_s$ ,  $t_n$  dan  $t_p$

$$t_n = (DO - DI)_{\text{lubang}} = 0,070 \text{ in} - 0,0583 \text{ in} = 0,218 \text{ in}$$

$$two_{\min} = 0,5 \times t_{\min} = 0,5 \times 3/16 \text{ in} = 0,13125 \text{ in}$$

$two > two_{\min}$ , sehingga pengelasan memadai.

$$twi_{\min} = 0,5 \times t_{\min} = 0,5 \times 3/16 \text{ in} = 0,0938 \text{ in}$$

$twi > twi_{\min}$ , sehingga pengelasan memadai.



Diameter penguat maksimum

$$dp = 2 \times d_{in_{maks}} = 2 \times 1,610 \text{ in} = 1,244 \text{ in}$$

$$di = 47,625 \text{ in} = 3,9688 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} trs &= \frac{\pi \times di}{2 [(f \times E) - (0,6 \times \pi)]} = \frac{18,0094 \text{ psi} \times 47,625 \text{ in}}{2 [(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,6 \times 18,0094 \text{ psi})]} \\ &= 0,00005328 \text{ in} \end{aligned}$$

c lubang = 0, sehingga :

$$\begin{aligned} trn &= \frac{\pi \times din}{2 [(f \times E) - (0,6 \times \pi)]} = \frac{18,0094 \text{ psi} \times 1,610 \text{ in}}{2 [(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,6 \times 18,0094 \text{ psi})]} \\ &= 0,0010 \text{ in} \end{aligned}$$

$$A = trs \times din = 0,0286 \text{ in} \times 1,610 \text{ in} = 0,00248436 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= din \times (ts - trs - c) = 1,610 \text{ in} (3/16 \text{ in} - 0,0286 \text{ in} - 0) \\ &= 0,11414064 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= 2 \times [((2 \frac{1}{4} \times tn) + tp)(tn - trn - c)] \\ &= 2 \times [((2 \frac{1}{4} \times 0,290 \text{ in}) + \frac{1}{2} \text{ in})(0,290 \text{ in} - 0,0010 \text{ in} - 0)] \\ &= 0,43175244 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 + A_2 &= 0,1141 \text{ in} + 0,4317 \text{ in} \\ &= 0,5458 \text{ Jadi tidak diperlukan penguat} \end{aligned}$$

### c. Lubang Produk Keluar

$$\text{Diameter lubang} = 1/8 \text{ in}$$

$$\text{Diameter dalam (ID)} = 0,269 \text{ in}$$

$$\text{Diameter luar (OD)} = 0,405 \text{ in}$$

Diasumsikan :

$$\text{Tebal pengelasan luar (two)} = 5/16 \text{ in}$$

$$\text{Tebal pengelasan dalam (twi)} = 5/16 \text{ in}$$

$$t_p = \frac{1}{2} \text{ in}$$

$$t_s = \frac{3}{16} \text{ in}$$

Diketahui : -  $t_{\min} = t$  terkecil antara  $t_s$ ,  $t_n$  dan  $t_p$

$$t_n = (DO - DI)_{\text{lubang}} = 0,405 \text{ in} - 0,269 \text{ in} = 0,136 \text{ in}$$

$$t_{\text{two min}} = 0,5 \times t_{\min} = 0,5 \times \frac{3}{16} \text{ in} = 0,0938 \text{ in}$$

$t_{\text{two}} > t_{\text{two min}}$ , sehingga pengelasan memadai.

$$t_{\text{twi min}} = 0,5 \times t_{\min} = 0,5 \times \frac{3}{16} \text{ in} = 0,0938 \text{ in}$$

$t_{\text{twi}} > t_{\text{twi min}}$ , sehingga pengelasan memadai.

Diameter penguat maksimum

$$d_p = 2 \times d_{\text{in maks}} = 2 \times 1,049 \text{ in} = 0,538 \text{ in}$$

$$d_i = 47,625 \text{ in} = 3,9688 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} t_{rs} &= \frac{\pi \times d_i}{2 [(f \times E) - (0,6 \times \pi)]} = \frac{18,0094 \text{ psi} \times 47,625 \text{ in}}{2 [(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,6 \times 18,0094 \text{ psi})]} \\ &= 0,00399414 \text{ in} \end{aligned}$$

$c_{\text{lubang}} = 0$ , sehingga :

$$\begin{aligned} t_{rn} &= \frac{\pi \times d_{in}}{2 [(f \times E) - (0,6 \times \pi)]} = \frac{18,0094 \text{ psi} \times 1,049 \text{ in}}{2 [(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,6 \times 18,0094 \text{ psi})]} \\ &= 0,00002304 \text{ in} \end{aligned}$$

$$A = t_{rs} \times d_{in} = 0,0286 \text{ in} \times 1,049 \text{ in} = 0,00107442 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= d_{in} \times (t_s - t_{rs} - c) = 1,049 \text{ in} ( \frac{3}{16} \text{ in} - 0,0286 \text{ in} - 0 ) \\ &= 0,04936308 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= 2 \times [ ((\frac{1}{2} \times t_n) + t_p)(t_n - t_{rn} - c) ] \\ &= 2 \times [ ((\frac{1}{2} \times 0,271 \text{ in}) + \frac{1}{2} \text{ in})(0,271 \text{ in} - 0,0006 \text{ in} - 0) ] \\ &= 0,0219 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_1 + A_2 &= 0,04936 \text{ in} + 0,0219 \text{ in} \\
 &= 0,26855793 \text{ in} \text{ Jadi tidak diperlukan penguat}
 \end{aligned}$$

#### d. Lubang Uap Keluar

$$\text{Diameter lubang} = 1 \text{ in}$$

$$\text{Diameter dalam (ID)} = 1,049 \text{ in}$$

$$\text{Diameter luar (OD)} = 1,315 \text{ in}$$

Diasumsikan :

$$\text{Tebal pengelasan luar (two)} = 6/16 \text{ in}$$

$$\text{Tebal pengelasan dalam (twi)} = 7/16 \text{ in}$$

$$t_p = \frac{1}{2} \text{ in}$$

$$t_s = 3/16 \text{ in}$$

Diketahui : -  $t_{\min} = t$  terkecil antara  $t_s$ ,  $t_n$  dan  $t_p$

$$t_n = (DO - DI)_{\text{lubang}} = 1 \text{ in} - 1,049 \text{ in} = 0,266 \text{ in}$$

$$two_{\min} = 0,5 \times t_{\min} = 0,5 \times 3/16 \text{ in} = 0,0938 \text{ in}$$

$two > two_{\min}$ , sehingga pengelasan memadai.

$$twi_{\min} = 0,5 \times t_{\min} = 0,5 \times 3/16 \text{ in} = 0,0938 \text{ in}$$

$twi > twi_{\min}$ , sehingga pengelasan memadai.

Diameter penguat maksimum

$$d_p = 2 \times d_{\text{inmaks}} = 2 \times 1,049 \text{ in} = 2,098 \text{ in}$$

$$d_i = 1,049 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}
 trs &= \frac{\pi \times d_i}{2 [(f \times E) - (0,6 \times \pi)]} = \frac{18,0094 \text{ psi} \times 47,625 \text{ in}}{2 [(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,6 \times 18,0094 \text{ psi})]} \\
 &= 0,0039 \text{ in}
 \end{aligned}$$

c lubang = 0, sehingga :

$$t_{rn} = \frac{P_i \times d_{in}}{2 [(f \times E) - (0,6 \times P_i)]} = \frac{18,0094 \text{ psi} \times 17,25 \text{ in}}{2 [(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,6 \times 18,0094 \text{ psi})]} = 0,00008986 \text{ in}$$

$$A = t_{rs} \times d_{in} = 0,0039 \text{ in} \times 17,25 \text{ in} = 0,0041 \text{ in}$$

$$A_1 = d_{in} \times (t_s - t_{rs} - c) = 17,25 \text{ in} (3/16 \text{ in} - 0,0039 \text{ in} - 0) = 0,1924 \text{ in}$$

$$A_2 = 2 \times [((2 \frac{1}{4} \times t_n) + t_p)(t_n - t_{rn} - c)] = 2 \times [((2 \frac{1}{4} \times 0,75 \text{ in}) + \frac{1}{2} \text{ in})(0,75 \text{ in} - 0,0104 \text{ in} - 0)] = 0,584 \text{ in}$$

$$A_1 + A_2 = 0,1924 \text{ in} + 0,5842 \text{ in} = 0,7767 \text{ in} \text{ Jadi tidak diperlukan penguat}$$

#### e. Lubang Kondensat Keluar

$$\text{Diameter lubang} = 0,5 \text{ in}$$

$$\text{Diameter dalam (ID)} = 0,622 \text{ in}$$

$$\text{Diameter luar (OD)} = 0,840 \text{ in}$$

Diasumsikan :

$$\text{Tebal pengelasan luar (two)} = 4/16 \text{ in}$$

$$\text{Tebal pengelasan dalam (twi)} = 5/16 \text{ in}$$

$$t_p = \frac{1}{2} \text{ in} ; t_s = 3/16 \text{ in}$$

Diketahui : -  $t_{\min} = t$  terkecil antara  $t_s$ ,  $t_n$  dan  $t_p$

$$t_n = (DO - DI)_{\text{lubang}} = 0,840 \text{ in} - 0,622 \text{ in} = 0,218 \text{ in}$$

$$two_{\min} = 0,5 \times t_{\min} = 0,5 \times 3/16 \text{ in} = 0,0938 \text{ in}$$

$two > two_{\min}$ , sehingga pengelasan memadai.

$$t_{wi \min} = 0,5 \times t_{\min} = 0,5 \times 3/16 \text{ in} = 0,0938 \text{ in}$$

$t_{wi} > t_{wi \min}$ , sehingga pengelasan memadai.

Diameter penguat maksimum

$$d_p = 2 \times d_{\text{inmaks}} = 2 \times 1,380 \text{ in} = 2,76 \text{ in}$$

$$d_i = 47,625 \text{ in} = 3,9688 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} t_{rs} &= \frac{P_i \times d_i}{2 [(f \times E) - (0,6 \times P_i)]} = \frac{18,0094 \text{ psi} \times 47,625 \text{ in}}{2 [(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,6 \times 18,0094 \text{ psi})]} \\ &= 0,0286 \text{ in} \end{aligned}$$

$c \text{ lubang} = 0$ , sehingga :

$$\begin{aligned} t_{rn} &= \frac{P_i \times d_{in}}{2 [(f \times E) - (0,6 \times P_i)]} = \frac{18,0094 \text{ psi} \times 1,38 \text{ in}}{2 [(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,6 \times 18,0094 \text{ psi})]} \\ &= 0,0008 \text{ in} \end{aligned}$$

$$A = t_{rs} \times d_{in} = 0,0286 \text{ in} \times 1,380 \text{ in} = 0,0395 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= d_{in} \times (t_s - t_{rs} - c) = 1,380 \text{ in} (3/16 \text{ in} - 0,0286 \text{ in} - 0) \\ &= 1,2193 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= 2 \times [((2 \frac{1}{4} \times t_n) + t_p)(t_n - t_{rn} - c)] \\ &= 2 \times [((2 \frac{1}{4} \times 0,28 \text{ in}) + \frac{1}{2} \text{ in})(0,28 \text{ in} - 0,0008 \text{ in} - 0)] \\ &= 0,6310 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 + A_2 &= 1,2193 \text{ in} + 0,6310 \text{ in} \\ &= 1,8503 \text{ in} > 0,0395 \text{ in, Jadi tidak diperlukan penguat} \end{aligned}$$

#### f. *Hand Hole*

$$\text{Diameter lubang} = 10 \text{ in}$$

$$\text{Diameter dalam hand hole} = 9,25 \text{ in}$$

$$\text{Diameter luar hand hole} = 10 \text{ in}$$

Diasumsikan :

$$\text{Tebal pengelasan luar (two)} = 7/16 \text{ in}$$

$$\text{Tebal pengelasan dalam (twi)} = 7/16 \text{ in}$$

$$t_p = 1/2 \text{ in}$$

$$t_s = 3/16 \text{ in}$$

Diketahui : -  $t_{\min} = t$  terkecil antara  $t_s$ ,  $t_n$  dan  $t_p$

$$t_n = (DO - DI)_{\text{lubang}} = 10 \text{ in} - 9,25 \text{ in} = 0,75 \text{ in}$$

$$\text{two}_{\min} = 0,5 \times t_{\min} = 0,5 \times 3/16 \text{ in} = 0,0938 \text{ in}$$

$\text{two} > \text{two}_{\min}$ , sehingga pengelasan memadai

$$\text{twi}_{\min} = 0,5 \times t_{\min} = 0,5 \times 3/16 \text{ in} = 0,0938 \text{ in}$$

$\text{twi} > \text{twi}_{\min}$ , sehingga pengelasan memadai.

Diameter penguat maksimum

$$d_p = 2 \times d_{\text{inmaks}} = 2 \times 9,25 \text{ in} = 18,5 \text{ in}$$

$$d_i = 47,625 \text{ in} = 3,9688 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} trs &= \frac{\pi \times d_i}{2 [(f \times E) - (0,6 \times \pi)]} = \frac{18,0094 \text{ psi} \times 47,625 \text{ in}}{2 [(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,6 \times 18,0094 \text{ psi})]} \\ &= 0,0286 \text{ in} \end{aligned}$$

$c_{\text{lubang}} = 0$ , sehingga :

$$\begin{aligned} t_{rn} &= \frac{\pi \times d_{in}}{2 [(f \times E) - (0,6 \times \pi)]} = \frac{18,0094 \text{ psi} \times 9,25 \text{ in}}{2 [(18750 \text{ psi} \times 0,8) - (0,6 \times 18,0094 \text{ psi})]} \\ &= 0,0056 \text{ in} \end{aligned}$$

$$A = trs \times d_{in} = 0,0286 \text{ in} \times 9,25 \text{ in} = 0,2646 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= d_{in} \times (t_s - trs - c) = 9,25 \text{ in} (3/16 \text{ in} - 0,0286 \text{ in} - 0) \\ &= 1,4698 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_2 &= 2 \times [((2 \frac{1}{4} \times t_n) + t_p)(t_n - t_{rn} - c)] \\
 &= 2 \times [((2 \frac{1}{4} \times 0,75 \text{ in}) + \frac{1}{2} \text{ in})(0,75 \text{ in} - 0,0056 \text{ in} - 0)] \\
 &= 3,2568 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_1 + A_2 &= 1,4698 \text{ in} + 3,2568 \text{ in} \\
 &= 4,7266 \text{ in} > 0,5506 \text{ in, Jadi tidak diperlukan penguat}
 \end{aligned}$$

### 6.9. Menentukan Dimensi Gasket, *Bolting* dan *Flange* pada Tangki

Diameter luar (OD) evaporator = 48 in

Diameter dalam (ID) evaporator = 47,625 in

ts = 3/16 in



Pemilihan :

a. Gasket pada tangki (Brownell dan Young, hlm 228)

Bahan : Asbestos

Tebal : 1/16 in

Faktor gasket (m) : 2,75

*Design stress seating* minimal (y) : 3700 psi

b. *Bolting* pada tangki (Brownell dan Young, hlm 340)

Bahan : SB 160

*Stress* : 15.000 psi

c. *Flange* pada tangki

Bahan : Carbon steel SA – Grade M tipe 316

*Stress* : 18.750 psi

### 6.9.1. Menentukan Gasket pada Tangki

#### a. Menentukan Lebar Gasket

Dari Brownell dan Young, hlm 226 diketahui bahwa :

$$\frac{d_o}{d_i} = \sqrt{\frac{y - (P \times m)}{y - P(m + 1)}}$$

dimana :

$d_o$  = diameter luar gasket

$d_i$  = diameter dalam gasket

$P$  = 18,0094 psi

$y$  = 3700 psi

$m$  (faktor gasket) = 2,75

$$\text{sehingga : } \frac{d_o}{d_i} = \sqrt{\frac{3700 \text{ psi} - (18,0094 \text{ psi} \times 2,75)}{3700 \text{ psi} - 18,0094 \text{ psi}(2,75 + 1)}} = 1,0025$$

Diasumsikan diameter dalam ( $d_i$ ) gasket = 60 in

Sehingga :  $d_o = 1,0025 \times 60 \text{ in} = 60,15 \text{ in}$

Dari Brownell dan Young, hlm 242 didapatkan :

$$\begin{aligned} \text{Lebar minimum gasket} &= \frac{1}{2} (d_o - d_i) = \frac{1}{2} (60,15 \text{ in} - 60 \text{ in}) \\ &= 0,075 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,2 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

#### b. Menentukan Beban Gasket

Dari Brownell dan Young, hlm 240 diketahui bahwa :

$$W_{m2} = H_y = \pi \times b \times G_y$$

Dimana :

$B$  = lebar efektif gasket



$$Y = \text{yield} = 1600 \text{ psi}$$

G = diameter pada tempat terjadinya beban gasket

$$n = \text{tebal gasket} = 1/16 \text{ in (asumsi)}$$

$$\begin{aligned} G = d \text{ rata-rata gasket} &= d_i + \text{tebal gasket} = 60 \text{ in} + 1/16 \text{ in} \\ &= 60,0625 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari Brownell dan Young, fig. 12.12 hlm 229, diketahui bahwa  $bo \leq \frac{1}{4} \text{ in}$  apabila

$bo = b$ , sehingga :

$$bo = \frac{n}{2} = \frac{1/16 \text{ in}}{2} = 0,03125 \text{ in} = b$$

didapatkan :

$$W_{m2} = \pi \times 0,03125 \times 60,0625 \text{ in} \times 3700 = 21.806,4414 \text{ in}$$

Dari Brownell dan Young, hlm 240 diketahui bahwa beban untuk menjaga sambungan adalah :

$$\begin{aligned} H_p &= 2b\pi \times G \times p \times m \\ &= (2 \times 0,03125 \text{ in} \times \pi) \times 60,0625 \text{ in} \times 18,0094 \text{ psi} \times 0,75 \\ &= 159,2112 \text{ lb} \end{aligned}$$

Beban karena tekanan dalam :

$$\begin{aligned} H &= \pi/4 \times G^2 \times P = \pi/4 \times (60,0625 \text{ in})^2 \times 18,0094 \text{ in} \\ &= 51.000,6500 \text{ lb} \end{aligned}$$

Jadi beban berat pada kondisi operasi didapatkan :

$$\begin{aligned} W_{m1} &= H + H_p = 51.000,6500 \text{ lb} + 159,2112 \text{ lb} \\ &= 51.159,8612 \text{ lb} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diketahui bahwa  $W_{m1} > W_{m2}$ , sehingga beban yang mengontrol dalam proses adalah  $W_{m1}$ .

### 6.9.2. Menentukan Baut Tangki

Dari Brownell dan Young, hlm 240, diketahui bahwa luas minimum baut area ( $A_m$ ) adalah :

$$A_m = \frac{W_{m1}}{fb} = \frac{51.159,8612 \text{ lb}}{15000} = 3,4107 \text{ in}^2$$

Dari Brownell dan Young, hlm 188, maka :

Dicoba ukuran baut = 1 in

*Root Area* = 0,551 in<sup>2</sup>

Jumlah baut minimum (N) :

$$N = \frac{A_m}{\text{Root Area}} = \frac{3,4107 \text{ in}^2}{0,551 \text{ in}^2} = 6,19 \approx 7 \text{ buah}$$

Sehingga dari Brownell dan Young, hlm 188 diperoleh :

- Ukuran nominal baut = 1 in
- *Root area* = 0,551 in<sup>2</sup>
- *Bolt spacing* (Bc) = 2 ¼ in
- Jarak radial minimum (R) = 1 3/8 in
- Jarak dari tepi (E) = 1 1/16 in
- *Nut dimension* = 1 5/8 in
- *Radius fillet* maks (r) = 7/16 in

Pengecekan lebar gasket :

$$\begin{aligned} \text{Ab aktual} &= \text{jumlah baut} \times \text{root area} \\ &= 7 \times 0,551 \text{ in}^2 \\ &= 3,8570 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

Dari Brownell dan Young, hlm 243 didapat lebar gasket minimum (W) :

$$W = \frac{A_b \text{ aktual} \times f \text{ allowable}}{2 \times Y \times G \times \pi} = \frac{3,8570 \text{ in}^2 \times 15000}{2 \times 3700 \times 60,0625 \times \pi}$$

$$= 0,0004 \text{ in}$$

Karena  $W = 0,0004 \text{ in} <$  dari lebar gasket yang ditentukan  $= 1 \frac{1}{16} \text{ in}$ , maka lebar gasket memadai.

### 6.9.2. Menentukan *Flange* Tangki

#### a. Menentukan Diameter Luar *Flange* (A)

Dari Brownell dan Young, hlm 243 didapat :

$$A = \text{bolt circle diameter} + 2 E = C + 2 E$$

$$C = 2 (1,45 g_o + R) + \text{di gasket}$$

Dimana  $g_o > \frac{5}{8} \text{ in}$ , maka diambil harga  $g_o = 0,8 \text{ in}$

Sehingga :

$$C = [2 ((1,45 \times 0,8 \text{ in}) + 1 \frac{3}{8} \text{ in})] + 60 \text{ in} = 65,07 \text{ in}$$

$$A = \text{OD} = 65,07 \text{ in} + (2 \times 1 \frac{1}{16} \text{ in}) = 67,195 \text{ in}$$

#### b. Menentukan Momen

Untuk keadaan *bolting up* (tanpa tekanan dalam), maka :

$$W = \frac{1}{2} (A_m + A_b) \times f_{all} = \frac{1}{2} (3,4107 \text{ in}^2 + 3,8570 \text{ in}^2) \times 15000$$

$$= 54.507,75 \text{ lb}$$

Dari Brownell dan Young, hlm 243, maka diketahui jarak radial dari beban gasket yang bereaksi terhadap *bolt circle* ( $h_G$ ) adalah :

$$h_G = \frac{1}{2} (C - G) = \frac{1}{2} (65,07 \text{ in} - 60,0625 \text{ in}) = 2,5038 \text{ in}$$

Momen *flange* ( $M_a$ ) :

$$M_a = h_G \times W = 2,5038 \text{ in} \times 54.507,75 \text{ lb} = 136.476,5045 \text{ lb in}$$

Untuk kondisi operasi :

$$\begin{aligned} W &= W_{ml} = H + H_p = 51.000,6500 + 159,2112 \\ &= 51.159,8612 \text{ lb} \end{aligned}$$

Tekanan hidrostatik pada daerah *flange* ( $H_D$ ) :

$$\begin{aligned} H_D &= 0,785 B^2 \times P \quad \text{dimana : } B = \text{OD shell} = 48 \text{ in} \\ &P = 18,0094 \text{ psi} \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} H_D &= 0,785 B^2 \times P = 0,785 \times (48 \text{ in})^2 \times 18,0094 \text{ psi} \\ &= 32.572,5212 \text{ lb} \end{aligned}$$

Dari Brownell dan Young, hlm 243, diketahui jarak jari-jari dari *bolt circle* pada  $H_D$  adalah :

$$h_D = \frac{1}{2} (C - B) = \frac{1}{2} (65,07 \text{ in} - 48 \text{ in}) = 8,535 \text{ in}$$

Momen komponen  $M_D$  :

$$\begin{aligned} M_D &= H_D \times h_D = 32.572,5212 \text{ lb} \times 8,535 \text{ in} \\ &= 278.006,4684 \text{ lb in} \end{aligned}$$

Perbedaan antar beban baut *flange* dengan gaya hidrostatik total :

$$\begin{aligned} H_G &= W - H = W_{ml} - H = 51.159,8612 \text{ lb} - 51.000,6500 \text{ lb} \\ &= 159,2112 \text{ lb} \end{aligned}$$

Komponen momen ke  $M_G$  :

$$M_G = H_G \times h_G = 159,2112 \text{ lb} \times 2,5038 \text{ in} = 398,6330 \text{ lb in}$$

Perbedaan antara gaya hidrostatik total dengan gaya hidrostatik dalam area *flange* adalah :

$$\begin{aligned} H_T &= H - H_D = 51.000,6500 \text{ lb} - 32.572,5212 \text{ lb} \\ &= 18.428,1288 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_T &= \frac{1}{2} (h_D + h_G) = \frac{1}{2} (8,535 \text{ in} + 2,5038 \text{ in}) \\
 &= 5,5194 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Komponen momen ( $M_T$ ) :

$$\begin{aligned}
 M_T &= H_T \times h_T = 18.428,1288 \text{ lb} \times 5,5194 \text{ in} \\
 &= 101.712,2141 \text{ lb in}
 \end{aligned}$$

Total momen pada kondisi operasi :

$$\begin{aligned}
 M_O &= M_D + M_G + M_T \\
 &= 278.006,4684 \text{ lb in} + 398,6330 \text{ lb in} + 101.712,2141 \text{ lb in} \\
 &= 380.117,3155 \text{ lb in}
 \end{aligned}$$

### c. Menentukan Tebal *Flange*

Dari Brownell dan Young, hlm 244 : 
$$t = \sqrt{\frac{y \times M_{maks}}{f \times B}}$$

Dimana :  $M_{maks} = M_O$

$f = \text{stress} = 18750 \text{ psi}$

$B = \text{OD evaporator} = 48 \text{ in}$

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{A}{B} = \frac{\text{OD flange}}{\text{OD evaporator}} = \frac{67,195 \text{ in}}{48 \text{ in}} \\
 &= 1,3999
 \end{aligned}$$

Dari Brownell dan Young, fig. 12.12, hlm 238, didapatkan  $y = 2,5$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga : } t &= \sqrt{\frac{2,5 \times 380.117,3155 \text{ lb in}}{18750 \text{ psi} \times 48 \text{ in}}} \\
 &= 1,0276 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Jadi dipakai tebal flange = 2 in

**Kesimpulan dimensi :****a. Gasket pada tangki**

Bahan : Asbestos  
 Tebal : 1/16 in  
 Lebar : 3/16 in

**b. Bolting pada tangki**

Bahan : SB 160  
 Ukuran : 1 in  
 Jumlah : 7 buah  
*Bolt spacing* : 2 ¼ in  
 Jarak radial minimum : 1 3/8 in  
 Jarak dari tepi : 1 1/16 in  
 Stress : 15000 psi

**c. Flange pada tangki**

Bahan : Carbon steel SA – Grade M tipe 316  
 Stress : 18.750 psi  
 Tebal : 2 in  
 OD : 67,195 in

**6.10. Menentukan Dimensi Penyangga****a. Berat Bejana Kosong**

$$OD = 48 \text{ in} = 4 \text{ ft}$$

$$ID = 47,625 \text{ in} = 3,9688 \text{ ft}$$

$$ts = 3/16 \text{ in} = 0,0156 \text{ ft}$$

Dari Perry, edisi 6, tabel 3-118 didapatkan densitas bejana ( $\rho$ ) = 489 lb/ft<sup>3</sup>

$$\text{Tinggi silinder} = L_s = 8,2533 \text{ ft} = 99,0396 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} W_s &= (\pi/4) \times (d_o^2 - d_i^2) \times \rho \times H \\ &= (\pi/4) \times [(4 \text{ ft})^2 - (3,9688 \text{ ft})^2] \times 489 \text{ lb/ft}^3 \times 8,2533 \text{ ft} \\ &= \frac{787,6870 \text{ lb}}{2,2046 \text{ lb/kg}} = 357,2925 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### b. Berat Tutup Bejana

Tutup bawah *conical* :

$$V = \frac{\pi (d_o^3 - d_i^3)}{24 \times \text{tg } \frac{1}{2}\alpha} = \frac{\pi [(4 \text{ ft})^3 - (3,9688 \text{ ft})^3]}{24 \times \text{tg } 60^\circ} = 0,0188 \text{ ft}^3$$

$$\begin{aligned} W_{Tb} &= V \times \rho = 0,0188 \text{ ft}^3 \times 489 \text{ lb/ft}^3 = \frac{9,1932 \text{ lb}}{2,2046 \text{ lb/kg}} \\ &= 4,1700 \text{ kg} \end{aligned}$$

Tutup atas *standar dished* :

$$\begin{aligned} V &= 0,000049 (d_o^3 - d_i^3) = 0,000049 [(4 \text{ ft})^3 - (3,9688 \text{ ft})^3] \\ &= 7,28 \cdot 10^{-5} \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{Ta} &= V \times \rho = 7,28 \cdot 10^{-5} \text{ ft}^3 \times 489 \text{ lb/ft}^3 = \frac{0,0356 \text{ lb}}{2,2046 \text{ lb/kg}} \\ &= 0,0161 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{tutup}} &= W_{Tb} + W_{Ta} = 4,1700 \text{ kg} + 0,0161 \text{ kg} \\ &= 4,1861 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### c. Berat Larutan Evaporator

$$W_L = 2.874,4088 \text{ kg (App. A, hlm 35)}$$

#### d. Berat Tube (Wt)

$$\text{Diameter luar} = 0,840 \text{ in} = 0,070 \text{ ft}$$

$$\text{Diameter dalam} = 0,622 \text{ in} = 0,052 \text{ ft}$$

$$\rho_{\text{tube}} = 489 \text{ lb/ft}^3$$

$$\begin{aligned} W_t &= (\pi/4) \times (d_o^2 - d_i^2) \times \rho \times N_t \times L \\ &= (\pi/4) \times [(0,070 \text{ ft})^2 - (0,052 \text{ ft})^2] \times 489 \text{ lb/ft}^3 \times 1912 \times 4 \text{ ft} \\ &= \frac{6.447,0157 \text{ lb}}{2,2046 \text{ lb/kg}} \\ &= 2.924,3471 \text{ kg} \end{aligned}$$

**e. Berat Steam**

$$W_{st} = 2.146,5981 \text{ kg (App. B, hlm 18)}$$

**f. Berat isolasi**

Dipilih isolasi = *Asbestos Fibber Standart*

Dari Kern, hlm 795 didapat harga :  $\rho_{\text{asbestos}} = 29,3 \text{ lb/ft}^3$

Diasumsikan tebal isolasi = 2 in, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{OD isolasi} &= D_{\text{shell}} + \text{tebal isolasi} = 48 \text{ in} + 2 \text{ in} \\ &= 50 \text{ in} = 4,1667 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$H = 8,2533 \text{ ft} = 99,0396 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} W_I &= (\pi/4) \times [(d_{o\text{isolasi}})^2 - (d_{o\text{shell}})^2] \times \rho \times H \\ &= (\pi/4) \times [(4,1667 \text{ ft})^2 - (4 \text{ ft})^2] \times 29,3 \text{ lb/ft}^3 \times 8,2533 \text{ ft} \\ &= \frac{258,4325 \text{ lb}}{2,2046 \text{ lb/kg}} \\ &= 117,2242 \text{ kg} \end{aligned}$$

**g. Berat Perlengkapan Lain di Shell**

Diambil 18 % berat shell, sehingga :

$$\begin{aligned} W_p &= 18 \% \times W_s = 18 \% \times 357,2925 \text{ kg} \\ &= 64,3127 \text{ kg} \end{aligned}$$



Maka didapat :

$$\begin{aligned}
 \text{Berat total} &= W_s + W_{\text{tutup}} + W_L + W_t + W_{st} + W_I + W_p \\
 &= 357,2925 \text{ kg} + 4,1861 \text{ kg} + 2.874,4088 \text{ kg} + 2.924,3471 \text{ kg} + \\
 &\quad 2.146,5981 \text{ kg} + 117,2242 \text{ kg} + 64,3127 \text{ kg} \\
 &= 8.488,3695 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Untuk faktor pengamanan dipakai *safety* 10 % lebih besar, maka berat total menjadi :

$$W_{\text{total}} = 1,1 \times 8.488,3695 \text{ kg} = 9.337,2065 \text{ kg}$$

#### h. Perancangan *Leg Support*

Untuk penahan dipilih jenis *I-Beam* dengan jumlah 4 buah

$$\begin{aligned}
 \text{Beban tiap kolom (P)} &= \frac{\text{Berat total}}{4} = \frac{9.337,2065 \text{ kg}}{4} \\
 &= 2.334,3016 \text{ kg} \times 2,2046 \text{ lb/kg} \\
 &= 5.146,2013 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Evaporator dianggap terletak di dalam ruangan, sehingga tekanan angin tidak dikontrol (tanpa beban eksentrik).

Untuk *I-Beam* dicoba dengan ukuran (8 x 4), sehingga dari Brownell dan Young, hlm 355 didapat :

$$\begin{array}{ll}
 \text{Berat} &= 23 \text{ lb} & b &= 4,171 \text{ in} \\
 \text{Luas (Ay)} &= 6,71 \text{ in}^2 & R_{2-2} &= 0,81 \text{ in} \\
 H &= 8 \text{ in} & I_{2-2} &= 4,4 \text{ in}^4
 \end{array}$$

Jarak dari *base plate* ke dasar kolom = L = 8 ft

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi leg (l)} &= (0,5 \times H) + (0,5 \times L) = (0,5 \times 8,2533 \text{ ft}) + (0,5 \times 8 \text{ ft}) \\
 &= 8,1267 \text{ ft} \times 12 \text{ in/ft} \\
 &= 97,5204 \text{ in}
 \end{aligned}$$

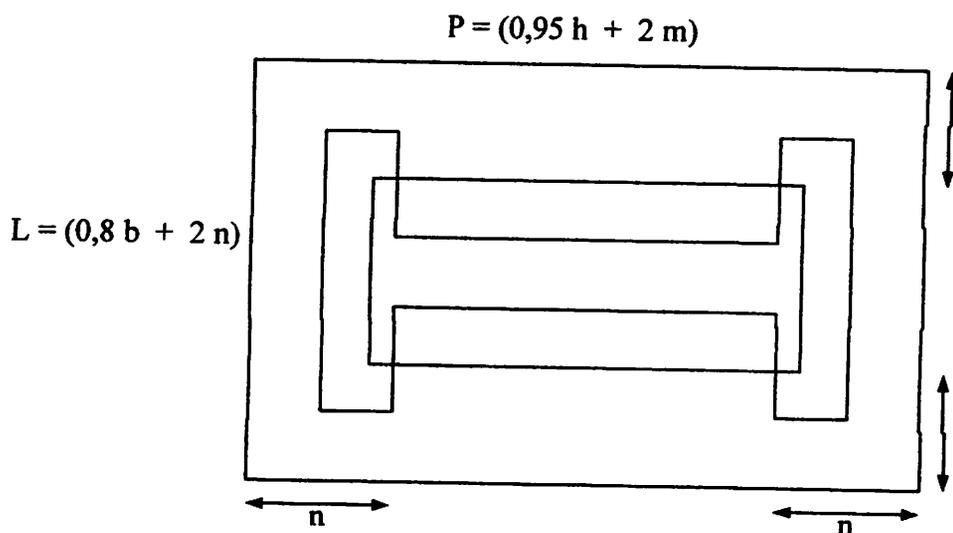
sehingga didapat :  $\frac{l}{r} = \frac{97,5204 \text{ in}}{0,81 \text{ in}} = 120,3956$

$$f_c \text{ aman} = \frac{18000}{1 + \frac{\left(\frac{l}{r}\right)^2}{18000}} = \frac{18000}{1 + \frac{(120,3956)^2}{18000}} = 9.970,7339 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas (A) yang dibutuhkan} &= \frac{P}{f_c \text{ aman}} = \frac{5.146,2013 \text{ lb}}{9.970,7339 \text{ psi}} \\ &= 0,5161 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

Karena A yang dibutuhkan < A tersedia, maka *I-Beam* dengan ukuran tersebut di atas memadai.

#### i. Dimensi *Base Plate*



$$P = 5.146,2013 \text{ lb}$$

$$\text{Luas base plate} = A_1 = \frac{P}{f_{bp}}$$

Dimana :  $f_{bp}$  = stress pada pondasi

Direncanakan pondasi menggunakan beton, maka dari Hesse, hlm 162 diperoleh  $f_{bp}$   
= 600 psi sehingga :

$$A_1 = \frac{5.146,2013 \text{ lb}}{600 \text{ psi}} = 8,5770 \text{ in}^2$$

Menghitung panjang dan lebar dari *base plate* :

$$A_2 = P \times L \quad \text{dimana} \quad P = 0,95 h + 2 m$$

$$L = 0,8 b + 2 n$$

Diasumsikan  $m = n$ , sehingga :

$$A_2 = (0,95 h + 2 m)(0,8 b + 2 n)$$

$$8,5770 \text{ in}^2 = 4 m^2 + 21,8736 m + 25,3597$$

$$0 = 4 m^2 + 21,8736 m + 16,7827$$

Dengan rumus ABC, maka didapat :  $m = 0,9231 \text{ in}$

$$\begin{aligned} P = 0,95 h + 2 m &= (0,95 \times 8 \text{ in}) + (2 \times 0,9231 \text{ in}) \\ &= 9,4462 \text{ in} \approx 11 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L = 0,8 b + 2 n &= (0,8 \times 4,171 \text{ in}) + (2 \times 0,9231 \text{ in}) \\ &= 5,183 \text{ in} \approx 6 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 = P \times L &= 11 \text{ in} \times 6 \text{ in} \\ &= 66 \text{ in} \end{aligned}$$

$A_2 > A_1$ , maka ukuran *I-Beam* memadai.

Harga  $m$  dan  $n$  baru :

$$P = 0,95 h + 2 m$$

$$11 \text{ in} = (0,95 \times 8 \text{ in}) + (2 m)$$

$$m = 1,7 \text{ in}$$

$$L = 0,8 b + 2 n$$

$$6 \text{ in} = (0,8 \times 4,171 \text{ in}) + (2 n)$$

$$n = 1,3316 \text{ in}$$

Beban yang harus ditahan :

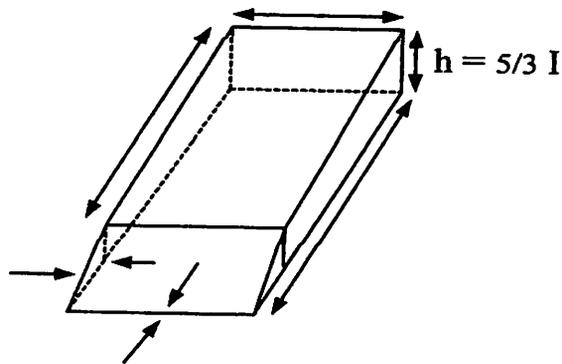
$$P = \frac{P}{A_2} = \frac{5.146,2013 \text{ lb}}{66 \text{ in}} = 77,9727 \text{ lb/in}$$

Tebal *base plate*:

$$\begin{aligned} T_{bp} &= \sqrt{0,00015 \times P \times m^2} = \sqrt{0,00015 \times 77,9727 \text{ lb/in} \times (1,7 \text{ in})^2} \\ &= 0,1839 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 2,9424/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

#### j. Dimensi Baut

$$P \text{ baut} = 5.146,2013 \text{ lb}$$



$$\text{Jumlah baut} = 4 \text{ buah}$$

$$P \text{ tiap baut} = \frac{5.146,2013 \text{ lb}}{4} = 1.286,5503 \text{ lb}$$

$$F_t \text{ steel} = \text{Beban tiap baut maks} = 12000 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} A \text{ baut} &= \frac{P \text{ tiap baut}}{f_t \text{ steel}} = \frac{1.286,5503 \text{ lb}}{12000 \text{ psi}} \\ &= 0,1072 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$A_b = \frac{1}{4} \pi d_b^2$$

$$0,1072 \text{ in}^2 = \frac{1}{4} \pi d_b^2$$

$$d_b = 0,3695 \text{ in}$$

Standarisasi dari Brownell dan Young, hlm 188 :

Ukuran D baut	=	½ in
<i>Bolt spacing</i>	=	1 ¼ in
Jarak radial minimum	=	1 3/16 in
<i>Edge distance</i>	=	5/8 in
<i>Nut dimension</i>	=	7/8 in

### k. Dimensi *Lug Support*

Di gunakan 2 *plate* horizontal (*lug*) dan *plate* vertikal (*gusset*).

$$\text{Tebal plate horizontal : } T_{hp} = \sqrt{\frac{6 \times M_y}{f \text{ all}}}$$

Dimana :

$T_{hp}$  = tebal plate horisontal

$F_{\text{allow}}$  = *allowable stress material*

$$M = \frac{\beta^3 \times t^2 \times P \times e \times r_o^2}{12 (1-\mu) b \times h}$$

Dimana :

$M$  = *axial bending* momen

$T$  = tebal momen

$P$  = beban yang ditanggung

$A$  = lebar *arm* untuk beban  $P$

$H$  = *gasket / rob height*

$\mu$  = rasio Poisson = 0,3

$r_o$  = jari-jari silinder luar = ½ OD = ½ x 48 in  
= 24 in

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3(1-\mu^2)}{r_0^2 \times ts^3}} = \sqrt[4]{\frac{3[1-(0,3)^2]}{(24 \text{ in})^2 \times (3/16 \text{ in})^3}} = 0,9208$$

$$e = \frac{1}{2} ts + \frac{1}{2} bi + 1,5 = (\frac{1}{2} \times 3/16 \text{ in}) + (\frac{1}{2} \times 4,171) + 1,5 \\ = 3,6793 \text{ in}$$

$$l = b + 2 db = 4,171 + (2 \times \frac{1}{2}) = 5,171 \text{ in}$$

$$h = \text{tinggi lug} = \frac{5}{3} \times l = \frac{5}{3} \times 5,171 \text{ in} \\ = 8,6183 \text{ in}$$

$$P = 5.146,2013 \text{ lb}$$

$$M = \frac{(0,9208)^3 \times (3/16)^2 \times 5.146,2013 \times 3,6793 \times (24)^2}{12 \times (1-0,3) \times 4,171 \times 8,6183}$$

$$= 991,3610$$

$$T_{hp} = \sqrt{\frac{6 \times M_y}{f \text{ all}}} = \sqrt{\frac{6 \times 991,3610}{12000}} = 0,7040 \times 16/16 \\ = 11,2640/16 \text{ in} \approx 12/16 \text{ in}$$

$$T_g = \frac{3}{8} \times T_{hp} = \frac{3}{8} \times 12/16 \text{ in} = 0,2813 \text{ in} \times 16/16 \\ = 4,5008/16 \text{ in} \approx 5/16 \text{ in}$$

### 1. Dimensi Pondasi

Berat total yang harus ditahan pondasi adalah :

- Berat beban total bejana
- Berat kolom penyangga
- Berat *base plate*

Ditentukan :

- Masing-masing kolom penyangga diberi pondasi
- Spesifikasi didasarkan atas beban tiap kolom penyangga pada sistem pondasi
- Spesifikasi tiap kolom penyangga adalah sama

$$\text{Berat beban kolom } (W_k) = 5.146,2013 \text{ lb}$$

$$\text{Berat base plate } (W_{bp}) = p \times l \times t \times \rho$$

Dimana :

$$W_{bp} = \text{beban base plate}$$

$$p = \text{panjang base plate} = 11 \text{ in} = 0,9167 \text{ ft}$$

$$l = \text{lebar base plate} = 6 \text{ in} = 0,5 \text{ ft}$$

$$t = \text{tebal base plate} = 3/16 \text{ in} = 0,0156 \text{ ft}$$

$$\rho \text{ baja} = \text{densitas baja} = 480 \text{ lb/ft}^3$$

sehingga :

$$\begin{aligned} W_{hp} &= 0,9167 \text{ ft} \times 0,5 \text{ ft} \times 0,0156 \text{ ft} \times 480 \text{ lb/ft}^3 \\ &= 3,4321 \text{ lb} \end{aligned}$$

Beban penyangga kolom :

$$W_p = l \times A \times \rho \times f$$

Dimana :

$$W_p = \text{beban kolom}$$

$$l = \text{tinggi kolom} = 9,364 \text{ ft}$$

$$\rho = \text{densitas baja}$$

$$A = \text{luas kolom } I\text{-Beam}$$

$$f = \text{faktor koreksi} = 3,4$$

sehingga :

$$\begin{aligned} W_p &= 9,364 \text{ ft} \times 0,0466 \text{ ft}^2 \times 480 \text{ lb/ft}^3 \times 3,4 \\ &= 712,1434 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi : } W_t &= W_k + W_p = 5.146,2013 \text{ lb} + 712,1434 \text{ lb} \\ &= 5.858,3447 \text{ lb} \end{aligned}$$

Dengan penyangga hanya ada gaya vertikal dan berat kolom itu sendiri yang bekerja pada pondasi, maka diambil bidang kerja berbentuk persegi panjang dengan ukuran :

$$\text{Luas pondasi atas} = 10 \text{ in} \times 10 \text{ in}$$

$$\text{Luas pondasi bawah} = 20 \text{ in} \times 20 \text{ in}$$

$$\text{Tinggi pondasi} = 15 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas pondasi rata-rata} &= \frac{\text{Luas pondasi atas} + \text{Luas pondasi bawah}}{2} \\ &= \frac{(10 \text{ in} \times 10 \text{ in}) + (20 \text{ in} \times 20 \text{ in})}{2} \\ &= 250 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume pondasi (V)} &= A \times t = 250 \text{ in}^2 \times 15 \text{ in} = 3.750 \text{ in}^3 \\ &= 2,1701 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Dari Kern, hlm 795 didapat harga  $\rho$  beton = 115 lb/ft<sup>3</sup> sehingga :

$$\begin{aligned} W_b &= V \times \rho = 2,1701 \text{ ft}^3 \times 115 \text{ lb/ft}^3 \\ &= 249,5615 \text{ lb} \end{aligned}$$

Menentukan tekanan tanah :

Diasumsikan kondisi tanah adalah *gravel* (kerikil) dengan tegangan yang diinginkan maka dari Hesse, hlm 327 diperoleh *safe bearing power* minimum adalah 2 ton/ft<sup>3</sup> dan *safe bearing power* maksimum adalah 4 ton/ft<sup>3</sup>.

Berat total yang harus ditahan pondasi :

$$\begin{aligned} W_{\text{total}} &= W_t + W_b = 5.858,3447 \text{ lb} + 249,5615 \text{ lb} \\ &= 6.107,9062 \text{ lb} \end{aligned}$$

Luas tanah yang didasari pondasi :

$$A = 20 \text{ in} \times 20 \text{ in} = 400 \text{ in}^2$$



$$\begin{aligned} \text{Tekanan pada tanah (P)} &= \frac{W \text{ total}}{A} = \frac{6.107,9062 \text{ lb}}{400 \text{ in}^2} \\ &= 15,2698 \text{ lb/in}^2 \end{aligned}$$

Digunakan *safe bearing power* minimum untuk menjamin keamanannya, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Bearing power tanah} &= 2000 \frac{\text{kg}}{\text{ft}^3} \times \frac{1 \text{ lb}}{0,4536 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{144 \text{ in}^2} \\ &= 30,6192 \text{ lb/in}^2 \end{aligned}$$

Tekanan dari pondasi *bearing power* tanah aman karena  $P_{\text{pondasi}} < P_{\text{bearing power}}$ , maka penggunaan pondasi dengan ukuran (10 in x 10 in) untuk bagian atas dan (20 in x 20 in) untuk bagian bawah dengan ketinggian 15 in yang dibangun di atas tanah (kerikil) adalah memadai.

### Kesimpulan Spesifikasi Evaporator

Type : *Short tube vertical (calandria)* dengan tutup atas berbentuk *standard dished* dan tutup bawah *conical*.

Jumlah feed masuk (F)	:	2874,40880351 kg/jam	
Suhu feed masuk evaporator	:	71 °C	= 159,80 °F
Suhu feed keluar evaporator	:	100,9425 °C	= 213,70 °F
Suhu steam (T <sub>1</sub> )	:	160 °C	= 320 °F
Tekanan operasi (P)	:	1,04 atm	= 15,2880 psia

### Dimensi alat :

#### a. Tube

- Susunan pipa : *Triangular pitch*
- Panjang pipa : 4 ft
- Diameter luar pipa : 0,840 in = 0,070 ft

- Diameter dalam pipa : 0,622 in = 0,052 ft
- Jumlah *tube* : 329 buah

b. Silinder

- Bahan : HAS SA-240 grade M type 316
- Diameter luar silinder : 48 in
- Diameter dalam silinder : 47,625 in
- Tinggi silinder (Ls) : 99,0396 in
- Tebal silinder (ts) : 3/16 in

c. Perpipaan

- Ukuran pipa pemasukan steam : 8 in
- Ukuran pipa pemasukan feed : 1½ in
- Ukuran pipa pemasukan produk : 1 in
- Ukuran pipa pemasukan uap : 18 in
- Ukuran pipa pemasukan kondensat : 1¼ in
- Ukuran *hand hole* : 10 NPS

d. Gasket

- Bahan : Asbestos
- Tebal : 1/16 in
- Lebar : 3/16 in

e. *Bolting* (baut)

- Bahan : SB 160
- Ukuran : 1 in
- Jumlah : 7 buah

f. *Flange*

- Bahan : *Carbon steel SA – Grade M tipe 316*
- Tebal : 2 in
- OD : 67,195 in

g. *Leg Support*

- Jenis : *I-Beam (8 x 4)*
- Luas (Ay) : 6,71 in<sup>2</sup>
- H : 8 in
- b : 4,171 in
- R<sub>2-2</sub> : 0,81 in
- I<sub>2-2</sub> : 4,4 in<sup>4</sup>

h. *Base plate*

- Bahan konstruksi : *Carbon steel*
- Tebal *base plate* : 3/16 in
- Ukuran : 11 in x 6 in
- Jumlah baut : 4 buah
- Ukuran diameter baut : ½ in

i. *Pondasi*

- Bahan : Beton
- Ukuran atas : 10 in x 10 in
- Ukuran bawah : 20 in x 20 in
- Tinggi pondasi : 15 in

## **BAB VII**

### **INSTRUMENTASI DAN KESELAMATAN KERJA**

#### **7.1. Instrumentasi**

Dalam proses industri kimia, instrumentasi mempunyai peranan yang penting dalam pengendalian proses. Bila diinginkan suatu hasil dengan kondisi tertentu dari suatu masukan dalam suatu peralatan proses dengan kondisi tertentu pula, maka hal ini dapat tercapai dengan bantuan instrumentasi. Instrumentasi di sini berfungsi sebagai alat ukur yang terdiri dari indikator (penunjuk), pencatat, recorder (perekam) dan controller (pengendali). Adapun yang dikontrol meliputi suhu, tekanan, rate aliran, tinggi cairan dalam suatu tangki dan sebagainya.

Pengendalian peralatan proses bisa dilakukan secara otomatis dan manual. Pengendalian secara manual digunakan apabila pengendalian proses sepenuhnya ditangani oleh tenaga manusia. Serta secara otomatis apabila pengendalian proses dilakukan oleh alat kontrol yang bisa bekerja dengan sendirinya (otomatis).

Pengendalian proses dilakukan secara otomatis apabila tidak memungkinkan dilakukan secara manual atau biaya otomasi alat kontrol otomatis lebih murah jika dibandingkan dengan tenaga manusia. Disamping itu pengendalian secara otomatis mempunyai keuntungan antara lain :

- Mengurangi jumlah pegawai
- Keselamatan kerja lebih terjamin
- Hasilnya dapat dipertanggungjawabkan
- Ketelitian yang dihasilkan cukup tinggi

Faktor-faktor yang diperlukan dalam pemilihan instrumentasi adalah :

- a. Jenis instrumentasi
- b. Range yang diperlukan untuk pengukuran
- c. Ketelitian yang diperlukan
- d. Bahan konstruksi serta pengaruh pemasangan pada kondisi proses
- e. Faktor ekonomi

Oleh karena itu, dalam perencanaan pendirian pabrik ini cenderung pada pemakaian alat kontrol secara otomatis. Namun demikian tenaga manusia masih sangat diperlukan dalam pengoperasian dan pengawasan proses.

Macam-macam alat kontrol yang digunakan dalam industri kimia, antara lain :

- a. *Pressure controller* : Alat pengendali tekanan
- b. *Level controller* : Alat pengendali tinggi permukaan liquid
- c. *Flow controller* : Alat pengendali laju alir
- d. *Temperatur controller* : Alat pengendali temperatur
- e. *Weight controller* : Alat pengendali massa bahan
- f. *Ratio controller* : Alat pengendali rasio gas

Dalam perencanaan suatu pabrik, alat kontrol yang diperlukan adalah :

- a. Indikator

Untuk mengetahui secara langsung kondisi operasi suatu daerah tertentu dari suatu peralatan.

- b. Controller

Untuk mengendalikan suatu kondisi operasi dalam aliran proses pada harga yang telah ditentukan.

c. Recorder

Untuk menunjukkan dan mencatat secara kontinu kondisi operasi pada harga yang telah ditentukan.

Dalam Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat dari ampas tapioa ini, instrumentasi yang digunakan yaitu :

a. Temperatur Controller (TC)

Berfungsi untuk mengendalikan suhu fluida dalam suatu aliran proses agar sesuai dengan harga yang telah ditentukan.

b. Pressure Indicator (PI)

Berfungsi untuk mengetahui tekanan dalam suatu proses secara langsung.

c. Flow Controller (FC)

Berfungsi untuk mengendalikan laju aliran fluida dalam pipa agar sesuai dengan harga yang telah ditentukan.

d. Level controller (LC)

Berfungsi untuk mengendalikan ketinggian fluida dalam suatu peralatan.

e. Weight Controller (WC)

Berfungsi untuk mengatur berat bahan dalam suatu sistem agar sesuai dengan harga yang telah ditentukan.

f. Ratio Controller (RC)

Berfungsi untuk mengatur perbandingan gas yang masuk dalam suatu peralatan.

Selain ditinjau dari kondisi proses yang merupakan syarat utama agar proses dapat berlangsung sesuai dengan yang direncanakan, pemilihan alat-alat kontrol juga harus mempertimbangkan faktor-faktor berikut :

- Mudah perawatan dan perbaikan bila terjadi kerusakan.
- Mudah mendapatkan suku cadangnya bila terjadi kerusakan.
- Mudah mengoperasikannya.
- Harganya realif murah dengan kualitas yang memadai.

Penempatan alat-alat kontrol pada setiap alat dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 7.1. Alat-alat kontrol yang dipakai pada setiap peralatan

No.	NAMA ALAT	KODE	INSTRUMENTASI
1.	Storage C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	F-111	PC,FC
2.	Storage HNO <sub>3</sub>	F-112	LC
3.	Tangki Pengencer	R-110	TC, FC
4.	Cooler	E-121	TC
5.	Rotary vacuum filter	H-122	FC
6.	Reaktor	R-120	TC, LC, WC, FC, PI
7.	Evaporator	V-130	TC
8.	Kondensor	E-141	TC
9.	Kristaliser	X-140	TC
10.	Pemanas udara	E-148, E-132	TC

## 7.2. Keselamatan Kerja

Kecelakaan kerja adalah kecelakaan yang terjadi pada seseorang pada hubungan kerja yang disebabkan oleh bahaya yang berkaitan dengan pekerjaan. Kecelakaan ini menimbulkan kerugian bagi karyawan, perusahaan dan masyarakat.

Untuk mencegah terjadinya kecelakaan kerja, maka dilakukan usaha keselamatan kerja yaitu usaha untuk mencegah terjadinya kecelakaan, kebakaran dan penyakit kerja dalam lingkungan kerja.

Pelaksanaan usaha keselamatan kerja bertujuan menghindari terjadinya kecelakaan kerja dan meningkatkan produktivitas kerja serta keuntungan perusahaan. Agar usaha keselamatan kerja dapat dilaksanakan dengan baik, harus diketahui sebab-sebab kecelakaan kerja, sehingga dapat diambil langkah-langkah preventif menghindari kecelakaan kerja

Tindakan penjagaan keselamatan dan keamanan suatu pabrik tidak hanya ditujukan kepada para pekerjanya saja, tetapi juga ditujukan pada peralatan pabrik itu sendiri. Bagi para pekerja dituntut rasa kedisiplinannya maupun berhati-hati dalam melakukan pekerjaan, demikian pula peralatan yang ada di dalam pabrik tersebut harus kuat, tidak mudah rusak, tidak mudah bocor dan tidak mudah terbakar. Bahaya-bahaya yang harus diperhatikan termasuk :

- Kecelakaan zat-zat kimia yang mudah terbakar, beracun dan meledak.
- Bahaya-bahaya dari peralatan pabrik dan sebagainya.

Beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan kerja adalah :



a. Lingkungan fisik

Meliputi : mesin, peralatan produksi dan lingkungan kerja (suhu, penerangan, dll). Kecelakaan kerja bisa disebabkan oleh kesalahan perencanaan, aus, rusak, kesalahan pembelian, penyusunan dari peralatan dan sebagainya.

b. Latar belakang kerja

Yaitu sifat/karakter yang tidak baik dari pekerja yang merupakan sifat dasar pekerja maupun lingkungannya. Sifat/karakter tersebut meliputi :

- Tidak cocoknya manusia/pekerja terhadap mesin atau lingkungan kerja.
- Kurangnya pengetahuan dan keterampilan
- Ketidakmampuan fisik, mental serta faktor bakat lainnya.
- Kurangnya motivasi kerja dan kesadaran akan keselamatan kerja.

c. Sistem manajemen

Sistem manajemen ini merupakan unsur terpenting, karena menjadi pengatur kedua unsur di atas. Kesalahan sistem manajemen dapat menyebabkan kecelakaan kerja yang disebabkan karena, antara lain :

- Prosedur kerja tidak diterapkan dengan baik.
- Kurangnya pengawasan terhadap kegiatan pemeliharaan dan modifikasi pabrik serta tidak adanya inspeksi peralatan.
- Tidak adanya sistem penanggulangan bahaya.

Adapun bahaya-bahaya yang dapat terjadi pada Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat ini dan cara mengatasinya antara lain sebagai berikut :

### 1. Keselamatan konstruksi

- Konstruksi bangunan, alat-alat produksi baik secara langsung maupun tidak langsung harus cukup kuat dan pemakaian bahan konstruksinya harus sesuai.
- Pengaliran udara serta penerangan harus cukup baik.
- Peralatan mesin-mesin dan alat-alat proses harus berjarak cukup jauh.
- Pada tempat-tempat yang berbahaya hendaknya diberi pagar atau peringatan yang jelas.
- Sistem perpipaan untuk air, udara, steam dan bahan bakar hendaknya diberi cat dan warna tertentu atau berbeda dengan warna sekitarnya dan diberi nama sesuai isi pipa.

### 2. Bahaya yang disebabkan oleh adanya panas api, kebakaran dan listrik

- Tangki bahan bakar jaraknya harus cukup jauh dari tempat yang mudah menimbulkan kebakaran.
- Untuk mencegah atau mengurangi bahaya-bahaya yang timbul, dipakai isolasi-isolasi panas atau isolasi listrik dan pada tempat yang bertegangan tinggi diberi penghalang atau pagar.

### 3. Penjelasan-penjelasan akan adanya bahaya yang dapat terjadi dan memberikan cara pencegahannya.

### 4. Memasang tanda-tanda bahaya, seperti alarm peringatan apabila terjadi bahaya.

### 5. Penyediaan alat-alat pencegah kebakaran, baik akibat listrik maupun api.

Untuk mencegah kecelakaan kerja diperlukan alat-alat pelindung keselamatan kerja seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 7.2. Alat-alat Keselamatan Kerja pada Pabrik Asam Oksalat

No	Alat Pelindung	Lokasi Penggunaan
1	Masker	Semua unit proses
2	Sarung tangan	Semua unit proses
3	Sepatu bot	Semua unit proses
4	PMK	Semua unit proses
5	Topi Pengaman/Helm	Semua unit proses

## BAB IX

### LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK

Dalam suatu perencanaan pabrik, salah satu faktor yang sangat penting yaitu penentuan lokasi pabrik dan letak peralatan pabrik. Karena hal tersebut akan berpengaruh terhadap kelangsungan hidup pabrik yang akan didirikan di masa mendatang. Selain itu tata letak komponen-komponen pabrik itu sendiri juga menentukan koefisien produksi. Untuk itu diperlukan pengaturan yang sedemikian rupa hingga mampu memenuhi kualitas dan kuantitas produk yang ingin dicapai.

#### 9.1. Lokasi Pabrik

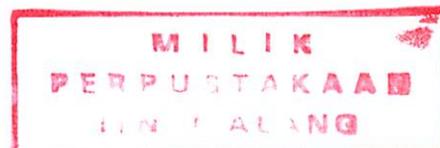
Pemilihan lokasi pabrik sangat menentukan keberhasilan suatu perancangan pabrik. Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam memilih lokasi pabrik yang terbagi menjadi dua bagian, yaitu faktor utama dan faktor khusus.

Yang termasuk ke dalam faktor utama yaitu :

##### A. Bahan baku

Tersedianya bahan baku dan harga bahan baku sering menentukan lokasi suatu pabrik. Ditinjau dari faktor ini, maka hendaknya pabrik didirikan dekat dengan lokasi bahan baku. Hal-hal yang lain yang perlu dipertimbangkan mengenai harga bahan baku adalah :

- Lokasi sumber bahan baku.
- Kapasitas sumber bahan baku tersebut dan beberapa lama sumber bahan baku tersebut dapat mencukupi kebutuhan pabrik.



- Cara mendapatkan bahan baku dan pengangkutannya.
- Kuantitas bahan baku yang ada, dan kualitas bahan baku harus sesuai dengan persyaratan yang berlaku saat ini.

#### B. Pemasaran

Pemasaran hasil proses produksi suatu pabrik merupakan faktor yang sangat penting dalam mempercepat perkembangan pabrik tersebut, karena berhasil tidaknya pemasaran akan menentukan keuntungan yang didapat oleh pabrik. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Dimana produk akan dipasarkan.
- Kebutuhan akan produk pada saat sekarang dan pada saat yang akan datang.
- Pengaruh persaingan yang ada.
- Jarak pemasaran atau lokasi dan bagaimana sarana pengangkutan daerah pemasaran.

#### C. Utilitas

Utilitas merupakan kebutuhan yang tidak kalah penting, khususnya bagi kelengkapan proses produksi. Bagian dari pada utilitas adalah air, listrik dan lain-lainnya. Adapun uraian dari utilitas adalah sebagai berikut :

##### ♦ Air

Air merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam suatu industri kimia. Air digunakan untuk kebutuhan proses, media pendingin, air sanitasi dan kebutuhan yang lainnya. Untuk memenuhi kebutuhan air, air dapat diambil dari beberapa sumber yaitu air sungai, air kawasan, air PDAM. Bila air

dibutuhkan dalam jumlah besar, maka pengambilan air dari sumber akan lebih ekonomis.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk memilih lokasi pabrik adalah :

- Berapa jauh sumber atau sungai ini dapat dijangkau dari pabrik.
- Kualitas sumber air yang tersedia.
- Pengaruh musim terhadap kemampuan penyediaan air yang diperlukan oleh pabrik.

- ♦ Listrik

Listrik dalam industri merupakan bagian utilitas yang sangat penting, terutama sebagai penggerak peralatan proses, selain sebagai penerangan dan keperluan lainnya. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Ada atau tidaknya serta jumlah listrik di daerah yang akan ditempati pabrik.
- Harga tenaga listrik.
- Persediaan tenaga listrik di masa mendatang.

#### D. Iklim dan Alam Sekitarnya

Iklim dan alam sekitar merupakan bagian yang tidak dapat diabaikan, selain pabrik diharapkan ramah lingkungan, iklim juga berpengaruh bagi konstruksi bangunan, spesifikasi peralatan serta konstruksi peralatan. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Keadaan alamnya, alam yang menyulitkan konstruksi bangunan dan mempengaruhi spesifikasi peralatan, serta konstruksi peralatan.

- Keadaan angin (kecepatan dan arah angin) pada situasi terburuk yang pernah terjadi di tempat itu (lokasi pabrik).
- Bahaya alam (gempa bumi, banjir) yang pernah terjadi di lokasi pabrik.
- Kemungkinan untuk perluasan di masa mendatang.

Sedangkan yang termasuk faktor khusus adalah :

□ Transportasi

Masalah transportasi perlu diperhatikan agar kelancaran supply bahan baku maupun pemasaran produk dapat terjamin dengan biaya serendah mungkin dan dalam waktu singkat. Karena itu perlu diperhatikan fasilitas atau sarana yang lain seperti :

- Jalan raya yang dapat dilalui mobil/truk.
- Sungai yang dapat dilalui kapal dan tempat berlabuh kapal tersebut.
- Adanya pelabuhan laut.

□ Buangan Pabrik (Waste Disposal)

Apabila buangan pabrik (Waste Disposal) berbahaya bagi kehidupan sekitarnya, maka harus diperhatikan yaitu cara mengeluarkan buangan atau limbah pabrik, terutama dihubungkan dengan peraturan pemerintah maupun peraturan yang dibuat secara internasional, khususnya menyangkut (International Standart Organization) ISO 9002, yaitu pendirian pabrik yang berwawasan lingkungan (ramah lingkungan). Terutama masalah polusi yang timbul.

□ Tenaga Kerja

Hal-hal yang perlu diperhatikan mengenai tenaga kerja adalah :

- Mudah tidaknya mendapatkan tenaga kerja yang dibutuhkan.
- Keahlian dan pendidikan tenaga kerja.
- Tingkat penghasilan tenaga kerja di daerah tersebut.

□ Site Karakteristik dari lokasi

Dalam memilih lokasi pabrik harus diperhatikan apakah daerah tersebut merupakan lokasi pertanian, rawa, bukit dan lain-lain. Lokasi pendirian pabrik yang baik adalah di daerah yang gersang tetapi memiliki persyaratan yang baik bagi pendirian pabrik.

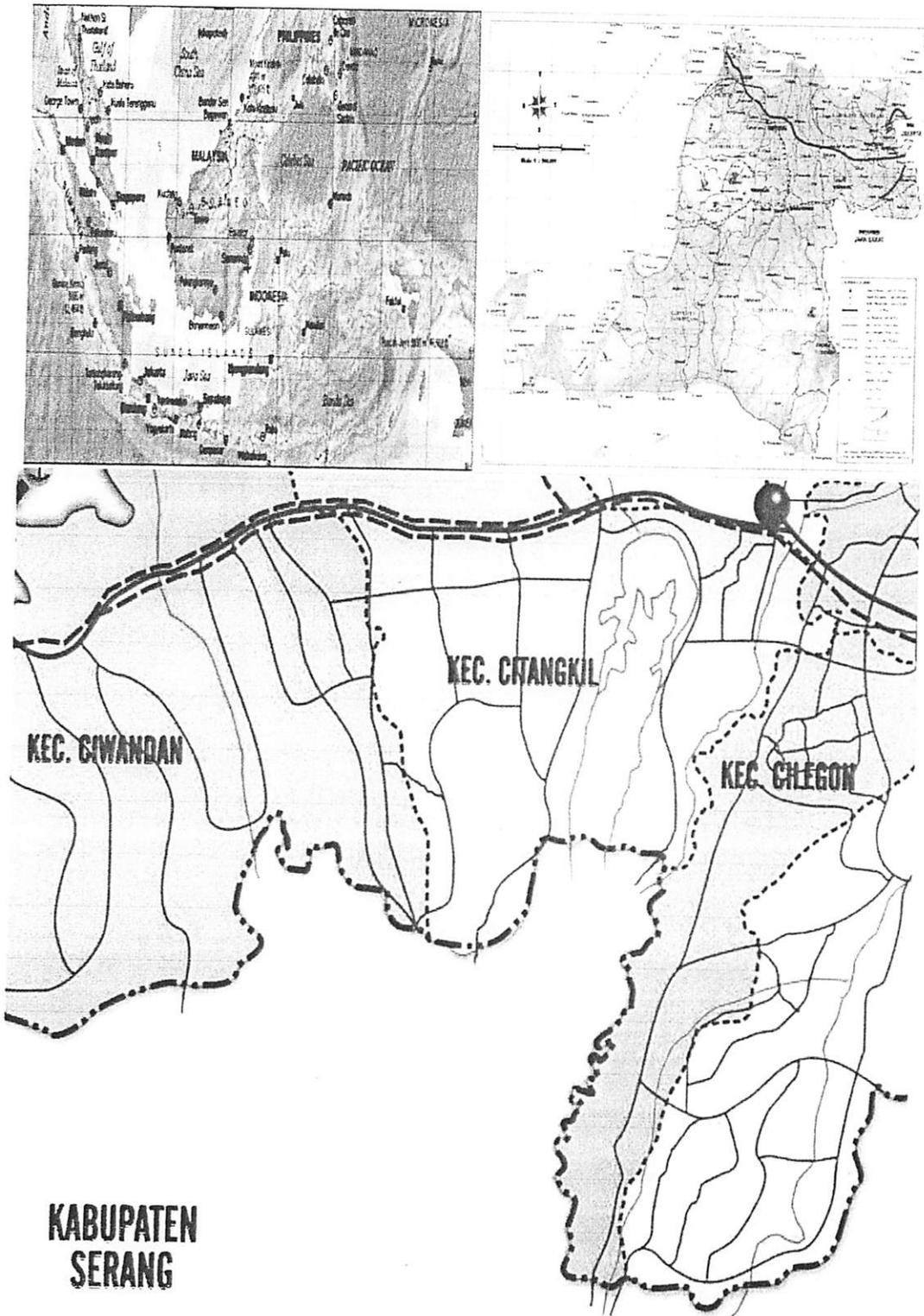
□ Masalah Lingkungan

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Lokasi termasuk pedesaan atau perkotaan.
- Fasilitas rumah dan tempat ibadah.

Berdasarkan faktor-faktor diatas maka lokasi yang dipilih untuk mendirikan pabrik Asam Oksalat dari ampas tapioka adalah di daerah Kecamatan Srengsem, Kabupaten Bandar Lampung, Provinsi Lampung, terutama ditinjau dari tersedianya bahan baku ampas tapioka. Adapun peta lokasi pabrik dapat dilihat pada Gambar





Gambar 9.1.1. Peta Lokasi Pabrik Asam Oksalat dari Ampas Tapioka

## 9.2. Tata Letak Pabrik (*Plant Lay Out*)

Setelah proses *flow* diagram tersusun, sebelum design pemipaan, struktural dan listrik dimulai, maka *lay out* proses pabrik dan peralatan harus direncanakan terlebih dahulu. Perencanaan *lay out* pabrik meliputi perencanaan *storage area*, proses area dan *handling area*.

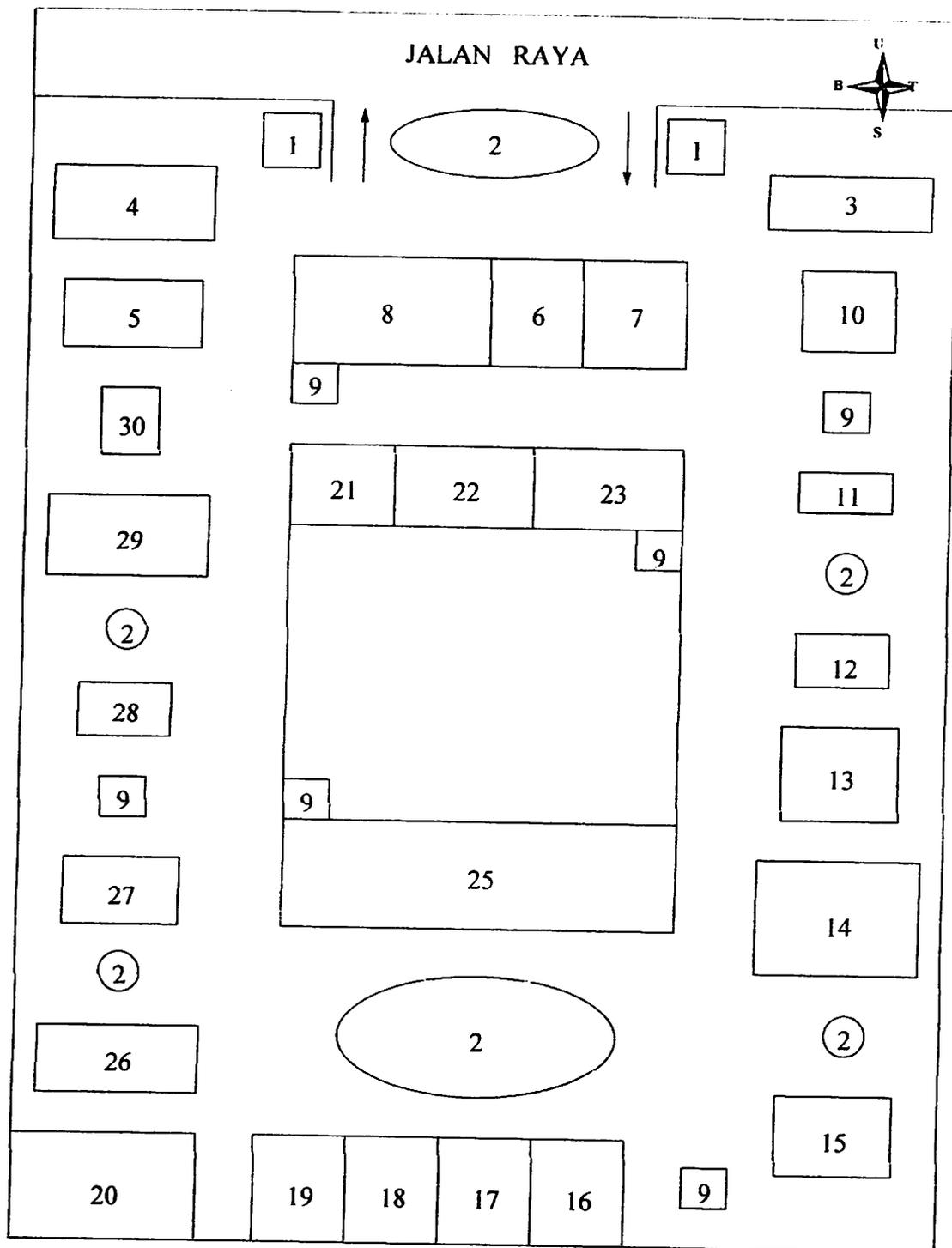
Pertimbangan yang perlu diperhatikan dalam menyusun *lay out* pabrik adalah :

- Tanah yang tersedia
- Type dan kualitas produk
- Kemungkinan pengembangan pabrik di masa mendatang
- Distribusi bahan baku
- Keadaan cuaca dan lingkungan
- Keamanan terhadap kebakaran, gas beracun dan bentuk bangunan
- Pengaturan terhadap penggunaan ruangan dan elevasi
- Ruang dan lapangan dibagi dalam kotak-kotak dan setiap kotak menunjukkan tempat dari setiap unit proses.
- Kantor dan gudang diletakkan dekat dengan jalan raya.
- Aliran proses berjalan dari satu unit ke unit lain secara langsung, maka letak didekatkan untuk menghemat pipa penyambungan.

Ukuran luas bangunan dapat dilihat pada Tabel 9.2.1., sedangkan gambar *plant lay out* dapat dilihat pada Gambar 9.2.1.

Tabel 9.2.1. Luas Bangunan Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat

No.	Lokasi	Luas (m <sup>2</sup> )	
		Tanah	Bangunan
1	Pos Penjagaan	20	20
2	Taman	450	450
3	Parkir Tamu	150	150
4	Parkir Karyawan	250	250
5	Parkir Truk	250	250
6	Ruang Serba Guna	150	150
7	Perpustakaan	80	80
8	Are Perkantoran dan Tata Usaha	1200	1200
9	Toilet	50	50
10	Musholla	60	60
11	Poliklinik	80	80
12	Kantin	70	70
13	Pemeriksaan Bahan Baku	50	50
14	Gudang Bahan Baku	260	260
15	PMK	60	60
16	Listrik / Ruang Genset	80	80
17	Ruang Bahan Bakar	120	120
18	Ruang Boiler	400	400
19	Unit Pengolahan Air	700	700
20	Ruang Proses	30000	30000
21	Area Perluasan Pabrik	15000	-
22	Bengkel dan Garasi	500	500
23	Litbang / R & D	80	80
24	Laboratorium	250	250
25	Gudang Produk	250	250
26	Pos Penimbangan	40	40
27	Pembuatan Sludge Jalan	900	900
<b>TOTAL</b>		<b>51500</b>	<b>36500</b>



Gambar 9.2.1. Denah Pabrik Asam Oksalat

Keterangan gambar 9.2.1 :

- |                            |                                       |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 1. Pos satpam              | 16. Ruang listrik/genset              |
| 2. Taman                   | 17. Ruang bahan bakar                 |
| 3. Parkir tamu             | 18. Ruang boiler/ketel                |
| 4. Parkir karyawan         | 19. Unit Pengolahan Air               |
| 5. Parkir truk             | 20. <i>Area waste water treatment</i> |
| 6. Aula (Ruang serba guna) | 21. Ruang pertemuan                   |
| 7. Perpustakaan            | 22. Ruang Kepala staff dan pabrik     |
| 8. Area perkantoran dan TU | 23. Ruang kontrol                     |
| 9. Toilet                  | 24. Ruang proses                      |
| 10. Musholla               | 25. Area perluasan pabrik             |
| 11. Poliklinik             | 26. Bengkel dan garasi                |
| 12. Kantin                 | 27. Litbang / R & D                   |
| 13. Pemeriksaan bahan baku | 28. Laboratorium                      |
| 14. Gudang bahan baku      | 29. Gudang produk                     |
| 15. PMK                    | 30. Pos penimbangan truk              |

### 9.3. Tata Letak Peralatan Pabrik (*Lay Out Pilot Plant*)

*Lay Out Pilot Plant* hanya menggambarkan unit-unit atau peralatan proses saja. Dalam penyusunan peralatan proses, yang perlu diperhatikan adalah :

- Aliran bahan baku dan produk

Pengaliran bahan baku dan produk yang tepat akan memberikan keuntungan ekonomis yang besar serta dapat menunjang kelancaran dan keamanan produksi.

- Aliran udara

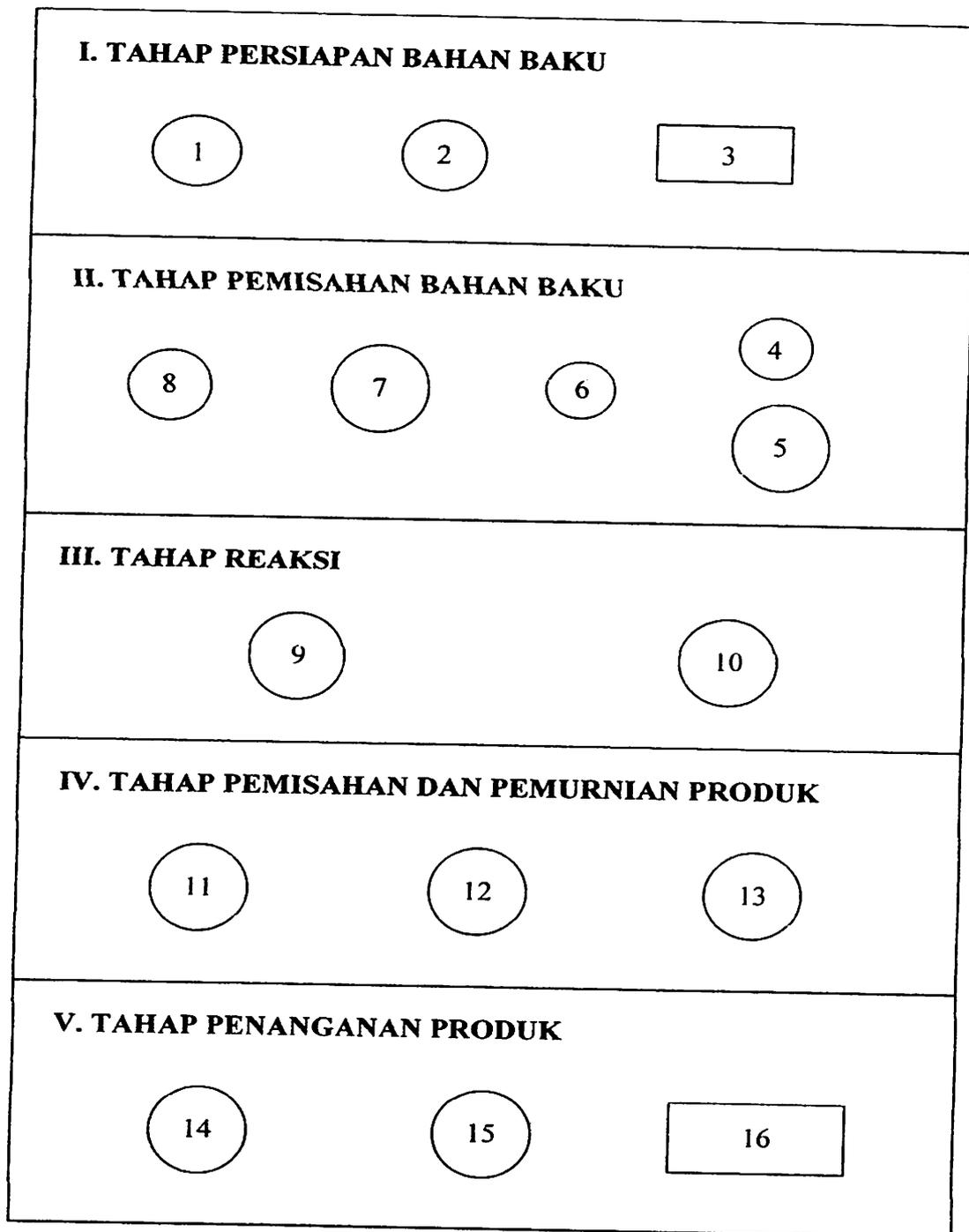
Aliran udara di dalam dan sekitar area proses harus lancar. Hal ini bertujuan untuk menghindari terjadinya stagnasi udara pada suatu tempat yang dapat menyebabkan akumulasi bahan kimia yang berbahaya yang dapat membahayakan keselamatan kerja karyawan.

- Cahaya

Penerangan seluruh pabrik harus memadai, tempat-tempat proses yang berbahaya atau beresiko tinggi perlu diperhatikan penerangan tambahan.

- Jarak antara alat-alat proses perlu diatur sedemikian rupa misalnya untuk alat proses yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi sebaiknya dipisahkan dari alat proses lainnya sehingga apabila terjadi ledakan atau kebakaran pada alat tersebut tidak membahayakan alat yang lainnya.
- Menyusun berdasarkan urutan proses dengan memperhatikan kemungkinan perluasan di masa mendatang.
- Memberikan ruang cukup untuk memudahkan ruang gerak.
- Memberikan ruang yang cukup untuk memudahkan ruang gerak bagi karyawan perluasan dan memudahkan peralatan secara keseluruhan.

Adapun *Lay Out Pilot Plant* peralatan proses Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat dapat dilihat pada Gambar 9.3.1.



Gambar 9.3.1. Lay Out Pilot Plant Peralatan Proses

Keterangan :

I. Tahap Persiapan Bahan Baku

1. Storage  $\text{HNO}_3$

2. Storage H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
3. Storage Ampas Tapioka
- II. Tahap Pemisahan Bahan Baku
  4. Tangki Penampung Ampas Tapioka
  5. Tangki Hidrolisis
  6. *Cooler*
  7. *Rotary Vacuum Filter*
  8. Tangki Penampung Filtrat
- III. Tahap Reaksi
  9. Reaktor
  10. Oksidator
  11. Absorber
- IV. Tahap Pemisahan dan Pemurnian Produk
  12. Evaporator
  13. Kristaliser
  14. *Centrifuge*
- V. Tahap Penanganan Produk
  15. *Rotary Dryer*
  16. Unit Pengemasan
  17. Storage Produk



## **BAB X**

### **ORGANISASI DAN PERUSAHAAN**

Dalam menciptakan suatu pengelolaan perusahaan agar mencapai sasaran secara efektif dan hasil produksi yang tinggi, maka harus diperhitungkan elemen dasar yang diperlukan dalam suatu perusahaan sebagai alat pelaksanaannya.

Elemen dasar itu terdiri dari :

- Manusia (*man*)
- Bahan (*material*)
- Mesin (*machine*)
- Metode (*methode*)
- Uang (*money*)
- Pasar (*market*)

Elemen dasar tersebut menjadi faktor utama untuk menjalankan suatu perusahaan mencapai tujuannya secara bersama-sama dalam organisasi perusahaan.

#### **10.1. Dasar Perusahaan**

Bentuk Perusahaan	:	Perseroan Terbatas ( PT )
Status Perusahaan	:	Swasta
Hasil Produksi	:	Asam Oksalat
Kapasitas Produksi	:	1202 ton / tahun
Lokasi Pabrik	:	Banten

## **10.2. Bentuk Perusahaan**

Pabrik Asam Oksalat yang akan direncanakan ini merupakan perusahaan swasta nasional yang berbentuk Perseroan Terbatas (PT). Bentuk ini dipilih karena mempunyai beberapa keuntungan, yaitu :

1. Kehidupan PT lebih terjamin karena tidak dipengaruhi oleh berhentinya salah seorang pemegang saham, direktur atau karyawan. Ini berarti suatu PT mempunyai potensi hidup yang lebih permanen dari bentuk perusahaan lainnya.
2. Terbatasnya tanggung jawab para pemegang saham karena segala sesuatu yang menyangkut kelancaran perusahaan dipegang oleh pimpinan perusahaan dan setiap pemegang saham hanya mungkin menderita kerugian sebesar jumlah yang ditanamkan pada PT yang bersangkutan.
3. Kedudukan atau wewenang antara pimpinan perusahaan dan para pemegang saham (pemilik) terpisah satu sama lain.
4. Kemungkinan terhimpunnya modal yang besar dan mudah, yaitu dengan membagi modal atas sejumlah saham-sahamnya. PT dapat menarik modal dari banyak orang.
5. Adanya efisiensi dalam perusahaan. Tiap bagian dalam PT dipegang oleh orang yang ahli dalam bidangnya. Tiap orang atau tiap bagian mempunyai bagian dengan tugas yang jelas, sehingga ada dorongan untuk mengerjakan sebaik-baiknya.

## **10.3. Struktur Organisasi**

Struktur organisasi yang digunakan adalah sistem garis dan staff. Alasan pemilihan sistem garis dan staff adalah :

1. Biasa digunakan untuk organisasi yang cukup besar dengan produksi kontinu.
2. Terdapat kesatuan pimpinan dan perintah, sehingga disiplin kerja lebih baik.
3. Masing-masing kepala bagian/manager secara langsung bertanggung jawab atas aktivitas yang dilakukan untuk mencapai tujuan.
4. Sering digunakan dalam perusahaan yang memproduksi secara massal.
5. Pimpinan tertinggi pabrik dipegang oleh seorang direktur yang bertanggung jawab kepada Dewan Komisaris. Anggota Dewan Komisaris merupakan wakil-wakil dari pemegang saham dan dilengkapi dengan staff ahli yang bertugas memberikan saran kepada direktur.

Disamping alasan tersebut ada beberapa kebaikan yang dapat mendukung pemakaian sistem organisasi garis dan staff, yaitu :

1. Dapat digunakan oleh setiap organisasi besar, apapun tujuannya, betapapun luasnya dan betapapun kompleks susunan organisasinya.
2. Pengambilan keputusan yang sehat lebih mudah dapat diambil, karena adanya staff ahli.
3. Penempatan "*the right man in the right place*" lebih mudah dilaksanakan.

Dari kelebihan-kelebihan sistem organisasi garis dan staff diatas maka dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan sistem organisasi perusahaan pada pabrik pembuatan Asam Oksalat, yaitu menggunakan sistem organisasi garis dan staff.

## **10.4. Pembagian Tugas dan Tanggung Jawab (*Job Description*)**

### **10.4.1. Pemegang Saham**

Merupakan beberapa orang yang mengumpulkan modal untuk pabrik dengan cara membeli saham perusahaan. Pemegang saham adalah pemilik perusahaan dimana jumlah yang dimiliki, tergantung/terbatas sesuai dengan besarnya modal saham yang dimiliki, sedangkan kekayaan pribadi dari pemegang saham tidak dipertanggungjawabkan sebagai jaminan atas hutang-hutang perusahaan. Pemegang saham harus menanamkan saham paling sedikit 1 (satu) tahun. Kekuasaan tertinggi terletak pada pemegang saham yang memilih direktur dan Dewan Komisaris dalam Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS) serta menentukan gaji direktur tersebut.

### **10.4.2. Dewan Komisaris**

Merupakan badan kekuasaan tertinggi dalam perusahaan. Dewan Komisaris bertindak sebagai wakil dan pemegang saham. Komisaris diangkat menurut ketentuan yang ada dalam perjanjian dan dapat diberhentikan setiap waktu dalam/oleh RUPS apabila melakukan tindakan yang dilakukan bertentangan dengan anggaran dasar dari perseroan tersebut.

Dewan Komisaris pada umumnya dipilih dalam RUPS dari kalangan pemegang saham yang mempunyai saham terbanyak dari perseroan tersebut.

Tugas Dewan Komisaris :

- Menentukan kebijaksanaan perusahaan
- Mengadakan evaluasi/pengawasan tentang hasil yang diperoleh perusahaan
- Mengawasi direktur dan berusaha agar tindakan direktur tidak merugikan perseroan

- Memberikan nasihat kepada direktur bila direktur ingin mengadakan perubahan dalam perusahaan
- Menyetujui atau menolak rancangan yang diajukan direktur

#### **10.4.3. Direksi**

Merupakan pemegang saham kepengurusan perusahaan dan merupakan pimpinan tertinggi dan penanggung jawab utama dalam perusahaan secara keseluruhan. Direksi terdiri dari :

##### **a. Direktur Utama**

Direktur Utama merupakan pimpinan eksekutif tertinggi dalam perusahaan dan dalam tugasnya sehari-hari dibantu oleh Direktur Teknik dan Direktur Administrasi. Tugas dan wewenang Direktur Utama adalah :

- Merencanakan kegiatan perusahaan serta membentuk organisasi yang efektif dan efisien
- Berhak mewakili urusan ekstern perusahaan atau menunjuk wakil untuk menanganinya
- Menentukan kebijaksanaan perusahaan dalam mengambil keputusan-keputusan penting
- Menentukan pertanggungjawaban kepada Dewan Komisaris

##### **b. Direktur Teknik**

Direktur Teknik diangkat oleh Direktur Utama untuk menerima wewenang Direktur Utama yang berkaitan dengan bidang teknik dan produksi.

Tugas dan wewenang Direktur Teknik adalah :

- Bertanggung jawab kepada Direktur Utama

- Berwenang membuat keputusan dalam bidang teknik tetapi tidak lepas dari kebijaksanaan bagian produksi
- Berwenang dalam produksi, misalnya memperkecil bidang produksi dan memperbesar produksi total, serta menjaga kualitas dan pengembangannya

c. **Direktur Administrasi**

Tugas dan wewenang Direktur Administrasi adalah :

- Menjaga kelancaran administrasi dan keuangan serta keamanan perusahaan
- Mengadakan penelitian serta pengawasan terhadap pelaksanaan pengadaan pegawai, pembinaan pegawai, kesejahteraan sosial, serta dana sosial pegawai
- Bertanggung jawab atas pemasukan dan pengeluaran uang perusahaan
- Mengatur laporan keuangan serta neraca keuangan perusahaan

**10.4.4. Staff**

Terdiri dari tenaga-tenaga ahli yang bertugas membantu direksi dalam pelaksanaan tugasnya, baik yang berhubungan dengan pemasaran, personalia, pembelian, produksi maupun pengawasan produksi.

Tugas staff adalah :

- Memberikan pendapat dan keterangan serta nasihat kepada direksi sesuai dengan keahliannya masing-masing
- Membantu direksi dalam perencanaan maupun dalam penelaahan kebijaksanaan pokok dalam bidangnya masing-masing
- Melakukan tugas-tugas yang diberikan oleh direksi kepadanya
- Mengumpulkan fakta-fakta yang kemudian menggolongkan dan mengevaluasinya

#### **10.4.5. Penelitian dan Pengembangan**

Tugas dari Penelitian dan Pengembangan adalah (LITBANG) :

- Melakukan penelitian terhadap operasi pabrik secara keseluruhan. Dari penelitian tersebut dapat dipelajari kemungkinan untuk mengembangkan pabrik selanjutnya
- Meneliti dan menguji kualitas produk yang dihasilkan

Yang termasuk LITBANG diantaranya adalah Market Riset dan Process Riset.

#### **10.4.6. Kepala Bagian**

Tugas dan wewenang Kepala Bagian adalah :

- Memberikan pengarahan serta saran-saran dan pengawasan terhadap seksi-seksi yang dibawahnya
- Membantu direktur teknik atau direktur administrasi dalam perencanaan dan pelaksanaan pada bagian masing-masing
- Membantu direktur teknik atau direktur administrasi dalam mempersiapkan laporan-laporan

Kepala bagian terdiri atas :

- Kepala Bagian Teknik

Adalah kepala bagian yang bertanggung jawab atas semua kegiatan yang berhubungan erat dengan produksi. Dalam hal ini bukan produksi secara langsung, tetapi dengan penunjangnya dalam proses produksinya. Seksi yang dibawahinya antara lain :

##### **a. Seksi Genset**

Bertugas dalam mempersiapkan listrik, baik yang berasal dari PLN maupun dari Genset guna menunjang kelangsungan proses produksi. Seksi Listrik.

b. Seksi Listrik

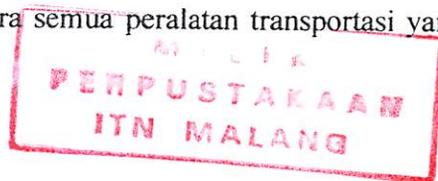
Bertugas untuk merawat, memelihara dan mempersiapkan peralatan dan fasilitas kelistrikan baik yang berhubungan dengan proses produksi atau fasilitas penunjang yang lain.

c. Seksi Mekanik

Bertugas untuk merawat dan memelihara semua peralatan mekanik yang berhubungan dengan proses produksi.

d. Seksi Transportasi

Bertugas untuk merawat dan memelihara semua peralatan transportasi yang dimiliki oleh perusahaan.



• Kepala Bagian Produksi

Adalah kepala bagian yang bertanggung jawab diatas semua kegiatan produksi, mulai dari perencanaan, pembuatan atau produksi. Terbagi atas :

a. Seksi proses I

Bertugas untuk mengadakan pengawasan terhadap bagian persiapan bahan baku sampai bagian reaksi pada proses produksi.

b. Seksi proses II

Bertugas dengan hal yang berkaitan dengan kegiatan produksi mulai tahap pemurnian sampai dengan tahap pengemasan.

c. Seksi boiler

Bertugas dalam bidang pengadaan steam dan juga pemeliharaan terhadap boiler.



d. Seksi gudang

Bertugas untuk mengawasi, mengontrol dan mendokumentasikan keluar masuknya barang dari dan ke gudang baik untuk gudang bahan baku, gudang bahan penunjang dan gudang bahan jadi.

e. Seksi UPA dan UPL

Bertugas untuk menyediakan air bagi kegiatan perusahaan dan juga mengolah limbah yang dihasilkan oleh kegiatan produksi.

- Kepala Bagian Penelitian dan Pengembangan

Adalah kepala bagian yang bertugas dalam meneliti dan mengembangkan cara proses produksi yang lebih baik dan lebih ekonomis dan juga masalah-masalah yang berkaitan dengan pemasaran produk. Orang-orang yang duduk di dalamnya merupakan orang-orang yang ahli dibidangnya masing-masing. Penelitian dan pengembangan juga dapat berfungsi sebagai staf ahli yang mengontrol dan menanggulangi masalah yang timbul. Seksi-seksi yang ada di bawah kepala bagian penelitian dan pengembangan ini antara lain :

- a. Seksi Litbang Pemasaran

Bertugas untuk mengadakan penelitian dan pengembangan terhadap masalah-masalah yang timbul dalam pemasaran produk dan pendistribusiannya.

- b. Seksi Litbang Teknik

Bertugas untuk mengadakan penelitian dan pengembangan terhadap masalah-masalah yang timbul dalam proses produksi.

- Kepala Bagian QC dan Laboratorium

Bertugas untuk mengadakan perencanaan mutu dan melakukan pengawasan terhadap mutu barang baik berupa bahan baku, bahan dalam proses maupun bahan jadi. Seksi- seksi yang dibawahinya antara lain :

- a. Seksi Quality Control

Bertugas untuk merencanakan mutu dan mengadakan pengawasan terhadap mutu barang mulai bahan baku sampai bahan jadi.

- b. Seksi Laboratorium

Bertugas untuk mengadakan test terhadap mutu barang secara laboratoris.

- Kepala Bagian Umum dan Administrasi

Bertugas dalam hal pengawasan terhadap segala hal yang berkaitan dengan administrasi perusahaan dan juga ikut bertanggung jawab dalam melakukan hubungan dengan masyarakat sekitar perusahaan. Seksi- seksi yang dibawahinya yaitu :

- a. Seksi Personalia

Bertugas untuk mendata jumlah karyawan dan juga hal-hal yang berkaitan dengan kesejahteraan seluruh karyawan.

- b. Seksi Kebersihan dan Keamanan

Bertugas untuk menjaga ketertiban dan keamanan lingkungan perusahaan sehingga dapat menekan seminimal mungkin adanya gangguan terhadap kegiatan usaha.

c. Seksi Humas

Bertugas untuk mengadakan hubungan baik dengan masyarakat sekitar perusahaan maupun dengan pemerintah.

- Kepala Bagian Keuangan

Bertanggung jawab untuk merencanakan dan mengawasi keluar masuknya arus uang dari perusahaan. Seksi- seksi yang dibawahnya meliputi :

a. Seksi Akunting

Bertugas untuk melakukan pendokumentasian terhadap semua kelayakan perusahaan.

b. Seksi Pembiayaan

Bertugas untuk mengeluarkan dana bagi kegiatan perusahaan lakukan pendokumentasian terhadap semua kelayakan perusahaan.

c. Seksi Pembelian

Bertugas untuk memenuhi barang-barang yang akan digunakan bagi proses produksi maupun untuk hal-hal lain yang menyangkut kepentingan perusahaan.

- Kepala Bagian Pemasaran

Bertugas untuk mengenalkan hasil produksi kepada konsumen-konsumen yang membutuhkan atau pabrik-pabrik lainnya yang menggunakan produksi sebagai bahan baku lainnya. Selain itu juga bertugas untuk menarik minat konsumen untuk membeli produk.

### **10.5. Jaminan Sosial**

Jaminan sosial adalah jaminan yang diterima oleh pihak karyawan jika terjadi sesuatu hal yang bukan karena kesalahannya menyebabkan dia tidak dapat melaksanakan pekerjaannya.

Jaminan sosial yang diberikan oleh perusahaan kepada karyawan adalah :

#### **a. Tunjangan**

- Tunjangan diluar gaji pokok, diberikan kepada tenaga kerja tetap berdasarkan prestasi yang telah dilakukannya dan lama pengabdianya kepada perusahaan tersebut
- Tunjangan lembur yang diberikan kepada tenaga kerja yang bekerja di luar jam kerja yang telah ditetapkan (khusus untuk tenaga kerja shift)

#### **b. Fasilitas**

Fasilitas yang diberikan berupa seragam kerja untuk karyawan, perlengkapan keselamatan kerja, misalnya helm, sarung tangan, sepatu boot, kaca mata pelindung dan lain-lain. Selain itu juga berupa antar jemput bagi karyawan, kendaraan dinas, tempat tinggal dan lain-lain.

#### **c. Pengobatan**

- Untuk pengobatan dan perawatan pertama dapat dilakukan di poliklinik perusahaan dan diberikan secara cuma-cuma kepada karyawan yang membutuhkan
- Untuk pengobatan dan perawatan lebih intensif yang harus dilakukan di rumah sakit akan diberikan penggantian ongkos sebesar 50 %.

- Karyawan yang mengalami kecelakaan atau terganggu kesehatannya dalam menjalankan tugas perusahaan, akan mendapat penggantian ongkos pengobatan sepenuhnya.

d. Intensive atau bonus

Intensive diberikan dengan tujuan untuk meningkatkan produktivitas dan merangsang gairah kerja karyawan. Besarnya intensive ini dibagi menurut golongan dan jabatan. Pemberian intensive untuk golongan operatif (golongan kepala seksi ke bawah) diberikan setiap bulan, sedangkan untuk golongan diatasnya diberikan pada akhir tahun produksi dengan melihat besarnya keuntungan dan target yang dicapai.

e. Cuti

- Cuti tahunan selama 12 hari kerja dan diatur dengan mengajukan permohonan satu minggu sebelumnya untuk dipertimbangkan ijinnya.
- Cuti sakit bagi tenaga kerja yang memerlukan istirahat total berdasarkan surat keterangan dokter.
- Cuti hamil selama 3 (tiga) bulan bagi tenaga kerja wanita.
- Cuti haid selama 2 (dua) hari bagi tenaga kerja wanita.
- Cuti untuk keperluan dinas atas perintah atasan berdasarkan kondisi tertentu perusahaan.

### 10.6. Jadwal Jam Kerja

Pabrik pembuatan asam oksalat dari ampas tapioka ini direncanakan akan beroperasi selama 331 hari dalam setahun dan 24 jam per hari, sisa harinya digunakan untuk perbaikan serta perawatan serta *shut down*.

Jumlah jam kerja yang telah ditetapkan oleh pemerintah adalah 40 jam dalam satu minggu, yang dibedakan dalam dua bagian, yaitu :

a. Untuk pegawai non shift

Bekerja selama 6 (enam) hari dalam seminggu, sedangkan hari Minggu dan hari besar libur. Pegawai non shift ini termasuk karyawan yang tidak langsung menangani operasi pabrik, misalnya : direktur, kepala bagian, kepala seksi, karyawan kantor atau administrasi dan seksi-seksi di bawah tanggung jawab non teknik atau yang bekerja di pabrik dengan jenis pekerjaan tidak kontinu.

Ketentuan jam kerja adalah sebagai berikut :

- Senin – Kamis : 08.00 – 16.00 (Istirahat : 12.00 – 13.00)
- Jumat : 08.00 – 16.00 (Istirahat : 11.00 – 13.00)
- Sabtu : 08.00 – 12.00

b. Untuk pegawai shift

Schari bekerja selama 24 jam, yang terbagi dalam 3 (tiga) shift. Karyawan ini termasuk karyawan yang secara langsung menangani proses operasi pabrik, misalnya : kepala shift, operator, karyawan-karyawan shift, gudang serta keamanan dan keselamatan kerja.

Dengan ketentuan shift jam kerja sebagai berikut :

- Shift I : 07.00 – 15.00 WIB
- Shift II : 15.00 – 23.00 WIB
- Shift III : 23.00 – 07.00 WIB

Untuk menjaga kelancaran pelaksanaan jam kerja selama bergilir, maka karyawan shift dibagi menjadi empat regu atau group, sehingga para pekerja

dapat bekerja dengan optimal karena dapat bekerja secara bergiliran, dimana jika ketiga regu bekerja maka satu regu yang lain libur.

Tabel 10.6.1. Jadwal Kerja Karyawan

Regu	Hari											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>I</b>	P	P	P	-	M	M	M	-	S	S	S	-
<b>II</b>	S	S	-	P	P	P	-	M	M	M	-	S
<b>III</b>	M	-	S	S	S	-	P	P	P	-	M	M
<b>IV</b>	-	M	M	M	-	S	S	S	-	P	P	P

Keterangan :

- ♦ P = pagi (shift I)
- ♦ S = siang (shift II)
- ♦ M = malam (shift III)
- ♦ - = libur

### 10.7. Perincian Jumlah Tenaga Kerja

Penentuan Jumlah Karyawan Proses :

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas} &= 1202 \text{ ton / tahun} = (1202 \text{ ton / tahun}) / (330 \text{ hari / tahun}) \\ &= 3642.4242 \text{ kg / hari} \end{aligned}$$

Dari Vilbrandt halaman 235 fig. 6-35, untuk peralatan dengan kondisi rata-rata didapat :

$$M = 28 \text{ (orang.jam/hari.tahapan proses)}$$

Jumlah proses dalam pabrik = 5 proses, sehingga diperoleh :

$$\text{Karyawan proses} = 28 \times 5 = 140 \text{ orang.jam/hari}$$

Karena satu shift = 8 jam, maka :

$$\begin{aligned} \text{Karyawan proses} &= (140/8) \text{ orang/shift.hari} \\ &= 17,5 \approx 18 \text{ orang/shift.hari} \end{aligned}$$

Dalam satu hari terdapat 4 shift, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Jumlah karyawan proses} &= 18 \text{ orang/shift.hari} \times 4 \text{ shift} \\ &= 72 \text{ orang/hari} \end{aligned}$$

Karyawan administrasi dan karyawan lain (selain karyawan proses) berjumlah 53 orang.

Jumlah karyawan total yang diperlukan pada pabrik pembuatan asam oksalat dari ampas tapioka ini adalah sebanyak 125 orang.

Perincian jumlah tenaga kerja dapat dilihat pada tabel 10.2

Tabel 10.7.1. Jabatan dan Tingkat Pendidikan Tenaga Kerja

No.	J A B A T A N	P E N D I D I K A N				
		SMP	SMA	D3	S1	S2
1.	Direktur Utama				1	
2.	Direktur Teknik dan Produksi				1	
3.	Direktur Administrasi dan Keuangan					1
4.	Staff Litbang					1
5.	Kepala Bagian Teknik				1	
6.	Kepala Bagian Produksi				1	
7.	Ka Bagian Q.C dan Lab.				1	
8.	Ka Bagian Umum dan Administrasi				1	
9.	Kepala Bagian Keuangan				1	
10.	Kepala Bagian Pemasaran				1	
11.	Kepala Seksi Utilitas				1	
12.	Kepala Seksi Maintenance				1	
13.	Kepala Seksi Proses				1	
14.	Kepala Seksi Bahan baku				1	
15.	Kepala Seksi Pengolahan Limbah				1	
16.	Kepala Seksi Quality Controll				1	
17.	Kepala Seksi Laboratorium				1	



18.	Kepala Seksi Akunting				1	
19.	Kepala Seksi Pembiayaan				1	
20.	Kepala Seksi Pembelian				1	
21.	Kepala Sekai Personalia				1	
22.	Kepala seksi Kebersihan & Keamanan				1	
23.	Kepala Seksi Humas				1	
24.	Kepala Seksi Penjualan				1	
25.	Kepala Seksi Gudang				1	
26.	Karyawan Utilitas		3	3		
27.	Karyawan Pemeliharaan & Perbaikan		4	3	1	
28.	Karyawan Proses	16	7	7	2	
29.	Karyawan Q.C. & Lab.		4	2	2	
30.	Karyawan Bahan Baku	4	3			
31.	Karyawan Personalia			2		
32.	Karyawan Keamanan	3	2			
33.	Karyawan Kesehatan			2		
34.	Karyawan Pemasaran		3	2		
35.	Karyawan Keuangan			3		
36.	Karyawan Gudang	3	2	1		
37.	Karyawan Administrasi & Pembukuan			2		
38.	Karyawan Kebersihan	3	1			
39.	Pegawai Perpustakaan		1	1		
40.	Sopir		3			
41.	Karyawan Kantin	1	1			
42.	Dokter				1	
43.	Sekretaris			2		
	<b>J u m l a h</b>	30	34	30	29	2

### 10.8. Proses

#### a. Proses Utama

- Penyiapan bahan baku
- Tahap hidrolisa
- Tahap proses

- Tahap pemurnian
  - Tahap pengcpakan
- b. Proses tambahan
- Laboratorium
  - Utilitas, yang terdiri dari :
    - penjernihan air
    - boiler
    - pengolahan limbah
  - Bengkel dan Pemeliharaan

### **10.9. Status Karyawan dan Sistem Upah**

Pabrik pembuatan asam oksalat dari ampas tapioka ini mempunyai sistem pembagian gaji yang berbeda-beda kepada karyawan berdasarkan status karyawan, tingkat pendidikan, tinggi rendahnya kedudukan (jabatan), tanggung jawab, keahliannya dan lamanya bekerja di perusahaan tersebut. Menurut statusnya karyawan pabrik ini dapat dibagi menjadi 3 (tiga) golongan, yaitu :

a. Karyawan tetap

Karyawan tetap adalah karyawan yang diangkat dan diberhentikan dengan surat keputusan (SK) direksi dan mendapat gaji bulanan berdasarkan kedudukan, keahlian dan masa kerjanya.

b. Karyawan harian

Karyawan harian adalah pekerja yang diangkat dan diberhentikan oleh direksi berdasarkan nota persetujuan direksi atas pengajuan kepala yang membawahnya dan menerima upah harian yang dibayarkan tiap akhir pekan.

## c. Karyawan borongan

Karyawan borongan adalah pekerja yang dipergunakan oleh pabrik bila diperlukan saja, misalnya bongkar muat barang. Pekerja ini menerima upah borongan untuk pekerjaan tersebut.

Tabel 10.9.1. Daftar Gaji Karyawan Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat

No.	J a b a t a n	Jml	Gaji/orang	Jumlah
1.	Direktur Utama	1	10000000	10000000
2.	Direktur Teknik dan Produksi	1	8000000	8000000
3.	Direktur Adm.dan Keuangan	1	7000000	7000000
4.	Staff Litbang	1	6000000	6000000
5.	Kepala Bagian Teknik	1	5000000	5000000
6.	Kepala Bagian Produksi	1	5000000	5000000
7.	Ka Bagian Q.C dan Lab.	1	5000000	5000000
8.	Ka Bagian Umum dan Adm.	1	5000000	5000000
9.	Kepala Bagian Keuangan	1	5000000	5000000
10.	Kepala Bagian Pemasaran	1	5000000	5000000
11.	Kepala Seksi Utilitas	1	3000000	3000000
12.	Kepala Seksi Maintenance	1	3000000	3000000
13.	Kepala Seksi Proses	1	3500000	3500000
14.	Kepala Seksi Bahan baku	1	3000000	3000000
15.	Kepala Seksi Pengolahan Limbah	1	3500000	3500000
16.	Kepala Seksi Quality Controll	1	3500000	3500000
17.	Kepala Seksi Laboratorium	1	3500000	3500000
18.	Kepala Seksi Akunting	1	2500000	2500000
19.	Kepala Seksi Pembiayaan	1	2500000	2500000
20.	Kepala Seksi Pembelian	1	2500000	2500000
21.	Kepala Seksi Personalia	1	3000000	3000000
22.	Kepala Seksi Kebersihan & Keamanan	1	2500000	2500000
23.	Kepala Seksi Humas	1	2500000	2500000

24.	Kepala Seksi Penjualan	1	2500000	2500000
25.	Kepala Seksi Gudang	1	2000000	2000000
26.	Karyawan Utilitas	3	650000	1950000
		3	900000	2700000
27.	Karyawan Pemeliharaan & Perbaikan	4	650000	2600000
		3	900000	2700000
		1	1200000	1200000
28.	Karyawan Proses	16	400000	6400000
		7	650000	4550000
		7	900000	6300000
		2	1200000	2400000
29.	Karyawan Q.C. & Lab.	4	650000	2600000
		2	900000	1800000
		2	1200000	2400000
30.	Karyawan Bahan Baku	4	400000	1600000
		3	650000	1950000
31.	Karyawan Personalia	2	900000	1800000
32.	Karyawan Keamanan	3	400000	1200000
		2	650000	1300000
33.	Karyawan Kesehatan	2	900000	1800000
34.	Karyawan Pemasaran	3	650000	1950000
		2	900000	1800000
35.	Karyawan Keuangan	3	900000	2700000
36.	Karyawan Gudang	3	450000	1350000
		2	650000	1300000
		1	900000	900000
37.	Karyawan Adm.& Pembukuan	2	900000	1800000
38.	Karyawan Kebersihan	3	450000	1350000
		1	650000	650000
39.	Pegawai Perpustakaan	1	550000	550000
		1	800000	800000
40.	Sopir	3	650000	1950000
41.	Karyawan Kantin	1	450000	450000
		1	650000	650000
42.	Dokter	1	2000000	2000000
43.	Sekretaris	2	900000	1800000
	<b>J U M L A H</b>	125		173250000

## BAB XI

### ANALISA EKONOMI

Dalam perencanaan suatu pabrik perlu ditinjau dari faktor-faktor ekonomi yang menentukan apakah pabrik tersebut layak untuk didirikan atau tidak. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan untung rugi dalam mendirikan Pabrik Asam Oksalat adalah sebagai berikut :

- Laju pengembalian modal (*Internal Rate of Return*)
- Lama pengembalian modal (*Pay Out Time*)
- Titik impas (*Break Event Point*)

Untuk menghitung faktor-faktor diatas perlu diadakan penafsiran beberapa hal menyangkut administrasi perusahaan dan jalannya proses, yaitu :

1. Penaksiran modal investasi total (*Total Capital Investment*) terdiri atas :
  - a. Modal tetap (*Fixed Capital Investment*)
  - b. Modal kerja (*Work Capital Investment*)
2. Penentuan biaya produksi total (*Total Production Cost*), terdiri atas :
  - a. Biaya pembuatan (*Manufacturing Cost*)
  - b. Biaya pengeluaran umum (*General Expenses*)
3. Total pendapatan

#### **11.1. Faktor-faktor Penentu**

##### **11.1.1. Modal Investasi Total (*Total Capital Investment = TCI*)**

Yaitu modal yang dibutuhkan untuk mendirikan pabrik sebelum berproduksi, terdiri dari :

1. *Fixed Capital Investment (FCI)*

a. Biaya langsung (*Direct cost*), meliputi :

- Pembelian alat
- Instrumentasi dan alat kontrol
- Perpipaan terpasang
- Listrik terpasang
- Tanah dan bangunan
- Fasilitas pelayanan
- Pengembangan lahan

b. Biaya tak langsung (*Indirect cost*)

- Teknik dan supervisi
- Konstruksi
- Kontraktor
- Biaya tak terduga

2. *Working Capital Investment (WCI)*

Modal kerja yaitu modal yang digunakan untuk menjalankan pabrik yang berhubungan dengan laju produksi dalam beberapa waktu tertentu. Modal kerja terdiri dari :

- a. Penyediaan bahan baku dalam waktu tertentu
- b. Pengemasan produk dalam waktu tertentu
- c. Utilitas dalam waktu tertentu
- d. Gaji dalam waktu tertentu
- e. Uang tunai

Sehingga :

$$\text{Total Capital Investment (TCI)} = \text{Modal tetap (FCI)} + \text{Modal kerja (WCI)}$$

### 11.1.2. Biaya produksi (*Total Production Cost = TPC*)

Total biaya produksi adalah biaya yang digunakan untuk operasi pabrik atau biaya yang dikeluarkan untuk mengeluarkan satu-satuan produk dalam waktu tertentu. Biaya produksi terdiri dari :

- a. Biaya pembuatan (*Manufacturing Cost*), terdiri dari :
  - Biaya produksi langsung
  - Biaya produksi tetap
  - Biaya *overhead* pabrik
- b. Biaya umum (*General Expenses*), terdiri dari :
  - Biaya administrasi
  - Biaya distribusi dan pemasaran
  - Litbang
  - Financing

Adapun biaya produksi total terbagi menjadi :

- a. Biaya variabel (*Variable Cost = Vc*)

Biaya variable yaitu, segala biaya yang pengeluarannya berbanding lurus dengan laju produksi atau biaya yang tergantung dengan kapasitas pabrik secara langsung. Biaya variabel terdiri :

- Biaya bahan baku
- Biaya utilitas
- Biaya pengepakan

b. Biaya semi variabel (*Semi Variable Cost = SVC*)

Biaya semi variabel yaitu, biaya pengeluaran yang tidak berbanding lurus dengan laju produksi atau yang tergantung dengan kapasitas pabrik secara tidak langsung. Biaya semi variabel terdiri dari :

- Upah karyawan
- *Plant overhead*
- Pemeliharaan dan perbaikan
- Laboratorium
- *Operating supplies*
- Biaya umum
- Supervisi

c. Biaya tetap (*Fixed Cost = FC*)

Biaya tetap adalah biaya yang dikeluarkan secara tetap, tidak tergantung pada kapasitas pabrik. Biaya tetap terdiri dari :

- Asuransi
- Depresiasi
- Pajak
- Bunga bank

### **11.2. Penafsiran Harga Alat**

Harga suatu alat setiap saat akan berubah, tergantung pada perubahan kondisi ekonomi. Oleh karena itu, digunakan beberapa cara konversi harga alat terhadap harga alat pada beberapa tahun yang lalu, sehingga diperoleh harga yang ekuivalen dengan harga sekarang.



Harga alat dalam Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat ini didasarkan pada data harga alat yang terdapat pada literatur Peter & Timmerhause serta Gael. D. Ulrich.

Untuk menaksir harga alat pada tahun 2014 digunakan persamaan berikut :

$$C_x = \frac{I_x}{I_k} \times C_k \dots\dots\dots(1)$$

$$V_A = V_B \times \left( \frac{\text{Kapasitas alat A}}{\text{Kapasitas alat B}} \right)^{0,6} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

- C<sub>x</sub> = Taksiran harga alat pada tahun 2014
- C<sub>k</sub> = Taksiran harga alat pada tahun basis
- I<sub>x</sub> = Indeks harga pada tahun 2014
- I<sub>k</sub> = Indeks harga pada tahun basis
- V<sub>A</sub> = Harga alat dengan kapasitas A
- V<sub>B</sub> = Harga alat dengan kapasitas B
- 0,6 = Harga eksponen alat tertentu (Peter & Timmerhause, 167)

**11.3. Penentuan *Total Capital Investment (TCI)***

**A. Modal Langsung (DC)**

- 1. Harga peralatan (E) = Rp 32.121.867.568,39
- 2. Instalasi alat (40 % E) = Rp 12.848.747.027,36
- 3. Instrumantasi dan kontrol (13 % E) = Rp 4.175.842.783,89
- 4. Perpipaan terpasang (10 % E) = Rp 3.212.186.756,84
- 5. Listrik terpasang (5 % E) = Rp 1.606.093.378,42

6. Tanah (8 % E)	=	Rp	2.569.749.405,47
7. Bangunan (20% E)	=	Rp	6.424.373.513,68
8. Fasilitas pelayanan (30% E)	=	Rp	9.636.560.270,52
9. Pengembangan lahan (5% E)	=	Rp	1.606.093.378,42
<b>Total modal langsung (DC)</b>	=	Rp	<b>74.201.514.082,98</b>

**B. Modal tak Langsung (IC)**

10. Eng. Dan supervisi (35% E)	=	Rp	11.242.653.648,94
11. Konstruksi (40% E)	=	Rp	12.848.747.027,36
<b>Total modal tak langsung (IC)</b>	=	Rp	<b>24.091.400.676,29</b>

**C. Total Plant Cost (TPC)**

12. Total TPC (DC + IC)	=	Rp	<b>98.292.914.759,28</b>
-------------------------	---	----	--------------------------

**D. Modal Tetap (FCI)**

13. Kontraktor (5 % TPC)	=	Rp	4.914.645.737,96
14. Biaya tak terduga (1% DC+ IC)	=	Rp	982.929.147,59
<b>Total modal tetap (FCI)</b>	=	Rp	<b>104.190.489.644,83</b>

<b>E. Modal kerja 15% FCI (WCI)</b>	=	Rp	<b>15.628.573.446,72</b>
-------------------------------------	---	----	--------------------------

**F. Total Capital Investment (TCI)**

(FCI + WCI) = Rp 119.819.063.091,56

**G. Modal Perusahaan**

❖ Modal sendiri 0,6 TCI = Rp 71.891.437.854,93

❖ Modal pinjaman 0,4 TCI = Rp 47.927.625.236,62

**Total Modal Perusahaan = Rp 119.819.063.091,56**

**11.4. Penentuan Total Production Cost (TPC)****A. Biaya Pembuatan****A. 1. Biaya Produksi Langsung**

1. Gaji karyawan 1 tahun (TK)	=	Rp	2.079.000.000,00
2. Bahan baku 1 tahun	=	Rp	25.669.289.206,27
3. Biaya utilitas 1 tahun	=	Rp	385.842.562,00
4. Biaya pengemasan 1 tahun	=	Rp	1.400.884.932,86
5. Biaya lab. (8 % TK)	=	Rp	166.320.000,00
6. Pemeliharaan dan perawatan (10 % FCI)	=	Rp	10.419.048.964,48
7. Patent and royalties (1% TPC)	=	Rp	982.929.147,59

8. Supervisi (15% TK)	=	Rp	311.850.000,00
9. Penyediaan operasi (20 % pemeliharaan)	=	Rp	2.083.809.792,90
<b>Biaya produksi langsung (DPC)</b>	=	Rp	<b>43.498.974.606,11</b>

**A. 2. Biaya Produksi Tetap**

10. Depresiasi alat (13 % FCI)	=	Rp	13.544.763.653,83
11. Depresiasi bangunan (1% FCI)	=	Rp	1.041.904.896,45
12. Pajak Kekayaan (2 % FCI)	=	Rp	2.083.809.792,90
13. Asuransi (3% FCI)	=	Rp	3.125.714.689,34
14. Bunga bank (20% modal pinjaman)	=	Rp	9.585.525.047,32
<b>Biaya Produksi Tetap (FPC)</b>	=	Rp	<b>29.381.718.079,84</b>

<b>B. Biaya Overhead Pabrik (50% TK)</b>	=	Rp	<b>831.600.000,00</b>
--	---	----	-----------------------

<b>Total Biaya Pembuatan (COM) = (DPC + FPC + Biaya Overhead)</b>	=	Rp	<b>73.712.292.685,95</b>
---	---	----	--------------------------

**C. Biaya Pengeluaran Umum**

15. Biaya adminitrasi (15 % TK)	=	Rp	311.850.000,00
16. Biaya Dis. dan pemasaran (2 % DPC)	=	Rp	869.979.492,12
17. Biaya litbang (3 % DPC)	=	Rp	1.304.969.238,18
<b>Biaya Pengeluaran Umum (GE)</b>	=	Rp	<b>2.486.798.730,31</b>

#### D. Biaya Produksi Total (TPC)

$$\text{Total TPC (GE + COM)} = \text{Rp } 76.199.091.416,26$$

#### 11.5. Laba Perusahaan

Laba perusahaan, yaitu keuntungan yang diperoleh dari penjualan produk.

$$\text{Total penjualan per tahun} = \text{Rp } 126.824.872.194,48$$

$$\begin{aligned} \text{Laba kotor} &= \text{Harga Jual} - \text{Biaya Produksi} \\ &= \text{Rp } 126.824.872.194,48 - \text{Rp } 76.119.091.416,26 \\ &= \text{Rp } 50.625.780.778,22 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pajak penghasilan} &= 30\% \text{ dari laba kotor} \\ &= (0,3 \times \text{Rp } 50.625.780.778,22) \\ &= 15.187.734.233,47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laba bersih} &= \text{laba kotor} \times (1 - \% \text{ pajak}) \\ &= \text{Rp } 50.625.780.778,22 \times (1 - 0,3) \\ &= \text{Rp } 35.438.046.544,76 \end{aligned}$$

Nilai penerimaan *Cash Flow* setelah pajak ( $C_A$ ) :

$$\begin{aligned} C_A &= \text{Laba bersih} + \text{Depresiasi alat} \\ &= \text{Rp } 35.438.046.544,76 + \text{Rp } 13.544.763.653,83 \\ &= \text{Rp } 48.982.810.198,58 \end{aligned}$$

#### 11.6. Analisis Probabilitas

##### 11.6.1. Laju Pengembalian Modal (*Rate On Investment = ROI*)

ROI adalah pernyataan umum yang digunakan untuk menunjukkan laba tahunan sebagai usaha untuk mengembalikan modal.

❖ ROI sebelum pajak

$$\begin{aligned}
 \text{ROI}_{\text{BT}} &= \frac{\text{Laba kotor}}{\text{Modal tetap}} \times 100 \% \\
 &= \frac{\text{Rp } 50.625.780.778,22}{\text{Rp } 104.190.489.644,83} \times 100\% \\
 &= 48,59 \%
 \end{aligned}$$

❖ ROI setelah pajak

$$\begin{aligned}
 \text{ROI}_{\text{AT}} &= \frac{\text{Laba bersih}}{\text{Modal tetap}} \times 100 \% = \frac{\text{Rp } 35.438.046.544,76}{\text{Rp } 104.190.489.644,83} \times 100\% \\
 &= 34,01 \% \text{ dari modal investasi} \\
 &= (34,01 \%) \times \text{Rp } 119.819.063.091,56 \\
 &= \text{Rp } 40.753.753.526,47
 \end{aligned}$$

### 11.6.2. Lama Pengembalian Modal (*Pay Out Time = POT*)

POT adalah masa tahunan pengembalian modal investasi dari laba yang dihitung dikurangi penyusutan atau waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal investasi.

$$\begin{aligned}
 \text{POT} &= \frac{\text{Modal tetap}}{\text{Cash flow setelah pajak}} \times 1 \text{ tahun} \\
 &= \frac{\text{Rp } 104.190.489.644,83}{\text{Rp } 48.982.810.198,58} \times 1 \text{ tahun} \\
 &= 2,1271 \text{ tahun (2 tahun 47 hari)}
 \end{aligned}$$

### 11.6.3. Break Event Point (BEP)

BEP adalah titik dimana jika tingkat kapasitas pabrik berada pada titik tersebut maka pabrik tidak untung dan tidak rugi atau harga penjualan sama dengan biaya produksi.

$$\text{BEP} = \frac{\text{FC} + (0,3 \text{ SVC})}{\text{S} - 0,7 \text{ SVC} - \text{VC}} \times 100\%$$

**A. Biaya Produksi Tetap (FC = FPC) = Rp 29.381.718.079,84**

**B. Biaya Variabel (VC)**

1. Bahan baku 1 tahun = Rp 25.669.289.206,27

2. Biaya utilitas 1 tahun = Rp 385.842.562,00

3. Biaya pengemasan 1 tahun = Rp 1.400.884.932,86

**Total biaya variabel (VC) = Rp 27.456.016.701,14**

**C. Biaya Semivariabel (SVC)**

1. Biaya umum (GE) = Rp 2.486.798.730,31

2. Biaya overhead = Rp 831.600.000,00

3. Penyediaan operasi = Rp 2.083.809.792,90

4. Biaya lab. = Rp 166.320.000,00

5. Gaji karyawan langsung = Rp 2.079.000.000,00

6. Supervisi = Rp 311.850.000,00

7. Perawatan dan pemeliharaan = Rp 10.419.048.964,48

**Total biaya semi variabel SVC) = Rp 18.378.427.487,69**

**D. Harga Penjualan (S) = Rp 126.824.872.194,48**

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \frac{29.381.718.079,84 + (0,3 \times 18.378.427.487,69)}{126.824.872.194,48 - (0,7 \times 18.378.427.487,69) - 27.456.016.701,14} \times 100\% \\ &= 40,34\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Titik BEP terjadi pada kapasitas produksi} &= 40,34\% \times 2.800 \text{ ton/tahun} \\ &= 1,130 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Nilai BEP untuk pabrik asam oksalat berada diantara nilai 30 – 65%, sehingga nilai BEP diatas memadai.

Untuk produksi tahun pertama kapasitas pabrik 90 % dari kapasitas yang sesungguhnya, sehingga keuntungan adalah :

$$\frac{\text{PBi}}{\text{PB}} = \frac{(100 - \text{BEP}) - (100 - \% \text{kapasitas})}{(100 - \text{BEP})}$$

dimana :

PBi = keuntungan pada % kapasitas yang tercapai (dibawah 100%)

PB = keuntungan pada kapasitas 100%

% kap = % kapasitas yang tercapai

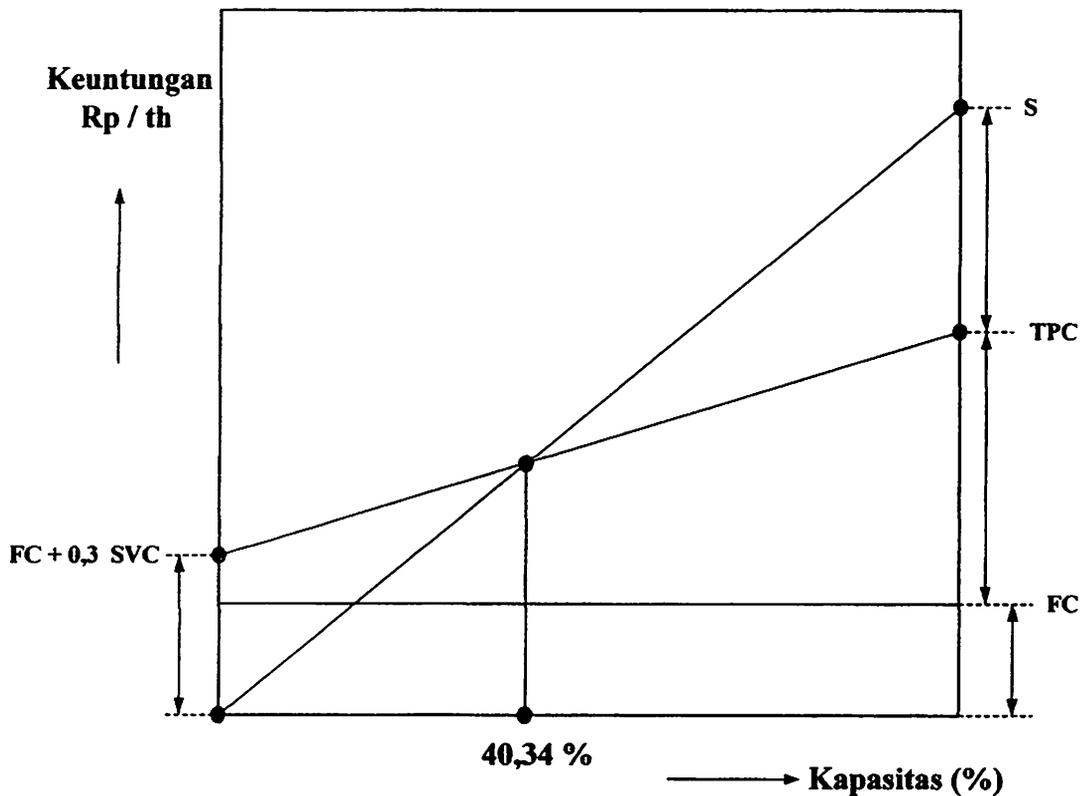
$$\frac{\text{PBi}}{\text{Rp } 35.438.046.544,76} = \frac{(100 - 40,34) - (100 - 90)}{(100 - 40,34)}$$

$$\text{PBi} = \text{Rp } 29.498.097.198,28$$

Sehingga cash flow setelah pajak untuk tahun pertama adalah :

$$\begin{aligned} C_A &= \text{laba bersih tahun pertama} + \text{Depresiasi alat} \\ &= \text{Rp } 29.498.097.198,28 + \text{Rp } 13.544.763.653,83 \\ &= \text{Rp } 43.042.860.852,11 \end{aligned}$$





Gambar 11.6.1. Break Event Point Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat

**11.6.4. Shut Down Point (SDP)**

Shut Down Point adalah suatu titik yang merupakan kapasitas minimal pabrik masih boleh beroperasi.

$$\begin{aligned}
 \text{SDP} &= \frac{0,3 \text{ SVC}}{S - 0,7\text{SVC} - \text{VC}} \times 100\% \\
 &= \frac{(0,3 \times 18.378.427.487,69)}{126.824.872.194,48 - (0,7 \times 18.378.427.487,69) - 27.456.016.701,14} \times 100\% \\
 &= 6,37 \%
 \end{aligned}$$

Titik Shut Down Point terjadi pada kapasitas = 6,37 % x 2.800 ton/tahun  
 = 178,46442820 ton/th

### 11.6.5. Net Present Value (NPV)

Motode ini digunakan untuk menghitung selisih dari nilai penerimaan kas bersih sekarang dengan nilai investasi sekarang.

Langkah – langkah menghitung NPV :

a. Menghitung  $C_{A0}$  (tahun ke-0) untuk masa konstruksi 2 tahun

$$\begin{aligned} C_{A-2} &= 40 \% \times \text{FCI} \times (1 + i)^2 \\ &= 40 \% \times \text{Rp } 104.190.489.644,83 \times (1 + 0,2)^2 \\ &= \text{Rp } 60.013.722.035,42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{A-1} &= 60\% \times \text{FCI} \times (1 + i)^1 \\ &= 60\% \times \text{Rp } 104.190.489.644,83 \times (1 + 0,2)^1 \\ &= \text{Rp } 90.020.583.053,14 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{A0} &= -(C_{A-1} + C_{A-2}) \\ &= -(\text{Rp } 90.020.583.053,14 + \text{Rp } 60.013.722.035,42) \\ &= -\text{Rp } 150.034.305.088,56 \end{aligned}$$

b. Menghitung NPV tiap tahun

$$\text{NPV} = C_A \times \text{Fd}$$

dimana :

$$C_A = \text{Cash flow setelah pajak}$$

$$\text{Fd} = \text{faktor diskon} = \frac{1}{(1 + i)^n}$$

$$n = \text{tahun ke-n}$$

$$i = \text{tingkat bunga bank}$$

Tabel 11.6.1. *Cash Flow* untuk NPV selama 10 tahun

Tahun	Cash Flow/CA (Rp)	Fd (i = 0,2)	NPV
0	-150.034.305.088,56	1,0000	-150.034.305.088,56
1	43.042.860.852,11	0,8333	35.869.050.710,09
2	48.982.810.198,58	0,6944	34.015.840.415,68
3	48.982.810.198,58	0,5787	28.346.533.679,74
4	48.982.810.198,58	0,4823	23.622.111.399,78
5	48.982.810.198,58	0,4019	19.685.092.833,15
6	48.982.810.198,58	0,3349	16.404.244.027,62
7	48.982.810.198,58	0,2791	13.670.203.356,35
8	48.982.810.198,58	0,2326	11.391.836.130,30
9	48.982.810.198,58	0,1938	9.493.196.775,25
10	48.982.810.198,58	0,1615	7.910.997.312,70
<b>Nilai sisa</b>	0	0,1615	0
<b>WCI</b>	15.628.573.446,72	0,1615	2.524/101/864.25
<b>Jumlah</b>			52/898/903/416.35

Karena harga NPV = (+) maka pabrik asam oksalat dari ampas tapioka layak untuk didirikan.

**11.6.6. Internal Rate Of Return (IRR)**

Tabel 11.6.2. *Cash Flow* untuk IRR

Tahun	Cash Flow/ $C_A$ (Rp)	Fd ( $i = 0,2$ )	$NPV_1$	Fd ( $i = 0,4$ )	$NPV_2$
0	150.034.305.088,56	1,0000	150.034.305.088,56	1,0000	150,034,305,088,56
1	43.042.860.852,11	0,8333	35.869.050.710,09	0,7143	30.744.900.608,65
2	48.982.810.198,58	0,6944	34.015.840.415,68	0,5102	24.991.229.693,15
3	48.982.810.198,58	0,5787	28.346.533.679,74	0,3644	17.850.878.352,25
4	48.982.810.198,58	0,4823	23.622.111.399,78	0,2603	12.750.627.394,47
5	48.982.810.198,58	0,4019	19.685.092.833,15	0,1859	9.107.590.996,05
6	48.982.810.198,58	0,3349	16.404.244.027,62	0,1328	6.505.422.140,03
7	48.982.810.198,58	0,2791	13.670.203.356,35	0,0949	4.646.730.100,02
8	48.982.810.198,58	0,2326	11.391.836.130,30	0,0678	3.319.092.928,59
9	48.982.810.198,58	0,1938	9.493.196.775,25	0,0484	2.370.780.663,28
10	48.982.810.198,58	0,1615	7.910.997.312,70	0,0346	1.693.414.759,48
<b>Nilai sisa</b>	0	0,1615	0	0,0346	0
<b>WCI</b>	15.628.573.446,72	0,1615	2.524.101.864,25	0,0346	540.304.993,47
<b>Jumlah</b>			52.898.903.416,35		-35.513.332.459,11

$$\begin{aligned} \text{IRR} &= i_1 + \frac{\text{NPV}_1}{\text{NPV}_1 - \text{NPV}_2} \times (i_1 - i_2) \\ &= 20\% + \frac{52.898.903.416,35}{52.898.903.416,35 - (-35.513.332.459,11)} \times (40\% - 20\%) \\ &= 31,9664\% \end{aligned}$$

Karena harga IRR lebih besar dari bunga bank (12.5%), maka pabrik asam oksalat dari ampas tapioka layak didirikan.

## **BAB XII**

### **KESIMPULAN**

Pra Rencana Asam Oksalat dari Ampas Tapioka ini diharapkan dapat mencapai hasil produksi yang maksimal sesuai dengan tujuan, sehingga dapat memenuhi kebutuhan masyarakat dalam negeri.

Dari hasil analisis yang dilakukan, Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat dari Ampas Tapioka ini layak untuk ditindaklanjuti dengan memperhatikan beberapa aspek berikut :

#### **12.1. Segi Teknis**

Ditinjau dari segi teknis, proses Pembuatan Asam Oksalat dengan proses oksidasi menggunakan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ) cukup menguntungkan karena hasil yang diperoleh cukup banyak dan kualitasnya cukup baik.

#### **12.2. Segi Sosial**

Pendirian pabrik ini dinilai cukup menguntungkan dilihat dari segi sosial karena dapat menciptakan lapangan pekerjaan baru bagi masyarakat, dapat meningkatkan pendapatan per kapita daerah dan meningkatkan devisa negara.

#### **12.3. Segi Lokasi**

Penempatan pabrik Asam Oksalat di daerah Banten dinilai cukup menguntungkan dari segi lokasi karena :

- a. Bahan baku banyak terdapat di propinsi Banten, sehingga letak pabrik mendekati lokasi bahan baku.

- b. Sarana transportasi yang cukup menunjang karena dekat dengan jalur lintas utama.
- c. Tenaga kerja yang tersedia cukup banyak dan relatif murah
- d. Persediaan utilitas yang cukup besar
- e. Cukup dekat dengan daerah pemasaran

#### **12.4. Segi Ekonomi**

Asam oksalat banyak digunakan sebagai bahan baku pada industri kimia, terutama pada industri tekstil sebagai *bleaching*, sebagai bahan baku untuk menetralkan kelebihan alkali pada proses pencucian dan menghilangkan karbonasi pada plat logam.

Pendirian pabrik asam oksalat ini juga turut menunjang program pemerintah dalam mengembangkan sektor industri berbasis pertanian.

#### **12.5. Segi Analisa Ekonomi**

Analisa ekonomi sangat diperlukan dalam menentukan layak atau tidaknya suatu pabrik untuk didirikan, baik dalam jangka waktu pendek maupun jangka panjang. Setelah dilakukan perhitungan analisa ekonomi terhadap Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat dari Ampas Tapioka, diperoleh hasil sebagai berikut :

- ❖ POT = 2 tahun 47 hari
- ❖ ROI<sub>AT</sub> = 34,01 %
- ❖ BEP = 40,34 %

Dengan berpedoman bahwa bunga bank yang berlaku sebesar 12.5 % dan dengan melihat prosentase ROI lebih tinggi daripada bunga bank, maka Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat dari Ampas Tapioka ini layak untuk didirikan.

2. Storage H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
3. Storage Ampas Tapioka
- II. Tahap Pemisahan Bahan Baku
  4. Tangki Penampung Ampas Tapioka
  5. Tangki Hidrolisis
  6. *Cooler*
  7. *Rotary Vacuum Filter*
  8. Tangki Penampung Filtrat
- III. Tahap Reaksi
  9. Reaktor
  10. Oksidator
  11. Absorber
- IV. Tahap Pemisahan dan Pemurnian Produk
  12. Evaporator
  13. Kristaliser
  14. *Centrifuge*
- V. Tahap Penanganan Produk
  15. *Rotary Dryer*
  16. Unit Pengemasan
  17. Storage Produk



## APPENDIKS A

### PERHITUNGAN NERACA MASSA

Kapasitas produksi = 1202 ton/tahun

Waktu operasi = 330 hari/tahun = 24 jam/hari

Produksi asam oksalat =  $1202 \text{ ton/tahun} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$   
= 151.7676 kg/jam

Basis perhitungan = 151.7676 kg/jam ampas tapioka

Diketahui :

Senyawa	Rumus	BM
Sukrosa	$C_{12}H_{22}O_{11}$	342.12100000
Glukosa	$C_6H_{12}O_6$	180.06000000
Air	$H_2O$	18.01480000
Asam sulfat	$H_2SO_4$	98.07180000
Asam nitrat	$HNO_3$	63.01190000
Asam oksalat dihidrat	$(COOH)_2 \cdot 2H_2O$	126.06340000
Nitrogen monoksida	$NO$	30.00600000
Nitrogen dioksida	$NO_2$	46.00500000
Nitrogen oksida	$N_2O$	44.01300000
Oksigen	$O_2$	31.99800000
Nitrogen	$N_2$	28.01400000

Komposisi ampas tapioka :

Karbohidrat/sukrosa = 68 %

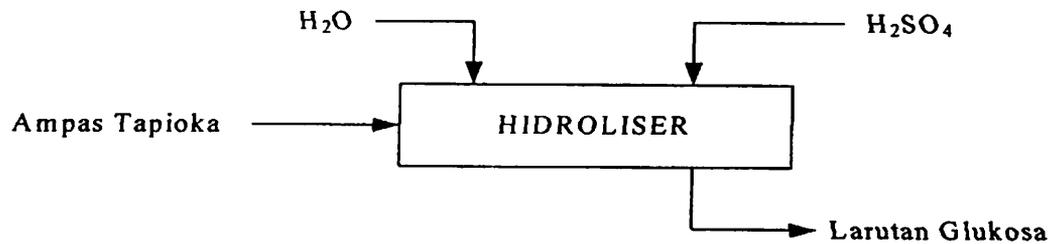
Protein = 1,75 %

Lemak = 0,25 %

Serat kasar = 10 %

Air = 20 %

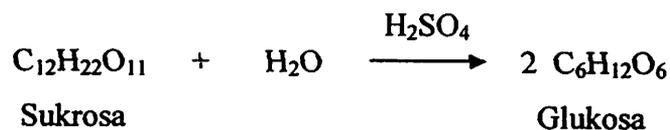
### 1. HIDROLISER (R-110)



Komposisi ampas tapioka masuk tangki hidroliser :

Sukrosa	=	$\frac{68}{100}$	x	151.7676 kg/jam	=	103.2020 kg/jam
Protein	=	$\frac{1,75}{100}$	x	151.7676 kg/jam	=	2.6559 kg/jam
Lemak	=	$\frac{0,25}{100}$	x	151.7676 kg/jam	=	0,3794 kg/jam
Serat kasar	=	$\frac{10}{100}$	x	151.7676 kg/jam	=	15.1767 kg/jam
Air	=	$\frac{20}{100}$	x	151.7676 kg/jam	=	30.3535 kg/jam
Jumlah					=	151.7676 kg/jam

Reaksi hidrolisis sukrosa menjadi glukosa terjadi dengan reaksi :



dimana efisiensi hidrolisis yang terjadi yaitu sebesar 98 %

$$\begin{aligned}
 \text{Sukrosa total} &= 103.2020 \text{ kg/jam} = \frac{103.2020 \text{ kg/jam}}{342,121} \\
 &= 0,05019 \text{ kgmol}
 \end{aligned}$$

$$\text{Sukrosa bereaksi} = (98/100) \times 0,05019 \text{ kgmol} = 0,04918 \text{ kgmol}$$

$$\text{Glukosa terbentuk} = (2/1) \times (98/100) \times 0,04918 \text{ kgmol} \times 180,06$$

$$= 17.713619 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Asam sulfat yang diperlukan} &= 0,5 \% \text{ dari sukrosa} \\ &= 0,5 \times 197,26760582 \text{ kg/jam} \\ &= \frac{0,08585859 \text{ kg/jam}}{98,0718} = 0,000857 \text{ kgmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kemurnian H}_2\text{SO}_4 &= (98/100) \times 0,000857 \text{ kgmol} \\ &= 0,008679 \text{ kgmol} \times 98,0718 = 0,85125 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Kebutuhan H}_2\text{SO}_4 \text{ murni dari storage} = 0,085125 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ masuk dari storage} &= (100/98) \times 0,085125 \text{ kg/jam} \\ &= 0,08686 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kandungan air dalam asam} &= 0,08686 \text{ kg/jam} - 0,085125 \text{ kg/jam} \\ &= 0,00001735 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ total} = \frac{0,08585859 \text{ kg/jam}}{98,0718}$$

$$= 0,008754 \text{ kgmol}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ bereaksi} &= (1/100) \times 0,00985616 \text{ kgmol} \times 98,0718 \\ &= 0,00966611 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisa H}_2\text{SO}_4 &= 0,96661127 \text{ kg/jam} - 0,00966611 \text{ kg/jam} \\ &= 0,0008414 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air dibutuhkan} &= (1/1) \times 0,57660186 \text{ kgmol} \times 18,0148 \\ &= 0,9041977 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air bereaksi} &= (98/100) \times 0,57660186 \text{ kgmol} \times 18,0148 \\ &= 0,8861138 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Air sisa} = 10,38736723 \text{ kg/jam} - 10,17961989 \text{ kg/jam}$$

$$= 0,018084\text{kg/jam}$$

Pengenceran sukrosa 15 % sehingga :

$$\text{Massa larutan} = (100/15) \times 17.171717 \text{ kg/jam} = 114.478114 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Air yang ditambahkan} = 114.478114 \text{ kg/jam} - 17.171717\text{kg/jam}$$

$$= 97.306397 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Volume total air} = 1121,81150335 \text{ kg/jam} + 275,91819425\text{kg/jam} +$$

$$56,85466730 \text{ kg/jam} + 0,00020815 \text{ kg/jam}$$

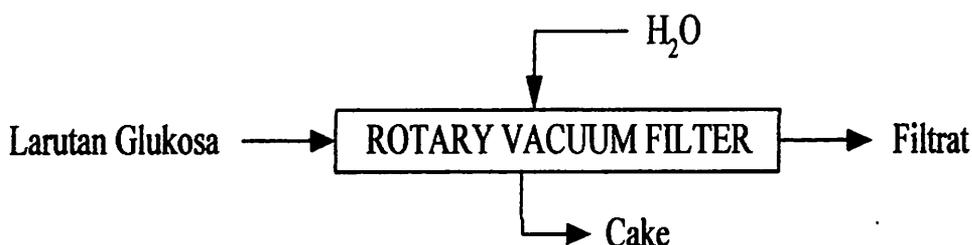
$$= 102.3572\text{kg/jam}$$

$$\text{Total air keluar} = 102.3572\text{kg kg/jam} - 0.886118 \text{ kg/jam}$$

$$= 101.464\text{kg/jam}$$

Komposisi	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
Karbohidrat/sukrosa	103.20196800	2.08263357
Glukosa		106.45879926
Protein	2.65593300	2.65593300
Lemak	0.37941900	0.37941900
Serat kasar	15.17676000	15.17676000
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50568964	0.50063275
Air	30.35541572	609.84102629
Air dari utilitas	584.81115200	
Jumlah	737.08633736	737.09520387

## 2. ROTARY VACUUM FILTER (H-122)



Diketahui :

Cake drynes = 90 % berat solid

Liquid tertahan =  $(100 - 90) \% = 10 \%$  berat solid

Pencucian dengan air pencuci sebanyak 20 % feed masuk

Komponen terikut cake = 2 % dari total cake tertentu

Komponen terikut filtrat = 98 % dari total cake

*a. Proses Filtrasi*

Feed masuk terdiri dari :

Liquid	: Sukrosa sisa	=	3,96394633	kg/jam
	Glukosa	=	229,75773206	kg/jam
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	=	0,95694516	kg/jam
	HNO <sub>3</sub>	=	64,70722377	kg/jam
	Asam oksalat	=	37,18083534	kg/jam
	Air	=	1444,40495316	kg/jam
	<b>Jumlah liquid</b>	<b>=</b>	<b>1780,97163581</b>	<b>kg/jam</b>
Solid	: Protein	=	4,97478339	kg/jam
	Lemak	=	0,71068334	kg/jam
	Serat kasar	=	28,42733365	kg/jam
	<b>Jumlah solid</b>	<b>=</b>	<b>34,11280038</b>	<b>kg/jam</b>

Total feed masuk = total liquid + total solid  
 = 1780,97163581 kg/jam + 34,11280038 kg/jam  
 = 1815,08443619 kg/jam

*b. Proses pencucian*

$$\begin{aligned} \text{Air pencuci yang dipakai} &= (20/100) \times 1815,08443619 \text{ kg/jam} \\ &= 363,01688724 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Liquid pada cake} &= (10/100) \times 34,11280038 \text{ kg/jam} \\ &= 3,41128004 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total cake terbentuk} &= 34,11280038 \text{ kg/jam} + 3,41128004 \text{ kg/jam} \\ &= 37,52408042 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Filtrat terbentuk} &= 1815,08443619 \text{ kg/jam} - 37,52408042 \text{ kg/jam} \\ &= 1777,56035577 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Komponen terikut cake} &= (2/100) \times 37,52408042 \text{ kg/jam} \\ &= 0,75048161 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Komponen ke filtrat} &= (98/100) \times 37,52408042 \text{ kg/jam} \\ &= 36,77359881 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air pencuci terikut cake} &= 3,41128004 \text{ kg/jam} - 0,75048161 \text{ kg/jam} \\ &= 2,66079843 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Air pencuci ke filtrat} &= 363,01688724 \text{ kg/jam} - 2,66079843 \text{ kg/jam} \\ &= 360,35608881 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Sehingga komposisi komponen ke cake :

$$\begin{aligned} \text{Glukosa} &= \frac{229,75773206 \text{ kg/jam}}{1780,97163581 \text{ kg/jam}} \times 0,75048161 \text{ kg/jam} \\ &= 0,09681735 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sukrosa} &= \frac{3,96394633 \text{ kg/jam}}{1780,97163581 \text{ kg/jam}} \times 0,75048161 \text{ kg/jam} \\ &= 0,00167036 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 = \frac{0,95694516 \text{ kg/jam}}{1780,97163581 \text{ kg/jam}} \times 0,75048161 \text{ kg/jam}$$

$$= 0,00040325 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Air} = \frac{1444,40495316 \text{ kg/jam}}{1780,97163581 \text{ kg/jam}} \times 0,75048161 \text{ kg/jam}$$

$$= 0,60865616 \text{ kg/jam}$$

Komposisi komponen ke filtrat :

$$\text{Glukosa} = 229,75773206 \text{ kg/jam} - 0,09681735 \text{ kg/jam}$$

$$= 229,66091471 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Sukrosa} = 3,96394633 \text{ kg/jam} - 0,00167036 \text{ kg/jam}$$

$$= 3,96227596 \text{ kg/jam}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 = 0,95694516 \text{ kg/jam} - 0,00040325 \text{ kg/jam}$$

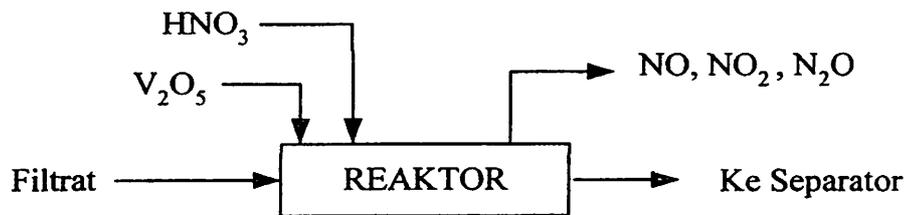
$$= 0,95654191 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Air} = 101,47110394 \text{ kg/jam} - 0,05654716 \text{ kg/jam}$$

$$= 101,41455678 \text{ kg/jam}$$

Komposisi	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
		Filtrat	Cake
Glukosa	106.45879926	106.39946490	0.05933436
Sukrosa	2.08263357	2.08147282	0.00116075
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50063275	0.50035372	0.00027903
Protein	2.65593300		2.65593300
Lemak	0.37941900		0.37941900
Serat kasar	15.17676000		15.17676000
Air	609.84102629	609.50113397	0.33989233
Air pencuci	147.41904077	145.99849604	1.42054474
		864.48092145	20.03332320
<b>Jumlah</b>	<b>884.51424465</b>	<b>884.51424465</b>	

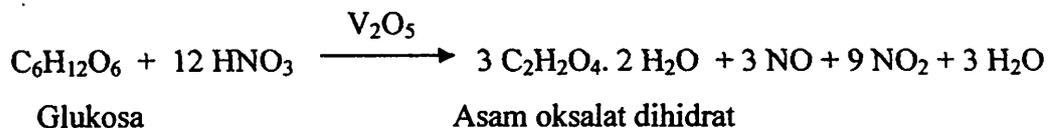
### 3. REAKTOR (R-120)



Diketahui untuk 1000 kg asam oksalat dihidrat diperlukan :

Komposisi	Massa (kg)	kgmol
Glukosa, C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	957,8955000	5,31986838
Asam nitrat, HNO <sub>3</sub>	4678,26073990	74,24408310

V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ditambahkan (Faith and Keyes) = 2 % dari massa glukosa



Berdasarkan reaksi diatas, maka 5,31986838 kgmol glukosa memerlukan :

$$\begin{aligned}
 \text{Asam nitrat, HNO}_3 &= (12/1) \times 5,31986838 \text{ kgmol} \\
 &= 63,83842053 \text{ kgmol}
 \end{aligned}$$

$$\text{HNO}_3 \text{ tersedia} = 74,24408310 \text{ kgmol}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ kelebihan} &= \frac{74,2448310 \text{ kgmol} - 63,83842053 \text{ kgmol}}{63,83842053 \text{ kgmol}} \times 100 \% \\
 &= 16,30000004 \%
 \end{aligned}$$

Sehingga untuk :

$$\text{Glukosa} = \frac{229,66091471 \text{ kg/jam}}{180,06} = 1,27546881 \text{ kgmol}$$

$$\begin{aligned}
 \text{HNO}_3 \text{ diperlukan} &= (12/1) \times 1,27546881 \text{ kgmol} \times \frac{100 + 16,30000004}{100} \\
 &= 17,80044278 \text{ kgmol} \times 63,0119 \\
 &= 1121,63971041 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$



$$\text{HNO}_3 \text{ dari feed masuk} = 64,67995686 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{HNO}_3 \text{ masuk dari storage} &= 1121,63971041 \text{ kg/jam} - 64,67995686 \text{ kg/jam} \\ &= 1056,95976354 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

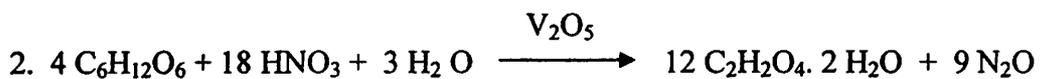
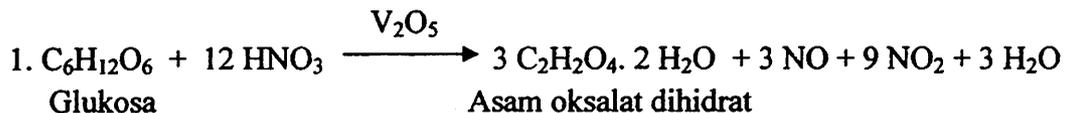
Kemurnian  $\text{HNO}_3$  90 %, sehingga :

$$\text{HNO}_3 \text{ masuk} = 1056,95976354 \text{ kg/jam} \times (100/90) = 1174,39973727 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Kandungan air} &= 1174,39973727 \text{ kg/jam} - 1056,95976354 \text{ kg/jam} \\ &= 117,43997373 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{V}_2\text{O}_5 \text{ ditambahkan} &= (2/100) \times 17.17172 \text{ kg/jam} \\ &= 0.35407 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Reaksi yang terjadi :



dengan konversi reaksi sebesar 64 %, suhu operasi 71 °C dan tekanan 1 atm

$$\begin{aligned} \text{Glukosa bereaksi pada re' 1} &= (64/100) \times 1,27546881 \text{ kgmol} \\ &= 0,81630004 \text{ kgmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Glukosa sisa (I)} &= 1,27546881 \text{ kgmol} - 0,81630004 \text{ kgmol} \\ &= 0,45916877 \text{ kgmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Glukosa bereaksi pada re' 2} &= (64/100) \times 0,45916877 \text{ kgmol} \\ &= 0,29386801 \text{ kgmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Glukosa sisa (II)} &= 0,45916877 \text{ kgmol} - 0,29386801 \text{ kgmol} \\ &= 0,16530076 \text{ kgmol} \times 180,06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 29,65881062 \text{ kg/jam} \\
 \text{HNO}_3 \text{ bereaksi pada re'1} &= (12/1) \times (64/100) \times 1,27546881 \text{ kgmol} \\
 &= 9,79560049 \text{ kgmol} \\
 \text{HNO}_3 \text{ sisa (I)} &= 17,80044278 \text{ kgmol} - 9,79560049 \text{ kgmol} \\
 &= 8,00484229 \text{ kgmol} \\
 \text{HNO}_3 \text{ bereaksi pada re'2} &= (18/4) \times (64/100) \times 0,45916877 \text{ kgmol} \\
 &= 1,32240607 \text{ kgmol} \\
 \text{HNO}_3 \text{ sisa (II)} &= 8,00484229 \text{ kgmol} - 1,32240607 \text{ kgmol} \\
 &= 6,68243622 \text{ kgmol} \times 63,0119 \\
 &= 421,07300278 \text{ kg/jam} \\
 \text{H}_2\text{O diperlukan pada re'2} &= (3/4) \times 0,45916877 \text{ kgmol} \\
 &= 0,34437658 \text{ kgmol} \\
 \text{H}_2\text{O bereaksi pada re'2} &= (64/100) \times 0,34437658 \text{ kgmol} \\
 &= 0,22040101 \text{ kgmol} \\
 \text{H}_2\text{O sisa} &= 0,34437658 \text{ kgmol} - 0,22040101 \text{ kgmol} \\
 &= 0,12397557 \text{ kgmol} \times 18,0148 \\
 &= 2,23339508 \text{ kg/jam} \\
 \text{Asam oksalat terbentuk pada re'1} &= (3/1) \times (64/100) \times 1,27546881 \text{ kgmol} \\
 &= 2,44890012 \text{ kgmol} \times 126,0634 \\
 &= 308,71667584 \text{ kg/jam} \\
 \text{NO terbentuk pada re'1} &= (3/1) \times (64/100) \times 1,27546881 \text{ kgmol} \\
 &= 2,44890012 \text{ kgmol} \times 30,006 \\
 &= 73,48169711 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NO}_2 \text{ terbentuk pada re'1} &= (9/1) \times (64/100) \times 1,27546881 \text{ kgmol} \\
 &= 7,34670037 \text{ kgmol} \times 46,005 \\
 &= 337,98495056 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{H}_2\text{O} \text{ terbentuk pada re'1} &= (3/1) \times (64/100) \times 1,27546881 \text{ kgmol} \\
 &= 2,44890012 \text{ kgmol} \times 18,0148 \\
 &= 44,11644595 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

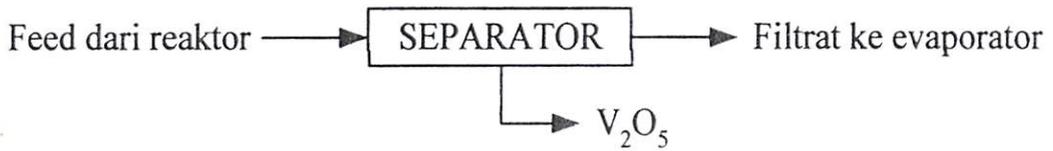
$$\begin{aligned}
 \text{Asam oksalat terbentuk pada re'2} &= (12/4) \times (64/100) \times 0,45916877 \text{ kgmol} \\
 &= 0,88160404 \text{ kgmol} \times 126,0634 \\
 &= 111,13800330 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{N}_2\text{O} \text{ terbentuk pada re'2} &= (9/4) \times (64/100) \times 0,45916877 \text{ kgmol} \times 44,013 \\
 &= 29,10152911 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Asam oksalat total} &= 37.18083534 \text{ kg/jam} + 308,71667584 \text{ kg/jam} + \\
 &111,13800330 \text{ kg/jam} \\
 &= 457,01984689 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Komposisi	Masuk (kg/jam)	Storage HNO <sub>3</sub>	Keluar (kg/jam)
	Reaktor		
Glukosa	106.39946490		13.69617037
Sukrosa	2.08147282		2.08147282
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50035372		0.50035372
HNO <sub>3</sub>		519.64378095	195.07865426
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.12798930		2.12798930
Air	755.49963000	57.73819788	831.83702787
Asam oksalat			194.51421784
NO			34.04329057
NO <sub>2</sub>			156.58484130
N <sub>2</sub> O			13.48242964
	866.60891074	577.38197883	
<b>Jumlah</b>	<b>1443.99088958</b>		<b>1443.94644769</b>

#### 4. SEPARATOR (H-137)

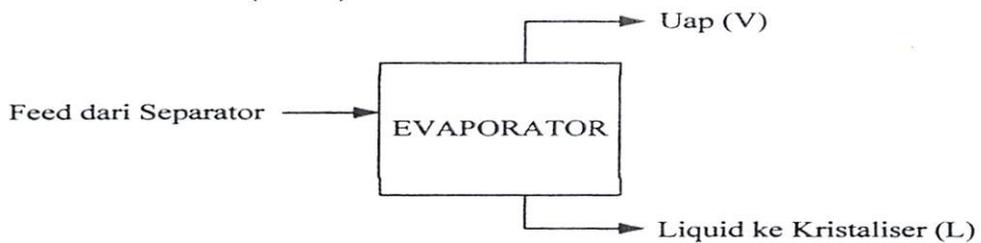


Diasumsikan 100 % dibutuhkan dapat dipisahkan, sehingga :

Kristal  $V_2O_5$  keluar separator = 0.35407496 kg/jam

Komposisi	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
		Filtrat	Cake
Glukosa	13.69617037	13.69617037	
Sukrosa	2.08147282	2.08147282	
$H_2SO_4$	0.50035372	0.50035372	
$HNO_3$	195.07865426	195.07865426	
$V_2O_5$	2.12798930		2.12798930
Air	831.83702787	831.83702787	
Asam oksalat	194.51421784	194.51421784	
		1237.70789689	2.12798930
Jumlah	1239.83588618	1239.83588618	

#### 5. EVAPORATOR (V-130)



Diketahui :

Glukosa = 2.20120548 kg/jam

Sukrosa = 0.36182680 kg/jam

$H_2SO_4$  = 0.08325358 kg/jam

$HNO_3$  masuk = 32.4590294 kg/jam



$$\text{Air masuk} = 138.412001 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Asam oksalat} = 32.3651131 \text{ kg/jam}$$

---


$$\text{Jumlah} = 205.882430 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Jumlah air dan HNO}_3 \text{ dalam feed} = (138.412001 + 32.4590294) \text{ kg/jam}$$

$$= 170,87103103 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Konsentrasi asam oksalat} = \frac{32.3651131 \text{ kg/jam}}{205.882430 \text{ kg/jam}} \times 100 \%$$

$$= 15,72019194 \%$$

$$\text{Neraca massa total : } F = L + V$$

$$205.882430 \text{ kg/jam} = L + V$$

Asam oksalat dipekatkan hingga 70 %, sehingga :

$$F \times X_F = (L \times X_L) + (V \times X_V)$$

$$(205.882430 \text{ kg/jam})(0.1572019194) = (L)(0,50000000) + 0$$

$$L = 914,03969378 \text{ kg/jam}$$

$$V = 205.882430 \text{ kg/jam} - 914,03969378 \text{ kg/jam} = 1960,36910973 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Air dan HNO}_3 \text{ dalam liquid} = 914,03969378 \text{ kg/jam} - 457,01984689 \text{ kg/jam} -$$

$$29,65881062 \text{ kg/jam} - 3,96227596 \text{ kg/jam} -$$

$$0,95654191 \text{ kg/jam} = 422,44221840 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Air dalam liquid} = \frac{1961,73832535 \text{ kg/jam}}{2382,81132813 \text{ kg/jam}} \times 422,44221840 \text{ kg/jam}$$

$$= 347,79131704 \text{ kg/jam}$$

$$\text{HNO}_3 \text{ dalam liquid} = \frac{421,07300278 \text{ kg/jam}}{2382,81132813 \text{ kg/jam}} \times 422,44221840 \text{ kg/jam}$$

$$= 74,65090135 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Air diuapkan} = 1961,73832535 \text{ kg/jam} - 347,79131704 \text{ kg/jam}$$

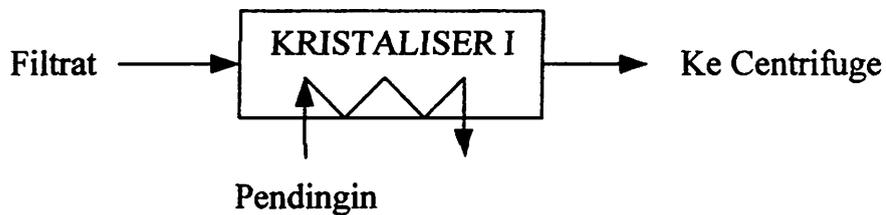
$$= 1613,94700830 \text{ kg/jam}$$

$$\text{HNO}_3 \text{ diuapkan} = 421,07300278 \text{ kg/jam} - 74,65090135 \text{ kg/jam}$$

$$= 346,42210143 \text{ kg/jam}$$

Komposisi	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)	
		Liquid	Uap
Glukosa	13.69617037	13.69617037	
Sukrosa	2.08147282	2.08147282	
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50035372	0.50035372	
HNO <sub>3</sub>	195.07865426	12.74388777	182.33476649
Air	831.83702787	54.34135153	777.49567633
Asam oksalat	194.51421784	194.51421784	
		277.87745406	959.83044282
Jumlah	1237.70789689	1237.70789689	

## 6. KRISTALISER (X-140)



Diketahui kelarutan asam oksalat pada 30 °C adalah 23,6 g/100 g air.

(Kirk Othmer, vol 16 hlm 619)

Sehingga :

$$\text{Asam oksalat tidak terkristal} = (23,6 \text{ g/100 g}) \times 32.36511319 \text{ kg/jam}$$

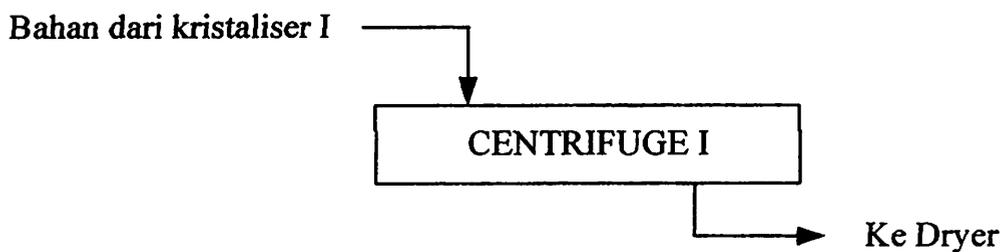
$$= 7.63816671 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Asam oksalat mengkristal} = 32.36511319 \text{ kg/jam} - 7.63816671 \text{ kg/jam}$$

$$= 24.72694648 \text{ kg/jam}$$

Komposisi	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
Glukosa	13.69617037	13.69617037
Sukrosa	2.08147282	2.08147282
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50035372	0.50035372
HNO <sub>3</sub>	12.74388777	12.74388777
Air	54.34135153	54.34135153
Asam oksalat (liq)	194.51421784	45.90535541
Kristal asam oksalat		148.60886243
Jumlah	277.87745406	277.87745406

## 7. CENTRIFUGE (H-143)



Diketahui : Asam oksalat kristal = 349,16316302 kg/jam

Kandungan impuritis dalam produk ke dryer :

Glukosa = 29,65881062 kg/jam - 26,26478657 kg/jam

= 3,39402405 kg/jam

Sukrosa = 3,96227596 kg/jam - 3,96173701 kg/jam

= 0,00053895 kg/jam

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 0,95654191 kg/jam - 0,95641180 kg/jam

= 0,00013011 kg/jam

HNO<sub>3</sub> = 74,65090135 kg/jam - 64,70722377 kg/jam

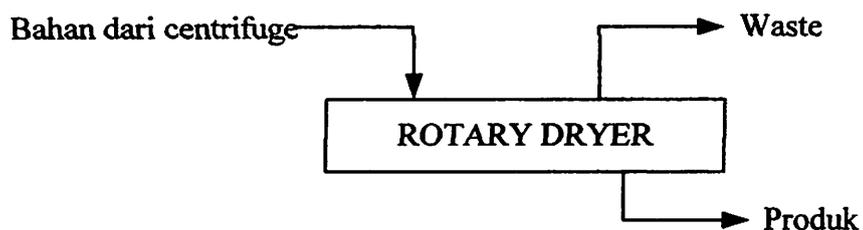
= 9,94367759 kg/jam

Air = 347,79131704 kg/jam - 275,91819425 kg/jam  
 = 90,25013138 kg/jam

Asam oksalat = 107,85668387 kg/jam - 37,18083534 kg/jam  
 = 52,29883995 kg/jam

Komposisi	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
Glukosa	13.69617037	13.69617037
Sukrosa	2.08147282	2.08147282
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50035372	0.50035372
HNO <sub>3</sub>	12.74388777	12.74388777
Air	54.34135153	54.34135153
Asam oksalat (liq)	45.90535541	45.90535541
Kristal asam oksalat	148.60886243	148.60886243
Jumlah	277.87745406	277.87745406

#### 8. ROTARY DRYER (B-147)



Diketahui kristal asam oksalat masuk = 349,16316302 kg/jam

Impuritis dalam feed masuk rotary dryer :

Glukosa = 3,39402405 kg/jam

Sukrosa = 0,00053895 kg/jam



H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	=	0,00013011 kg/jam
HNO <sub>3</sub>	=	9,94367759 kg/jam
Air	=	90,25013138 kg/jam
Asam oksalat	=	52,29883995 kg/jam
<b>Jumlah</b>	=	<b>155,88734202 kg/jam</b>

Diinginkan impuritis dalam produk = 1 %

$$\begin{aligned} \text{Jumlah produk keluar} &= 349,16316302 \text{ kg/jam} \times 100/99 \\ &= 352,69006366 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah impuritis dalam produk} &= 352,69006366 \text{ kg/jam} - 349,16316302 \text{ kg/jam} \\ &= 3,52690064 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Komposisi impuritis dalam produk :

$$\begin{aligned} \text{Glukosa} &= \frac{3,39402405 \text{ kg/jam}}{155,88734202 \text{ kg/jam}} \times 3,52690064 \text{ kg/jam} \\ &= 0,07678870 \text{ kg/jam} \\ \text{Sukrosa} &= \frac{0,00053895 \text{ kg/jam}}{155,88734202 \text{ kg/jam}} \times 3,52690064 \text{ kg/jam} \\ &= 0,00001219 \text{ kg/jam} \\ \text{H}_2\text{SO}_4 &= \frac{0,00013011 \text{ kg/jam}}{155,88734202 \text{ kg/jam}} \times 3,52690064 \text{ kg/jam} \\ &= 0,00000294 \text{ kg/jam} \\ \text{HNO}_3 &= \frac{9,94367759 \text{ kg/jam}}{155,88734202 \text{ kg/jam}} \times 3,52690064 \text{ kg/jam} \\ &= 0,22497249 \text{ kg/jam} \\ \text{Asam oksalat} &= \frac{52,29883995 \text{ kg/jam}}{155,88734202 \text{ kg/jam}} \times 3,52690064 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,18324432 \text{ kg/jam} \\
 \text{Air} &= \frac{90,25013138 \text{ kg/jam}}{155,88734202 \text{ kg/jam}} \times 3,52690064 \text{ kg/jam} \\
 &= 2,04188000 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Komposisi waste gas :

$$\begin{aligned}
 \text{Glukosa} &= 3,39402405 \text{ kg/jam} - 0,07678870 \text{ kg/jam} \\
 &= 3,31723535 \text{ kg/jam} \\
 \text{Sukrosa} &= 0,00053895 \text{ kg/jam} - 0,00001219 \text{ kg/jam} \\
 &= 0,00052676 \text{ kg/jam} \\
 \text{H}_2\text{SO}_4 &= 0,00013011 \text{ kg/jam} - 0,00000294 \text{ kg/jam} \\
 &= 0,00012717 \text{ kg/jam} \\
 \text{HNO}_3 &= 9,94367759 \text{ kg/jam} - 0,22497249 \text{ kg/jam} \\
 &= 9,71870510 \text{ kg/jam} \\
 \text{Air} &= 90,25013138 \text{ kg/jam} - 2,04188000 \text{ kg/jam} \\
 &= 88,20825138 \text{ kg/jam} \\
 \text{Asam oksalat} &= 52,29883995 \text{ kg/jam} - 1,18324432 \text{ kg/jam} \\
 &= 51,11559563 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Komposisi	Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
Glukosa	13.69617037	13.69617037
Sukrosa	2.08147282	2.08147282
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50035372	0.50035372
HNO <sub>3</sub>	12.74388777	12.74388777
Air	54.34135153	54.34135153
Asam oksalat	45.90535541	45.90535541
Kristal asam oksalat	148.60886243	148.60886243
Jumlah	277.87745406	277.87745406

## APPENDIKS B

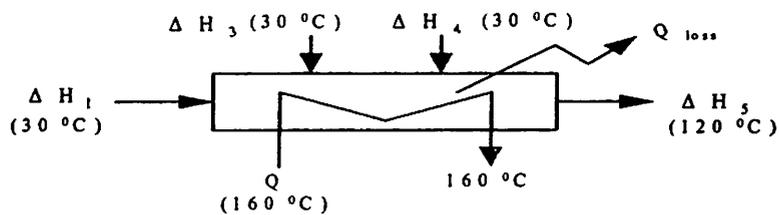
### PERHITUNGAN NERACA PANAS

Kapasitas produksi = 1202 ton/tahun  
= 1202000 kg/jam

Suhu referensi = 25 °C

Satuan = kkal/jam

#### 1. TANGKI HIDROLISA (R-110)



Neraca panas total :

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + H_5 + Q = \Delta H_4 + Q_{\text{loss}}$$

Dimana :

$\Delta H_1$  = Panas yang terkandung dalam bahan (ampas tapioka) masuk

$\Delta H_2$  = Panas yang terkandung dalam air masuk

$\Delta H_3$  = Panas yang terkandung dalam  $H_2SO_4$  masuk

$\Delta H_4$  = Panas yang terkandung dalam bahan keluar

$Q$  = Panas yang terkandung dalam steam

$Q_{\text{loss}}$  = Panas yang hilang

Diketahui :

Suhu bahan masuk = 30 °C

- Suhu bahan keluar = 120 °C
- Cp sukrosa = 0,2990 kkal/kg.°C
- Cp glukosa = 0,3000 kkal/kg.°C
- Cp asam oksalat = 0,3850 kkal/kg.°C
- Cp protein = 0,4330 kkal/kg.°C
- Cp lemak = 0,9800 kkal/kg.°C
- Cp serat kasar = 0,3200 kkal/kg.°C
- Cp air = 1,0076 kkal/kg.°C
- Cp H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 0,4500 kkal/kg.°C
- Cp HNO<sub>3</sub> = 0,4170 kkal/kg.°C

Menentukan panas bahan (ampas tapioka) masuk ( $\Delta H_1$ ) :

$$\Delta H = m \times Cp \times \Delta T \quad \text{dengan} \quad \Delta T = 30 \text{ } ^\circ\text{C} - 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg. <sup>0</sup> C)	$\Delta T$ ( <sup>0</sup> C)	H (Kkal/jam)
Sukrosa	103.2020	0.2990	5.0000	25.67171692
Protein	2.65590	0.4330	5.0000	0.95675505
Lemak	0.37940	0.9800	5.0000	0.30934342
Serat Kasar	15.1767	0.3200	5.0000	4.04040400
Air	30.3535	1.0076	5.0000	25.44444444
<b>H<sub>1</sub></b>				<b>56.42266382</b>

Menentukan panas air masuk ( $\Delta H_2$ ) :

$$\Delta H = m \times Cp \times \Delta T \quad \text{dengan} \quad \Delta T = 30 \text{ } ^\circ\text{C} - 25 \text{ } ^\circ\text{C} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sehingga didapatkan

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg. <sup>0</sup> C)	T( <sup>0</sup> C)	H <sub>2</sub> (Kkal/jam)
Air	97.30630000	1.0076	5.0000	490.22913940

Menentukan panas H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> masuk ( $\Delta H_3$ ) :

$$\Delta H = m \times C_p \times \Delta T \quad \text{dengan} \quad \Delta T = 30^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$$

$$= 5^\circ\text{C}$$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	C <sub>p</sub> (kkal/kg. <sup>0</sup> C)	T( <sup>0</sup> C)	H (Kkal/jam)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.00087540	0.4500	5.0000	0.00196965
Air	0.00001751	1.0076	5.0000	0.00008822
<b>H<sub>4</sub></b>				<b>0.00205787</b>

Menentukan panas pelarutan sukrosa :

$$\text{Panas pelarutan sukrosa} = 25,2000 \text{ kkal/kg}$$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	H <sub>s</sub> (kkal/jam)
Sukrosa	103.2020	432.727268

Menentukan panas bahan keluar ( $\Delta H_4$ ) :

$$\Delta H = m \times C_p \times \Delta T \quad \text{dengan} \quad \Delta T = 120^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$$

$$= 95^\circ\text{C}$$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	C <sub>p</sub> (kkal/kg. <sup>0</sup> C)	$\Delta T$ ( <sup>0</sup> C)	H (Kkal/jam)
Sukrosa	0.36202855	0.2990	95.0000	10.28342096
Glukosa	17.71361948	0.3000	95.0000	504.8381551
Protein	0.44191919	0.4330	95.0000	18.17834588
Lemak	0.06313131	0.9800	95.0000	5.87752496
Serat kasar	2.52525253	0.3200	95.0000	76.76767691
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.08330000	0.4500	95.0000	3.56107500
Air	101.4711039	1.0076	95.0000	9713.017011
<b>H<sub>4</sub></b>				<b>10066.4659757</b>

$$\begin{aligned}
\text{Panas masuk} &= H_1 + H_2 + H_3 + H_5 \\
&= 56.42266382 \text{ kkal/jam} + 490.22913940 \text{ kkal/jam} + \\
&\quad 0.00205787 \text{ kkal/jam} + 432.727268 \text{ kkal/jam} \\
&= 979.3739036 \text{ kkal/jam}
\end{aligned}$$

$$\text{Total panas masuk} = Q + 979.3739036 \text{ kkal/jam}$$

$$\text{Neraca panas total : Panas masuk} = \text{Panas keluar}$$

$$Q + 979.3739036 \text{ kkal/jam} = 10066.4659757 \text{ kkal/jam} + Q_{\text{loss}}$$

Diasumsikan :

$$\begin{aligned}
\text{Panas hilang} &= 5 \% \text{ panas masuk} \\
&= 0,05 Q + 979.3739036 \text{ kkal/jam} \\
&= 0,05 Q + 48.9686951 \text{ kkal/jam}
\end{aligned}$$

Sehingga panas yang terkandung dalam steam (Q) :

$$Q + 979.3739036 = 10066.4659757 + 0,05 (Q + 979.3739036)$$

$$Q + 979.3739036 = 10066.4659757 + 0,05 Q + 48.9686951$$

$$0,95 Q = 137.764,24116143 \text{ kkal/jam}$$

$$Q = 145.014,99069624 \text{ kkal/jam}$$

$$\begin{aligned}
\text{Panas hilang} &= 0,05 (Q + 979.3739036 \text{ kkal/jam}) \\
&= 0.05 (145.014,99069624 \text{ kkal/jam} + 979.3739036 \text{ kkal/jam}) \\
&= 7.895,85213629 \text{ kkal/jam}
\end{aligned}$$

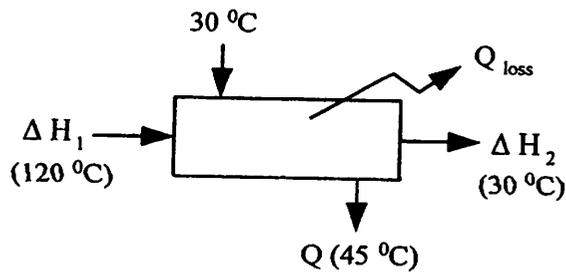
Sebagai pemanas digunakan steam jenuh pada suhu  $160^\circ\text{C}$  (89,60 psia) dimana memiliki harga  $\lambda = 2.758,1 \text{ kJ/kg} \times 0,24 \text{ kkal/kJ} = 661,9440 \text{ kkal/kg}$

$$\begin{aligned}
\text{Kebutuhan steam (M)} &= \frac{Q}{\lambda} = \frac{9616.89884 \text{ 49 kkal/jam}}{661.9440000 \text{ kkal/kg}} \\
&= 14.52826651 \text{ kg/jam}
\end{aligned}$$

## Neraca Panas Tangki Hidrolisa

Panas Masuk (kkal/jam)		Panas Keluar (kkal/jam)	
H <sub>1</sub>	56.42266382	H <sub>5</sub>	10066.46597571
H <sub>2</sub>	490.22913940	Q <sub>loss</sub>	529.81399872
H <sub>3</sub>	0.00205787		
H <sub>5</sub>	432.72726840		
Q	9616.89884494		
<b>Jumlah</b>	<b>10596.27997443</b>	<b>Jumlah</b>	<b>10596.27997443</b>

### 2. COOLER (E-121)



Neraca panas total :

$$\Delta H_1 = \Delta H_2 + Q_{\text{loss}} + Q$$

Dimana :

$\Delta H_1$  = Panas yang terkandung dalam bahan masuk

$\Delta H_2$  = Panas yang terkandung dalam bahan keluar

Q = Panas yang diserap air pendingin

$Q_{\text{loss}}$  = Panas yang hilang

Diketahui :

Suhu bahan masuk = 120 °C

Suhu bahan keluar = 30 °C

Menentukan panas bahan masuk ( $\Delta H_1$ ) :

$$\Delta H = m \times C_p \times \Delta T \quad \text{dengan} \quad \Delta T = 120 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = 95 \text{ °C}$$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg. <sup>0</sup> C)	ΔT( <sup>0</sup> C)	H (Kkal/jam)
Sukrosa	0.36202855	0.2990	95.0000	10.28342096
Glukosa	17.71361948	0.3000	95.0000	504.83815518
Protein	0.44191919	0.4330	95.0000	18.17834588
Lemak	0.06313131	0.9800	95.0000	5.87752496
Serat kasar	2.52525253	0.3200	95.0000	76.76767691
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.08330000	0.4500	95.0000	3.56107500
Air	101.47110394	1.0076	95.0000	9713.01701134
H <sub>1</sub>				10066.46597571

Menentukan panas bahan keluar (ΔH<sub>2</sub>) :

$$\Delta H = m \times C_p \times \Delta T \quad \text{dengan} \quad \Delta T = 30^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}$$

$$= 5^\circ\text{C}$$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg. <sup>0</sup> C)	ΔT( <sup>0</sup> C)	H (Kkal/jam)
Sukrosa	0.36202855	0.2990	5.0000	0.54123268
Glukosa	17.71361948	0.3000	5.0000	26.57042922
Protein	0.44191919	0.4330	5.0000	0.95675505
Lemak	0.06313131	0.9800	5.0000	0.30934342
Serat kasar	2.52525253	0.3200	5.0000	4.04040405
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.08330000	0.4500	5.0000	0.18742500
Air	101.47110394	1.0076	5.0000	511.21142165
H <sub>2</sub>				543.81701107

Diasumsikan : Panas hilang = 5 % panas masuk

$$= 0,05 \times 150.021,19058948 \text{ kkal/jam}$$

$$= 7.501,05952947 \text{ kkal/jam}$$

Menentukan panas yang diserap air pendingin (Q) :

$$Q = \Delta H_1 - \Delta H_2 - Q_{\text{loss}}$$

$$= 10066.4659 \text{ kkal/jam} - 543.817 \text{ kkal/jam} - 503.323 \text{ kkal/jam}$$



$$= 9019.325665 \text{ kkal/jam}$$

Diketahui Suhu air masuk = 30 °C

suhu air keluar = 45 °C

Sehingga kebutuhan air pendingin (M) :

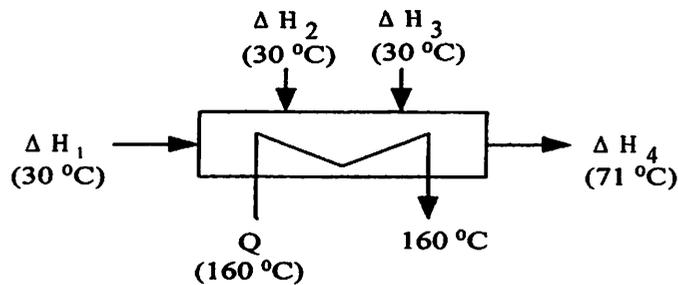
$$M = \frac{Q}{C_p \times \Delta T} = \frac{9019.325665 \text{ kkal/jam}}{1,0076 \text{ kkal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (45 ^\circ\text{C} - 30 ^\circ\text{C})}$$

$$= 596.75305451 \text{ kg/jam}$$

### Neraca Panas Cooler

Panas Masuk (kkal/jam)		Panas Keluar (kkal/jam)	
H <sub>1</sub>	10066.46597571	H <sub>2</sub>	543.81701107
		Q <sub>loss</sub>	503.32329879
		Q	9019.32566586
<b>Jumlah</b>	<b>10066.46597571</b>	<b>Jumlah</b>	<b>10066.46597571</b>

### 3. REAKTOR (R-120)



Neraca panas total :

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_R = \Delta H_4 + Q$$

Dimana :

$\Delta H_1$  = Panas yang terkandung dalam bahan masuk

$\Delta H_2$  = Panas yang terkandung dalam HNO<sub>3</sub> masuk

$\Delta H_3$  = Panas yang terkandung dalam V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> masuk

$\Delta H_R$  = Panas pembentukan reaksi

$\Delta H_4$  = Panas yang terkandung dalam bahan keluar

Q = Panas yang terkandung dalam steam

Diketahui : Suhu bahan masuk = 30 °C

Suhu bahan keluar = 71 °C

Menentukan panas bahan masuk ( $\Delta H_1$ ) :

$\Delta H = m \times C_p \times \Delta T$  dengan  $\Delta T = 30 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = 5 \text{ °C}$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg.°C)	T(°C)	H (Kkal/jam)
Sukrosa	2.08263350	0.2990	5.0000	3.11353708
Glukosa	106.45879900	0.3000	5.0000	159.68819850
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50060000	0.4500	5.0000	1.12635000
Air	609.84100000	1.0076	5.0000	3072.37895800
<b>H1</b>				3236.30704358

Menentukan panas HNO<sub>3</sub> masuk ( $\Delta H_2$ ) :

$\Delta H = m \times C_p \times \Delta T$  dengan  $\Delta T = 30 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = 5 \text{ °C}$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg.°C)	T(°C)	H (Kkal/jam)
HNO <sub>3</sub>	86.4632441	0.4170	5.0000	180.27586403
Air	609.84100000	1.0076	5.0000	3072.37895800
<b>H2</b>				3252.65482203

Menentukan panas V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> masuk ( $\Delta H_3$ ) :

$\Delta H = m \times C_p \times \Delta T$  dengan  $\Delta T = 30 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = 5 \text{ °C}$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg.°C)	T(°C)	H3 (Kkal/jam)
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.35400000	32.4000	5.0000	57.34800000

Menentukan panas bahan keluar ( $\Delta H_4$ ) :

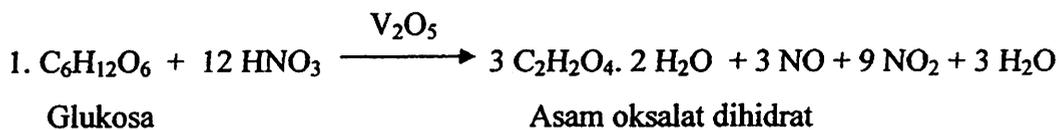
$$\Delta H = m \times C_p \times \Delta T \quad \text{dengan} \quad \Delta T = 71^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 46^\circ\text{C}$$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg. <sup>0</sup> C)	T( <sup>0</sup> C)	H (Kkal/jam)
Sukrosa	2.08263350	0.2990	46.0000	28.64454116
Glukosa	106.45879900	0.3000	46.0000	1469.1314262
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50060000	0.4500	46.0000	10.36242000
HNO <sub>3</sub>	86.46324414	0.4170	46.0000	1658.5379491
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.35400000	32.4000	46.0000	527.6016000
Air	609.84100000	1.0076	46.0000	28265.8864136
Asam oksalat	32.36511369	0.3850	46.0000	573.18616345
NO	5.00000000	0.2300	46.0000	52.90000000
NO <sub>2</sub>	26.00000000	0.4350	46.0000	520.26000000
N <sub>2</sub> O	29.10152911	0.7843	46.0000	1049.91914684
<b>H4</b>				<b>34156.429660</b>

Menentukan panas pembentukan ( $\Delta H_R$ ) :

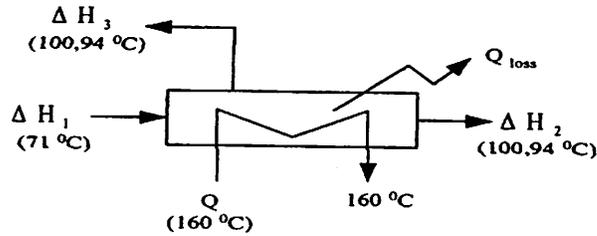
Reaksi yang terjadi :



#### Neraca Panas Reaktor

Panas Masuk (kkal/jam)		Panas Keluar (kkal/jam)	
H <sub>1</sub>	3236.30704358	H <sub>4</sub>	34156.42966
H <sub>2</sub>	3252.65482203	Q	6317352.1155
H <sub>3</sub>	57.34800000		
H <sub>R</sub>	6344962.23533		
	<b>6351508.54520</b>		<b>6351508.5452</b>

#### 4. EVAPORATOR



Neraca panas total :

$$\Delta H_1 + Q = \Delta H_2 + H_3 + Q_{\text{loss}}$$

Dimana :

$\Delta H_1$  = Panas yang terkandung dalam bahan masuk

$\Delta H_2$  = Panas yang terkandung dalam bahan keluar

$\Delta H_3$  = Panas yang terkandung dalam uap air keluar

$Q$  = Panas yang terkandung dalam steam

$Q_{\text{loss}}$  = Panas yang hilang

Diketahui :

Suhu bahan masuk = 71 °C

Menentukan panas bahan masuk ( $\Delta H_1$ ) :

$$\begin{aligned} \Delta H &= m \times C_p \times \Delta T \quad \text{dengan} \quad \Delta T = 71 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ \\ &= 46 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg. <sup>0</sup> C)	T( <sup>0</sup> C)	H (Kkal/jam)
Sukrosa	2.08263	0.29900000	46.0000	28.64454116
Glukosa	106.458	0.30000000	46.0000	1469.13142620
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50060	0.45000000	46.0000	10.36242000
HNO <sub>3</sub>	86.46324	0.41700000	46.0000	1658.53794909
Air	609.8410	1.00760000	46.0000	28265.8864136
Asam oksalat	32.36511	0.38500000	46.0000	573.18616345
<b>H1</b>				<b>32005.748914</b>

Menentukan kenaikan titik didih ( $\Delta T_b$ ) :

$$\Delta T_b = K_b \times \frac{W_1}{M_1} \times \frac{1000}{W_2}$$

Dimana :

$K_b$  = Kenaikan titik didih molal (untuk air =  $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ )

$W_1$  = Massa zat terlarut (kg)

$W_2$  = Massa pelarut (kg)

$M_1$  = Bobot molekul zat terlarut

Sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned}\Delta T_b &= 0,5 \text{ } ^\circ\text{C} \times \frac{32.36511369 \text{ kg/jam}}{126,0634} \times \frac{1000}{101.4711039 \text{ kg/jam}} \\ &= 1.29037491 \text{ } ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Titik didih air =  $100 \text{ } ^\circ\text{C}$

Suhu air keluar =  $100 \text{ } ^\circ\text{C} + 1.29037491 \text{ } ^\circ\text{C}$   
=  $101,2903749 \text{ } ^\circ\text{C}$

Menentukan panas bahan keluar ( $\Delta H_2$ ) :

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times C_p \times \Delta T \quad \text{dengan} \quad \Delta T = 101,2903749 \text{ } ^\circ\text{C} - 25 \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 76,2903749 \text{ } ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

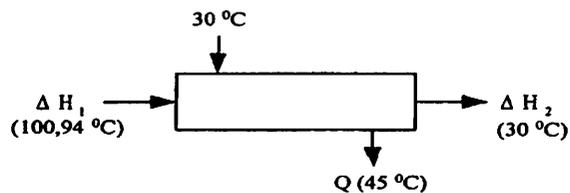
Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg. $^\circ\text{C}$ )	T( $^\circ\text{C}$ )	H (Kkal/jam)
Sukrosa	2.08263350	0.29900000	76.2904	46.83675449
Glukosa	106.45879900	0.30000000	76.2904	2402.18014085
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50060000	0.45000000	76.2904	16.94361654
HNO <sub>3</sub>	86.46324414	0.41700000	76.2904	2711.87917779
Air	609.84100000	1.00760000	76.2904	46217.6152489
Asam oksalat	32.36511369	0.38500000	76.2904	937.2180013
<b>H2</b>				<b>52332.6729399</b>

### Neraca Panas Evaporator

Panas Masuk (kkal/jam)		Panas Keluar (kkal/jam)	
H <sub>1</sub>	32005.74891350	H <sub>2</sub>	52332.67293
Q	1504424.14058160	H <sub>3</sub>	1407275.722
		Q <sub>LOSS</sub>	76821.49447
	1536429.88949511		1536429.8894951

#### 5. KRISTALISER (X-140)



Neraca panas total :

$$\Delta H_1 + H_s = \Delta H_2 + Q$$

Dimana :

$\Delta H_1$  = Panas yang terkandung dalam bahan masuk

$\Delta H_2$  = Panas yang terkandung dalam bahan keluar

Q = Panas yang diserap air pendingin

Diketahui :

Suhu bahan masuk = 100,9425 °C

Suhu bahan keluar = 30 °C

Menentukan panas bahan masuk ( $\Delta H_1$ ) :

$$\begin{aligned} \Delta H &= m \times C_p \times \Delta T \quad \text{dengan} \quad \Delta T = 100,9425 \text{ °C} - 25 \text{ °C} \\ &= 75,9425 \text{ °C} \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg. <sup>0</sup> C)	T( <sup>0</sup> C)	H (Kkal/jam)
Sukrosa	2.08263350	0.29900000	75.2147	46.83675449
Glukosa	106.45879900	0.30000000	75.2147	2402.18014085
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.50060000	0.45000000	75.2147	16.94361654
HNO <sub>3</sub>	86.46324414	0.41700000	75.2147	2711.87917779
Air	609.84100000	1.00760000	75.2147	46217.6152489
Asam oksalat	32.36511369	0.38500000	75.2147	937.218001
<b>H1</b>				52332.6729399

Diketahui panas kelarutan asam oksalat = -35,5 kJ/mol

$$= -1,07406017 \text{ kkal/kg}$$

$$H_s = -1,07406017 \text{ kkal/kg} \times 32.36511369 \text{ kg/jam}$$

$$= -34.76207951 \text{ kkal/jam}$$

Menentukan panas bahan keluar ( $\Delta H_2$ ) :

$$\Delta H = m \times C_p \times \Delta T \quad \text{dengan} \quad \Delta T = 30^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 5^\circ\text{C}$$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg. <sup>0</sup> C)	T( <sup>0</sup> C)	H (Kkal/jam)
Sukrosa	0.36202855	0.29900000	5.0000	0.54123268
Glukosa	17.71361948	0.30000000	5.0000	26.57042922
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.08330000	0.45000000	5.0000	0.18742500
HNO <sub>3</sub>	86.46324414	0.41700000	5.0000	180.27586403
Air	101.47110394	1.00760000	5.0000	511.21142165
Asam oksalat(liq)	7.63816671	0.38500000	5.0000	14.70347092
Asam oksalat(kristal)	24.72694640	0.38500000	5.0000	47.59937182
<b>H2</b>				781.08921532

Menentukan panas yang diserap air pendingin (Q) :

$$Q = \Delta H_1 + H_s - \Delta H_2$$

$$= (11917.9178328 - (-34.76207951) - 781.08921532) \text{ kkal/jam}$$

$$= 11102.066538 \text{ kkal/jam}$$

Sehingga kebutuhan air pendingin (M) :

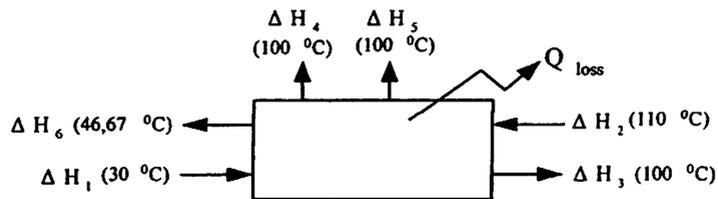
$$M = \frac{Q}{C_p \times \Delta T} = \frac{11102.066538 \text{ kkal/jam}}{1,0076 \text{ kkal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (45^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}$$

$$= 734.55515006 \text{ kg/jam}$$

### Neraca Panas Kristaliser

Panas Masuk (kkal/jam)		Panas Keluar (kkal/jam)	
H <sub>1</sub>	11917.91783277	H <sub>2</sub>	781.08921532
H <sub>S</sub>	-34.76207951	Q	11102.06653794
	11883.15575326		11883.15575326

## 6. ROTARY DRYER



Neraca panas total :

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6 + Q_{\text{loss}}$$

Dimana :

$\Delta H_1$  = Panas yang terkandung dalam bahan masuk

$\Delta H_2$  = Panas yang terkandung dalam udara masuk

$\Delta H_3$  = Panas yang terkandung dalam produk keluar

$\Delta H_4$  = Panas yang terkandung dalam waste gas keluar

$\Delta H_5$  = Panas penguapan air

$\Delta H_6$  = Panas yang terkandung dalam udara keluar

$Q_{\text{loss}}$  = Panas yang hilang



Diketahui :

$$\text{Suhu bahan masuk} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Suhu bahan keluar} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Suhu udara masuk} = 110\text{ }^{\circ}\text{C} = \left(\frac{9}{5} \times 110\text{ }^{\circ}\text{C}\right) + 32 = 230\text{ }^{\circ}\text{F}$$

Menentukan panas bahan masuk ( $\Delta H_1$ ) :

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times C_p \times \Delta T \quad \text{dengan} \quad \Delta T = 30\text{ }^{\circ}\text{C} - 25\text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 5\text{ }^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg. <sup>o</sup> C)	T(°C)	H (Kkal/jam)
Sukrosa	0.36182680	0.29900000	5.0000	0.54093107
Glukosa	2.20120548	0.30000000	5.0000	3.30180822
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.08325358	0.45000000	5.0000	0.18732056
HNO <sub>3</sub>	2.13222584	0.41700000	5.0000	4.44569088
Air	9.09225109	1.00760000	5.0000	45.80676099
Asam oksalat(liq)	7.63816671	0.38500000	5.0000	14.70347092
Asam oksalat(kristal)	24.72694640	0.38500000	5.0000	47.59937182
<b>H1</b>				<b>116.58535445</b>

Menentukan temperatur wet bulb ( $T_w$ ) :

Diketahui :

$$\text{Suhu udara masuk (T}_{GI}\text{)} = 110\text{ }^{\circ}\text{C} = 230\text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\% \text{ relative humidity} = 70\%$$

$$\text{Humidity (H)} = 0,019 \text{ lb uap air/lb udara kering}$$

$$\text{Temp } T_w = 46,11\text{ }^{\circ}\text{C} = 115\text{ }^{\circ}\text{F}$$

Sehingga didapatkan :

$$W_w = 0.0480$$

Humidity tidak berubah saat dipanaskan.

$$\lambda_w = 1028,7 \text{ Btu/lb}$$

$$W_w - W_G = \frac{h_G}{2 \cdot g \cdot \lambda_w \cdot K_G} \times (T_{G1} - T_w) \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Untuk sistem udara-air diketahui bahwa : } \frac{h_G}{2 \cdot g \cdot K_G} = 0,26 \dots\dots\dots(2)$$

Substitusi pers. (2) ke pers. (1), didapat :

$$W_w - W_G = \frac{0,26}{\lambda_w} \times (T_{G1} - T_w)$$

$$0,0480 - 0,019 = \frac{0,26}{1028,7} \times (230 \text{ }^\circ\text{F} - 115 \text{ }^\circ\text{F})$$

$$0,029 = 0,029 \text{ (memenuhi)}$$

Menentukan temperatur udara keluar ( $T_{G2}$ ) :

Suhu udara keluar rotary dryer harus dipilih dengan dasar ekonomis balance antara dryer coast dengan fuel coast. Secara empiris telah ditentukan bahwa rotary dryer paling ekonomis bila jumlah Number of Transfer Unit (NTU) = 1,5 – 2.

Diambil NTU = 1,5 sehingga didapatkan :

$$NTU = \ln \frac{T_{G1} - T_w}{T_{G2} - T_w}$$

$$1,5 = \ln \frac{230 \text{ }^\circ\text{F} - 115 \text{ }^\circ\text{F}}{T_{G2} - 115 \text{ }^\circ\text{F}}$$

$$T_{G2} = 116 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$= 46,67 \text{ }^\circ\text{C}$$

Menentukan panas yang terkandung dalam udara masuk ( $\Delta H_2$ ) :

$$\Delta H_2 = G_{G2} \times C_s \times (T_{G1} - T_{G2})$$

$$\Delta H_r = \Delta H_a + \Delta H_b = G_{G1} \times C_s \times (T_{G1} - T_{G2})$$

dimana :

$\Delta H_a$  = Panas untuk memanaskan bahan masuk sampai 100 °C

$\Delta H_b$  = Panas untuk menguapkan air sampai 100 °C

Diketahui  $\lambda$  air pada 100 °C = 2364,49 kJ/kg

$$= 567,4776 \text{ kkal/kg}$$

$\Delta H_a = m \times C_p \times \Delta T$  dengan  $\Delta T = 100 \text{ °C} - 25 \text{ °C}$

$$= 75 \text{ °C}$$

sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg.°C)	T(°C)	H (Kkal/jam)
Sukrosa	0.36182680	0.29900000	75.0000	8.11396599
Glukosa	2.20120548	0.30000000	75.0000	49.52712330
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.08325358	0.45000000	75.0000	2.80980833
HNO <sub>3</sub>	2.13222584	0.41700000	75.0000	66.68536315
Air	9.09225109	1.00760000	75.0000	687.10141487
Asam oksalat(liq)	7.63816671	0.38500000	75.0000	220.55206375
Asam oksalat(kristal)	24.72694640	0.38500000	75.0000	713.9905773
<b>Ha</b>				<b>1748.7803167</b>

$$\Delta H_b = (m \times C_p \times \Delta T)_{\text{air}} + (m \times \lambda) + [m \times C_p \times (T_{G2} - 25 \text{ °C})]$$

$$= [152,36044139 \text{ kg/jam} \times 1,0076 \text{ kkal/kg.}^{\circ}\text{C} \times (100 \text{ °C} - 25 \text{ °C})] +$$

$$(152,36044139 \text{ kg/jam} \times 567,4776 \text{ kkal/kg}) + [152,36044139$$

$$\text{kg/jam} \times 1,0076 \text{ kkal/kg.}^{\circ}\text{C} \times ((46,67 \text{ °C} - 25 \text{ °C})]$$

$$= 101.301,08014175 \text{ kkal/jam}$$

$$\Delta H_r = \Delta H_a + \Delta H_b$$

$$= 18.799,78829888 \text{ kkal/jam} + 101.301,08014175 \text{ kkal/jam}$$

$$= 120.100,86844063 \text{ kkal/jam}$$

$$C_s = 1,005 + (1,88 \times W_G) = 1,005 + (1,88 \times 0,019)$$

$$= 1,04072000 \text{ kkal/kg.}^{\circ}\text{C}$$

$$G_{G1} = \frac{\Delta \text{Hr}}{C_s \times (T_{G1} - T_{G2})} = \frac{120.100,86 \text{ 844063 kkal/jam}}{1,04072000 \text{ kkal/kg.}^{\circ}\text{C} \times (110^{\circ}\text{C} - 46,67^{\circ}\text{C})}$$

$$= 1.822,10086471 \text{ kkal/jam}$$

Jumlah udara yang dipakai 9 % berlebih untuk menjaga kehilangan panas.

sehingga :

$$G_{G2} = 109 \% \times G_{G1} = 1,09 \times 1.822,10086471 \text{ kkal/jam}$$

$$= 1.986,08994253 \text{ kkal/jam}$$

$$\Delta H_2 = G_{G2} \times C_s \times (T_{G1} - T_{G2})$$

$$= 1986,08994253 \text{ kkal/jam} \times 1,04072000 \text{ kkal/kg.}^{\circ}\text{C} \times (110^{\circ}\text{C} - 46,67^{\circ}\text{C})$$

$$= 175.691,89962433 \text{ kkal/jam}$$

Menentukan panas produk keluar ( $\Delta H_3$ ) :

$$\Delta H = m \times C_p \times \Delta T \quad \text{dengan} \quad \Delta T = 100^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$$

$$= 75^{\circ}\text{C}$$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg. <sup>o</sup> C)	T( <sup>o</sup> C)	H (Kkal/jam)
Sukrosa	0.00001219	0.29900000	75.0000	0.00027344
Glukosa	0.07678870	0.30000000	75.0000	1.72774564
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.00000294	0.45000000	75.0000	0.00009935
HNO <sub>3</sub>	0.22497249	0.41700000	75.0000	7.03601449
Air	2.04188000	1.00760000	75.0000	154.30487154
Asam oksalat(liq)	1.18324432	0.38500000	75.0000	34.16617972
Asam oksalat(kristal)	24.72694640	0.38500000	75.0000	713.9905773
<b>H3</b>				<b>911.2257615</b>

Menentukan panas waste keluar ( $\Delta H_4$ ) :

$$\Delta H = m \times C_p \times \Delta T \quad \text{dengan} \quad \Delta T = 100^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$$

$$= 75^{\circ}\text{C}$$

Sehingga didapatkan :

Komponen	m (kg/jam)	Cp(kkal/kg.°C)	T(°C)	H (Kkal/jam)
Sukrosa	0.36172456	0.29900000	75.0000	8.11167326
Glukosa	2.20120548	0.30000000	75.0000	49.52712330
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.08325358	0.45000000	75.0000	2.80980833
HNO <sub>3</sub>	2.13222584	0.41700000	75.0000	66.68536315
Air	6.08761985	1.00760000	75.0000	460.04143206
Asam oksalat(liq)	7.63816671	0.38500000	75.0000	220.55206375
<b>H4</b>				<b>807.72746384</b>

Menentukan panas penguapan air ( $\Delta H_5$ ) :

Air yang diuapkan = 152,36044139 kg/jam

Diketahui  $\lambda$  air pada 100 °C = 2.364,49 kJ/kg = 567,4776 kkal/kg

(Geankoplis A.2-9, hlm 858)

$$\begin{aligned}
 H_5 &= [m \times C_p \times (T_{G2} - 25^\circ\text{C})] + (m \times \lambda) \\
 &= [152,36044139 \text{ kg/jam} \times 1,0076 \text{ kkal/kg.}^\circ\text{C} \times (46,67^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})] \\
 &\quad + (152,36044139 \text{ kg/jam} \times 567,4776 \text{ kkal/kg}) \\
 &= 89.787,20158619 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Menentukan panas udara keluar ( $\Delta H_6$ ) :

$$\begin{aligned}
 \text{Kelembaban udara keluar (H}_v) &= H + \frac{\text{Air teruapkan}}{\text{Massa udara kering (G}_{G2})} \\
 &= 0,019 + \frac{152,36044139 \text{ kg/jam}}{1.986,08994253 \text{ kg/jam}} \\
 &= 0,09571377
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa udara keluar} &= (1 - H_v) \times \text{Massa udara kering} \\
 &= (1 - 0,09571377) \times 1986,08994253 \text{ kg/jam} \\
 &= 1.795,99379224 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_6 &= \text{Massa udara keluar} \times C_s \times (T_{G2} - 25^\circ\text{C}) \\
 &= 1795,99379224 \text{ kg/jam} \times 1,04072000 \text{ kkal/kg.}^\circ\text{C} \times (46,67^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})
 \end{aligned}$$

$$= 40.495,70359987 \text{ kkal/jam}$$

Menentukan panas yang hilang ( $Q_{\text{loss}}$ ) :

$$\begin{aligned} Q_{\text{loss}} &= (\Delta H_1 + \Delta H_2) - (\Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6) \\ &= (1.253,31921993 \text{ kkal/jam} + 5.691,89962433 \text{ kkal/jam}) - \\ &\quad (10.279,32151650 \text{ kkal/jam} + 8.520,46678238 \text{ kkal/jam} + \\ &\quad 89.787,20158619 \text{ kkal/jam} + 40.495,70359987 \text{ kkal/jam}) \\ &= 27.862,52535932 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

### Neraca Panas Rotary Dryer

Panas Masuk (kkal/jam)		Panas Keluar (kkal/jam)	
H <sub>1</sub>	116.58535445	H <sub>3</sub>	911.22576148
H <sub>2</sub>	150748.49978220	H <sub>4</sub>	807.72746384
		H <sub>5</sub>	89787.20158619
		H <sub>6</sub>	34258.70068002
		Q <sub>LOSS</sub>	25100.22964511
<b>Jumlah</b>	<b>150865.08513665</b>	<b>Jumlah</b>	<b>150865.08513665</b>

## APPENDIKS C

### PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN

#### 1. Storage HNO<sub>3</sub> (F-111)

Fungsi : Menyimpan bahan baku HNO<sub>3</sub>

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah *flat head* (datar).

#### Dasar Perancangan :

Kapasitas = 124,04508348 kg/jam = 273,469791 lb/jam

Densitas HNO<sub>3</sub> (Perry, 6<sup>th</sup>, hlm 3-17) = 1,502 g/cm<sup>3</sup> = 93,77026024 lb/ft<sup>3</sup>

Kondisi operasi : P = 1 atm dan T = 30 °C

Direncanakan :

Bahan konstruksi : *High Alloy Steel* (H.A.S) SA 240 grade M type 316

Type pengelasan : *Double welded butt joint*

Sehingga didapatkan :

- E (Brownell & Young, hlm 254) = 0,8

- f (Brownell & Young, hlm 342) = 18750 psi

- C (faktor koreksi) = 1/16

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{massa}}{\rho} = \frac{3156,067485 \text{ lb/jam}}{93,77026024 \text{ lb/ft}^3} = 34,81856658 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 835,6455978 \text{ ft}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\text{Volume liquid} = 835,6455978 \text{ ft}^3/\text{hari} \times 7 \text{ hari} = 5849,519185 \text{ ft}^3$$

Diasumsikan : Volume liquid = 80 % volume tangki

$$\text{Jadi volume tangki} = (100/80) \times 5894,519185 \text{ ft}^3 = 7311,898981 \text{ ft}^3$$

**Menentukan dimensi tangki :**

Volume total = V silinder + V tutup atas + V tutup bawah

Tutup bawah berbentuk *flat head* (datar), sehingga V tutup bawah = 0

Vol. total = V silinder + V tutup atas

$$\text{Vol. total} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L + \frac{\pi \cdot D^3}{12} \quad (\text{Brownell \& Young, hlm 80})$$

$$7311,898981 = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L_s + \frac{\pi \cdot D_i^3}{12}, \text{ dimana } L_s = 1,5 \text{ di}$$

$$7311,898981 = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot 1,5 D_i + \frac{\pi \cdot D_i^3}{12}$$

$$D_i^3 = 5076,029045 \text{ ft}^3$$

$$D_i = 17,18599573 \text{ ft} = 206,2319487 \text{ in}$$

**Menentukan tinggi liquida ( $L_{ls}$ ) :**

$$\text{Volume liquid} = 5849,519185 \text{ ft}^3$$

$$5849,519185 \text{ ft}^3 = \frac{\pi}{4} \times D_i^2 \times L_{ls} = \frac{\pi}{4} \times (17,18599573 \text{ ft})^2 \times L_{ls}$$

$$L_{ls} = 25,20612707 \text{ ft}$$

$$= 302,4735248 \text{ in}$$

**Menentukan tekanan design ( $P_{\text{design}}$ ) :**

$$\begin{aligned} P_{\text{design}} &= 14,7 + \left[ \rho \cdot \frac{g}{g_c} \cdot h \right] = 14,7 + \left( \frac{93,77026024 \times 25,20612707}{144} \right) \\ &= 30,56642277 \text{ psig} \end{aligned}$$

**Menentukan tebal silinder ( $t_s$ )**

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{P_i \times D_i}{2 (f \cdot E - 0,6 P_i)} + C = \frac{(30,56642277) \cdot (17,18599573 \times 12)}{2 [(18750)(0,8) - (0,6)(30,56642277)]} + (1/16) \\ &= 0,272882991 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 4,46/16 \approx 5/16 \text{ in} \end{aligned}$$



Standarisasi Di :

$$\begin{aligned} Do &= Di + 2 t_s = (17,18599573 \times 12) \text{ in} + (2)(5/16) \text{ in} \\ &= 206,8569487 \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi Do = 204 in (Brownell & Young, tabel 5-7, hlm 91), sehingga :

$$\begin{aligned} Di \text{ baru} &= Do - 2 t_s = 204 \text{ in} - 2 (5/16) \text{ in} = 203,375 \text{ in} \\ &= 16,94791667 \text{ ft} \end{aligned}$$

Menentukan tinggi silinder ( $L_s$ ) :

$$\begin{aligned} L_s &= 1,5 Di = 1,5 (203,375) \text{ in} = 305,0625 \text{ in} \\ &= 25,421875 \text{ ft} \end{aligned}$$

**Menentukan dimensi tutup atas :**

Diketahui :  $r = 170 \text{ in}$  dan  $icr = 5/16 \text{ in}$

$$\begin{aligned} t_{ha} &= \frac{0,885 \times P_i \cdot r}{f \cdot E - 0,1 \cdot P_i} + C && \text{(Brownell \& Young, hlm 258)} \\ &= \frac{(0,885)(30,56642277)(170)}{(18750)(0,8) - (0,1)(30,56642277)} + (1/16) \\ &= 0,369143707 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 5,91/16 \text{ in} \approx 6/16 \text{ in} \end{aligned}$$

$$ha = 0,169 Di = (0,169) (203,625) \text{ in} = 34,370375 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= L_s + ha = 305,0625 \text{ in} + 34,370375 \text{ in} \\ &= 339,43288 \text{ in} \end{aligned}$$

**Spesifikasi alat :**

Nama alat : Storage bahan baku  $\text{HNO}_3$

Fungsi : Sebagai storage bahan baku  $\text{HNO}_3$  90 % selama 7 hari.

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah *flat head* (datar).

Kapasitas : 1431,58282010 kg/jam = 3156,067485 lb/jam

Dimensi tangki:

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Jumlah = 1 buah
- Di (diameter dalam) = 203,625 in
- Do (diameter luar) = 204 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 5/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 305,0625 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 6/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 34,370375 in
- Tinggi tangki = 339,43288 in



## 2. Storage H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (F-112)

Fungsi : Menyimpan bahan baku H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98 % selama 7 hari

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah *flat head* (datar).

### Dasar Perancangan :

Kebutuhan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> = 56,86507492 kg/jam = 125,3647442 lb/jam

Densitas campuran = 62,50932634 lb/ft<sup>3</sup>

Kondisi operasi : P = 1 atm dan T = 30 °C

Direncanakan :

Bahan konstruksi : *High Alloy Steel (H.A.S) SA 240 grade M type 316*

Type pengelasan : *Double welded butt joint*

Sehingga didapatkan :

- E (Brownell & Young, hlm 254) = 0,8
- f (Brownell & Young, hlm 342) = 18750 psi
- C (faktor koreksi) = 1/16

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{\text{massa}}{\rho} = \frac{125,3647442 \text{ lb/jam}}{62,50932634 \text{ lb/ft}^3} = 2,005536638 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 48,1328793 \text{ ft}^3/\text{hari}$$

$$\text{Volume liquid} = 48,1328793 \text{ ft}^3/\text{hari} \times 7 \text{ hari} = 336,9301551 \text{ ft}^3$$

Diasumsikan : Volume liquid = 80 % volume tangki

$$\text{Jadi volume tangki} = (100/80) \times 336,9301551 \text{ ft}^3 = 421,1626939 \text{ ft}^3$$

**Menentukan dimensi tangki :**

Volume total = V silinder + V tutup atas + V tutup bawah

Tutup bawah berbentuk *flat head* (datar), sehingga V tutup bawah = 0

Vol. total = V silinder + V tutup atas

$$\text{Vol. total} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L + \frac{\pi \cdot D^3}{12} \quad (\text{Brownell \& Young, hlm 80})$$

$$421,1626939 = \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_s + \frac{\pi \cdot Di^3}{12}, \text{ dimana } L_s = 1,5 \text{ di}$$

$$421,1626939 = \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot 1,5 Di + \frac{\pi \cdot Di^3}{12}$$

$$Di^3 = 292,3774073 \text{ ft}^3$$

$$Di = 6,637144458 \text{ ft} = 79,6457335 \text{ in}$$

**Menentukan tinggi liquida ( $L_{ls}$ ) :**

$$\text{Volume liquid} = 336,9301551 \text{ ft}^3$$

$$336,9301551 \text{ ft}^3 = \frac{\pi}{4} \times Di^2 \times L_{ls} = \frac{\pi}{4} \times (17,18599573 \text{ ft})^2 \times L_{ls}$$

$$L_{ls} = 9,734478539 \text{ ft} = 116,8137425 \text{ in}$$

Menentukan tekanan design ( $P_{\text{design}}$ ) :

$$P_{\text{design}} = 14,7 + \left[ \rho \cdot \frac{g}{g_c} \cdot h \right] = 14,7 + \left( \frac{62,50932634 \times 9,734478539}{144} \right)$$

$$= 18,92566455 \text{ psig}$$

Menentukan tebal silinder ( $t_s$ )

$$t_s = \frac{P_i \times D_i}{2(f \cdot E - 0,6P_i)} + C = \frac{(18,92566455) \cdot (6,637144458 \times 12)}{2[(18750)(0,8) - (0,6)(18,92566455)]} + (1/16)$$

$$= 0,112783013 \text{ in} \times 16/16$$

$$= 1,80/16 \approx 5/16 \text{ in}$$

Standarisasi  $D_i$  :

$$D_o = D_i + 2 t_s = (6,637144458 \times 12) \text{ in} + (2)(3/16) \text{ in}$$

$$= 80,0207335 \text{ in}$$

Standarisasi  $D_o = 84 \text{ in}$  (Brownell & Young, tabel 5-7, hlm 91), sehingga :

$$D_i \text{ baru} = D_o - 2 t_s = 84 \text{ in} - 2(3/16) \text{ in} = 83,625 \text{ in}$$

$$= 6,96875 \text{ ft}$$

Menentukan tinggi silinder ( $L_s$ ) :

$$L_s = 1,5 D_i = 1,5(83,625) \text{ in} = 125,4375 \text{ in}$$

$$= 10,453125 \text{ ft}$$

Menentukan dimensi tutup atas :

Diketahui :  $r = 84 \text{ in}$  dan  $i_{cr} = 9/16 \text{ in}$

$$t_{ha} = \frac{0,885 \times P_i \cdot r}{f \cdot E - 0,1 \cdot P_i} + C \quad (\text{Brownell \& Young, hlm 258})$$

$$= \frac{(0,885)(18,92566455)(84)}{(18750)(0,8) - (0,1)(18,92566455)} + (1/16)$$

$$= 0,156307429 \text{ in} \times 16/16$$

$$= 2,50/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

$$h_a = 0,169 D_i = (0,169)(83,625)\text{in} = 14,132625\text{ in}$$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi tangki} &= L_s + h_a = 0,156307429\text{ in} + 14,132625\text{ in} \\ &= 139,570125\text{ in}\end{aligned}$$

**Spesifikasi alat :**

Nama alat : Storage bahan baku  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Fungsi : Untuk menampung larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98 % selama 7 hari.

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah *flat head* (datar).

Kapasitas : 56,86507492 kg/jam = 125,3647442 lb/jam

**Dimensi tangki:**

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Jumlah = 1 buah
- $D_i$  (diameter dalam) = 83,625 in
- $D_o$  (diameter luar) = 84 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 125,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 14,132625 in
- Tinggi tangki = 139,570125 in

**3. Storage Ampas Tapioka (F-113)**

Fungsi : untuk menyimpan bahan baku ampas tapioka selama 2 hari

Kapasitas masuk : 284,2733365 kg/jam = 6.822,560076 kg/hari  
= 15.041,01594 lb/hari

Komposisi ampas tapioka :

- bahan kering = 80 % (dianggap sukrosa)
- air = 20 %
- densitas sukrosa (Perry 6<sup>th</sup>, hlm 3-43) = 1,588 g/cm<sup>3</sup>
- densitas air (Perry 6<sup>th</sup>, hlm 3-43) = 1 g/cm<sup>3</sup>

$$\begin{aligned}\rho \text{ ampas tapioka} &= \frac{(0,8 \times 284,2733365 \times 1,588) + (0,2 \times 284,2733365 \times 1)}{284,2733365} \\ &= 1,4704 \text{ g/cm}^3 = 91,79746382 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{massa ampas tapioka}}{\rho \text{ ampas tapioka}} = \frac{15.041,01594 \text{ lb/hari}}{91,79746382 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 163,8500163 \text{ ft}^3/\text{hr}\end{aligned}$$

**Dasar Perhitungan :**

Diasumsikan volume bahan baku (material) = 50 % volume gudang

$$\begin{aligned}\text{Maka volume gudang} &= (100/50) \times 163,8500163 \text{ ft}^3 \times 2 \text{ hari} \\ &= 655,4000652 \text{ ft}^3 = 18,55973905 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Volume = luas alas x tinggi = panjang x lebar x tinggi

$$\begin{aligned}\text{Dirancang :} & \quad - \text{tinggi gudang} = 5 \text{ m} \\ & \quad - \text{panjang} = 2 \times \text{lebar}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas} = \text{volume} / \text{tinggi} &= 18,55973905 \text{ m}^3 / 5 \text{ m} \\ &= 3,711947811 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \\ &= (2 \times \text{lebar}) \times \text{lebar}\end{aligned}$$

$$3,711947811 \text{ m}^2 = 2 \text{ lebar}^2$$

$$\text{lebar} = 1,362341332 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$$

$$\text{panjang} = (2 \times 2) \text{ m} = 4 \text{ m}$$

**Spesifikasi peralatan :**

Nama alat	:	Storage bahan baku ampas tapioka
Fungsi	:	Untuk menyimpan ampas tapioka selama 2 hari.
Type	:	Persegi empat
Kapasitas	:	18,55973905 m <sup>3</sup>
Bahan konstruksi	:	Beton
Dimensi storage	:	Panjang = 4 m Lebar = 2 m Tinggi = 5 m
Jumlah	:	1 buah

**4. Belt Conveyor (J-114)**

Fungsi	:	Untuk mengangkut ampas tapioka ke <i>roll mill</i> .
Type	:	<i>Throughed Antifriction Idlers</i>
Jumlah	:	1 buah

**Dasar Perhitungan :**

$$\text{Kapasitas} = 284,2733365 \text{ kg/jam} = 626,7089976 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ bahan} = 1,4704 \text{ g/cm}^3 = 91,79746382 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Dengan faktor keamanan (Vilbrandt, tabel 2-2 hlm. 23)} = 20\%$$

$$\text{Kapasitas design (flow massa)} = 1,2 \times 284,2733365 \text{ kg/jam}$$

$$= 341,1280038 \text{ kg/jam}$$

$$= 0,094757778 \text{ kg/dt}$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{\text{massa ampas tapioka}}{\rho \text{ ampas tapioka}} = \frac{(341,1280038 \text{ kg/jam})(2,2046 \text{ lb/kg})}{91,79746382 \text{ lb/ft}^3}$$

$$= 8,192500817 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

Dari Ulrich hlm. 71, daya yang dibutuhkan (kW) =  $0,0027 (\text{flow massa})^{0,82} \times L$

Dimana :  $L = 10 - 50 \text{ m}$  (Ulrich, tabel 4.4. hlm. 71)

Diambil  $L = 10 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= (0,0027) \cdot (0,094757778)^{0,82} \times (10) = 3,910100825 \cdot 10^{-3} \text{ kW} \\ &= 5,243530676 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Effisiensi motor ( $\eta$ ) = 80%, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Daya motor} &= \frac{\text{Daya}}{\eta} = \frac{5,2435306676 \cdot 10^{-3}}{0,80} \\ &= 0,006544 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Dari Perry 6<sup>th</sup>, tabel 7-7 hlm 7-10, ditetapkan :

**Spesifikasi peralatan :**

Nama alat : *Belt Conveyor*  
 Type : *Throughed Antifriction Idlers*  
 Kapasitas : 626,7089976 lb/jam  
 Kecepatan : 100 ft/min  
 Lebar belt : 14 in  
 Daya (power) : 0,5 Hp

**5. Roll Mill (S-115)**

Fungsi : Untuk menghaluskan ampas tapioka  
 Type : *Continous Roller Mills*  
 Kapasitas actual : 0,818 ft<sup>3</sup>/min  
 Lebar roll : 3 in = 0,0762 m  
 Diameter roll : 28 in = 0,7112 m  
 Jumlah : 1 buah



**Dasar perhitungan :**

Kapasitas actual (Perry 3<sup>rd</sup>, hlm. 11-27) = 25 – 75 % dari kapasitas teoritis

Diambil = 60 %

$$C = \frac{TWS}{1728}$$

- Dimana :
- C = kapasitas teoritis (ft<sup>3</sup>/min)
  - T = jarak antar roll (in)
  - W = lebar roll (in)
  - S = kecepatan perperal (in/min)

Kapasitas actual = 0,818 ft<sup>3</sup>/min

Kapasitas teoritis = (0,818/0,6) ft<sup>3</sup>/min = 1,363 ft<sup>3</sup>/min

Dari fig. 3-3 Perry 3<sup>rd</sup> hlm. 11-28, diperoleh : S = 600 dan d = 0,215 in

$$1,363 = \frac{(0,215) \times W \times (600)}{1728}$$

$$W = 31,404 \text{ in, diambil } W = 25 \text{ in}$$

$$= 1,25 D$$

$$D = (25/1,25) = 20 \text{ in}$$

$$\text{Power} = 0,4 \times m = (0,4) \times (4,592) = 1,837 \text{ Hp} \approx 2 \text{ Hp}$$

**6. Bucket Elevator (J-116)**

Fungsi : Untuk mengangkut ampas tapioka dari roll mill menuju bin ampas tapioka.

Type : *Centrifugal discharge on belt*

**Dasar perancangan :**

Kondisi operasi : P = 1 atm, T = 30 °C

$$\text{Kapasitas} = 284,2733365 \text{ kg/jam} = 626,7089976 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ bahan} = 1,4704 \text{ g/cm}^3 = 91,79746382 \text{ lb/ft}^3$$

Direncanakan sebuah bucket elevator dengan konstruksi sebagai berikut :

Bahan konstruksi = *Carbon steel*

$$\text{Tinggi bucket (Ulrich, tabel 4-4 hlm. 71)} = 15 \text{ m} = 49,212 \text{ ft}$$

Dari Perry edisi 6<sup>th</sup>, tabel 7-8 hlm 7-13, didapatkan :

- Ukuran bucket =  $(6 \times 4 \times 4 \frac{1}{2}) \text{ in} = 108 \text{ in} = 9 \text{ ft}$
- Kapasitas = 14 ton/jam
- *Size of lumps handled* =  $\frac{3}{4} \text{ in}$
- Kecepatan bucket = 225 ft/min
- *Head shaft* = 43 rpm
- *Hp required at head shaft* = 1,6 Hp
- *Bucket spacing* = 12 in
- Lebar *belt* = 7 in
- Shaft diameter :
  - *head* =  $1 \frac{15}{16} \text{ in}$
  - *tail* =  $1 \frac{11}{16} \text{ in}$
- Power untuk menaikkan material = 0,02 Hp/ft panjang

Dengan faktor keamanan (Vilbrandt, tabel 2-2 hlm 23) = 20 %

$$\text{Maka kapasitas bucket} = 1,2 \times 284,2733365 \text{ kg/jam}$$

$$= 341,1280038 \text{ kg/jam}$$

$$= 0,3411280 \text{ ton/jam}$$

$$\text{Kecepatan bucket} = \frac{0,3411280 \text{ ton/jam}}{14 \text{ ton/jam}} \times \frac{100 \text{ lb/ft}^3}{91,79746382 \text{ lb/ft}^3} \times 225 \text{ ft/min}$$

$$= 5,9722939 \text{ ft/min}$$



$$\begin{aligned} \text{Daya total} &= \left[ \frac{\rho}{100} \times (1,6 + 0,02) \text{ Hp} \right] = \left[ \frac{91,79746382}{100} \times (1,6 + 0,02) \text{ Hp} \right] \\ &= 1,4871189 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Effisiensi motor (Peters & Timmerhaus, fig.14 hlm. 521) = . 80 %

$$\text{Daya motor} = \frac{1,4871189 \text{ Hp}}{0,8} = 1,8588986 \text{ Hp} \approx 2 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi peralatan :**

Nama alat	: Bucket elevator
Type	: <i>Centrifugal discharge</i>
Kapasitas	: 341,1280038 kg/jam
Ukuran bucket	: (6 x 4 x 4 ½ ) in = 108 in = 9 ft
Kecepatan	: 5,9722939 ft/min
Lebar belt	: 7 in
Daya motor	: 2 Hp
Bahan konstruksi	: <i>Carbon steel</i>
Jumlah	: 1 buah

**7. Tangki Penampung Ampas Tapioka (F-117)**

Fungsi : Untuk menyimpan ampas tapioka yang akan menuju ke tangki hidrolisa

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standard dished head* dan tutup bawah berbentuk conis, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

**Dasar Perancangan :**

$$\text{Kapasitas} = 284,2733365 \text{ kg/jam} = 626,7089976 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ bahan} = 1,4704 \text{ g/cm}^3 = 91,79746382 \text{ lb/ft}^3$$

Kondisi operasi :  $P = 1 \text{ atm}$ ,  $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$

Direncanakan :

Bahan konstruksi : *High Alloy Steel* (H.A.S) SA 240 grade M type 316

Type pengelasan : *Double welded butt joint*

Sehingga didapatkan :

- E (Brownell & Young, hlm 254) = 0,8
- f (Brownell & Young, hlm 342) = 18750 psi
- C (faktor koreksi) = 1/16

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{massa}}{\rho} = \frac{626,7089976 \text{ lb/jam}}{91,79746382 \text{ lb/ft}^3} = 6,8270841 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 163,8500163 \text{ ft}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Diasumsikan :

- Volume bahan = 75 % volume tangki
- Vol. ruang kosong = 25% volume tangki

$$\text{Jadi volume tangki} = (100/75) \times 6,8270841 \text{ ft}^3 = 9,102778683 \text{ ft}^3$$

**Menentukan dimensi tangki :**

$$\text{Vol. total} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder} + V \text{ tutup atas}$$

$$\text{Vol. total} = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2\alpha} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L + 0,0847 D_i^3$$

$$9,102778683 = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg } (60)} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L + 0,0847 D_i^3, \text{ dimana } L_s = 1,5 D_i$$

$$= \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg } (60)} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot (1,5 D_i) + 0,0847 D_i^3$$

$$D_i^3 = 6,801380483 \text{ ft}^3$$

$$D_i = 1,89466467 \text{ ft}$$

Menentukan tinggi bahan ( $L_{ls}$ ) :

Volume bahan = V tutup bawah + V silinder

$$6,8270841 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_{ls}$$

$$= \frac{\pi \cdot (1,89466467)^3}{24 \cdot \text{tg } (60)} + \frac{\pi \cdot (1,89466467)^2}{4} \cdot L_{ls}$$

$$L_{ls} = 2,2391645 \text{ ft} = 26,869974 \text{ in}$$

Menentukan tekanan design ( $P_{\text{design}}$ ) :

$$P_{\text{design}} = 14,7 + \left[ \rho \cdot \frac{g}{g_c} \cdot h \right] = 14,7 + \left( \frac{91,79746382 \times 2,2391645}{144} \right)$$

$$= 16,12742793 \text{ psig}$$

Menentukan tebal silinder ( $t_s$ )

$$t_s = \frac{P_i \times Di}{2(f \cdot E - 0,6P_i)} + C = \frac{(16,12742793) \cdot (1,89466467 \times 12)}{2[(18750)(0,8) - (0,6)(16,12742793)]} + (1/16)$$

$$= 0,0747303 \text{ in} \times 16/16$$

$$= 1,19/16 \approx 3/16 \text{ in}$$

Standarisasi  $Di$  :

$$Do = Di + 2 t_s = (1,89466467 \times 12) \text{ in} + (2)(3/16) \text{ in}$$

$$= 23,11097604 \text{ in}$$

Standarisasi  $Do = 24 \text{ in}$  (Brownell & Young, tabel 5-7, hlm 91), sehingga :

$$Di \text{ baru} = Do - 2 t_s = 24 \text{ in} - 2(3/16) \text{ in} = 23,625 \text{ in}$$

$$= 1,96875 \text{ ft}$$

Menentukan tinggi silinder ( $L_s$ ) :

$$L_s = 1,5 Di = 1,5(23,625) \text{ in} = 35,4375 \text{ in}$$

$$= 2,953125 \text{ ft}$$

**Menentukan dimensi tutup atas :**

$$\text{Diketahui : } r = Di = 23,625 \text{ in}$$

$$icr = 6\% r = (6\%) \times (23,625 \text{ in}) = 1,4175 \text{ in}$$

Tebal tutup atas (tha) :

$$\text{tha} = \frac{0,885 \times P_i \cdot r}{f \cdot E - 0,1 \cdot P_i} + C \quad (\text{Brownell \& Young, hlm 258})$$

$$= \frac{(0,885)(16,12742793)(23,625)}{(18750)(0,8) - (0,1)(16,12742793)} + (1/16)$$

$$= 0,084982 \text{ in} \times 16/16$$

$$= 1,36/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

$$ha = 0,169 Di = (0,169) (23,625) \text{ in} = 3,992625 \text{ in}$$

**Menentukan dimensi tutup bawah :**

$$\text{Volume tutup bawah} = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} = \frac{\pi \cdot (23,625)^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 (120)}$$

$$= 0,576699688 \text{ ft}^3$$

Tebal tutup bawah (thb) :

$$\text{thb} = \frac{Pi \times de}{2 (f \cdot E - 0,6Pi) \cos \alpha} + C, \text{ dimana } de = Di$$

$$= \frac{(16,12742793) \times (23,625)}{2 [(18750)(0,8) - (0,6)(16,12742793)] \cos 60} + (1/16)$$

$$= 0,087917 \text{ in}$$

$$= 1,41/16 \approx 3/16 \text{ in}$$

Tinggi tutup bawah (hb) :

$$\text{hb} = \frac{1/2 \cdot Di}{\text{tg } 1/2 \alpha} = \frac{1/2 \times (23,625)}{\text{tg } 1/2 (120)} = 6,819950 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= h_b + L_s + h_a = 6,819950 \text{ in} + 35,4375 \text{ in} + 3,992625 \text{ in} \\ &= 46,250075 \text{ in} \end{aligned}$$

**Spesifikasi alat :**

Fungsi : Untuk menampung ampas tapioka sebelum masuk ke tangki hidrolisa.

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah berbentuk *conical*, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

Kapasitas : 284,2733365 kg/jam = 626,7089976 lb/jam

**Dimensi tangki :**

Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*

Jumlah = 1 buah

Di (diameter dalam) = 23,625 in

Do (diameter luar) = 24 in

$t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in

$L_s$  (tinggi silinder) = 35,4375 in

$t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in

$h_a$  (tinggi tutup atas) = 3,992625 in

$t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in

$h_b$  (tinggi tutup bawah) = 6,819950 in

Tinggi tangki = 46,250075 in

**8. Tangki Hidrolisa (R-110)**

Fungsi : Untuk menghidrolisa karbohidrat yang terkandung dalam ampas tapioka menjadi glukosa.

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standard dished head* dan tutup bawah berbentuk conis, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

**Direncanakan :**

- Bahan konstruksi : *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*.  
 $f$  (Brownell & Young, App. D-4 hal. 342) = 18750
- Jenis pengelasan : *Double welded butt joint*  
 $E$  (Brownell & Young, tabel 13.2 hal. 254) = 0,8
- Faktor korosi (C) : 1/16
- Bahan masuk : 1815,084436 kg/jam = 4001,535148 lb/jam
- Kondisi operasi : - Temperatur = 120 °C  
 - Tekanan = 1 atm  
 - Waktu operasi = 1 jam  
 - Densitas campuran = 67,574229 lb/ft<sup>3</sup>

**Dasar Perhitungan :**

**A. Menentukan dimensi tangki hidrolisa**

*Menentukan volume tangki :*

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{massa}}{\rho \text{ bahan}} = \frac{4001,535148 \text{ lb/jam}}{67,574229 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 59,216882 \text{ ft}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Diasumsikan :

- Volume bahan = 75 % volume tangki
- Volume ruang kosong = 25 % volume tangki

$$\begin{aligned} \text{Jadi volume tangki (V}_T) &= (100/75) \times 59,216882 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 78,955843 \text{ ft}^3/\text{jam} \end{aligned}$$



Menentukan dimensi tangki :

$$\text{Vol. total} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder} + V \text{ tutup atas}$$

$$\text{Vol. total} = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L + 0,0847 D_i^3$$

$$78,955843 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg } (60)} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L + 0,0847 D_i^3, \text{ dimana } L_s = 1,5 D_i$$

$$= \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg } (60)} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot (1,5 D_i) + 0,0847 D_i^3$$

$$D_i^3 = 58,971700 \text{ ft}^3$$

$$D_i = 3,892374 \text{ ft} = 46,708487 \text{ in}$$

Menentukan tinggi bahan ( $L_s$ ) :

$$\text{Volume bahan} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder}$$

$$59,216882 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L_s$$

$$= \frac{\pi \cdot (3,892374)^3}{24 \cdot \text{tg } (60)} + \frac{\pi \cdot (3,892374)^2}{4} \cdot L_s$$

$$L_s = 11,904023 \text{ ft}^3 + (4,458579 \text{ ft}^2 \times L_s)$$

$$= 4,599983 \text{ ft} = 55,199796 \text{ in}$$

Menentukan tekanan design ( $P_{\text{design}}$ ) :

$$P_{\text{design}} = 14,7 + \left[ \rho \cdot \frac{g}{g_c} \cdot h \right] = 14,7 + \left( \frac{67,574229 \times 4,599983}{144} \right)$$

$$= 16,398488 \text{ psig}$$

Menentukan tebal silinder ( $t_s$ )

$$t_s = \frac{P_i \times D_i}{2 (f \cdot E - 0,6 P_i)} + C = \frac{(16,398488) \cdot (46,708487)}{2 [(18750)(0,8) - (0,6)(16,398488)]} + (1/16)$$

$$= 0,025584 \text{ in} \times 16/16$$

$$= 0,41/16 \approx 3/16 \text{ in}$$

Standarisasi Di :

$$\begin{aligned} D_o &= D_i + 2 t_s = 46,083487 \text{ in} + (2)(3/16) \text{ in} \\ &= 47,083487 \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi Do = 48 in (Brownell & Young, tabel 5-7, hlm 91), sehingga :

$$\begin{aligned} D_i \text{ baru} &= D_o - 2 t_s = 48 \text{ in} - 2 (3/16) \text{ in} = 47,625 \text{ in} \\ &= 3,968750 \text{ ft} \end{aligned}$$

Menentukan tinggi silinder ( $L_s$ ) :

$$L_s = 1,5 D_i = 1,5 (47,625) \text{ in} = 71,4375 \text{ in} = 5,953125 \text{ ft}$$

Menentukan dimensi tutup atas :

Tutup atas berbentuk *standard dishead* :

- r (Brownell & Young tabel 5.7 hal. 90) = 48 in
- icr (Brownell & Young tabel 5.6 hal. 88) = 9/16 in
- sf (Brownell & Young tabel 5.6 hal. 88) = 2,0

Tebal tutup atas ( $t_{ha}$ ) :

$$\begin{aligned} t_{ha} &= \frac{0,885 \times P_i \cdot D_i}{f \cdot E - 0,1 \cdot P_i} + C && \text{(Brownell \& Young, hal. 258)} \\ &= \frac{(0,885) \times (16,398488) \times (47,625)}{(18750) \times (0,8) - (0,1) \times (16,398488)} + (1/16) \\ &= 0,063468 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,02/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Tinggi tutup atas ( $h_a$ ) :

$$\begin{aligned} a &= D_i/2 = (47,625/2) \text{ in} = 23,8125 \text{ in} \\ AB &= a - icr = (23,8125 - [9/16]) \text{ in} = 23,25 \text{ in} \\ BC &= r - icr = (48 - [9/16]) \text{ in} = 47,4375 \text{ in} \end{aligned}$$

$$AC = \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} = \sqrt{(47,4375)^2 - (23,25)^2} = 41,349171 \text{ in}$$

$$b = r - AC = (48 - 41,349171) \text{ in} = 6,650829 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} ha &= tha + b + sf = (3/16) \text{ in} + 6,650829 \text{ in} + 2,0 \text{ in} \\ &= 8,838329 \text{ in} \end{aligned}$$

$$ha = 8,838329 \text{ in} = 0,736527 \text{ ft}$$

Menentukan dimensi tutup bawah (conical) :

Tebal tutup bawah (thb) :

$$\begin{aligned} thb &= \frac{\pi \times de}{2 (f \cdot E - 0,6\pi) \cos \alpha} + C, \text{ dimana } de = Di \\ &= \frac{(16,398488) \times (47,625)}{2 [(18750)(0,8) - (0,6)(16,398488)] \cos 60} + (1/16) \\ &= 0,114599 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,83/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari Brownell & Young, tabel 5.6 hal. 88, untuk  $ts = \frac{3}{8}$  in, maka  $sf = 1,5 - 3$ , diambil harga  $sf = 2,5$  in.

Tinggi tutup bawah (hb) :

$$\begin{aligned} hb &= \frac{1/2 \cdot Di}{\text{tg } 1/2 \alpha} = \frac{1/2 \times (47,625)}{\text{tg } 1/2 (120)} = 13,748153 \text{ in} \\ hb &= b + sf = 13,748153 \text{ in} + 2 \text{ in} \\ &= 15,748153 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, maka diperoleh dimensi tangki hidrolisa sebagai berikut :

- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| - $D_o$ = 48 in      | - $tha$ = 3/16 in    |
| - $D_i$ = 47,625 in  | - $ha$ = 8,838329 in |
| - $L_s$ = 71,4375 in | - $thb$ = 3/16 in    |

- $t_s = 3/16$  in
- $hb = 15,748153$  in
- Tinggi tangki = Tinggi (tutup bawah + silinder + tutup atas)
  - =  $hb + L_s + ha$
  - =  $(15,748153 + 71,4375 + 8,838329)$  in
  - =  $96,023983$  in =  $8,001999$  ft

### B. Menentukan dimensi pengaduk

Perencanaan pengaduk :

Jenis pengaduk : *Marine propeller*

Bahan impeller : *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316.*

Bahan poros pengaduk : *Hot Roller SAE 1020*

Dari G.G. Brown hal. 507, diperoleh data-data sebagai berikut :

- $Dt/Di = 3$
- $Zl/Di = 0,75 - 1,3$
- $Zi/Di = 0,75 - 1$
- $W/Di = 0,1$

Dimana :

$Dt =$  Diameter dalam dari silinder

$Di =$  Diameter impeller

$Zi =$  Tinggi impeller dari dasar tangki

$Zl =$  Tinggi liquid dalam silinder

$W =$  Lebar baffle (daun) impeller

Menentukan diameter impeller :

$$Dt/Di = 3, Di = Dt/3$$

sehingga :  $Di = (47,625 \text{ in})/3$

$$= 15,875 \text{ in}$$

Menentukan tinggi impeller dari dasar tangki :

$$Z_i/D_i = 0,9, \quad Z_i = 0,9 D_i$$

$$\text{sehingga : } Z_i = 0,9 \times (15,875 \text{ in}) = 14,2875 \text{ in}$$

Menentukan panjang impeller :

$$L/D_i = \frac{1}{4}, \quad L = \frac{1}{4} D_i$$

$$\text{sehingga : } L = (0,25) \times (15,875 \text{ in}) = 3,96875 \text{ in}$$

Menentukan lebar impeller :

$$W/D_i = 0,1, \quad W = 0,1 \cdot D_i$$

$$\text{sehingga : } W = (0,1) \times (15,875 \text{ in}) = 1,5875 \text{ in}$$

Menentukan tebal blades :

$$J/D_t \text{ (Mc. Cabe, hal. 253)} = 1/12, \quad J = D_t/12$$

$$\text{sehingga : } J = (47,625 \text{ in})/12 = 3,96875 \text{ in}$$

### C. Menentukan daya pengaduk

$$\text{Rumus : } P = \frac{\Phi \times \rho \times n^3 \times D_i^5}{g_c}$$

Dimana :

- P = daya pengaduk
- $\Phi$  = power number = 4
- $\rho$  = densitas bahan = 67,574229 lb/ft<sup>3</sup>
- $D_i$  = diameter impeller = 15,875 in
- $g_c$  = 32,2 lb.ft/dt<sup>2</sup>.lbf
- n = putaran pengaduk = 2 putaran/detik

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi daya pengaduk : } P &= \frac{(4) \times (67,574229 \text{ lb/ft}^3) \times (2)^3 \times (1,322917 \text{ ft})^5}{32,2 \text{ lb.ft/dt}^2 \cdot \text{lbf}} \\
 &= (272,1057 \text{ lb.ft/dt}) / 550 \\
 &= 0,494738 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

Kehilangan-kehilangan daya :

- *Gain Losses* (kebocoran daya pada proses dan bearing) diperkirakan 10 % dari daya masuk.
- *Transmission System Losses* (kebocoran belt atau gear) diperkirakan 15 % dari daya masuk.

Sehingga daya yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 P \text{ yang dibutuhkan} &= (0,1 + 0,15) P + P = [(0,25) (0,5 \text{ Hp})] + 0,5 \text{ Hp} \\
 &= 0,625 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

#### D. Perhitungan poros pengaduk

Menentukan diameter poros :

$$T = \frac{\pi \times S \times D^2}{16} \quad (\text{Hesse, pers. 16-1 hal. 465})$$

Dengan :

$$H = \text{Daya motor pada poros} = 1 \text{ Hp}$$

$$N = \text{Putaran pengaduk} = 120 \text{ rpm}$$

$$T = \text{Momen puntir (lb.in)} = \frac{63025 \cdot H}{N} \quad (\text{Hesse, hal. 469})$$

$$\text{Sehingga : } T = \frac{(63025) \times (1)}{120} = 525,20833 \text{ lb.in}$$

Dari Hesse, tabel 16-1 hal. 457, untuk bahan *Hot Rolled Steel* SAE 1020, mengandung karbon = 20%, dengan batas = 36000 lb/in<sup>2</sup>.

S = Maksimum design shering stress yang diijinkan

$$S = 20\% \times (36000) \text{ lb/in}^2 = 7200 \text{ lb/in}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Maka didapatkan diameter poros pengaduk (D)} &= \left( \frac{16 \times T}{\pi \times S} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left( \frac{16 \times 525,20833 \text{ lb.in}}{\pi \times 7200 \text{ lb/in}^2} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 0,71888 \text{ in} \end{aligned}$$

Menentukan panjang poros :

$$L = h + i - Z_i$$

Dimana :

- L = panjang poros (ft)
- $Z_i$  = jarak impeller dari dasar tangki = 14,2875 in = 1,190625 ft
- i = panjang poros diatas bejana tangki = 3,96875 in = 0,330729 ft
- h = tinggi silinder + tinggi tutup atas = (71,4375 + 8,838329) in  
= 80,275829 in = 6,689652 ft

Jadi panjang poros pengaduk :

$$\begin{aligned} L &= (80,275829 \text{ in} + 3,96875 \text{ in}) - 14,2875 \text{ in} = 69,957079 \text{ in} \\ &= 5,829757 \text{ ft} \end{aligned}$$

### E. Perhitungan Nozzle

Perencanaan :

#### 1. *Nozzle* pada tutup atas *standard dishead*

- *Nozzle* untuk pemasukan umpan
- *Nozzle* untuk pemasukan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$
- *Nozzle* untuk *recycle* dari *centrifuge*

2. *Nozzle* untuk silinder reaktor
  - *Nozzle* untuk pemasukan koil
  - *Nozzle* untuk pengeluaran koil
3. *Nozzle* pada tutup bawah conical
  - *Nozzle* untuk pengeluaran produk
4. Digunakan *flange standard type Welding neck* pada :
  - *Nozzle* untuk pemasukan umpan
  - *Nozzle* untuk pemasukan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
  - *Nozzle* untuk *recycle* dari *centrifuge*
  - *Nozzle* untuk pemasukan koil
  - *Nozzle* untuk pengeluaran koil
  - *Nozzle* untuk pengeluaran produk
5. Bahan konstruksi untuk *Nozzle* menggunakan *High Alloy Steel*.

**Dasar Perhitungan :**

*a. Nozzle pemasukan recycle dari centrifuge*

$$\begin{aligned} \text{Rate umpan masuk} &= 408,989189 \text{ kg/jam} = \\ &901,657565 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas umpan} = 70,672562 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate umpan masuk}}{\rho \text{ umpan}} = \frac{408,989189 \text{ lb/jam}}{70,672562 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 12,758241 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,003544 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$



Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} \text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0,003544)^{0,45} \cdot (70,672562)^{0,13} \\ &= 0,535472 \text{ in} = 0,044623 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, dipilih pipa ½ IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 0,622 in
- OD = 0,840 in
- A = 0,00211 ft<sup>2</sup>

*b. Nozzle pemasukan feed*

$$\text{Rate feed masuk} = 1349,230173 \text{ kg/jam} = 2974,512838 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas feed} = 91,797464 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate feed masuk}}{\rho \text{ feed}} = \frac{1349,230173 \text{ lb/jam}}{91,797464 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 32,402996 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,009001 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} \text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0,009001)^{0,45} \cdot (97,797464)^{0,13} \\ &= 0,842674 \text{ in} = 0,070223 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa 1 in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 1,049 in
- OD = 1,315 in
- A = 0,00600 ft<sup>2</sup>

c. *Nozzle pemasukan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>*

$$\text{Rate H}_2\text{SO}_4 \text{ masuk} = 56,865075 \text{ kg/jam} = 125,364744 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas H}_2\text{SO}_4 = 114,497109 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate H}_2\text{SO}_4 \text{ masuk}}{\rho \text{ H}_2\text{SO}_4} = \frac{125,364744 \text{ lb/jam}}{114,497109 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 1,094916 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,000304 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} \text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0,000304)^{0,45} \cdot (114,497109)^{0,13} \\ &= 0,188840 \text{ in} = 0,015737 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa ½ in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 0,622 in
- OD = 0,840 in
- A = 0,00211 ft<sup>2</sup>

d. *Nozzle pemasukan dan pengeluaran koil pemanas*

$$\text{Rate steam masuk} = 219,074409 \text{ kg/jam} = 482,971442 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas steam} = 31,204 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate steam masuk}}{\rho \text{ steam}} = \frac{482,971442 \text{ lb/jam}}{31,204000 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 15,477870 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,004299 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} \text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0,004299)^{0,45} \cdot (31,204000)^{0,13} \\ &= 0,525226 \text{ in} = 0,043769 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa ½ in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

$$\begin{aligned} - \text{ ID} &= 0,622 \text{ in} & - \text{ OD} &= 0,840 \text{ in} \\ - \text{ A} &= 0,00211 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

*e. Nozzle pengeluaran produk*

$$\text{Rate produk keluar} = 1815,08443619 \text{ kg/jam} = 4001,535148 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas produk} = 66,111973 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate produk keluar}}{\rho \text{ produk}} = \frac{1815,084436 \text{ lb/jam}}{66,111973 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 60,526633 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,016813 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} \text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 \cdot (0,016813)^{0,45} \cdot (66,111973)^{0,13} \\ &= 1,069648 \text{ in} = 0,089137 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa 1 ¼ in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

$$\begin{aligned} - \text{ ID} &= 1,380 \text{ in} & - \text{ OD} &= 1,660 \text{ in} \\ - \text{ A} &= 0,01040 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Dari Brownell & Young tabel 12.2 hal. 221 diperoleh dimensi *flange* untuk semua *nozzle*, dipilih *flange standar type welding neck* dengan dimensi *nozzle* sebagai berikut :

Nozzle	NPS	A	T	R	E	K	L	B
A	½	3 ½	⅞	1 ⅜	1 ⅜	0,84	1 ⅞	0,62
B	1	4 ¼	⅞	2	1 ⅝	1,32	2 ⅜	1,05
C	½	3 ½	⅞	1 ⅜	1 ⅜	0,84	1 ⅞	0,62
D	½	3 ½	⅞	1 ⅜	1 ⅜	0,84	1 ⅞	0,62
E	1 ¼	4 ⅝	⅝	2 ½	2 ⅝	1,66	2 ¼	1,38

*Nozzle A* = *Nozzle* untuk pemasukan *recycle* dari *centrifuge*

*Nozzle B* = *Nozzle* untuk pemasukan *feed*

*Nozzle C* = *Nozzle* untuk pemasukan  $H_2SO_4$

*Nozzle D* = *Nozzle* untuk pemasukan dan pengeluaran koil pemanas

*Nozzle E* = *Nozzle* untuk pengeluaran produk

NPS = Ukuran pipa nominal, in

A = Diameter luar *flange*, in

T = Ketebalan *flange* minimum, in

R = Diameter luar bagian yang menonjol, in

E = Diameter hubungan atas, in

K = Diameter hubungan pada titik pengelasan, in

L = Panjang julakan, in

B = Diameter dalam *flange*, in

### 9. Pompa Centrifugal (L-118)

Fungsi : Untuk mengalirkan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% dari storage ke tangki hidrolisa.

Type : *Centrifugal pump*

Jumlah : 1 buah

Bahan : *Commercial steel*

#### Dasar Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 56,86507492 \text{ kg/jam} = 125,3647442 \text{ lb/jam} \\ &= 0,03482354 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ H}_2\text{SO}_4 = 17,8 \text{ cp} = 0,01196107 \text{ lb/ft.dt}$$

$$\text{Densitas campuran} = 62,50932634 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Rate volumetrik } (Q_f) = \frac{6,24604 \cdot 10^{-6} \text{ lb/dt}}{62,50932634 \text{ lb/ft}^3} = 0,000557094 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892 diperoleh :

$$\begin{aligned} ID_{\text{opt}} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 (0,000557094)^{(0,45)} \times (62,50932634)^{0,13} \\ &= 3,89 \cdot 10^{-3} \text{ in} = 3,24 \cdot 10^{-4} \text{ ft} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 1/8 in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} - \text{OD} &= 0,405 \text{ in} & - \text{ID} &= 0,269 \text{ in} \\ - \text{A} &= 0,0004 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida } (V) &= \frac{\text{rate volumetrik}(Q_f)}{\text{luasarea}(A)} = \frac{3,24 \cdot 10^{-4} \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,0004 \text{ ft}^2} \\ &= 1,392733776 \text{ ft/dt} \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$N_{Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,269/12)\text{ft} \cdot (1,392733776)\text{ft/dt} \cdot (62,50932634)\text{lb/ft}^3}{0,01196107 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}}$$

$$= 163,16008073 < 2100$$

Karena  $N_{Re} < 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah laminair (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Commercial steel*. Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 89 diperoleh  $\epsilon = (4,6 \times 10^{-5})$  m, sehingga :

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{(4,6 \cdot 10^{-5})\text{m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(0,269/12)\text{ft}} = 0,006732348$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,09

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 50 ft

- Elbow, 90° = 3 buah

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 3 \times 0,75 = 2,25$$

- Gate valve = 1 buah (*half open*)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 1 \times 4,5 = 4,5$$

Dari pers. 2.10.16 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,0004} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,0004}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned}\Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,09) \times \frac{50}{(0,269/12)} + 1 + 0,55 + 2,25 + 4,5 \right] \frac{(1,392733776)^2}{2} \\ &= 786,8170573 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m\end{aligned}$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\begin{aligned}\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0 \\ \frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0\end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned}- \Delta z &= 14 \text{ ft} & - \Delta v &= 1,392733776 \text{ ft/dt} \\ - \Delta P &= 0 & - \alpha &= 2\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}-W_s &= \left[ \frac{(1,392733776)^2}{(2) \cdot (2) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(14) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{62,430266} \right] + 786,8170573 \\ &= 791,0787724\end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned}\text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(791,0787724) \times (0,000557094) \times (62,430266)}{550} \\ &= 0,05008757 \text{ Hp}\end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = 0,000557094 \text{ ft}^3/\text{dt} = 0,250056993 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 45 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{0,05008757 \text{ Hp}}{0,45} = 0,11130571 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 60 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,11130571}{0,60} = 0,185509517 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi alat :**

Fungsi	:	Mengalirkan larutan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 98 % ke tangki hidrolisa.
Type	:	<i>Centrifugal pump</i>
Ukuran	:	Pipa 1/8 in Sch. 40
Kapasitas	:	56,86507492 kg/jam
Daya	:	0,5 Hp
Bahan konstruksi	:	<i>Commercial steel</i>
Jumlah	:	1 buah

**10. Pompa Rotary (L-119)**

Fungsi	:	Untuk mengalirkan bahan dari tangki hidrolisa ke <i>rotary vacuum filter</i>
Type	:	<i>Rotary pump</i>
Jumlah	:	1 buah
Bahan	:	<i>Commercial steel</i>

**Dasar Perhitungan :**

Rate aliran	=	1815,084436 kg/jam	=	4001,535148 lb/jam
			=	1,111538 lb/detik
Densitas campuran	=	1,082 g/cm <sup>3</sup>	=	67,574229 lb/ft <sup>3</sup>
Viskositas campuran	=	1,92 cp	=	0,001290 lb/ft.dt



$$\text{Rate volumetrik } (Q_f) = \frac{1,111538 \text{ lb/dt}}{67,574229 \text{ lb/ft}^3} = 0,016449 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari (Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} ID_{\text{opt}} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 (0,016449)^{(0,45)} \times (67,574229)^{0,13} \\ &= 1,062186 \text{ in} = 0,088515 \text{ ft} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 1 ¼ in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} - \text{ OD} &= 1,660 \text{ in} & - \text{ ID} &= 1,380 \text{ in} \\ - \text{ A} &= 0,0104 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida } (V) &= \frac{\text{rate volumetrik } (Q_f)}{\text{luas area } (A)} = \frac{0,016449 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,0104 \text{ ft}^2} \\ &= 1,581647 \text{ ft/dt} \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$\begin{aligned} N_{\text{Re}} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(1,380/12) \text{ ft} \cdot (1,581647) \text{ ft/dt} \cdot (67,574229) \text{ lb/ft}^3}{0,001290 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}} \\ &= 71,794599 < 2100 \end{aligned}$$

Karena  $N_{\text{Re}} < 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah laminair (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Commercial steel*. Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 89 diperoleh  $\epsilon = (4,6 \times 10^{-5}) \text{ m}$ , sehingga :

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{(4,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(1,380/12) \text{ ft}} = 0,001312$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,17

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 40 ft

- Elbow, 90° = 4 buah

$$K_f(\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 4 \times 0,75 = 3$$

- Gate valve = 1 buah (*half open*)

$$K_f(\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 1 \times 4,5 = 4,5$$

Dari pers. 2.10.16 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,0104} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,0104}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned} \Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,17) \times \frac{40}{(1,380/12)} + 1 + 0,55 + 3 + 4,5 \right] \frac{(1,581647)^2}{2} \\ &= 307,162209 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m \end{aligned}$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

- $\Delta z = 18 \text{ ft}$

- $\Delta v = 0,78 \text{ ft/dt}$

- $\Delta P = 0$

- $\alpha = 2$

Maka :

$$\begin{aligned}
 -W_s &= \left[ \frac{(0,78)^2}{(2) \cdot (2) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(18) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{67,574229} \right] + 307,162209 \\
 &= 5,482984
 \end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned}
 \text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(5,482984) \times (0,016449) \times (67,574229)}{550} \\
 &= 0,011081 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = 0,016449 \text{ ft}^3/\text{dt} = 7,383358 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 78 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{0,011081 \text{ Hp}}{0,78} = 0,014206 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 80 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,014206}{0,80} = 0,017758 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi alat :**

Fungsi : Mengalirkan larutan dari tangki hidrolisa ke *rotary vacuum filter*.

Type : *Rotary pump*

Ukuran : Pipa 1 ¼ in Sch. 40

Kapasitas : 1815,084436 kg/jam

Daya : 0,5 Hp

Bahan konstruksi : *Commercial steel*

Jumlah : 1 buah

**11. Reaktor (R-120)**

Fungsi : Untuk mereaksikan umpan masuk dengan  $\text{HNO}_3$  dan katalis  $\text{V}_2\text{O}_5$ .

Jumlah : 1 buah

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah berbentuk *conical* dengan sudut  $120^\circ$ .

Perlengkapan : Pengaduk dan coil pemanas.

Kondisi operasi :

- Temperatur =  $71^\circ\text{C}$
- Tekanan = 1 atm
- Waktu operasi = 2 jam
- Fase = liquid – solid
- Densitas campuran =  $72,972088 \text{ lb/ft}^3$

Direncanakan :

Bahan konstruksi : *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*.  
 $f = 18750$  (Brownell & Young, App. D-4 hal. 342)

Jenis pengelasan : *Double welded butt joint*  
 $E = 0,8$  (Brownell & Young, tabel 13.2 hal. 254)

Faktor korosi (C) : 1/16

Bahan masuk :  $3319,570199 \text{ kg/jam} = 7318,324460 \text{ lb/jam}$

**A. Rancangan dimensi reaktor**

**Menentukan volume reaktor :**

Bahan masuk =  $3319,570199 \text{ kg/jam} = 7318,324460 \text{ lb/jam}$

$\rho$  campuran =  $72,972088 \text{ lb/ft}^3$

Rate volumetrik =  $\frac{\text{massa bahan masuk}}{\rho \text{ campuran}} = \frac{7318,324460 \text{ lb/jam}}{72,972088 \text{ lb/ft}^3}$   
 $= 100,289367 \text{ ft}^3/\text{jam}$

$$\text{Volume liquid} = 100,289367 \text{ ft}^3/\text{jam} \times 2 \text{ jam} = 200,578733 \text{ ft}^3$$

Diasumsikan volume ruang kosong = 25 % volume liquid serta volume coil dan pengaduk = 10 % volume liquid.

$$\text{Volume ruang kosong} = 25 \% \times 200,578733 \text{ ft}^3 = 50,144683 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume coil \& pengaduk} = 10 \% \times 200,578733 \text{ ft}^3 = 20,057873 \text{ ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi volume total} &= V \text{ liquid} + V \text{ ruang kosong} + V \text{ (coil \& pengaduk)} \\ &= 200,578733 \text{ ft}^3 + 50,144683 \text{ ft}^3 + 20,057873 \text{ ft}^3 \\ &= 270,781290 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

**Menentukan dimensi silinder :**

$$\text{Volume total} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder} + V \text{ tutup atas}$$

$$\text{Volume total} = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 D_i^3$$

$$270,781290 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 D_i^3, \text{ dimana } L_s = 1,5 D_i$$

$$270,781290 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot 1,5 D_i + 0,0847 D_i^3$$

$$D_i^3 = 202,245110 \text{ ft}^3$$

$$D_i = 5,869837 \text{ ft} = 70,438039 \text{ in}$$

**Menentukan tinggi liquida ( $L_{ls}$ ) :**

$$\text{Volume liquid} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder}$$

$$200,245110 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L_{ls}$$

$$200,245110 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot (5,869837)^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot (5,869837)^2}{4} \cdot L_{ls}$$

$$L_{ls} = 6,844322 \text{ ft}$$

**Menentukan tebal silinder ( $t_s$ ) :**

Dirancang suatu vessel yang tahan terhadap tekanan 75 psig.

$$t_s = \frac{P_i \cdot D_i}{2(f \cdot E - 0,6P_i)} + C = \frac{(75) \cdot (70,438039)}{2[(18750)(0,8) - (0,6)(75)]} + (1/16)$$

$$= 0,176625 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Standarisasi  $D_o$  :  $D_o = D_i + 2 t_s = 70,438039 \text{ in} + (3/16) \text{ in}$

$$= 70,813039 \text{ in}$$

Standarisasi  $D_o = 72 \text{ in}$  (Brownell & Young, tabel 5-7, hal. 91) :

$$D_i = D_o - 2 t_s = 72 \text{ in} - 2 (3/16) \text{ in} = 71,625 \text{ in}$$

$$= 5,968750 \text{ ft}$$

**Menentukan tinggi silinder ( $L_s$ ) :**

$$L_s = 1,5 D_i = 1,5 (71,625) \text{ in} = 107,4375 \text{ in} = 8,953125 \text{ ft}$$

**Menentukan dimensi tutup atas :**

Tutup atas berbentuk *standard dishead*

- $r$  (Brownell & Young tabel 5.7 hal. 90) = 72 in
- $icr$  (Brownell & Young tabel 5.6 hal. 88) = 9/16 in
- $sf$  (Brownell & Young tabel 5.6 hal. 88) = 2,0



Tebal tutup atas (dari Brownell & Young, persamaan 13.12 hal. 258) :

$$t_{ha} = \frac{0,885 \times P_i \cdot D_i}{f \cdot E - 0,1 \cdot P_i} + C = \frac{0,885 \times (75) \cdot (71,625)}{(18750) \cdot (0,8) - 0,1 \cdot (75)} + (1/16)$$

$$= 0,066927 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Tinggi tutup atas ( $h_a$ ) :

$$a = D_i/2 = (71,625/2) \text{ in} = 35,8125 \text{ in}$$

$$AB = a - icr = (35,8125 - [9/16]) \text{ in} = 35,25 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (72 - [9/16]) \text{ in} = 71,4375 \text{ in}$$







**B. Perhitungan pengaduk**

Pencampuran pengaduk :

Jenis pengaduk : Azial turbin + baffle sudut 45° ( G.G. Brown hal. 207).

Bahan impeller : High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316.

Bahan poros pengaduk : For Koller SAE 1020

Dari G.G. Brown hal. 207 diperoleh data-data sebagai berikut :

- D/Di = 2.5 - N/Di = 2.7 - 3.9

- X/Di = 0.72 - 1.3 - W/Di = 0.1

Dimana :

Di = Diameter dalam dari silinder

Di = Diameter impeller

Xi = Tinggi impeller dari dasar tangki

Xi = Tinggi lipit dalam silinder

W = Lebar baffle (dunn) impeller

Mencari diameter impeller : D/Di = 2.5 : Di = D/2.5

Sehingga : Di = (71.622 in)/2.5 = 13.7740 in

Mencari tinggi impeller dari dasar tangki :

X/Di = 0.9 : Xi = 0.9 Di

Sehingga : Xi = 0.9 x (13.7740 in) = 12.3966 in

Mencari panjang impeller : L/Di = 1.7 : L = 1.7 Di

Sehingga : L = (0.25) x (13.7740 in) = 3.4435 in

Mencari lebar impeller : W/Di = 0.1 : W = 0.1 Di

Sehingga : W = (0.1) x (13.7740 in) = 1.3774 in

Menentukan tebal blades :

$$J/Dt \text{ (Mc. Cabe, hal. 253)} = 1/12 \quad ; \quad J = Dt/12$$

Sehingga :  $J = (71,625 \text{ in})/12 = 5,96875 \text{ in}$

**Perhitungan daya pengaduk :**

$$P = \frac{\Phi \times \rho \times n^3 \times Di^5}{gc}$$

Dimana :

P = daya pengaduk

$\Phi$  = power number

$\rho$  = densitas bahan = 72,972088 lb/ft<sup>3</sup>

Di = diameter impeller = 13,7740 in = 1,1478 ft

gc = 32,2 lb.ft/dt<sup>2</sup>.lbf

n = putaran pengaduk, ditetapkan n = 120 rpm = 2 rps (Perry, edisi 6 hal. 19-6)

Menghitung bilangan Reynold ( $N_{Re}$ ) :

$$N_{Re} = \frac{D^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu} \quad \text{(Geankoplis, pers. 3.4-1 hal. 144)}$$

dengan  $\mu$  bahan = 0,3 cp = (0,3) x (6,7197.10<sup>-4</sup>) = 2,02.10<sup>-4</sup> lb/ft.s

$$N_{Re} = \frac{(2,984375 \text{ ft})^2 \times (2) \times (72,972088 \text{ lb/ft}^3)}{2,016 \cdot 10^{-4} \text{ lb/ft.s}} = 953737,1111$$

Dari Mc Cabe II hal. 47, diketahui aliran liquid adalah turbulen ( $N_{Re} > 2100$ ). Dari

G.G. Brown fig. 4.77 hal.. 507, diperoleh  $\Phi = 0,7$ .

$$\begin{aligned} P &= \frac{(0,7) \times (72,972088 \text{ lb/ft}^3) \times (2)^3 \times (2,984375 \text{ ft})^5}{32,2 \text{ lb.ft/dt}^2 \cdot \text{lbf}} = 25,2825 \text{ lb.ft/dt} \\ &= (25,2825 / 550) \\ &= 0,0460 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Menentukan tebal blades :

$$MDR \text{ (Mc Cabe, hal. 223) } = 1112 : 1 = DM12$$

$$\text{Sehingga : } 1 = (71.022 \text{ in})/12 = 5.9185 \text{ in}$$

Perhitungan daya pengaduk :

$$P = \frac{\rho \times \phi \times n^3 \times D_i^5}{g_c}$$

Dimana :

$$P = \text{ daya pengaduk}$$

$$\phi = \text{ power number}$$

$$\rho = \text{ densitas bahan } = 72.975088 \text{ lb/ft}^3$$

$$D_i = \text{ diameter impeller } = 13.7740 \text{ in } = 1.1478 \text{ ft}$$

$$g_c = 32.2 \text{ lb.ft/ft}^2 \cdot \text{lb}$$

$$n = \text{ putaran pengaduk, ditetapkan } n = 120 \text{ rpm} = 2 \text{ rps (Bert. edisi 0 (hal. 19-0)}$$

Menghitung bilangan Reynolds ( $N_{Re}$ ) :

$$N_{Re} = \frac{D_i^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu} \quad \text{(Geankoplis, pers. 3-4-1 hal. 144)}$$

$$\text{dengan } \mu \text{ bahan } = 0.3 \text{ cp} = (0.3) \times (0.710710^{-4}) = 2.13213 \cdot 10^{-4} \text{ lb/ft}^2$$

$$N_{Re} = \frac{(72.984325 \text{ lb}) \times (2) \times (13.7740 \text{ ft})^2}{2.13213 \cdot 10^{-4} \text{ lb/ft}^2} = 253232.1111$$

Dari Mc Cabe II hal. 47, diketahui aliran liquid adalah turbulen ( $N_{Re} > 2100$ ). Dari

G.G. Brown fig. 4.77 hal. 207 diperoleh  $\phi = 0.7$ .

$$P = \frac{32.2 \text{ lb.ft/ft}^2 \cdot \text{lb} \times (0.7) \times (72.975088 \text{ lb/ft}^3) \times (2)^3 \times (13.7740 \text{ ft})^5}{32.2 \text{ lb.ft/ft}^2 \cdot \text{lb}} = 225852 \text{ lb.ft/ft}^2$$

$$= (225852 \times 2.30)$$

$$= 0.0460 \text{ Hp}$$

Kehilangan-kehilangan daya :

- *Gain Losses* (kebocoran daya pada proses dan bearing) diperkirakan 10% dari daya masuk.
- *Transmission System Losses* (kebocoran belt atau gear) diperkirakan 15% dari daya masuk.

Sehingga daya yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 P \text{ yang dibutuhkan} &= (0,1 + 0,15) P + P \\
 &= (0,25) (0,0460 \text{ Hp}) + 0,0460 \text{ Hp} \\
 &= 0,0575 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

**Perhitungan poros pengaduk :**

1. *Diameter poros*

$$T = \frac{(63025) \cdot (7)}{120} = 3676,458333 \text{ lb.in}$$

Dari Hesse, tabel 16-1 hal. 457, untuk bahan *Hot Rolled Steel* SAE 1020, mengandung karbon = 20%, dengan batas = 36000 lb/in<sup>2</sup>.

S = maksimum design shering stress yang diijinkan

$$S = 20\% \times (36000) \text{ lb/in}^2 = 7200 \text{ lb/in}^2$$

Maka didapatkan diameter poros pengaduk (D) :

$$D = \left( \frac{16 \times T}{\pi \times S} \right)^{\frac{1}{3}} = \left( \frac{16 \times 3676,458333 \text{ lb.in}}{\pi \times 7200 \text{ lb/in}^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,374984 \text{ in}$$

2. *Panjang poros*

$$L = h + i - Z_i$$

Dimana :

L = Panjang poros (ft)

$$\begin{aligned}
 Z_i &= \text{Jarak impeller dari dasar tangki} &= 32,23125 \text{ in} &= 2,685938 \text{ ft} \\
 i &= \text{Panjang poros diatas bejana tangki} &= 8,953125 \text{ in} &= 0,746094 \text{ ft} \\
 h &= \text{Tinggi silinder + tinggi tutup atas} &= (107,4375 + 12,052535) \text{ in} \\
 & &= 119,490035 \text{ in} &= 9,957503 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Jadi panjang poros pengaduk :

$$\begin{aligned}
 L &= (119,490035 \text{ in} + 8,953125 \text{ in}) - 32,23125 \text{ in} &= 96,211910 \text{ in} \\
 & &= 8,017659 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

### C. Perhitungan *Nozzle*

Perencanaan :

- *Nozzle* pada tutup atas *standard dishead*
  - *Nozzle* untuk pemasukan umpan
  - *Nozzle* untuk pemasukan larutan  $\text{HNO}_3$
  - *Nozzle* untuk pemasukan katalis  $\text{V}_2\text{O}_5$
  - *Nozzle* untuk pengeluaran gas
- *Nozzle* untuk silinder reaktor
  - *Nozzle* untuk pemasukan koil
  - *Nozzle* untuk pengeluaran koil
- *Nozzle* pada tutup bawah conical
  - *Nozzle* untuk pengeluaran produk
- Digunakan *flange standard type Welding neck* pada :
  - *Nozzle* untuk pemasukan umpan
  - *Nozzle* untuk pemasukan larutan  $\text{HNO}_3$
  - *Nozzle* untuk pemasukan katalis  $\text{V}_2\text{O}_5$
  - *Nozzle* untuk pengeluaran gas

$$\begin{aligned}
 \text{Ni} &= \text{Jarak impeller dari dasar tangki} = 32.53125 \text{ in} = 0.982928 \text{ ft} \\
 \text{i} &= \text{Panjang poros diatas bejana tangki} = 8.923125 \text{ in} = 0.740094 \text{ ft} \\
 \text{ii} &= \text{Tinggi silinder + tinggi tutup atas} = (110.74375 + 12.025252) \text{ in} \\
 &= 119.490025 \text{ in} = 9.927503 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Jadi panjang poros bengkok :

$$\begin{aligned}
 L &= (119.490025 \text{ in} + 8.923125 \text{ in}) - 32.53125 \text{ in} = 95.881925 \text{ in} \\
 &= 8.017629 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

### C. Perhitungan Asumsi

Perencanaan :

- Untuk pada tutup atas stainless dishead
  - Untuk untuk pemasangan numpun
  - Untuk untuk pemasangan larutan  $\text{HNO}_3$
  - Untuk untuk pemasangan katalis  $\text{V}_2\text{O}_5$
  - Untuk untuk pengeluaran gas
- Untuk untuk silinder reaktor
  - Untuk untuk pemasangan koil
  - Untuk untuk pengeluaran koil
- Untuk pada tutup bawah conical
  - Untuk untuk pengeluaran produk
- Digunakan Yang standard type Weelring neck pada :
  - Untuk untuk pemasangan numpun
  - Untuk untuk pemasangan larutan  $\text{HNO}_3$
  - Untuk untuk pemasangan katalis  $\text{V}_2\text{O}_5$
  - Untuk untuk pengeluaran gas

- *Nozzle* untuk pemasukan koil
  - *Nozzle* untuk pengeluaran koil
  - *Nozzle* untuk pengeluaran produk
- Bahan konstruksi untuk *Nozzle* menggunakan *High Alloy Steel*.

### Dasar Perhitungan :

#### a. *Nozzle* pemasukan feed

$$\text{Rate feed masuk} = 2140,577243 \text{ kg/jam} = 4719,116590 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas feed} = 66,116541 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate feed masuk}}{\rho \text{ feed}} = \frac{4719,116590 \text{ lb/jam}}{66,116541 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 71,375733 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,019827 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} D_i \text{ opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} = 3,9 \cdot (0,019827)^{0,45} \cdot (66,116541)^{0,13} \\ &= 1,152037 \text{ in} = 0,096003 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa 1¼ in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 1,380 in
- OD = 1,660 in
- A = 0,01040 ft<sup>2</sup>

#### b. *Nozzle* pemasukan larutan HNO<sub>3</sub>

$$\text{Rate HNO}_3 \text{ masuk} = 1174,399737 \text{ kg/jam} = 2589,081660 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas HNO}_3 = 89,695245 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate HNO}_3 \text{ masuk}}{\rho \text{ HNO}_3} = \frac{2589,081660 \text{ lb/jam}}{89,695245 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 28,865317 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,008018 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} \text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} = 3,9 \cdot (0,008018)^{0,45} \cdot (89,695245)^{0,13} \\ &= 0,797550 \text{ in} = 0,066462 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa  $\frac{3}{4}$  in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

$$\begin{aligned} - \text{ ID} &= 0,824 \text{ in} & - \text{ OD} &= 1,050 \text{ in} \\ - \text{ A} &= 0,00371 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

c. *Nozzle pemasukan katalis V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>*

$$\text{Rate V}_2\text{O}_5 \text{ masuk} = 4,593218 \text{ kg/jam} = 10,126209 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas V}_2\text{O}_5 = 209,578405 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate V}_2\text{O}_5 \text{ masuk}}{\rho \text{ V}_2\text{O}_5} = \frac{10,126209 \text{ lb/jam}}{209,578405 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 0,048317 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,000013 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} \text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} = 3,9 \cdot (0,000013)^{0,45} \cdot (209,578405)^{0,13} \\ &= 0,050159 \text{ in} = 0,004180 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa  $\frac{1}{2}$  in IPS Sch. 40 dengan ukuran :



- ID = 0,622 in
- OD = 0,840 in
- A = 0,00211 ft<sup>2</sup>

*d. Nozzle pemasukan dan pengeluaran koil pemanas*

$$\text{Rate steam masuk} = 9458,346218 \text{ kg/jam} = 20851,870072 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas steam} = 31,204 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate steam masuk}}{\rho \text{ steam}} = \frac{20851,870072 \text{ lb/jam}}{31,204 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 668,243497 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,185623 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} \text{Di opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} = 3,9 \cdot (0,185623)^{0,45} \cdot (31,204)^{0,13} \\ &= 2,858883 \text{ in} = 0,238240 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa 3 in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

- ID = 3,068 in
- OD = 3,500 in
- A = 0,05130 ft<sup>2</sup>

*e. Nozzle pengeluaran gas*

$$\text{Rate gas keluar} = 440,568177 \text{ kg/jam} = 971,276603 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas gas keluar} = 38,98 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate gas keluar}}{\rho \text{ gas keluar}} = \frac{971,276603 \text{ lb/jam}}{38,98 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 24,917306 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,006921 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} Di \text{ opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} = 3,9 \cdot (0,006921)^{0,45} \cdot (38,98)^{0,13} \\ &= 0,669828 \text{ in} = 0,055819 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa  $\frac{3}{4}$  in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

$$\begin{aligned} - \text{ ID} &= 0,824 \text{ in} & - \text{ OD} &= 1,050 \text{ in} \\ - \text{ A} &= 0,00371 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

*f. Nozzle pengeluaran produk*

$$\text{Rate produk keluar} = 2879,002022 \text{ kg/jam} = 6347,047858 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas produk} = 70,743949 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate produk keluar}}{\rho \text{ produk}} = \frac{6347,047858 \text{ lb/jam}}{70,743949 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 87,718597 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,024922 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Dari Peter & Timmerhausse fig. 14.2 hal. 498, didapatkan Di optimum :

$$\begin{aligned} Di \text{ opt} &= 3,9 (Q)^{0,45} (\rho)^{0,13} = 3,9 \cdot (0,024922)^{0,45} \cdot (70,743949)^{0,13} \\ &= 1,288206 \text{ in} = 0,107350 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Geankoplis, App. A.5 hal. 892, maka dipilih pipa  $1\frac{1}{4}$  in IPS Sch. 40 dengan ukuran :

$$\begin{aligned} - \text{ ID} &= 1,380 \text{ in} \\ - \text{ OD} &= 1,660 \text{ in} \\ - \text{ A} &= 0,01040 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

g. *Nozzle untuk Hand Hole*❖ *Dimensi Hand Hole*

Dari Brownell dan Young, fig. 12.3, hlm 222, maka sebuah *hand hole* direncanakan dengan diameter 10 in. *Flange* untuk *hand hole* digunakan tipe standar 150 lb *forged slip on-flange* (168).

1. Ukuran nominal (NPS)	= 10 in
2. Diameter luar <i>flange</i> (A)	= 16 in
3. Ketebalan <i>flange</i> (T)	= 1 3/16 in
4. Diameter luar pembesaran permukaan (R)	= 12 3/4 in
5. Diameter pusat dari dasar (E)	= 12 in
6. Panjang (L)	= 1 15/16 in
7. Jumlah lubang baut	= 12 buah
8. Diameter lubang	= 1 in
9. Diameter baut	= 7/8 in
10. <i>Bolt circle</i>	= 14 1/4
11. Dalam (B)	= 10,88

❖ *Tutup Hand Hole*

Dari Brownell dan Young, fig. 12.6, hlm 222, dipilih standar 150 lb *blind flange* (168).

1. Ukuran nominal pipa (NPS)	= 10 in
2. Diameter luar <i>flange</i> (A)	= 16 in
3. Tebal <i>flange</i> minimum (T)	= 1 3/16 in
4. Diameter luar pembesaran permukaan	= 12 3/4 in

5. Diameter lubang baut = 1 in
6. Jumlah lubang baut = 12 buah
7. Diameter baut = 7/8 in
8. *Bolt circle* = 14 ¼

Dari Brownell & Young tabel 12.2 hal. 221 diperoleh dimensi flange untuk semua *Nozzle*, dipilih flange standar type *welding neck* dengan dimensi *Nozzle* sebagai berikut :

<i>Nozzle</i>	NPS	A	T	R	E	K	L	B
A	1 ¼	4 ⅝	⅝	2 ½	2 5/16	1,66	2 ¼	1,38
B	¾	3 ⅞	½	1 11/16	1 ½	1,05	2 1/16	0,82
C	½	3 ½	7/16	1 ⅜	1 3/16	0,84	1 ⅞	0,62
D	3	7 ½	15/16	5	4 ¼	3,50	2 ¾	3,07
E	¾	3 ⅞	½	1 11/16	1 ½	1,05	2 1/16	0,82
F	1 ¼	4 ⅝	⅝	2 ½	2 5/16	1,66	2 ¼	1,38
G	10	16	1 3/16	12 ¾	12	10,75	4	10,02

Keterangan :

- *Nozzle A* = *Nozzle* untuk pemasukan feed
- *Nozzle B* = *Nozzle* untuk pemasukan larutan HNO<sub>3</sub>
- *Nozzle C* = *Nozzle* untuk pemasukan katalis V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- *Nozzle D* = *Nozzle* untuk pemasukan dan pengeluaran koil pemanas
- *Nozzle E* = *Nozzle* untuk pengeluaran gas
- *Nozzle F* = *Nozzle* untuk pengeluaran produk
- *Nozzle G* = *Nozzle* untuk Hand Hole
- NPS = Ukuran pipa nominal, in
- A = Diameter luar flange, in

- T = Ketebalan flange minimum, in
- R = Diameter luar pembesaran permukaan, in
- E = Diameter pusat dari dasar, in
- K = Diameter hubungan pada titik pengelasan, in
- L = Panjang julakan, in
- B = Diameter dalam flange, in

No.	Nozzle	NPS	Diameter Lubang	Diameter Baut	Sirkulasi Baut	Jumlah Baut
1.	Feed	1 ¼	5/8	½	3 ½	3
2.	HNO <sub>3</sub>	¾	5/8	½	2 5/4	3
3.	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	½	5/8	½	2 5/8	2
4.	Steam	3	¾	5/8	6	10
5.	Gas	¾	5/8	½	2 5/4	3
6.	Produk	1 ¼	5/8	½	3 ½	3
7.	Hand Hole	10	1	7/8	14 ¼	52

#### D. Perhitungan Coil Pemanas

##### Dasar perencanaan :

Kebutuhan steam dalam reaktor = 6376177,286252 kkal/jam

= 25286236,06540 Btu/jam

Suhu steam masuk = 160 °C = 320 °F

Suhu steam keluar = 160 °C = 320 °F

Tekanan operasi = 75 psig

Panas laten steam pada suhu 160 °C = 661,944 kkal/kg (Kern, tabel 7 hal. 816)

Menggunakan coil pemanas berbentuk spiral dengan bahan konstruksi *High Alloy Steel* SA 240 Grade M type 316 (Brownell & Young, tabel 13.1 hal. 251).

- B = Diameter dalam flange, in
- L = Panjang jacket, in
- K = Diameter lubang pada titik pengelasan, in
- H = Diameter pusat dari dasar, in
- R = Diameter luar pembesian permukaan, in
- T = Ketebalan flange minimum, in

No.	Waste	NPS	Diameter Lubang	Diameter Bant	Diameter Spiralasi Bant	Jumlah Bant
1.	Feed	1 N	2 1/8	N	3 N	3
2.	HNO <sub>3</sub>	N	2 1/8	N	2 2/4	3
3.	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1/2	2 1/8	N	2 2/8	3
4.	Steam	3	2 1/2	2 1/8	6	10
5.	Gas	N	2 1/8	N	2 2/4	3
6.	Produk	1 N	2 1/8	N	3 N	3
7.	Hand Hole	10	1	2 1/8	14 N	22

**D. Perhitungan Coil Pannas**

**Dasar perencanaan :**

Ketebalan steam dalam reaktor = 0376177286222 kkal/jam  
 = 22286222.00240 Btu/jam  
 Suhu steam masuk = 160 °C = 320 °F  
 Suhu steam keluar = 160 °C = 320 °F  
 Tekanan operasi = 72 psig  
 Panas laten steam pada suhu 160 °C = 661.94 kkal/kg (Kern, tabel 7 hal. 816)  
 Menggunakan coil pemanas berbentuk spiral dengan bahan konstruksi High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316 (Brownell & Young, tabel 13.1 hal. 221).

Menentukan  $\Delta T_{LMTD}$  :

- $t_1 = \text{suhu bahan masuk} = 25^\circ\text{C} = 77^\circ\text{F}$
- $t_2 = \text{suhu bahan keluar} = 71^\circ\text{C} = 159,8^\circ\text{F}$
- $T_1 = \text{suhu steam masuk} = 160^\circ\text{C} = 320^\circ\text{F}$
- $T_2 = \text{suhu steam keluar} = 160^\circ\text{C} = 320^\circ\text{F}$
- $\Delta t_1 = (320 - 77)^\circ\text{F} = 243^\circ\text{F}$
- $\Delta t_2 = (320 - 159,8)^\circ\text{F} = 160,2^\circ\text{F}$
- $\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(243 - 160,2)^\circ\text{F}}{\ln \frac{243^\circ\text{F}}{160,2^\circ\text{F}}} = 198,733478^\circ\text{F}$

Menentukan suhu kaloric :

- $T_c = \frac{1}{2}(T_1 + T_2) = \frac{1}{2}(320 + 320)^\circ\text{F} = 320^\circ\text{F}$
- $t_c = \frac{1}{2}(t_1 + t_2) = \frac{1}{2}(77 + 159,8)^\circ\text{F} = 118,4^\circ\text{F}$

Ukuran pipa yang digunakan 2 in IPS Sch. 40, dengan ukuran (Kern, tabel 11 hlm. 844) :

- $D_o = 2,380 \text{ in} = 0,198333 \text{ ft}$
- $D_i = 2,067 \text{ in} = 0,172250 \text{ ft}$
- $a'' = 0,622 \text{ ft}^2/\text{ft}$
- $ap = 3,350 \text{ in}^2 = 0,023264 \text{ ft}^2$

**Dasar perhitungan :**

- *Koefisien perpindahan panas bagian dalam pipa coil pemanas*

Diketahui :

$$h_{i0} \text{ steam} = 1500 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{F}$$

( $h_{i0}$  = koefisien perpindahan panas dari pipa luar yang dikoreksi terhadap diameter pipa dalam, Btu/h.ft<sup>2</sup>.F)

- *Koefisien perpindahan panas bagian permukaan shell reaktor.*

$$G_p = \frac{\text{Massa steam}}{a_p} = \frac{20851,870072 \text{ lb/jam}}{0,023264 \text{ ft}^2} = 896319,191163 \text{ lb/h.ft}^2$$

$$N_{Re} = \frac{D_i \times G_p}{\mu \times 2,42} = \frac{(0,172250 \text{ ft}) \times (896319,191163 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{jam})}{(0,024 \times 2,42) \text{ lb/ft.jam}}$$

$$= 2658246,912498 > 2100 \text{ (aliran turbulen)}$$

Dari Mc Cabe II hal. 47, diketahui alirannya adalah turbulen ( $N_{Re} > 2100$ ).

$$J_H \text{ (Kern, fig. 20.2 hal. 718)} = 2000$$

$$h_o = J_H \cdot \frac{k}{D_i} \cdot \left( \frac{C_p \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \cdot \left( \frac{\mu}{\mu \cdot W} \right)^{0,14}$$

Dimana :

$$- \left( \frac{\mu}{\mu \cdot W} \right)^{0,14} = 1$$

$$- C_p = \text{kapasitas panas campuran} = 0,886 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F}$$

$$- \mu = \text{viskositas campuran} = 0,024 \text{ cp}$$

$$- k \text{ (Kern, tabel 5 hal. 801)} = \text{konduktivitas thermal campuran} = 0,2$$

$$- D_i = 0,172250 \text{ ft}$$

Sehingga :

$$h_o = (2000) \times \left( \frac{0,2}{0,172250} \right) \times \left( \frac{(0,886) \times (0,024 \times 2,42)}{0,2} \right)^{1/3}$$

$$= 4318,744798 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

- *Tahanan panas pada pipa dalam keadaan bersih*

$$U_c = \frac{h_{i_o} \times h_o}{h_{i_o} + h_o} = \frac{(1500 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam.}^\circ\text{F}) \times (4318,744798 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam.}^\circ\text{F})}{(1500 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam.}^\circ\text{F}) + (4318,744798 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam.}^\circ\text{F})}$$

$$= 1113,318666 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$



- *Tahanan panas pada pipa dalam keadaan kotor*

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d}$$

$$0,003 = \frac{1113,318666 - U_d}{1113,138666 \times U_d}$$

$$3,339958 U_d = 1113,138666 - U_d$$

$$U_d = 475,786154 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

- *Luas permukaan perpindahan panas*

$$A = \frac{Q}{U_d \times \Delta T_{LMTD}} = \frac{25286236,06540 \text{ Btu/jam}}{(475,786154 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}) \times (198,733478 \text{ } ^\circ\text{F})}$$

$$= 67,433787 \text{ ft}^2$$

- *Panjang coil pemanas*

$$L = A/a'' = \frac{67,433787 \text{ ft}^2}{0,622 \text{ ft}^2/\text{ft}} = 108,414449 \text{ ft}$$

- *Jumlah lilitan coil pemanas*

$$n_c = \frac{L}{(\pi \times D_{\text{coil}})}$$



$$D \text{ pengaduk} < D \text{ coil} < D \text{ bejana} = 2,984375 \text{ ft} < D \text{ coil} < 5,968750 \text{ ft}$$

$$D \text{ coil} = 4,5 \text{ ft}$$

$$n_c = \frac{108,414449 \text{ ft}}{(\pi \times 4,5 \text{ ft})} = 7,665668 \approx 8 \text{ lilitan}$$

- *Tinggi coil pemanas*

$$L_c = [(n_c - 1)(n_c + D_o) + D_o]$$

$$= [(8 - 1) \times (8 + 0,198333 \text{ ft})] + (0,198333 \text{ ft})$$

$$= 6,253333 \text{ ft} = 75,04 \text{ in}$$

Karena  $L_c (= 6,253333 \text{ ft}) < L_{is} (= 6,844322 \text{ ft})$ , jadi perhitungan coil pemanas sudah memadai.

**12. Cooler (E-121)**

Fungsi : Untuk mendinginkan bahan dari suhu 120 °C menjadi 30 °C

Type : *Shell and tube*

**Dasar perancangan :**

Dari perhitungan neraca massa dan neraca panas diperoleh :

- Massa bahan masuk = 1815,084436 kg/jam = 4001,535148 lb/jam
- Kebutuhan air pendingin = 8907,256777 kg/jam = 19636,938290 lb/jam
- Panas yang dibutuhkan (Q) = 134624,278924 kkal/jam  
= 533884,354869 Btu/jam

Diasumsikan Rd gabungan minimal = 0,0035 h.ft<sup>2</sup>.°F/Btu.

**Dasar Perhitungan :**

Mencari  $\Delta T_{LMTD}$  :

- Arah aliran adalah *cocurrent*
- Suhu bahan masuk ( $T_1$ ) = 120 °C = 248 °F
- Suhu bahan keluar ( $T_2$ ) = 30 °C = 86 °F
- Suhu air pendingin masuk ( $t_1$ ) = 30 °C = 86 °F
- Suhu air pendingin keluar ( $t_2$ ) = 45 °C = 113 °F
- $\Delta t_1 = T_1 - t_1 = (248 - 86) \text{ °F} = 162 \text{ °F}$
- $\Delta t_2 = T_2 - t_2 = (113 - 86) \text{ °F} = 27 \text{ °F}$

$$\text{Maka : } \Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} = \frac{(162 - 27) \text{ °F}}{\ln \frac{162 \text{ °F}}{27 \text{ °F}}} = 75,344935 \text{ °F}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{(248 - 86) \text{ °F}}{(113 - 86) \text{ °F}} = 6$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{(113 - 86)^\circ\text{F}}{(248 - 86)^\circ\text{F}} = 0,167$$

Dari Kern, gb. 19 hal. 829, didapatkan :

$$- F_t = 1,0 \quad ; \quad - \text{type HE} = 1-2$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi : } \Delta t &= F_t \cdot \Delta T_{\text{LMTD}} = (1,0) \times (75,344935^\circ\text{F}) \\ &= 75,344935^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Menentukan suhu kaloric :

$$- T_c = \frac{1}{2}(T_1 + T_2) = \frac{1}{2}(248 + 86)^\circ\text{F} = 167^\circ\text{F}$$

$$- t_c = \frac{1}{2}(t_1 + t_2) = \frac{1}{2}(86 + 113)^\circ\text{F} = 99,5^\circ\text{F}$$

Trial  $U_D$  (dari Kern, tabel 8 hal. 840 pada kolom *cooler*), maka didapat untuk *hot fluid* adalah *light organics* dan *cold fluid* adalah *water* (air), maka :

$$U_D = 75 - 150 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{F}, \text{ sehingga trial } U_D = 150 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{F}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{Q}{U_D \times \Delta T_{\text{LMTD}}} = \frac{533884,354869 \text{ Btu/jam}}{(150 \text{ Btu/ft}^2.\text{jam}.\text{F}) \times (75,44935^\circ\text{F})} \\ &= 47,239128 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dari Kern, tabel 10 hal. 843 : } - D_o &= 1\frac{1}{4} \text{ in 16 BWG} \\ - a'' &= 0,3217 \end{aligned}$$

$$N_t = \frac{A}{a'' \times l} = \frac{47,239128 \text{ ft}^2}{(0,3217 \text{ ft}^2/\text{ft}) \times (12 \text{ ft})} = 12,03$$

Dari kern, tabel 9 hal. 841, pada 1¼ OD, square dengan  $P_T = 1$  didapatkan :

$$- N_T \text{ standar} = 16 \quad - n = 4$$

$$- \text{IDs} = 12$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga : } U_D \text{ koreksi} &= \frac{N_t}{N_t \text{ standar}} \times U_D \text{ trial} = \frac{12,3}{16} \times 150 \text{ Btu/ft}^2.\text{jam}.\text{F} \\ &= 112,826564 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{F} \end{aligned}$$

Kesimpulan sementara rancangan *shell & tube* :

❖ Type HE = 1-2

❖ Bagian shell :

- IDs = 12 in

- n' = 1

- (N + 1) =  $\frac{12 \times 1}{B} = \frac{12 \times 12}{12} = 12$  in (diambil B = 12)

❖ Bagian tube :

- 1¼ in OD 16 BWG

- n = 4

- di = 1,12 in

- l = 12 ft

- de = 1,23

- a'' = 0,3271 ft<sup>2</sup>/ft

- P<sub>T</sub> = 1 9/16 in

- a' = 0,985 in<sup>2</sup>

- N<sub>t</sub> = 16

- Susunan = □ (square)

- C' = P<sub>T</sub> - do = 1 9/16 in - 1 ¼ in = 0,3125 in

### Evaluasi Perpindahan panas (Rd)

Bagian shell	Bagian tube (air)
1. $a_s = \frac{IDs \times C' \times B}{n' \times P_T \times 144}$ $= \frac{12 \times 0,3125 \times 12}{1 \times 1\frac{9}{16} \times 144}$ $= 0,20 \text{ ft}^2$	1'. $a_t = \frac{N_t \times a'}{144 \times n}$ $= \frac{16 \times 0,985}{144 \times 4}$ $= 0,027361 \text{ ft}^2$
2. $G_s = \frac{M}{a_s} = \frac{533884,354869}{0,20}$ $= 20007,675740 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{jam}$	2'. $G_t = \frac{m}{a_t} = \frac{19636,938290}{0,027361}$ $= 717695,206538$

<p>3. <math>N_{Res} = \frac{de \times G_s}{\mu \times 24,2}</math></p> $= \frac{1,23 \times 20007,675740}{0,488 \times 24,2}$ $= 1736,542104$ <p>4. <math>J_H = 300</math> (Kern, gb. 28 hal. 838)</p> <p>5. <math>h_o = J_H \cdot \frac{k}{de} \cdot \left(\frac{C_p \cdot \mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}</math></p> <p>dimana <math>\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} = 1</math></p> <p><math>k = 0,0886</math> ; <math>C_p = 0,87</math></p> <p>Jadi <math>h_o =</math></p> $= 300 \times \left(\frac{0,0886}{(1,23/12)}\right) \times \left(\frac{0,87(0,488 \times 2,42)}{0,0886}\right)^{\frac{1}{3}}$ $= 586,954835 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}$	<p>3'. <math>N_{Ret} = \frac{di \times G_t}{\mu \times 24,2}</math></p> $= \frac{1,12 \times 717695,206538}{0,9 \times 24,2}$ $= 30755,227706$ <p>4'. <math>J_H = -</math> (karena sistemnya air, maka <math>J_H</math> tidak dicari)</p> <p>5'. <math>V = \frac{G_t}{3600 \times \rho \text{ air}}</math></p> $= \frac{717695,206538}{3600 \times 62,5}$ $= 3,189756$ <p><math>h_i = 910 \text{ Btu/jam} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}</math></p> <p><math>h_{oi} = h_i \times \frac{di}{do}</math></p> <p><math>h_{io} = (910) \times \frac{1,12}{1,25}</math></p> $= 815,36 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}$
--	---

$$U_C = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{(815,36 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}) \times (586,954835 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F})}{(815,36 + 586,954835) \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$= 341,278208 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$R_d = \frac{U_C - U_{D \text{ kareksi}}}{U_C \times U_{D \text{ kareksi}}}$$

$$= \frac{(341,278208 - 112,826564) \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}{(341,278208 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}) \times (112,826564 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F})}$$

$$= 0,005933 \text{ h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu}$$

Karena  $R_d$  hitung  $>$   $R_d$  ketentuan, berarti perhitungan *cooler* sudah memadai.

### 13. Rotary Vacuum Filter (H-122)

Fungsi : Untuk memisahkan protein, serat kasar dan lemak dari hasil hidrolisa yang menuju reaktor.

Type : *Horisontal Rotary Drum*

#### Dasar Perancangan :

$$\text{Kapasitas} = 2178,101323 \text{ kg/jam} = 0,605028 \text{ kg/detik}$$

$$\rho \text{ campuran} = 1058,973107 \text{ kg/m}^3 = 6,111973 \text{ lb/ft}^3$$

Konstanta padatan dalam larutan :

$$- C_x = \frac{34,254626 \text{ kg}}{2178,101323 \text{ kg/jam}} = 0,015727 \text{ kg solid/kg bahan}$$

$$- m = \frac{\text{kg cake basah}}{\text{kg cake kering}} = \frac{34,254656 \text{ kg}}{37,524080 \text{ kg}} = 0,912870$$

$$- C_s = \frac{\rho \times C_x}{1 - (m \times C_x)} = \frac{1058,973107 \text{ kg/m}^3 \times 0,015727 \text{ kgsolid/kgbahan}}{1 - (0,912870 \times 0,015727 \text{ kgsolid/kgbahan})}$$

$$= 6,896869 \text{ kg solid/m}^3 \text{ filtrat}$$

Sehingga didapatkan :

$$- (-\Delta P) = 67 \cdot 10^3 \text{ Pa} \quad - F = 0,333$$

$$- v/t_c = \text{laju bahan} \times (C_x) \times (C_s) \quad - \alpha = 3,25 \cdot 10^{10} \text{ m/kg}$$

$$v/t_c = 0,605028 \text{ kg/dt} \times 0,015727 \text{ kg solid/kg bahan} \times 16,896869 \text{ kg solid/m}^3 \text{ filtrat}$$

$$= 0,000563 \text{ m}^3 \text{ filtrat/dt}$$

Dari Geankoplis pers. 13.2-24, didapatkan :

$$\text{Flow rate} = \frac{V}{A \times t_c} = \left[ \frac{2f \times (-\Delta P)}{t_c \times \mu \times \alpha \times C_s} \right]^{1/2}$$

$$\frac{0,000563}{A} = \left[ \frac{(2 \cdot 0,333) \times (67 \cdot 10^3)}{(250) \times (0,0243) \times (3,25 \cdot 10^{10}) \times (16,896869)} \right]^{1/2} = 1,15653 \cdot 10^{-4}$$

$$A = 0,205423 \text{ m}^2$$

Dari Ulrich tabel 4-23, hlm 223, didapatkan :  $L/D = 2$

$$A = \pi \times D \times L = \pi \times D \times 2D$$

$$0,205423 \text{ m}^2 = \pi \times D \times 2D$$

$$D^2 = 0,032681 \text{ m}^2$$

$$D = 0,180779 \text{ m}$$

$$\text{Daya} = A^{0,75} = (0,205423)^{0,75} = 0,305131 \text{ kW}$$

$$= 0,409188 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

#### 14. Tangki Penampung Cake (F-123)

Fungsi : Untuk menampung cake dari *rotary vacuum filter* selama 1 minggu.

Type : Bak terbuka

Kapasitas : 37,524080 kg/jam = 82,725587 lb/jam

$\rho$  cake : 88,188914 lb/ft<sup>3</sup>

T udara : 30 °C

Tekanan : 1 atm

#### Dasar Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak penampung} &= \frac{\text{massa cake}}{\rho \text{ cake}} \\ &= \frac{82,725587 \text{ lb/jam}}{88,188914 \text{ lb/ft}^3} \times 24 \text{ jam/hari} \times 7 \text{ hari} \\ &= 157,592355 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Diasumsikan volume cake yang mengisi bak penampung sebanyak 80%, maka :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak penampung} &= (100/80) \times 157,592355 \text{ ft}^3 \\ &= 196,990443 \text{ ft}^3 = 5,578411 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume = luas alas x tinggi = panjang x lebar tinggi

Direncanakan :

- lebar =  $0,75 \times \text{panjang}$
- tinggi =  $0,5 \times \text{panjang}$

Maka :

$$\text{Volume} = \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi}$$

$$5,578411 \text{ m}^3 = p \times 0,75p \times 0,5p$$

$$5,578411 \text{ m}^3 = 0,375 p^3$$

$$p^3 = 14,875764 \text{ m}^3$$

$$p = 2,459384 \text{ m}$$

Jadi : - panjang =  $2,459384 \text{ m}$

- lebar =  $0,75 \times (2,459384 \text{ m}) = 1,844538 \text{ m}$

- tinggi =  $0,5 \times (2,459384 \text{ m}) = 1,229692 \text{ m}$

#### **Spesifikasi Bak Penampung :**

Fungsi : Untuk menampung cake dari *rotary vacuum filter* selama 1 minggu

Type : Bak terbuka

Panjang :  $2,459384 \text{ m}$

Lebar :  $1,844538 \text{ m}$

Tinggi :  $1,229692 \text{ m}$

Bahan konstruksi : Beton

Jumlah : 1 buah

#### **15. Tangki Penampung Filtrat (F-124)**

Fungsi : Untuk menampung filtrat yang keluar dari *rotary vacuum filter*



Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standard dished head* dan tutup bawah berbentuk conis, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

**Dasar Perancangan :**

Kapasitas = 2140,577243 kg/jam = 4719,116590 lb/jam

$\rho$  bahan = 1,059046 g/cm<sup>3</sup> = 66,116541 lb/ft<sup>3</sup>

Kondisi operasi : P = 1 atm ; T = 30 °C

Direncanakan :

Bahan konstruksi : *High Alloy Steel (H.A.S) SA 240 grade M type 316*

Type pengelasan : *Double welded butt joint*

Sehingga didapatkan :

- E (Brownell & Young, hlm 254) = 0,8
- f (Brownell & Young, hlm 342) = 18750 psi
- C (faktor koreksi) = 1/16

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{massa filtrat}}{\rho \text{ filtrat}} = \frac{4719,116590 \text{ lb/jam}}{66,116541 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 71,375733 \text{ ft}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Diasumsikan volume bahan = 75 % volume tangki, sehingga :

$$\text{Volume tangki} = (100/75) \times 71,375733 \text{ ft}^3/\text{jam} = 95,167644 \text{ ft}^3$$

**Menentukan dimensi tangki :**

$$\text{Vol. Total} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder} + V \text{ tutup atas}$$

$$\text{Vol. total} = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 Di^3$$

$$95,167644 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg } (60)} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 Di^3, \text{ dimana } L_s = 1,5 Di$$

$$= \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \operatorname{tg} 1/2\alpha} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot 1,5Di + 0,0847 Di^3$$

$$Di^3 = 71,080209 \text{ ft}^3$$

$$Di = 4,142376 \text{ ft} = 49,708517 \text{ in}$$

**Menentukan tinggi liquida ( $L_{ls}$ ) :**

$$\text{Volume liquid} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder}$$

$$\begin{aligned} 71,375733 \text{ ft}^3 &= \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \operatorname{tg} 1/2\alpha} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_{ls} \\ &= \frac{\pi \cdot (4,142376)^3}{24 \cdot \operatorname{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot (4,142376)^2}{4} \cdot L_{ls} \end{aligned}$$

$$L_{ls} = 4,895435 \text{ ft} = 38,745215 \text{ in}$$

**Menentukan tekanan design ( $P_{design}$ ) :**

$$\begin{aligned} P_{design} &= 14,7 + \left[ \rho \cdot \frac{g}{g_c} \cdot h \right] = \left( \frac{92,236931 \times 4,895435}{144} \right) \\ &= 16,947703 \text{ psig} \end{aligned}$$

**Menentukan tebal silinder ( $t_s$ ) :**

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{P_i \cdot Di}{2(f \cdot E - 0,6P_i)} + C = \frac{(16,947703) \cdot (4,895435 \times 12)}{2[(18750) \cdot (0,8) - (0,6) \cdot (16,947703)]} + (1/16) \\ &= 0,090601 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,45/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Standarisasi } Di : \quad Do &= Di + 2 t_s = (4,895435 \times 12) \text{ in} + (3/16) \text{ in} \\ &= 50,083517 \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi  $Do = 54 \text{ in}$  (Brownell & Young, tabel 5-7, hlm 91) :

$$Di = Do - 2 t_s = 54 \text{ in} - 2 (3/16) \text{ in} = 53,625 \text{ in}$$

**Menentukan tinggi silinder ( $L_s$ ) :**

$$L_s = 1,5 Di = 1,5 (53,625) \text{ in} = 80,4375 \text{ in} = 6,703125 \text{ ft}$$

**Menentukan dimensi tutup atas :**

Tutup atas berbentuk *standard dishead* dengan :

- $r$  (Brownell & Young tabel 5.7 hlm. 89) = 54 in
- $icr$  (Brownell & Young tabel 5.6 hlm 88) = 9/16 in
- $sf$  (Brownell & Young tabel 5.6 hlm 88) = 1,5

Tebal tutup atas ( $tha$ ) dari Brownell & Young, hlm 258 :

$$\begin{aligned} tha &= \frac{0,885 \times P_i \cdot Di}{f \cdot E - 0,1 \cdot P_i} + C = \frac{0,885 \times (16,947703) \cdot (53,625)}{(18750) \cdot (0,8) - 0,1 \cdot (16,947703)} + (1/16) \\ &= 0,116126 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,86/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

$$a = Di/2 = (53,625/2) \text{ in} = 26,8125 \text{ in}$$

$$AB = a - icr = (26,8125 - [9/16]) \text{ in} = 26,25 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (54 - [9/16]) \text{ in} = 53,4375 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} = \sqrt{(53,4375)^2 - (26,25)^2} = 46,545718 \text{ in}$$

$$b = r - AC = (54 - 46,545718) \text{ in} = 7,454282 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tutup atas (ha)} &= tha + b + sf = (3/16)\text{in} + 7,454282 \text{ in} + 1,5 \text{ in} \\ &= 9,141782 \text{ in} \end{aligned}$$

**Menentukan dimensi tutup bawah :**

Tebal tutup bawah ( $thb$ ) :

$$\begin{aligned} thb &= \frac{P_i \cdot de}{2 (f \cdot E - 0,6 P_i) \cos \alpha} + C, \text{ dimana } de = Di \\ &= \frac{(16,947703) \cdot (53,625)}{2 [(18750) \cdot (0,8) - (0,6)(16,947703)] \cos 60} + (1/16) \\ &= 0,123129 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 2/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi tutup bawah (hb)} = \frac{1/2 \cdot D_i}{\text{tg } 1/2 \alpha} = \frac{1/2 \cdot (53,625)}{\text{tg } 1/2 (120)} = 15,480204 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= \text{hb} + L_s + \text{ha} = 15,480204 \text{ in} + 80,4375 \text{ in} + 9,141782 \text{ in} \\ &= 105,059486 \text{ in} \end{aligned}$$

**Spesifikasi peralatan :**

Nama alat : Tangki Penampung Filtrat

Fungsi : Untuk menampung filtrat yang keluar dari *rotary vacuum filter*.

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk standar dishead dan tutup bawah berbentuk conical, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

Kapasitas : 2140,577243 kg/jam

Jumlah : 1 buah

**Dimensi tangki :**

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Jumlah = 1 buah
- Di (diameter dalam) = 53,625 in
- Do (diameter luar) = 54 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 80,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 9,141782 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 15,480204 in
- Tinggi tangki = 105,059486 in

**16. Pompa Centrifugal (L-125)**

Fungsi : Untuk mengalirkan larutan dari tangki penampung filtrat ke reaktor.

Type : *Centrifugal pump*

Jumlah : 1 buah

Bahan : *Commercial steel*

**Dasar Perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 2140,577243 \text{ kg/jam} = 4719,116590 \text{ lb/jam} \\ &= 1,310866 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas campuran} = 1059,046278 \text{ kg/m}^3 = 66,116541 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas campuran} = 1,92 \text{ cp} = 0,001290 \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}$$

$$\text{Rate volumetrik (} Q_f \text{)} = \frac{1,310866 \text{ lb/dt}}{66,116541 \text{ lb/ft}^3} = 0,019827 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892 diperoleh :

$$\begin{aligned} ID_{\text{opt}} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} = 3,9 (0,019827)^{(0,45)} \times (66,116541)^{0,13} \\ &= 1,152037 \text{ in} = 0,096003 \text{ ft} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 1 ¼ in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} - \text{OD} &= 1,660 \text{ in} & - \text{ID} &= 1,380 \text{ in} \\ - \text{A} &= 0,0104 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (} V \text{)} &= \frac{\text{rate volumetrik}(Q_f)}{\text{luasarea}(A)} = \frac{0,019827 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,0104 \text{ ft}^2} \\ &= 1,906403 \text{ ft/dt} \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$\begin{aligned} N_{\text{Re}} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(1,380/12) \text{ ft} \times (1,906403) \text{ ft/dt} \times (66,116541) \text{ lb/ft}^3}{0,001290 \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}} \\ &= 84,669276 < 2100 \end{aligned}$$

Karena  $N_{Re} < 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah laminair (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Commercial steel*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 89 diperoleh  $\epsilon = (4,6 \times 10^{-5})$  m, sehingga :

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{(4,6 \cdot 10^{-5})\text{m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(1,380/12)\text{ft}} = 0,001312$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,017

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 40 ft

- Elbow, 90° = 4 buah

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 4 \times 0,75 = 3$$

- Gate valve = 1 buah (half open)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 1 \times 4,5 = 4,5$$

Dari pers. 2.10.16 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,0104} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,0104}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned} \Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,017) \times \frac{40}{(1,380/12)} + 1 + 0,55 + 3 + 4,5 \right] \frac{(1,906403)^2}{2} \\ &= 59,425947 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m \end{aligned}$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} - \Delta z &= 18 \text{ ft} & - \Delta v &= 1,906403 \text{ ft/dt} \\ - \Delta P &= 0 & - \alpha &= 2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} -W_s &= \left[ \frac{(1,906403)^2}{(2) \cdot (2) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(18) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{66,116541} \right] + 59,425947 \\ &= 64,932425 \end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(64,932425) \times (0,019827) \times (66,116541)}{550} \\ &= 0,154759 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{Rate volumetrik} = 0,019827 \text{ ft}^3/\text{dt} = 8,899364 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 78 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{0,154759 \text{ Hp}}{0,78} = 0,198410 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 80 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,198410}{0,80} = 0,248012 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi alat :**

Fungsi	: Mengalirkan larutan dari bin filtrat ke reaktor.
Type	: <i>Centrifugal pump</i>
Ukuran	: pipa 1 ¼ in Sch. 40
Kapasitas	: 4719,116590 lb/jam
Daya	: 0,5 Hp
Bahan konstruksi	: <i>Commercial steel</i>
Jumlah	: 1 buah

**17. Pompa Centrifugal (L-126)**

Fungsi	: Untuk mengalirkan larutan HNO <sub>3</sub> dari storage ke reaktor.
Type	: <i>Centrifugal pump</i>
Jumlah	: 1 buah
Bahan	: <i>Commercial steel</i>

**Dasar Perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 1174,399737 \text{ kg/jam} = 2589,081661 \text{ lb/jam} \\ &= 0,719189 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas HNO}_3 \text{ (Perry, 6}^{\text{th}}, \text{ hlm 3-17)} = 1,502 \text{ g/cm}^3 = 93,77026024 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ HNO}_3 = 1,01 \text{ cp} = 0,00067869 \text{ lb/ft.dt}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik } (Q_v) &= \frac{\text{massa HNO}_3}{\rho \text{ HNO}_3} = \frac{0,0,719189 \text{ lb/dt}}{93,77026024 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 0,007670 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892 diperoleh :



$$\begin{aligned}
 ID_{opt} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} = 3,9 (0,007670)^{(0,45)} \times (93,77026024)^{0,13} \\
 &= 0,786291 \text{ in} \\
 &= 0,065524 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Standarisasi ID = ¾ in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892), sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}
 - \text{ OD} &= 1,050 \text{ in} & - \text{ ID} &= 0,824 \text{ in} \\
 - \text{ A} &= 0,00371 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{\text{rate volumetrik}(Q_f)}{\text{luas area (A)}} = \frac{0,0065524 \text{ ft/dt}}{0,00371 \text{ ft}^2} \\
 &= 2,067303 \text{ ft/dt}
 \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,824/12) \text{ ft} \cdot (2,067303) \text{ ft/dt} \cdot (93,77026024) \text{ lb/ft}^3}{0,00067869 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}} \\
 &= 19613,000775 > 2100
 \end{aligned}$$

Karena  $N_{Re} > 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah turbulen (Mc. Cabe II, hlm 47)

Ditentukan bahan pipa adalah *Commercial steel*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 89

diperoleh  $\epsilon = (4,6 \times 10^{-5}) \text{ m}$ , sehingga :

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{(4,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(0,824/12) \text{ ft}} = 0,00298$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,0083

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 50 ft

- Elbow, 90° = 2 buah

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 2 \times 0,75 = 1,5$$

- Gate valve = 1 buah (half open)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 1 \times 4,5 = 4,5$$

Dari pers. 2.10.16 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,00371} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,00371}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned} \Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,0083) \times \frac{50}{(0,824/12)} + 1 + 0,55 + 1,5 + 4,5 \right] \frac{(2,067303)^2}{2} \\ &= 67,791735 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m \end{aligned}$$

### Menentukan tenaga penggerak pompa :

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} - \Delta z &= 18 \text{ ft} & - \Delta v &= 1,860573 \text{ ft/dt} \\ - \Delta P &= 0 & - \alpha &= 1 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} -W_s &= \left[ \frac{(2,067303)^2}{(2) \cdot (1) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(18) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{93,77026024} \right] + 67,791735 \\ &= 73,336358 \end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(73,336358) \times (0,007670) \times (93,77026024)}{550} \\ &= 0,095896 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = 0,007670 \text{ ft}^3/\text{dt} = 3,442620 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 80 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{0,095896 \text{ Hp}}{0,80} = 0,122943 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 80 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,091196}{0,80} = 0,153679 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi alat :**

Fungsi	: Mengalirkan larutan HNO <sub>3</sub> 90 % ke reaktor.
Type	: <i>Centrifugal pump</i>
Ukuran	: Pipa ¾ in Sch. 40
Kapasitas	: 2589,081661 lb/jam
Daya	: 0,5 Hp
Bahan konstruksi	: <i>Commercial steel</i>
Jumlah	: 1 buah

#### 18. Storage V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (F-127)

Fungsi	: Untuk menampung katalis V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> selama 1 bulan
Type	: Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk <i>standard dished head</i> dan tutup bawah berbentuk conis, dengan $\alpha = 120^\circ$ .

**Dasar Perancangan :**

$$\text{Kapasitas} = 4,593218 \text{ kg/jam} = 10,126209 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ bahan} = 3,357 \text{ g/cm}^3 = 209,578405 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Kondisi operasi} : P = 1 \text{ atm} ; T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Direncanakan :

Bahan konstruksi : *High Alloy Steel (H.A.S) SA 240 grade M type 316*

Type pengelasan : *Double welded butt joint*

Sehingga didapatkan :

- E (Brownell & Young, hlm 254) = 0,8
- f (Brownell & Young, hlm 342) = 18750 psi
- C (faktor koreksi) = 1/16

$$\begin{aligned} \text{Volume katalis} &= \frac{\text{massa } V_2O_5}{\rho V_2O_5} = \frac{10,1256209 \text{ lb/jam}}{209,578405 \text{ lb/ft}^3} \times 24 \text{ jam/hari} \times 30 \text{ hari} \\ &= 34,788272 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Diasumsikan volume bahan = 75 % volume tangki, sehingga :

$$\text{Volume tangki} = (100/75) \times 34,788272 \text{ ft}^3 = 46,384362 \text{ ft}^3$$

**Menentukan dimensi tangki :**

$$\text{Vol. Total} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder} + V \text{ tutup atas}$$

$$\text{Vol. total} = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 Di^3$$

$$46,384362 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 Di^3, \text{ dimana } L_s = 1,5 Di$$

$$46,384362 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot 1,5 Di + 0,0847 Di^3$$

$$D_i^3 = 34,644234 \text{ ft}^3$$

$$D_i = 3,259945 \text{ ft} = 39,119244 \text{ in}$$

**Menentukan tinggi katalis dalam silinder ( $L_{ts}$ ) :**

$$\text{Volume katalis} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder}$$

$$34,788272 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L_{ts}$$

$$34,788272 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot (3,259945)^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot (3,259945)^2}{4} \cdot L_{ts}$$

$$L_{ts} = 3,852583 \text{ ft} = 46,230996 \text{ in}$$

**Menentukan tekanan design ( $P_{\text{design}}$ ) :**

$$\begin{aligned} P_{\text{design}} &= 14,7 + \left[ \rho \cdot \frac{g}{g_c} \cdot h \right] = 14,7 + \left( \frac{209,578405 \times 3,852583}{144} \right) \\ &= 20,307071 \text{ psig} \end{aligned}$$

**Menentukan tebal silinder ( $t_s$ ) :**

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{P_i \cdot D_i}{2(f \cdot E - 0,6P_i)} + C = \frac{(20,307071) \cdot (3,259945 \times 12)}{2[(18750) \cdot (0,8) - (0,6) \cdot (20,307071)]} + (1/16) \\ &= 0,089002 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,42/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Standarisasi } D_i : \quad D_o &= D_i + 2 t_s = (3,259945 \times 12) \text{ in} + (3/16) \text{ in} \\ &= 39,494344 \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi  $D_o = 40 \text{ in}$  (Brownell & Young, tabel 5-7, hlm 91) :

$$D_i = D_o - 2 t_s = 40 \text{ in} - 2 (3/16) \text{ in} = 39,625 \text{ in}$$

**Menentukan tinggi silinder ( $L_s$ ) :**

$$\begin{aligned} L_s &= 1,5 D_i = 1,5 (39,625) \text{ in} = 59,4375 \text{ in} \\ &= 4,953125 \text{ ft} \end{aligned}$$

**Menentukan dimensi tutup atas :**

Tutup atas berbentuk *standard dishead*, sehingga :

- $r$  (Brownell & Young tabel 5.7 hlm. 89) = 40 in
- $icr$  (Brownell & Young tabel 5.6 hlm 88) = 9/16 in
- $sf$  (Brownell & Young tabel 5.6 hlm 88) = 1,5

Tebal tutup atas ( $tha$ ) dari Brownell & Young, hlm 258 :

$$\begin{aligned} tha &= \frac{0,885 \times P_i \cdot Di}{f \cdot E - 0,1 \cdot P_i} + C = \frac{0,885 \times (20,307071) \cdot (39,625)}{(18750) \cdot (0,8) - 0,1 \cdot (20,307071)} + (1/16) \\ &= 0,109982 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,76/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

$$a = Di/2 = (39,625/2)\text{in} = 19,8125 \text{ in}$$

$$AB = a - icr = (19,8125 - [9/16])\text{in} = 19,25 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (40 - [9/16])\text{in} = 39,4375 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} = \sqrt{(39,4375)^2 - (19,25)^2} = 34,420254 \text{ in}$$

$$b = r - AC = (40 - 24,420254)\text{in} = 5,579746 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tutup atas (ha)} &= tha + b + sf = (3/16)\text{in} + 5,579746 \text{ in} + 1,5 \text{ in} \\ &= 7,267246 \text{ in} \end{aligned}$$

**Menentukan dimensi tutup bawah :**

Tebal tutup bawah ( $thb$ ) :

$$\begin{aligned} thb &= \frac{P_i \cdot de}{2 (f \cdot E - 0,6 P_i) \cos \alpha} + C, \text{ dimana } de = Di \\ &= \frac{(20,307071) \cdot (39,625)}{2 [(18750) \cdot (0,8) - (0,6)(20,307071)] \cos 60} + (1/16) \\ &= 0,116188 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,85/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi tutup bawah (hb)} = \frac{1/2 \cdot D_i}{\text{tg } 1/2 \alpha} = \frac{1/2 \cdot (53,625)}{\text{tg } 1/2 (120)} = 11,438752 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= \text{hb} + L_s + \text{ha} \\ &= 11,438752 \text{ in} + 59,4375 \text{ in} + 7,267246 \text{ in} \\ &= 78,143498 \text{ in} \end{aligned}$$

**Spesifikasi peralatan :**

Nama alat : Storage Katalis  $V_2O_5$

Fungsi : Untuk menampung katalis  $V_2O_5$  selama 1 bulan

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah berbentuk conical, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

Kapasitas : 9,186437 kg/jam

**Dimensi tangki :**

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Jumlah = 1 buah
- Di (diameter dalam) = 39,625 in
- Do (diameter luar) = 40 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 59,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 7,267246 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 11,438752 in
- Tinggi tangki = 78,143498 in

**19. Blower (G-128)**

Fungsi : Untuk menghembuskan gas dari reaktor menuju oksidator.

Type : *Centrifugal blower*

Jumlah : 1 buah

Rate bahan masuk = 440,568177 kg/jam = 971,276603 lb/jam

Densitas udara (Geankoplis, App. A.3-3, hal.866) = 0,081 lb/ft<sup>3</sup>

**Dasar Perhitungan :**

Menghitung kecepatan volumetrik udara :

$$Q = \frac{\text{massa udara}}{\rho \text{ udara}} = \frac{971,276603 \text{ lb/jam}}{0,081 \text{ lb/ft}^3} = 11991,069167 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 3,330853 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

Menghitung daya blower : 
$$Hp = \frac{Q \times \Delta P}{550}$$

Dimana :

- Q = laju volumetrik udara, ft<sup>3</sup>/detik
- ΔP = beda tekan pada blower, yaitu =  $(0,4 \text{ lb/m}^2) \times \left( \frac{1 \text{ m}^2}{1/144 \text{ ft}^2} \right)$   
= 57,6 lb/ft<sup>2</sup>

Sehingga :

$$Hp = \frac{(3,330853 \text{ ft}^3/\text{dt}) \times (57,6 \text{ lb/ft}^2)}{550} = 0,348831 \text{ Hp}$$

Diketahui efisiensi (η) blower = 75 %, maka :

$$\text{Daya blower (Hp)} = \frac{0,348831 \text{ Hp}}{0,75} = 0,465108 \text{ Hp}$$

Sedangkan efisiensi (η) motor = 80 %, maka :

$$\text{Daya motor} = \frac{0,465108 \text{ Hp}}{0,8} = 0,581385 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp}$$



**20. Filter Udara (H-129)**

Fungsi : Untuk menyaring debu yang terdapat dalam udara yang akan digunakan sebagai pengering dalam rotary dryer dan yang akan menuju ke oksidator.

Suhu : 30 °C

$\rho$  udara : 0,072895 lb/ft<sup>3</sup>

P udara : 1 atm

**Dasar Perhitungan :**

Rate udara masuk = 2030,910318 kg/jam = 4477,344887 lb/jam

Densitas udara = 0,072895 lb/ft<sup>3</sup>

$$\begin{aligned} \text{Laju volumetrik} &= \frac{\text{massa udara masuk}}{\rho \text{ udara}} = \frac{4477,344887 \text{ lb/jam}}{0,072895 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 61422,177871 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 1023,702965 \text{ ft}^3/\text{menit} \end{aligned}$$

Dari Perry, edisi 6 tabel 20-39 hal. 20-109, diketahui kadar debu dalam udara adalah 1g/1000ft<sup>3</sup>, sehingga kadar debu dalam udara :

$$\text{Berat debu} = \left( \frac{1 \text{ gram}}{1000 \text{ ft}^3} \right) \times 1023,702965 \text{ ft}^3/\text{menit} = 1,023703 \text{ gram/menit}$$

Dari tabel 20.40 hal. 20-109 Perry edisi 6 didapat ukuran dry filter = 24 x 24 in :

$$N = \frac{1023,702965 \text{ ft}^3/\text{menit}}{1000 \text{ ft}^3/\text{menit}} = 1,023703 \approx 2 \text{ buah}$$

Jadi jumlah filter udara yang dibutuhkan adalah 2 buah dengan :

- Medium filter : selulosa (Perry, hal. 20-108)
- Pembersih : 2

**21. Evaporator (V-130)**

Lihat perancangan Alat Utama.

**22. Blower (G-131)**

Fungsi : Untuk menghembuskan gas dari filter udara menuju *heater*.

Type : *Centrifugal blower*

Jumlah : 1 buah

Rate bahan masuk = 2030,910318 kg/jam

= 4477,344887 lb/jam

Densitas udara (Geankoplis, App. A.3-3, hal.866) = 0,072895 lb/ft<sup>3</sup>

**Dasar Perhitungan :**

Menghitung kecepatan volumetrik udara :

$$Q = \frac{\text{massa udara}}{\rho \text{ udara}} = \frac{4477,344887 \text{ lb/jam}}{0,072895 \text{ lb/ft}^3} = 61422,177871 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 17,061716 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

Menghitung daya blower :

$$H_p = \frac{Q \times \Delta P}{550}$$

Dimana :

- Q = laju volumetrik udara, ft<sup>3</sup>/detik

- ΔP = beda tekan pada blower, yaitu = (0,4 lb/m<sup>2</sup>) ×  $\left(\frac{1 \text{ m}^2}{1/144 \text{ ft}^2}\right)$

$$= 57,6 \text{ lb/ft}^2$$

Sehingga :

$$H_p = \frac{(17,061716 \text{ ft}^3/\text{dt}) \times (57,6 \text{ lb/ft}^2)}{550} = 1,786827 \text{ Hp}$$

Diketahui efisiensi ( $\eta$ ) blower = 75%, maka :

$$\text{Daya blower (Hp)} = \frac{1,786827 \text{ Hp}}{0,75} = 2,382436 \text{ Hp}$$

Sedangkan efisiensi ( $\eta$ ) motor = 80 %, maka :

$$\text{Daya motor} = \frac{2,382436 \text{ Hp}}{0,8} = 2,978045 \text{ Hp} \approx 3 \text{ Hp}$$

### 23. Pemanas Udara (E-132)

Fungsi : Untuk memanaskan udara dari 30 °C menjadi 71 °C.

Type : DPHE

#### Dasar perencanaan :

$$\text{Suhu udara masuk (T)} = 30 \text{ °C} = 86 \text{ °F}$$

$$\text{Suhu udara keluar (T)} = 71 \text{ °C} = 159,8 \text{ °F}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate udara masuk} &= 1075,689 \text{ kg/hari} = 44,820376 \text{ kg/jam} \\ &= 98,811 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Proses pemanasan secara isothermal, sebagai media pemanas adalah steam jenuh

(*saturated steam*) dengan suhu 160 °C (= 320 °F) dan tekanan 618,06 kPa

$$\begin{aligned} \text{Massa steam jenuh} &= 4,135713 \text{ kg/jam} = 9,117593 \text{ lb/jam} \\ &= 99,257112 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

*Type heater* : *Double Pipe Heat Exchanger* dengan rate massa udara 98,811 lb/jam

#### Dasar Perhitungan :

$$\text{Neraca panas dan massa : } Q = m \cdot C_p \cdot \Delta t$$

$$\text{Diketahui : } C_p \text{ udara} = 0,2450 \text{ Btu/lb.°F}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } Q &= (98,811 \text{ lb/h}) \times (0,2450 \text{ Btu/lb.°F}) \times (159,8 - 86) \text{ °F} \\ &= 1786,601691 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diketahui } \lambda \text{ steam pada } 160 \text{ }^\circ\text{C (320 }^\circ\text{F)} &= 661,994 \text{ kkal/kg} \\ &= 1190,825304 \text{ Btu/lb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka :} \quad Q &= m \cdot \lambda \\ 1786,601691 \text{ Btu/jam} &= m \times (1190,825304 \text{ Btu/lb}) \\ m &= 1,500305 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Menghitung  $\Delta T_{LMTD}$  :

Diketahui arah aliran adalah *counter current*

- Suhu steam masuk ( $T_1$ ) =  $160 \text{ }^\circ\text{C} = 320 \text{ }^\circ\text{F}$
- Suhu steam keluar ( $T_2$ ) =  $160 \text{ }^\circ\text{C} = 320 \text{ }^\circ\text{F}$
- Suhu bahan masuk ( $t_1$ ) =  $30 \text{ }^\circ\text{C} = 86 \text{ }^\circ\text{F}$
- Suhu bahan keluar ( $t_2$ ) =  $71 \text{ }^\circ\text{C} = 159,8 \text{ }^\circ\text{F}$
- $\Delta t_1 = T_2 - t_1 = (320 - 86) \text{ }^\circ\text{F} = 234 \text{ }^\circ\text{F}$
- $\Delta t_2 = T_1 - t_2 = (320 - 159,8) \text{ }^\circ\text{F} = 160,2 \text{ }^\circ\text{F}$

Maka :

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(234 - 160,2) \text{ }^\circ\text{F}}{\ln \frac{234 \text{ }^\circ\text{F}}{160,2 \text{ }^\circ\text{F}}} = 194,775333 \text{ }^\circ\text{F}$$

Menentukan suhu kaloric :

- $T_c = \frac{1}{2} (T_1 + T_2) = \frac{1}{2} (320 + 320) \text{ }^\circ\text{F} = 320 \text{ }^\circ\text{F}$
- $t_c = \frac{1}{2} (t_1 + t_2) = \frac{1}{2} (86 + 159,8) \text{ }^\circ\text{F} = 122,9 \text{ }^\circ\text{F}$

Trial  $U_D$  :

Dari Kern, tabel 8 hal. 840 pada kolom heater, maka didapat untuk *Hot fluid steam* dan *Cold fluid gas*, maka  $U_D = 5 - 50 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F}$ .

$$\text{Trial } U_D = 40 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F}$$

Trial ukuran DPHE = 2 in x 1 ¼ in

▪ Bagian anulus = udara, dari Kern, tabel 6.2 hal. 110, didapat :

- $a_{an} = 2,63 \text{ in}^2$                       -  $d_e = 2,02 \text{ in}$
- $d_{e'} = 0,81 \text{ in}$

▪ Bagian pipa, dari Kern, tabel 11 hal. 844, didapat :

- $a_p = 1,50 \text{ in}^2$
- $d_o = 1,66 \text{ in}$
- $d_i = 1,38 \text{ in}$
- $a' \text{ (flow area)} = 1,50 \text{ in}^2$
- $a'' \text{ (heating surface)} = 0,435 \text{ ft}^2/\text{ft}$

#### Evaluasi Perpindahan panas (Rd)

Bagian anulus	Bagian pipa
1. $a_{an} = 2,63 \text{ in}^2 = 0,018264 \text{ ft}^2$  $G_{an} = \frac{m}{a_{an}} = \frac{98,811 \text{ lb/jam}}{0,018264 \text{ ft}^2}$ $= 5410,184030 \text{ lb/h.ft}^2$	1'. $a_t = 1,50 \text{ in}^2 = 0,010417 \text{ ft}^2$  $G_{ap} = \frac{M}{a_{ap}} = \frac{1,500305 \text{ lb/jam}}{0,010417 \text{ ft}^2}$ $= 144,029323 \text{ lb/h.ft}^2$
2. $N_{Re\ an} = \frac{d_e \times G_{an}}{\mu \times 24,2}$  $= \frac{(2,02/12) \times 5410,184030}{0,25 \times 24,2}$ $= 1505,312912$	2'. $N_{Re\ t} = \frac{d_i \times G_p}{\mu \times 24,2}$  $= \frac{(1,38/12) \times 144,029323}{0,016 \times 24,2}$ $= 427,773041$
3. $J_H = 150$ (Kern, gb. 24 hal. 834)	3'. $J_H = -$ (karena steam)
4. $h_o = J_H \cdot \frac{k}{d_e} \cdot \left( \frac{C_p \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$	4'. Untuk steam, $h_{io} = 1500 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$

<p>dimana <math>\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} = 1</math></p> <p><math>k = 0,0226</math></p> <p><math>C_p = 0,245</math></p> <p>Jadi <math>h_o = 150 +</math></p> $\left(\frac{0,0226}{(2,02/12)}\right) \times \left(\frac{0,0,245(0,25 \times 2,42)}{0,0226}\right)^{1/3}$ <p><math>h_o = 37,696461 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}</math></p>	
--	--

$$U_c = \frac{h_{i_o} \times h_o}{h_{i_o} + h_o} = \frac{(1500 \text{ Btu/ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) \times (37,696461 \text{ Btu/ft}^2 \cdot ^\circ\text{F})}{(1500 + 37,696461) \text{ Btu/ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$= 36,772336 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}$$

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D}$$

Diketahui  $R_d = 0,003 \text{ h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu}$

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_c} + R_d = \frac{1}{36,772336} + 0,003 = 0,030194$$

$$U_D = 33,118773$$

Mencari panjang pipa :

$$A = \frac{Q}{U_D \times \Delta T_{LMTD}} = \frac{1786,601691}{33,118773 \times 194,775333}$$

$$= 0,276962 \text{ ft}^2$$

$$\text{Panjang pipa ekonomis (L)} = \frac{A}{a^n} = \frac{0,276962}{(0,435)}$$

$$= 0,276962 \text{ ft}$$

Menentukan panjang pipa :

L	$n = \frac{L}{2 \cdot l}$	L <sub>Baru</sub> (2.l x n)	A <sub>Baru</sub> (L <sub>Baru</sub> x a <sup>2</sup> )	U <sub>D</sub> baru	Rd hitung	% over design
12''	0,026529	24	10,44	0,878604	1,110975	369,32
16''	0,019897	32	13,92	0,658953	1,490364	495,79
20''	0,015917	40	17,40	0,527163	1,869754	622,25

Jadi diambil *over design* yang terkecil, yaitu pada :

- l = 12 in
- L = 24 in

#### Evaluasi Penurunan Tekanan ( $\Delta p$ )

Bagian anulus	Bagian pipa
1. $G_{an} = 5410,184030 \text{ lb/h.ft}^2$	1'. $G_{ap} = 144,029323 \text{ lb/h.ft}^2$
2. $N_{Re\ an} = 1505,312912$	2'. $N_{Re\ t} = 427,773041$
3. $f = 0,0035 + \frac{0,264}{N_{Re}^{0,42}}$	3'. $f = 0,0035 + \frac{0,264}{N_{Re}^{0,42}}$
$= 0,0035 + \frac{0,264}{(1505,312912)^{0,42}}$	$= 0,0035 + \frac{0,264}{(427,773041)^{0,42}}$
$= 0,15718$	$= 0,024225$
4. $\Delta P_1 = \frac{4f \cdot G_{an}^2 \cdot L}{2 \cdot 4,2 \cdot 10^8 \cdot \rho^2 \cdot de'} + \frac{\rho}{144}$	4'. $\Delta P_p = \frac{4f \cdot G_p^2 \cdot L}{2 \cdot 4,2 \cdot 10^8 \cdot \rho^2 \cdot di} + \frac{\rho \text{ steam}}{144}$
Dimana:	Dimana:
- $\rho$ campuran = $64,053453 \text{ lb/ft}^3$	- $\rho$ campuran = $24,375 \text{ lb/ft}^3$
Sehingga didapat $\Delta P_1 = 0,000034 \text{ psi}$	Sehingga didapat $\Delta P_p = 1,245 \cdot 10^{-7} \text{ psi}$

<p>5. <math>\Delta P_n = n \cdot \left( \frac{V^2}{2 \cdot gc} \right) \times \frac{\rho}{144}</math></p> <p>Dimana :</p> $V = \frac{G_{an}}{3600 \cdot 64,053453}$ $= \frac{5410,184030}{(3600) \times (64,053453)} = 0,023462$ <p>Sehingga didapat <math>\Delta P_n = 0,000004</math> psi</p> <p>6. <math>\Delta P_{an} = \Delta P_l + \Delta P_n = 0,000038</math> psi</p> <p>&lt; 8 psi (memadai)</p>	<p>&lt; 2 psi (memadai)</p>
---	-----------------------------

**Spesifikasi Pemanas Udara :**

Fungsi : Untuk memanaskan udara dari 30 °C menjadi 71 °C.

Type : DPHE

Kapasitas : 98,811 lb/jam

Kebutuhan steam : 9,117593 lb/jam

Bagian anulus : -  $a_{an} = 2,63 \text{ in}^2$  -  $de = 2,02 \text{ in}$   
 -  $de' = 0,81 \text{ in}$

Bagian pipa : -  $a_p = 1,50 \text{ in}^2$  -  $do = 1,66 \text{ in}$   
 -  $di = 1,38 \text{ in}$   
 -  $a' \text{ (flow area)} = 1,50 \text{ in}^2$   
 -  $a'' \text{ (heating surface)} = 0,435 \text{ ft}^2/\text{ft}$

Bahan konstruksi : *Carbon Steel*

Jumlah : 1 buah



**24. Oksidator (R-150)**

Fungsi : Untuk mereaksikan gas NO yang keluar dari reaktor dengan oksigen (O<sub>2</sub>).

Type : Multitubular reaktor

**Dasar Perancangan :**

Kondisi operasi : P = 1 atm = 14,7 psia

T = 71,1 °C = 159,98 °F = 619,98 °R

**1. Menentukan laju alir feed masuk :***1.1. Laju alir gas NO masuk reaktor*

Massa gas NO = 73,481697 kg/jam = 137,9929873 lb/jam

Mol gas NO (n) = 2,086023 kgmol/jam = 4,5988467 lbmol/jam  
= 1,2774574 · 10<sup>-3</sup> lbmol/dt

Persamaan gas ideal : PV = nRT

Dimana : P = tekanan operasi (psia)

V = volume (ft<sup>3</sup>)

n = mol gas masuk (lbmol/dt)

R = 10,731 ft<sup>3</sup> · lb/in<sup>2</sup> · lbmol · R

T = temperatur (R)

Sehingga :

$$V = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} = \frac{(1,2774574 \cdot 10^{-3} \text{ lbmol/dt}) \cdot (10,731 \text{ ft}^3 \cdot \text{lb/in}^2 \cdot \text{lbmol} \cdot \text{R}) \cdot (619,98 \text{ R})}{(14,7 \text{ lb}_f/\text{in}^2)}$$

Vol. gas NO = 0,5781585 ft<sup>3</sup>/dt

*1.2. Laju alir gas O<sub>2</sub> masuk reaktor*

Massa gas O<sub>2</sub> = 47,015944 kg/jam = 88,2923337 lb/jam

$$\text{Mol gas O}_2 (n) = 2,7593079 \text{ lbmol/jam} = 7,6647441 \cdot 10^{-4} \text{ lbmol/dt}$$

Maka volume gas O<sub>2</sub> :

$$V = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} = \frac{(7,6647441 \cdot 10^{-4} \text{ lbmol/dt}) \cdot (10,731 \text{ ft}^3/\text{lb}/\text{in}^2 \cdot \text{lbmol} \cdot \text{R}) \cdot (619,98 \text{ R})}{(14,7 \text{ lb}_f/\text{in}^2)}$$

$$\text{Vol. gas O}_2 = 0,3468951 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju alir total feed masuk reaktor} &= (0,5781585 + 0,3468951) \text{ ft}^3/\text{dt} \\ &= 0,9250537 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

## 2. Menentukan volume aktual reaktor

Waktu tinggal = 10 detik (*Industrial Chemical*), maka :

$$\text{Volume reaktor} = 0,9250537 \text{ ft}^3/\text{dt} \times 3 \text{ detik} = 2,775161 \text{ ft}^3$$

Dari Ulrich, tabel 4.22 hlm. 217, didapatkan *Fraction void volume* (porositas),  $\epsilon = 0,6 - 0,8$  (diambil  $\epsilon = 0,6$ ), sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume aktual reaktor} &= V_r + (0,6 \cdot V_r) \\ &= 2,775161 \text{ ft}^3 + [(0,6) \cdot (2,775161 \text{ ft}^3)] \\ &= 4,4402576 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

## 3. Panjang keseluruhan tube berisi katalis

$$L \text{ total} = \frac{V \text{ aktual}}{\text{flow area}} = \frac{V \text{ aktual}}{\pi/4 \cdot D_i^2}$$

Dari Brownell & Young, App. K hlm. 386 diasumsikan menggunakan tube dengan ukuran 1 1/4 in Sch. 40, sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned} - \text{ OD} &= 1,660 \text{ in} & - \text{ ID} &= 1,380 \text{ in} \\ - \text{ flow area} &= 1,496 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

Maka :

$$L \text{ total} = \frac{4,4402576 \text{ ft}^3}{1,496 \text{ in}^2} = \frac{4,4402576 \text{ ft}^3}{0,0103889 \text{ ft}^2} = 427,4045153 \text{ ft}$$

#### 4. Menentukan jumlah tube (Nt)

$$\begin{aligned} N_t &= \frac{\text{panjang total tube}}{\text{panjang pipa}} = \frac{427,4045153 \text{ ft}}{12 \text{ ft}} \\ &= 35,617 \text{ buah} \approx 36 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka rate feed tiap pipa} &= \frac{\text{rate total feed}}{N_t} = \frac{0,9250537 \text{ ft}^3/\text{dt}}{36} \\ &= 0,0256959 \text{ ft}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

#### 5. Menentukan diameter reaktor

Susunan pipa dalam reaktor berbentuk U dengan  $P_T = 2,5 \text{ in}$ .

$$\begin{aligned} \text{Luas seluruh pipa (A)} &= N_t \times P_T^2 = (36) \times (2,5 \text{ in})^2 \\ &= 225 \text{ in}^2 = 1,5625 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Diasumsikan A pipa = 90 % A aktual, sehingga :

$$\begin{aligned} A_{\text{aktual}} &= \frac{1,5625 \text{ ft}^2}{0,9} = 1,736111 \text{ ft}^2 \\ D &= \sqrt{\frac{A_{\text{aktual}}}{\pi/4}} = \sqrt{\frac{1,763111 \text{ ft}^2}{\pi/4}} = 1,486770 \text{ ft} \\ &= 17,841241 \text{ in} \end{aligned}$$

#### 6. Menentukan tebal dinding reaktor

Bahan konstruksi reaktor adalah *High Alloy Steel* S.A. 240 Grade B nominal composition 15 Cr dengan tekanan operasi sebesar 1 atm (14,7 psia). Dari Brownell & Young, App. D-4 hlm. 342, didapatkan :

- $f = 17500$
- $C = 1/16$
- Penyambungan dengan *type double welded butt joint*,  $E = 0,8$



Dimana :

-  $Q$  = laju volumetrik udara,  $\text{ft}^3/\text{detik}$

-  $\Delta P$  = beda tekan pada blower, yaitu =  $(0,4 \text{ lb/m}^2) \times \left( \frac{1 \text{ m}^2}{1/144 \text{ ft}^2} \right)$   
=  $57,6 \text{ lb/ft}^2$

Sehingga :

$$\text{Hp} = \frac{(0,012772 \text{ ft}^3/\text{dt}) \times (57,6 \text{ lb/ft}^2)}{550} = 0,001338 \text{ Hp}$$

Diketahui efisiensi ( $\eta$ ) blower = 75 %, maka :

$$\text{Daya blower (Hp)} = \frac{0,001338 \text{ Hp}}{0,75} = 0,001783 \text{ Hp}$$

Sedangkan efisiensi ( $\eta$ ) motor = 80 %, maka :

$$\begin{aligned} \text{Daya motor} &= \frac{0,001783 \text{ Hp}}{0,8} = 0,002229 \text{ Hp} \\ &= 0,002229 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp} \end{aligned}$$

## 26. Cooler (E-134)

Fungsi : Untuk mendinginkan bahan dari suhu  $120^\circ\text{C}$  menjadi  $30^\circ\text{C}$

Type : *Shell and tube*

**Dasar perencanaan :**

Dari perhitungan neraca massa dan neraca panas diperoleh :

Massa bahan masuk =  $681,245031 \text{ kg/jam}$  =  $1501,872796 \text{ lb/jam}$

Panas yang dibutuhkan ( $Q$ ) =  $5811,082390 \text{ kkal/jam}$   
=  $23045,218868 \text{ Btu/jam}$

Kebutuhan air pendingin =  $384,483419 \text{ kg/jam}$  =  $847,632145 \text{ lb/jam}$

Diasumsikan  $R_d$  gabungan minimal =  $0,0035 \text{ h.ft}^2.\text{°F/Btu}$ .

Tinggi tutup atas :

$$a = Di/2 = 17,625 \text{ in}/2 = 8,8125 \text{ in}$$

$$AB = a - icr = (8,8125 - 1,125) \text{ in} = 7,6875 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (18 - 1,125) \text{ in} = 16,875 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} = \sqrt{(16,875)^2 - (7,6875)^2} = 15,022249 \text{ in}$$

$$b = r - AC = (18 - 15,022249) \text{ in} = 2,977751 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} ha &= tha + b + sf = (3/16)\text{in} + 2,977751 \text{ in} + 1,125 \text{ in} \\ &= 4,290251 \text{ in} = 0,357521 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi tinggi total reaktor} &= \text{tinggi silinder} + \text{tinggi tutup (atas + bawah)} \\ &= (1,5) \cdot (17,625 \text{ in}) + (2) \cdot (4,290251 \text{ in}) \\ &= 35,018008 \text{ in} = 2,918166812 \text{ ft} \end{aligned}$$

**Spesifikasi Oksidator :**

**Fungsi** : Untuk mereaksikan gas NO yang keluar dari reaktor dengan oksigen (O<sub>2</sub>).

**Type** : Multitubular reaktor, yaitu berupa silinder tegak dengan tutup atas dan tutup bawah berbentuk torispherical, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

**Kapasitas** : 4,4402576 ft<sup>3</sup>/dt

**Dimensi tangki :**

- **Bahan konstruksi** = *High Alloy Steel* S.A. 240 Grade B nominal composition 15 Cr.
- **Jumlah** = 1 buah
- **Panjang tube (L)** = 427,4045153 ft
- **Jumlah tube (Nt)** = 36 buah

- Diameter pipa = 17,841241 in
- Di (diameter dalam) = 17,625 in
- Do (diameter luar) = 18 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 26,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 4,290251 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 4,290251 in
- Tinggi tangki = 35,018002 in

### 25. Blower (G-133)

Fungsi : Untuk menghembuskan gas dari oksidator menuju absorber.

Type : *Centrifugal blower*

Jumlah : 1 buah

Rate bahan masuk = 681,245031 kg/jam = 1501,872796 lb/jam

Densitas campuran = 32,66474 lb/ft<sup>3</sup>

#### Dasar Perhitungan :

Menghitung kecepatan volumetrik udara :

$$Q = \frac{\text{massa gas}}{\rho \text{ campuran}} = \frac{1501,872796 \text{ lb.jam}}{32,66475 \text{ lb/ft}^3} = 45,978396 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0,012772 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

Menghitung daya blower :

$$H_p = \frac{Q \times \Delta P}{550}$$

**Dasar Perhitungan :**Mencari  $\Delta T_{LMTD}$  :

- Suhu bahan masuk ( $T_1$ ) = 71 °C = 159,8 °F
- Suhu bahan keluar ( $T_2$ ) = 30 °C = 86 °F
- Suhu air pendingin masuk ( $t_1$ ) = 30 °C = 86 °F
- Suhu air pendingin keluar ( $t_2$ ) = 45 °C = 113 °F
- $\Delta t_1 = T_1 - t_1 = (159,8 - 86) \text{ °F} = 73,8 \text{ °F}$
- $\Delta t_2 = T_2 - t_2 = (113 - 86) \text{ °F} = 27 \text{ °F}$

Maka :

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} = \frac{(73,8 - 27) \text{ °F}}{\ln \frac{73,8 \text{ °F}}{27 \text{ °F}}} = 46,542996 \text{ °F}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{(159,8 - 86) \text{ °F}}{(113 - 86) \text{ °F}} = 2,733333$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{(113 - 86) \text{ °F}}{(159,8 - 86) \text{ °F}} = 0,365854$$

Dari Kern, gb. 19 hal. 829, didapatkan :

- $F_t = 1,0$
- type HE = 1-2

$$\begin{aligned} \text{Jadi : } \Delta t &= F_t \cdot \Delta T_{LMTD} = (1,0) \times (46,542996 \text{ °F}) \\ &= 46,542996 \text{ °F} \end{aligned}$$

Menentukan suhu kaloric :

- $T_c = \frac{1}{2} (T_1 + T_2) = \frac{1}{2} (159,8 + 86) \text{ °F} = 122,9 \text{ °F}$
- $t_c = \frac{1}{2} (t_1 + t_2) = \frac{1}{2} (86 + 113) \text{ °F} = 99,5 \text{ °F}$



Trial  $U_D$  :

Dari Kern, tabel 8 hal. 840 pada kolom *cooler*, maka didapat untuk *Hot fluid* adalah gas dan *Cold fluid* adalah *water* (air), maka  $U_D = 2 - 50 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F}$ .

Trial  $U_D = 30 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F}$ , sehingga :

$$A = \frac{Q}{U_D \times \Delta T_{LMTD}} = \frac{23045,218868 \text{ Btu/jam}}{(30 \text{ Btu/ft}^2.\text{jam.°F}) \times (46,542996 \text{ °F})}$$

$$= 16,504609 \text{ ft}^2$$

Dari Kern, tabel 10 hal. 843 :

$$- D_o = \frac{3}{4} \text{ in } 14 \text{ BWG}$$

$$- a'' = 0,1963 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

$$N_t = \frac{A}{a'' \times l} = \frac{16,504609 \text{ ft}^2}{(0,1963 \text{ ft}^2/\text{ft}) \times (12 \text{ ft})} = 7,006542$$

Dari kern, tabel 9 hal. 841, pada  $\frac{3}{4}$  OD, square dengan  $P_T = 1$  didapatkan :

$$- N_T \text{ standar} = 20 \qquad - n = 4$$

$$- I D_s = 8$$

Sehingga :

$$U_D \text{ koreksi} = \frac{N_t}{N_t \text{ standar}} \times U_D \text{ trial} = \frac{7,006542}{20} \times 30 \text{ Btu/ft}^2.\text{jam.°F}$$

$$= 10,509812 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F}$$

Kesimpulan sementara rancangan *shell & tube* :

- Type HE = 1 - 2

- Bagian shell :

- $I D_s = 8 \text{ in}$

- $n' = 1$

- $(N + 1) = \frac{12 \cdot 1}{B} = \frac{12 \times 12}{12} = 12 \text{ in (diambil } B = 12)$

- Bagian tube :

- $\frac{3}{4}$  in OD 14 BWG
- $n = 4$
- $d_i = 0,584$  in
- $l = 12$  ft
- $d_e = 0,95$
- $a'' = 0,1963$  ft<sup>2</sup>/ft
- $P_T = 1$  in
- $a' = 0,268$  in<sup>2</sup>
- $N_t = 20$
- Susunan = □ (square)
- $C' = P_T - d_o = 1$  in -  $\frac{3}{4}$  in
- = 0,25 in

### Evaluasi Perpindahan panas (Rd)

Bagian shell	Bagian tube (air)
$1. a_s = \frac{ID_s \times C' \times B}{n' \times P_T \times 144}$ $= \frac{8 \times 0,25 \times 12}{1 \times 1 \times 144}$ $= 0,166667 \text{ ft}^2$	$1'. a_t = \frac{N_t \times a'}{144 \times n}$ $= \frac{20 \times 0,0268}{144 \times 4}$ $= 0,009306 \text{ ft}^2$
$2. G_s = \frac{M}{a_s} = \frac{1501,872796}{0,166667}$ $= 9011,236777 \text{ lb/h.ft}^2$	$2'. G_t = \frac{m}{a_t} = \frac{847,632145}{0,009306}$ $= 91088,827501 \text{ lb/h.ft}^2$
$3. N_{Res} = \frac{d_e \times G_s}{\mu \times 24,2}$ $= \frac{(0,95/12) \times 9011,236777}{0,019213 \times 24,2}$ $= 15343,329639$	$3'. N_{Ret} = \frac{d_i \times G_t}{\mu \times 24,2}$ $= \frac{(0,584/12) \times 91088,827501}{0,9 \times 24,2}$ $= 2035,348763$
$4. J_H = 70 \text{ (Kern, gb. 28 hal. 838)}$	$4'. J_H = - \text{(karena sistemnya air, maka } J_H \text{ tidak dicari)}$
$5. h_o = J_H \cdot \frac{k}{d_e} \cdot \left( \frac{C_p \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$	$5'. V = \frac{G_t}{3600 \times \rho \text{ air}}$

**Dasar Perancangan :**

Bahan konstruksi : *High Alloy Steel DA-167 Grade 3 type 304*

Perlengkapan nozzle untuk :

- pemasukan gas
- pemasukan liquida
- pengeluaran gas
- pengeluaran liquida

Gas-gas yang masuk :

Komponen	kg/jam	lb/jam	BM	lbmol/jam
NO	18,370424	34,498247	30,000000	1,149942
NO <sub>2</sub>	422,481188	793,387245	46,000000	17,247549
N <sub>2</sub> O	29,101529	54,650438	44,000000	1,242055
O <sub>2</sub>	17,630979	33,109625	32,000000	1,034676
N <sub>2</sub>	176,869502	332,147351	28,000000	11,862405
H <sub>2</sub> O	16,791408	31,532976	18,000000	1,751832
<b>Jumlah</b>	<b>580,298414</b>	<b>1279,325882</b>	<b>198,000000</b>	<b>34,288459</b>

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O yang masuk} &= 64,072457 \text{ kg/jam} = 120,323157 \text{ lb/jam} \\ &= 6,684620 \text{ lbmol/jam} \end{aligned}$$

Gas-gas yang keluar :

Komponen	kg/jam	lb/jam	BM	lbmol/jam
NO	73,481697	137,992987	30,000000	4,599766
NO <sub>2</sub>	168,992475	321,764098	46,000000	6,994872
N <sub>2</sub> O	29,101529	54,650438	44,000000	1,242055
O <sub>2</sub>	17,630979	33,109625	32,000000	1,034676
N <sub>2</sub>	176,869502	332,147351	28,000000	11,862405
H <sub>2</sub> O	22,058223	41,423650	18,000000	2,301314
<b>Jumlah</b>	<b>417,802844</b>	<b>879,664499</b>	<b>180,000000</b>	<b>28,035088</b>

Liquid yang keluar :

Komponen	kg/jam	lb/jam	BM	lbmol/jam
HNO <sub>3</sub>	231,464775	434,673081	63,000000	6,899573
H <sub>2</sub> O	25,718308	48,297009	18,000000	2,683167
<b>Jumlah</b>	<b>257,183082</b>	<b>482,970090</b>	<b>81,000000</b>	<b>9,582740</b>

dimana $\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} = 1$ $k = 0,0128$ $C_p = 0,48$ Jadi $h_o =$ $= 70 \times \left(\frac{0,0128}{(0,95/12)}\right) \times \left(\frac{0,48(0,192 \times 2,42)}{0,0128}\right)^{1/3}$ $h_o = 13,622133 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$	$= \frac{91088,827501}{3600 \times 62,5}$ $= 0,404839$ $h_i = 310 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ $h_{oi} = h_i \times \frac{d_i}{d_o}$ $h_{io} = (310) \times \frac{1,12}{1,25}$ $= 241,386667 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$
---	--

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{(241,386667 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}) \times (13,386667 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F})}{(241,386667 + 13,622133) \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$= 12,894462 \text{ Btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$R_d = \frac{U_c - U_{D \text{ kareksi}}}{U_c \times U_{D \text{ kareksi}}} = \frac{(12,894462 - 10,509812) \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}{(12,894462 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}) \times (10,509812 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F})}$$

$$= 0,017597 \text{ h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu}$$

Karena  $R_d$  hitung  $>$   $R_d$  ketentuan, berarti perhitungan cooler sudah memadai.

## 27. Absorber

Fungsi : Untuk mengabsorpsi gas-gas  $\text{NO}_2$  dengan menggunakan absorben larutan  $\text{H}_2\text{O}$ .

Type : *Sieve tray*

Data Perancangan :

1. Suhu gas masuk =  $40^\circ\text{C}$  =  $313,15 \text{ K}$  =  $104^\circ\text{F}$
2. Suhu liquid masuk =  $30^\circ\text{C}$  =  $303,15 \text{ K}$  =  $86^\circ\text{F}$
3. Suhu operasi =  $40^\circ\text{C}$  =  $313,15 \text{ K}$  =  $104^\circ\text{F}$
4. Tekanan operasi =  $1 \text{ atm}$  =  $760 \text{ mmHg}$  =  $14,7 \text{ psia}$

**Perhitungan :**

Mencari diameter kolom :

Diketahui :

- Massa gas = 1279,325882 lb/jam
- Massa liquid = 54,578226 lb/jam
- $\rho$  gas = 0,0648 lb/ft<sup>3</sup>
- $\rho$  liquid = 62,5 lb/ft<sup>3</sup>

Volume flow rata :

$$Q_v = \left( \frac{\text{massa gas}}{\rho_v} \right) \times \left( \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ detik}} \right) = \left( \frac{1279,325882 \text{ lb/jam}}{0,0648 \text{ lb/ft}^3} \right) \times \left( \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ detik}} \right)$$

$$= 5,484079 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

$$Q_l = \left( \frac{\text{massa liquid}}{\rho_l} \right) \times \left( \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ detik}} \right) = \left( \frac{54,578226 \text{ lb/jam}}{62,5 \text{ lb/ft}^3} \right) \times \left( \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ detik}} \right)$$

$$= 0,000243 \text{ ft}^3/\text{dt} = 0,108880 \text{ gpm}$$

$$\text{Surface tension bahan } (\sigma) = 4,5 \text{ dyne/cm}$$

Direncanakan :

- *Tray spacing* = 18 in
- *C* (fig. 8-38, Ludwig) = 300

$$\text{Persamaan yang digunakan : } G = C \sqrt{\rho_v (\rho_l - \rho_v)}$$

$$D = 1,13 \times \sqrt{\frac{V_m}{G}}$$

$$\text{Dimana : } V_m = 1,3 \times V_{\max} = 1,3 \times 1279,325882 \text{ lb/jam}$$

$$= 1663,123647 \text{ lb/jam}$$

$$G = 300 \times \sqrt{0,0648 \times (62,5 - 0,0648)} = 603,2376 \text{ lb/ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Maka: } D &= 1,13 \times \sqrt{\frac{1663,123647 \text{ lb/jam}}{603,2376 \text{ lb/ft}^3}} = 1,875983 \text{ ft} \\ &= 22,511799 \text{ in} \end{aligned}$$

Menentukan type aliran :

$L = 0,108880 \text{ gpm}$ , maka berdasarkan tabel 8.2 Vol.2 diperoleh type aliran *Reverse flow*.

Pengecekan terhadap kehilangan fluida ( $h_d$ ) :

$$Q_L \text{ max} = 1,3 \times 0,108880 \text{ gpm} = 0,141544 \text{ gpm}$$

$$Q_L \text{ min} = 0,7 \times 0,108880 \text{ gpm} = 0,076216 \text{ gpm}$$

Persamaan yang digunakan :

$$L_w/d = \% d$$

$$\begin{aligned} H_{ow} \text{ max} &= \left[ \frac{Q \text{ max}}{2,98 \times L_w} \right]^{2/3} = \left[ \frac{Q \text{ min}}{2,98 \times L_w} \right]^{2/3} \\ &= 1,5 \text{ in} < h_w < 3,5 \text{ in} \end{aligned}$$

$$h_t = h_{ow} + h_w$$

Dari persamaan diatas dapat ditentukan optimalisasi  $L_w/d$ , seperti pada tabel berikut ini :

$L_w/d$	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
$L_w$ (in)	12,381489	13,507079	14,632669	15,758259	16,883849	18,009439
$H_{ow} \text{ max}$ (in)	0,024506	0,023125	0,021923	0,020866	0,019928	0,019089
$H_{ow} \text{ min}$ (in)	0,016220	0,015305	0,014510	0,013811	0,013190	0,012634
$h_w$ (in)	1,500000	1,500000	1,500000	1,500000	1,500000	1,500000
$h_t \text{ max}$ (in)	1,524506	1,523125	1,521923	1,520866	1,519928	1,519089
$h_t \text{ min}$ (in)	1,516220	1,515305	1,514510	1,513811	1,513190	1,512634

Optimalisasi diameter kolom absorber dengan :

$$L_w/d = 70 \%$$

$$A_d = 8,75 \% \times A_t \text{ (fig. 8.48 hlm. 77, Ludwig Vol. 2)}$$

Sehingga :

$$h_w - h_c = \frac{1}{4} \text{ in} \quad ; \quad h_c = 1,5 - \frac{1}{4} \\ = 1,25 \text{ in}$$

$$A_{dc} = L_w \times h_c = (15,758259 \times 1,25) = 19,697824 \text{ in}^2 \\ = 0,136790 \text{ ft}^2$$

$$A_d = 8,75 \% \times \frac{\pi}{4} \times D^2 = 8,75 \% \times \left(\frac{\pi}{4}\right) \times (22,511799 \text{ in})^2 \\ = 34,841200 \text{ in}^2 = 0,241953 \text{ ft}^2$$

Karena harga  $A_{dc} < A_d$ , maka harga  $A_p$  yang diambil =  $A_{dc} = 0,136790$ , sehingga :

$$h_d = 0,03 \times \left[ \frac{Q_{\max}}{100 \cdot A_p} \right]^2 = 0,03 \times \left[ \frac{0,141544}{(100 \times 0,136790)} \right]^2 \\ = 0,000003 \text{ in} \leq 1 \text{ in (} h_w = 1,5 \text{ in sudah memenuhi)}$$

Akan menghasilkan *tray spacing* yang bagus jika  $h_d \leq 1$ .

Mengecek harga *tray spacing* :

Data perencanaan :

- $L_w/d = 70 \%$
- $h_w = 1,5 \text{ in}$
- $H_{ow} = 0,020866 \text{ in}$
- $D = 1,875983 \text{ ft} = 22,511799 \text{ in}$
- $h_d = 0,000003 \text{ in}$
- $h_l = 1,520866 \text{ in}$
- Susunan lubang = segitiga ( $\Delta$ )
- $W_s = 3 \text{ in}$  (lebar calming zone = 2 s/d 4 in)

- $W_d = 14,3 \% \times d$  (Ludwig, fig. 8.69 hlm 88)
  - $= 14,3 \% \times (22,511799 \text{ in})$
  - $= 3,219187 \text{ in}$
- $X = \left(\frac{D}{2}\right) - \left(\frac{W_d + W_s}{12}\right) = \left(\frac{1,875983}{2}\right) - \left(\frac{3,219187 + 3}{12}\right)$ 
  - $= 0,419726 \text{ ft}$
- $r = \left(\frac{D}{2}\right) = \left(\frac{1,875983 \text{ ft}}{2}\right) = 0,937992 \text{ ft}$ 
  - $= 11,255898 \text{ in}$
- $A_a = 2 \left[ \left( X \cdot \sqrt{r^2 - X^2} \right) + \left( r^2 \cdot \sin^{-1} \left\langle \frac{X}{r} \right\rangle \right) \right]$ 
  - $= 2 \left[ \left( 0,419726 \cdot \sqrt{0,937992^2 - 0,419726^2} \right) + \left( 0,937992^2 \cdot \sin^{-1} \left\langle \frac{0,419726}{0,937992} \right\rangle \right) \right]$
  - $= 1,520539 \text{ ft}^2$

Trial untuk jarak antar lubang (n) = 4

$$\frac{A_o}{A_a} = \frac{0,9065}{n^2}$$

$$A_o = \left( \frac{0,9065 \cdot A_a}{n^2} \right) = \frac{(0,9065) \cdot (1,520539)}{4^2} = 0,086148 \text{ ft}^2$$

$$U_o = V_{\max}/A_o = \frac{1,3 \times 0,873252 \text{ ft}^3/\text{jam}}{0,086148 \text{ ft}^2} = 13,177628 \text{ ft/jam}$$

$$= 0,003660 \text{ ft/dt}$$

$$h_p = 12 \times \left( \frac{\rho_v}{\rho_l} \right) \times 1,14 \times \left( \frac{U_o^2}{2 \cdot g_c} \right) \times 0,4 \left( 1,25 - \frac{A_o}{A_c} \right) + \left( 1 - \frac{A_o}{A_c} \right)^2$$

$$= 12 \times \left( \frac{0,0648}{62,5} \right) \times 1,14 \times \left( \frac{0,00366^2}{2 \times 32,2} \right) \times 0,4 \left( 1,25 - \frac{0,086148}{0,136790} \right) + \left( 1 - \frac{0,086148}{0,136790} \right)^2$$

$$= 0,137062 \text{ in}$$



$$h_r = \frac{31,2}{\rho_L} = \frac{31,2}{62,5} = 0,499200 \text{ in}$$

$$h_t = h_p + h_r + h_i = (0,137062 + 0,499200 + 1,520866) \text{ in} \\ = 2,157128 \text{ in}$$

$$h_b = h_l + h_t + h_d = (1,520866 + 2,157128 + 0,000003) \text{ in} \\ = 3,677997 \text{ in}$$

### A. Stabilitas Tray dan Weeping

$$\text{Syarat stabil : } \frac{h_b}{T + h_w} \leq 0,5$$

$$\frac{3,677997}{18 + 1,5} = 0,188615 \leq 0,5 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi  $T = 20$  in telah memenuhi syarat untuk  $n = 4$

$$h_{pw} = 0,05 h_l + 0,02 = (0,5 \times 1,520866) \text{ in} + 0,02 = 0,096043 \text{ in}$$

$$U_o \text{ min} = \frac{V \text{ min}}{A_o} = \frac{0,7 \times 0,873252 \text{ ft}^3/\text{jam}}{0,086148 \text{ ft}^2} = 7,095646 \text{ ft/jam} \\ = 0,001971 \text{ ft/dt}$$

$$h_{pm} = 12 \times \left( \frac{\rho_v}{\rho_l} \right) \times 1,14 \times \left( \frac{U_o \text{ min}^2}{2 \cdot g_c} \right) \times 0,4 \left( 1,25 - \frac{A_o}{A_c} \right) + \left( 1 - \frac{A_o}{A_c} \right)^2 \\ = 12 \times \left( \frac{0,0648}{62,5} \right) \times 1,14 \times \left( \frac{0,001971^2}{2 \times 32,2} \right) \times \left( 0,4 \times 1,25 \times \frac{0,086148}{0,136790} \right) + \left( 1 - \frac{0,086148}{0,136790} \right)^2 \\ = 0,137062 \text{ in}$$

$$\text{Syarat stabil : } h_{pm} > h_{pw} \\ 0,137062 > 0,096043 \text{ (memenuhi syarat)}$$

### B. Entrainment

Syarat tidak terjadinya *entrainment* adalah :  $e_o/e > 1$

$$U_c = \frac{V_{\max}}{A_c} = \frac{1,3 \times 0,873252 \text{ ft}^3/\text{jam}}{0,136790 \text{ ft}^2} = 8,299023 \text{ ft/jam}$$

$$= 0,002305 \text{ ft/dt}$$

$$T_c = T - 2,5 h_l = 18 - (2,5 \times 1,520866) \text{ in} = 14,197835 \text{ in}$$

$$e_o = 0,1$$

$$e = 0,22 \times \left(\frac{73}{\sigma}\right) \times \left(\frac{U_c}{T_c}\right)^{3,2} = 0,22 \times \left(\frac{73}{4,5}\right) \times \left(\frac{0,002305}{14,197835}\right)^{3,2}$$

$$= 7,577406 \cdot 10^{-9} \text{ in}$$

$$\frac{e_o}{e} = \frac{0,1}{7,577406 \cdot 10^{-9}} = 13197127,996311$$

Jadi  $e_o/e > 1$  memenuhi, berarti tidak terjadi *entrainment*.

### C. Pelepasan uap dalam *Down Comer*

Syarat pelepasan uap yang memenuhi dalam *down comer* :  $W_l/W_d \leq 0,6$

$$W_d = 3,219187 \text{ in}$$

$$W_l = 0,8 [H_{ow} (T + h_w - h_b)]^{0,5} = 0,8 [0,020866 (18 + 1,5 - 3,677997)]^{0,5}$$

$$= 0,459664 \text{ in}$$

$$\frac{W_l}{W_d} = \frac{0,459664 \text{ in}}{3,219187 \text{ in}} = 0,142789 \leq 0,6 \text{ (memenuhi)}$$

### D. Menentukan jumlah tray teoritis

Tekanan uap gas-gas pada 313,15 K :

- NO = 12,1211 mmHg

- NO<sub>2</sub> = 9,0482 mmHg

Gas-gas masuk ( $V_{n+1}$ ) = 19,639546 lbmol/jam

H<sub>2</sub>O penyerap masuk kolom ( $L_o$ ) = 6,684620 lbmol/jam

Fraksi gas-gas masuk = 0,572774

Fraksi gas-gas dalam H <sub>2</sub> O masuk kolom	=	0
Gas-gas yang terserap	=	6,802853 lbmol/jam
Gas-gas yang tidak terserap	=	12,836693 lbmol/jam
Total gas yang keluar kolom	=	28,035088 lbmol/jam
Fraksi mol yang tidak terserap (YA1)	=	0,457880 lbmol/jam
H <sub>2</sub> O yang keluar kolom (YN)	=	9,582740 lbmol/jam
Pada T = 104 °F	;	P <sub>operasi</sub> = 1 atm (760 mmHg)

$$K \text{ total} = \frac{P \text{ gas}}{P \text{ operasi}} = 0,029 \text{ mmHg}$$

$$A1 = \frac{L}{k \times V} = \frac{L_0}{k \times V1} = \frac{6,684620}{0,029 \times 34,288459} = 6,722499$$

$$A2 = \frac{L_N}{k \times V_{n+1}} = \frac{26,442399}{0,29 \times 19,639546} = 46,427085$$

$$A = (A1 + A2)^{0,5} = (6,722499 + 46,427085)^{0,5} = 7,290376$$

Dari persamaan 10.3-25 Analitik Kremser Geankoplis hak. 581 :

$$N = \frac{\text{Log} \left[ \frac{Y_{n+1} - m \cdot X_0}{X_1 - m \cdot X_0} \times \left( 1 - \frac{1}{A} \right) + \frac{1}{A} \right]}{\text{Log} A}$$

$$= \frac{\text{Log} \left[ \frac{0,00128 - 0}{0,4147 - 0} \times \left( 1 - \frac{1}{7,290376} \right) + \frac{1}{7,290376} \right]}{\text{Log} 7,290376}$$

$$= 2,91$$

Dari Ludwig Vol. 2 fig. 8.11 hal. 15 didapat efisiensi tray = 50 %, maka :

$$\text{Jumlah plate actual} = 2,91 / 0,5 = 5,82 \approx 6 \text{ tray}$$

**E. Menentukan tinggi kolom**

$$\text{Tinggi kolom (H)} = (n - 1) T + \text{tinggi puncak} + \text{tinggi ruang bawah}$$

Menghitung tinggi ruang bawah yang akan ditempati liquid :

$$\text{Diketahui : } - \text{ Massa liquid} = 54,578226 \text{ lb/jam}$$

$$- \rho \text{ liquid} = 62,5 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Volume liquid} = \frac{54,578226 \text{ lb/jam}}{62,5 \text{ lb/ft}^3} = 0,873252 \text{ ft}^3$$

$$\text{Direncanakan tinggi ruang bawah kolom} = 5 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume ruang bawah} &= \pi/4 \times d^2 \times L = \pi/4 \times (1,875983)^2 \times 5 \\ &= 13,8133 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Karena volume ruang bawah > daripada volume liquid, maka tinggi ruang bawah memenuhi syarat.

Menghitung tinggi ruang atas yang akan ditempati oleh gas dalam menara absorber :

$$\text{Rate gas masuk} = 54,578226 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ gas} = 0,0648 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Volume gas} = \frac{54,578226 \text{ lb/jam}}{0,0648 \text{ lb/ft}^3} = 0,001187 \text{ ft}^3$$

$$\text{Direncanakan tinggi ruang atas} = 5 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume ruang atas} &= \pi/4 \times d^2 \times L = \pi/4 \times (1,875983)^2 \times 5 \\ &= 13,8133 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Karena volume ruang atas > daripada volume gas, maka tinggi ruang atas memenuhi syarat.

$$\begin{aligned} \text{Jadi tinggi kolom (H)} &= [(6-1) \times (18/12)] + 5 + 5 \\ &= 17,5 \text{ ft} \end{aligned}$$

**F. Menentukan tebal shell**

Direncanakan :

- Bahan konstruksi : *High Alloy Steel SA-167 Grade 3 type 304*
- $f$  = 14730
- $C$  = 1/16
- $E$  = 0,8
- Tekanan operasi ( $P$ ) = 14,7 psi

Maka tebal shell :

$$\begin{aligned}
 t_s &= \frac{P_i \cdot D_i}{2(f \cdot E - 0,6P_i)} + C = \frac{(14,7) \cdot (1,875983 \times 12)}{2[(18750) \cdot (0,8) - (0,6) \cdot (14,7)]} + (1/16) \\
 &= 0,073537 \text{ in} \times 16/16 \\
 &= 1,18/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Standarisasi } D_i : \quad D_o &= D_i + 2 t_s = (1,875983 \times 12) \text{ in} + 2 (3/16) \text{ in} \\
 &= 22,886796 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Standarisasi  $D_o$  = 24 in (Brownell & Young, tabel 5-7, hlm 91) :

$$\begin{aligned}
 D_i &= D_o - 2 t_s = 24 \text{ in} - 2 (3/16) \text{ in} = 23,625 \text{ in} \\
 &= 1,96875 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

**G. Menentukan tebal tutup**

Tutup atas dan bawah berbentuk *standard dishead* :

- $r$  (Brownell & Young tabel 5.7 hlm. 89) = 24 in
- $icr$  (Brownell & Young tabel 5.6 hlm 88) = 9/16 in
- $sf$  (Brownell & Young tabel 5.6 hlm 88) = 1,5

Tebal tutup atas ( $t_{ha}$ ) dan tutup bawah ( $t_{hb}$ ) adalah :

$$\begin{aligned}
 t_{ha} &= \frac{0,885 \times P_i \cdot D_i}{f \cdot E - 0,1 \cdot P_i} + C && \text{(Brownell \& Young, hlm 258)} \\
 &= \frac{0,885 \times (14,7) \cdot (23,625)}{(14730) \cdot (0,8) - 0,1 \cdot (14,7)} + (1/16) \\
 &= 0,088581 \text{ in} \times 16/16 \\
 &= (1,42/16) \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$t_{hb} = 3/16 \text{ in}$$

Tinggi tutup atas ( $t_{ha}$ ) dan tutup bawah ( $t_{hb}$ ):

$$t_{ha} = 0,169 D_i = (0,169) \times (23,625 \text{ in}) = 3,9926 \text{ in}$$

$$t_{hb} = 3,9926 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi tangki} &= t_{hb} + H + t_{ha} = 3,9926 \text{ in} + (17,5 \times 12) \text{ in} + 3,9926 \text{ in} \\
 &= 217,852 \text{ in} = 18,154333 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

### 28.Pompa Centrifugal (L-135)

Fungsi : Untuk mengalirkan larutan  $\text{HNO}_3$  dari absorber ke storage.

Type : *Centrifugal pump*

Jumlah : 1 buah

Bahan : *Commercial steel*

#### Dasar Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate aliran} &= 257,183083 \text{ kg/jam} = 566,985824 \text{ lb/jam} \\
 &= 0,157496 \text{ lb/detik}
 \end{aligned}$$

$$\text{Densitas bahan} = 1,502 \text{ g/cm}^3 = 93,77026024 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ bahan} = 1,01 \text{ cp} = 0,00067869 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik } (Q_f) &= \frac{\text{massa bahan}}{\rho \text{ campuran}} = \frac{0,157496 \text{ lb/dt}}{93,770260 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 0,001680 \text{ ft}^3/\text{dt}
 \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892 diperoleh :

$$\begin{aligned} ID_{opt} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} = 3,9 (0,001680)^{(0,45)} \times (93,770260)^{0,13} \\ &= 0,396986 \text{ in} = 0,033082 \text{ ft} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 3/8 in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} - \text{OD} &= 0,675 \text{ in} & - \text{ID} &= 0,493 \text{ in} \\ - \text{A} &= 0,00133 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{\text{rate volumetrik}(Q_f)}{\text{luasarea}(A)} = \frac{0,001680 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,00133 \text{ ft}^2} \\ &= 1,262853 \text{ ft/dt} \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,493/12) \text{ ft} \cdot (1,262853) \text{ ft/dt} \cdot (93,770260) \text{ lb/ft}^3}{0,00067869 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}} \\ &= 19,338251 < 2100 \end{aligned}$$

Karena  $N_{Re} > 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah turbulen (Mc. Cabe II, hlm 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Commercial steel*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 89 diperoleh  $\varepsilon = (4,6 \times 10^{-5}) \text{ m}$ , sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(4,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(0,493/12) \text{ ft}} = 0,003673$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,017

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 60 ft
- Elbow, 90° = 2 buah

$$K_f(\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 3 \times 0,75 = 2,25$$

- Gate valve = 1 buah (half open)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 2 \times 4,5 = 9$$

Dari pers. 2.10.16, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,00133} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,00133}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned} \Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,017) \times \frac{60}{(0,493/12)} + 1 + 0,55 + 2,25 + 9 \right] \frac{(1,262853)^2}{2} \\ &= 85,808420 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m \end{aligned}$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

- $\Delta z = 18 \text{ ft}$
- $\Delta v = 1,262853 \text{ ft/dt}$
- $\Delta P = 0$
- $\alpha = 2$



Maka :

$$\begin{aligned}
 -W_s &= \left[ \frac{(1,262853)^2}{(2) \cdot (2) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(18) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{93,77026024} \right] + 85,8084207 \\
 &= 91,299062
 \end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned}
 \text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(53,8412) \cdot (0,003298352) \cdot (93,77026024)}{550} \\
 &= 0,026144 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = 0,001680 \text{ ft}^3/\text{dt} = 0,7539031 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 78 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{0,026144 \text{ Hp}}{0,78} = 0,033518 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 80 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,033518}{0,80} = 0,041898 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi alat :**

Fungsi : Mengalirkan larutan HNO<sub>3</sub> dari absorber ke storage

Type : *Centrifugal pump*

Ukuran : Pipa 3/8 in Sch. 40

Kapasitas : 566,985824 lb/jam

Daya : 0,5 Hp

Bahan konstruksi : *Commercial steel*

Jumlah : 1 buah

**29. Pompa Centrifugal (L-136)**

Fungsi : Untuk mengalirkan larutan dari reaktor ke separator

Type : *Centrifugal pump*

Jumlah : 1 buah

Bahan : *Commercial steel*

**Dasar Perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 2879,002022 \text{ kg/jam} = 6347,047857 \text{ lb/jam} \\ &= 1,763069 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas campuran} = 1133,167493 \text{ kg/m}^3 = 70,743949 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas campuran} = 0,024000 \text{ cp} = 0,000016 \text{ lb/ft.dt}$$

$$\text{Rate volumetrik (} Q_f \text{)} = \frac{1,763069 \text{ lb/dt}}{70,743949 \text{ lb/ft}^3} = 0,024922 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892 diperoleh :

$$\begin{aligned} ID_{\text{opt}} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 (0,024922)^{(0,45)} \times (70,743949)^{0,13} \\ &= 1,288206 \text{ in} = 0,107350 \text{ ft} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 1 ¼ in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

- OD = 1,660 in
- ID = 1,380 in
- A = 0,0104 ft<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{\text{rate volumetrik (} Q_f \text{)}}{\text{luasarea (A)}} = \frac{0,024922 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,0104 \text{ ft}^2} \\ &= 2,396330 \text{ ft/dt} \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$N_{Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(1,380/12) \text{ ft} \cdot (2,396330) \text{ ft/dt} \cdot (70,743949) \text{ lb/ft}^3}{0,001290 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}}$$

$$= 1208850,646368 > 2100$$

Karena  $N_{Re} > 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah turbulen (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Commercial steel*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 89 diperoleh  $\varepsilon = (4,6 \times 10^{-5}) \text{ m}$ , sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(4,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(1,380/12) \text{ ft}} = 0,001312$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,0045

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 35 ft

- Elbow, 90° = 2 buah

$$K_f \text{ (Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95)} = 2 \times 0,75 = 1,5$$

- Gate valve = 2 buah (*half open*)

$$K_f \text{ (Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95)} = 2 \times 4,5 = 9$$

Dari pers. 2.10.16 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,0104} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,0104}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned}\Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,0045) \times \frac{35}{(1,380/12)} + 1 + 0,55 + 1,5 + 9 \right] \frac{(2,396330)^2}{2} \\ &= 49,640532 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m\end{aligned}$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\begin{aligned}\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0 \\ \frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0\end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned}- \Delta z &= 18 \text{ ft} & - \Delta v &= 2,396330 \text{ ft/dt} \\ - \Delta P &= 0 & - \alpha &= 2\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}-W_s &= \left[ \frac{(2,396330)^2}{(2) \cdot (2) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(18) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{70,743949} \right] + 49,640532 \\ &= 55,203715\end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned}\text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(55,203715) \cdot (0,024922) \cdot (10,743949)}{550} \\ &= 0,176960 \text{ Hp}\end{aligned}$$

$$\text{Rate volumetrik} = 0,024922 \text{ ft}^3/\text{dt} = 11,186414 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 60 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{0,176960 \text{ Hp}}{0,60} = 0,294933 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 75 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,294933}{0,75} = 0,393244 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi alat :**

Fungsi : Mengalirkan larutan dari reaktor ke separator.

Type : *Centrifugal pump*

Ukuran : pipa 1 ¼ in Sch. 40

Kapasitas : 6347,047857 lb/jam

Daya : 0,5 Hp

Bahan konstruksi : *Commercial steel*

Jumlah : 1 buah

**30. Separator (H-137)**

Fungsi : Untuk memisahkan katalis  $\text{V}_2\text{O}_5$  yang keluar dari reaktor.

Type : Silinder horisontal dengan tutup atas dan bawah berbentuk *standard dished head*.

**Dasar Perancangan :**

$$\text{Kapasitas} = 2879,002022 \text{ kg/jam} = 6347,047857 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ bahan} = 1133,167493 \text{ kg/m}^3 = 70,743949 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Kondisi operasi : } P = 1 \text{ atm} ; T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Direncanakan :

Bahan konstruksi : *High Alloy Steel (H.A.S) SA 240 grade M type 316*

Type pengelasan : *Double welded butt joint*

Sehingga didapatkan :

- E (Brownell & Young, hlm 254) = 0,8
- f (Brownell & Young, hlm 342) = 18750 psi
- C (faktor koreksi) = 1/16

$$\begin{aligned} \text{Volume bahan} &= \frac{\text{massa bahan}}{\rho \text{ bahan}} = \frac{6347,047857 \text{ lb/jam}}{70,743949 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 89,718598 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Diasumsikan volume bahan = 75 % volume tangki, sehingga :

$$\text{Volume tangki} = (100/75) \times 89,718598 \text{ ft}^3 = 119,624797 \text{ ft}^3$$

**Menentukan dimensi tangki :**

$$\text{Vol. total} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder} + V \text{ tutup atas}$$

$$\text{Vol. total} = 0,0847 \text{ Di}^3 + \frac{\pi \cdot \text{Di}^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 \text{ Di}^3$$

$$119,624797 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot \text{Di}^2}{4} \cdot L_s + 2(0,0847 \times \text{Di}^3), \text{ dimana } L_s = 3 \text{ Di}$$

$$119,624797 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot \text{Di}^2}{4} \cdot 3 \text{ Di} + 2(0,0847 \times \text{Di}^3)$$

$$\text{Di}^3 = 47,347226 \text{ ft}^3$$

$$\text{Di} = 3,617691 \text{ ft}$$

**Menentukan tinggi bahan dalam silinder ( $L_s$ ) :**

$$\text{Volume katalis} = V \text{ tutup} + V \text{ silinder}$$

$$119,624797 \text{ ft}^3 = 2(0,0847 \times \text{Di}^3) + \frac{\pi \cdot \text{Di}^2}{4} \cdot L_s$$

$$119,624797 \text{ ft}^3 = 2(0,0847 \times 3,617691^3) + \frac{\pi \cdot (3,617691)^2}{4} \cdot L_s$$

$$L_s = 3,972406 \text{ ft} = 47,668872 \text{ in}$$

**Menentukan tekanan design ( $P_{\text{design}}$ ) :**

$$P_{\text{design}} = 14,7 + \left[ \rho \cdot \frac{g}{g_c} \cdot h \right] = 14,7 + \left( \frac{70,743949 \times 3,972406}{144} \right) \\ = 16,651553 \text{ psig}$$

**Menentukan tebal silinder ( $t_s$ ) :**

$$t_s = \frac{P_i \cdot D_i}{2(f \cdot E - 0,6P_i)} + C = \frac{(16,651553) \cdot (3,617691 \times 12)}{2[(18750) \cdot (0,8) - (0,6) \cdot (16,651553)]} + (1/16) \\ = 0,086612 \text{ in} \times 16/16 \\ = 1,39/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

$$\text{Standarisasi } D_i : \quad D_o = D_i + 2 t_s = (3,617691 \times 12) \text{ in} + (3/16) \text{ in} \\ = 43,787297 \text{ in}$$

Standarisasi  $D_o = 48 \text{ in}$  (Brownell & Young, tabel 5-7, hlm 91) :

$$D_i = D_o - 2 t_s = 48 \text{ in} - 2 (3/16) \text{ in} = 47,625 \text{ in}$$

**Menentukan tinggi silinder ( $L_s$ ) :**

$$L_s = 3 D_i = 3 (47,625) \text{ in} = 142,875 \text{ in} = 11,906250 \text{ ft}$$

**Menentukan dimensi tutup atas dan tutup bawah :**

Tutup atas dan bawah berbentuk *standard dished* :

- $r$  (Brownell & Young tabel 5.7 hlm. 89) = 48 in
- $icr$  (Brownell & Young tabel 5.6 hlm 88) = 9/16 in
- $sf$  (Brownell & Young tabel 5.6 hlm 88) = 1,5

Tebal tutup atas ( $t_{ha}$ ) atau tutup bawah ( $t_{hb}$ ) adalah (Brownell & Young, hlm 258) :

$$t_{ha} = \frac{0,885 \times P_i \cdot D_i}{f \cdot E - 0,1 \cdot P_i} + C = \frac{0,885 \times (16,651553) \cdot (47,625)}{(18750) \cdot (0,8) - 0,1 \cdot (16,651553)} + (1/16) \\ = 0,109294 \text{ in} \times 16/16 \\ = 1,75/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

$$t_{hb} = 3/16 \text{ in}$$

Tinggi tutup atas ( $h_a$ ) dan tutup bawah ( $h_b$ ) :

$$h_a = 0,169 D_i = (0,169) \times (47,625 \text{ in}) = 8,048625 \text{ in}$$

$$h_b = 8,048625 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= h_b + L_s + h_a = 8,048625 \text{ in} + 142,875 \text{ in} + 8,048625 \text{ in} \\ &= 158,972250 \text{ in} \\ &= 13,247688 \text{ ft} \end{aligned}$$

**Menentukan tinggi *over flow* (light liquid) dan *solid yang under flow* (heavy solid):**

$$\text{Jumlah liquid yang over flow} = 2874,408804 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Densitas liquid yang over flow } (\rho_L) = 70,669140 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Jumlah solid yang under flow} = 4,593218 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Densitas solid yang under flow } (\rho_H) = 209,578405 \text{ lb/ft}^3$$

$$Z_1 = 75\% D_i = 0,75 \times 47,625 = 35,718750 \text{ in} = 2,976563 \text{ ft}$$

$$Z_3 = 0,5 D_i = 0,5 \times 47,625 = 23,8125 \text{ in} = 1,984375 \text{ ft}$$

Dari Coulson & Richardson, vol. 6 pers. 10.6 hal. 395 :

$$\begin{aligned} Z_2 &= \left( \frac{Z_1 - Z_3}{\rho_H} \right) \times (\rho_L) \times Z_3 \\ &= \left( \frac{2,976563 \text{ ft} - 1,984375 \text{ ft}}{209,578405 \text{ lb/ft}^3} \right) \times 70,66914 \text{ lb/ft}^3 \times 1,98475 \\ &= 7,966765 \text{ ft} \end{aligned}$$

**Spesifikasi Separator :**

Fungsi : Untuk memisahkan katalis  $V_2O_5$  yang keluar dari reaktor.



Type : Silinder horisontal dengan tutup atas dan bawah berbentuk *standard dished head*.

Kapasitas : 2879,002022 kg/jam

Dimensi tangki :

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Jumlah = 1 buah
- Di (diameter dalam) = 47,625 in
- Do (diameter luar) = 48 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 142,875 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 8,048625 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 8,048625 in
- Tinggi tangki = 158,972250 in
- $Z_1$  = 2,976563 ft
- $Z_2$  = 7,966765 ft
- $Z_3$  = 1,984375 ft

### 31. Tangki Penampung Katalis (F-138)

Fungsi : Untuk menampung katalis  $V_2O_5$  yang keluar dari separator selama 1 bulan.

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standard dished head* dan tutup bawah berbentuk conis, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

**Dasar Perancangan :**

$$\text{Kapasitas} = 4,593218 \text{ kg/jam} = 10,126209 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ bahan} = 3,357 \text{ g/cm}^3 = 209,578405 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Kondisi operasi : } P = 1 \text{ atm} ; T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Direncanakan :

Bahan konstruksi : *High Alloy Steel* (H.A.S) SA 240 grade M type 316

Type pengelasan : *Double welded butt joint*

Sehingga didapatkan :

- E (Brownell & Young, hlm 254) = 0,8
- f (Brownell & Young, hlm 342) = 18750 psi
- C (faktor koreksi) = 1/16

$$\begin{aligned} \text{Volume katalis} &= \frac{\text{massa } V_2O_5}{\rho V_2O_5} = \frac{10,1256209 \text{ lb/jam}}{209,578405 \text{ lb/ft}^3} \times 24 \text{ jam/hari} \times 30 \text{ hari} \\ &= 34,788272 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Diasumsikan volume bahan = 75 % volume tangki, sehingga :

$$\text{Volume tangki} = (100/75) \times 34,788272 \text{ ft}^3 = 46,384362 \text{ ft}^3$$

**Menentukan dimensi tangki :**

$$\text{Vol. total} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder} + V \text{ tutup atas}$$

$$\text{Vol. total} = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 Di^3$$

$$46,384362 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 Di^3, \text{ dimana } L_s = 1,5 Di$$

$$46,384362 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot 1,5 Di + 0,0847 Di^3$$

$$D_i^3 = 34,644234 \text{ ft}^3$$

$$D_i = 3,259945 \text{ ft} = 39,119244 \text{ in}$$

**Menentukan tinggi katalis dalam silinder ( $L_{ls}$ ) :**

$$\text{Volume katalis} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder}$$

$$\begin{aligned} 34,788272 \text{ ft}^3 &= \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L_{ls} \\ &= \frac{\pi \cdot (3,259945)^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot (3,259945)^2}{4} \cdot L_{ls} \end{aligned}$$

$$L_{ls} = 3,852583 \text{ ft} = 46,230996 \text{ in}$$

**Menentukan tekanan design ( $P_{design}$ ) :**

$$\begin{aligned} P_{design} &= 14,7 + \left[ \rho \cdot \frac{g}{g_c} \cdot h \right] = 14,7 + \left( \frac{209,578405 \times 3,852583}{144} \right) \\ &= 20,307071 \text{ psig} \end{aligned}$$

**Menentukan tebal silinder ( $t_s$ ) :**

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{P_i \cdot D_i}{2(f \cdot E - 0,6P_i)} + C = \frac{(20,307071) \cdot (3,259945 \times 12)}{2[(18750) \cdot (0,8) - (0,6) \cdot (20,307071)]} + (1/16) \\ &= 0,089002 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,42/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Standarisasi } D_i : \quad D_o &= D_i + 2 t_s = (3,259945 \times 12) \text{ in} + (3/16) \text{ in} \\ &= 39,494344 \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi  $D_o = 40 \text{ in}$  (Brownell & Young, tabel 5-7, hlm 91) :

$$D_i = D_o - 2 t_s = 40 \text{ in} - 2 (3/16) \text{ in} = 39,625 \text{ in}$$

**Menentukan tinggi silinder ( $L_s$ ) :**

$$\begin{aligned} L_s &= 1,5 D_i = 1,5 (39,625) \text{ in} = 59,4375 \text{ in} \\ &= 4,953125 \text{ ft} \end{aligned}$$

**Menentukan dimensi tutup atas :**Tutup atas berbentuk *standard dishead* :

- r (Brownell & Young tabel 5.7 hlm. 89) = 40 in
- icr (Brownell & Young tabel 5.6 hlm 88) = 9/16 in
- sf (Brownell & Young tabel 5.6 hlm 88) = 1,5

Tebal tutup atas (tha) dari Brownell &amp; Young, hlm 258 :

$$\begin{aligned} \text{tha} &= \frac{0,885 \times P_i \cdot D_i}{f \cdot E - 0,1 \cdot P_i} + C = \frac{0,885 \times (20,307071) \cdot (39,625)}{(18750) \cdot (0,8) - 0,1 \cdot (20,307071)} + (1/16) \\ &= 0,109982 \text{ in} \times 16/16 \\ &= (1,76/16) \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

$$a = D_i/2 = (39,625/2) \text{ in} = 19,8125 \text{ in}$$

$$AB = a - \text{icr} = (19,8125 - [9/16]) \text{ in} = 19,25 \text{ in}$$

$$BC = r - \text{icr} = (40 - [9/16]) \text{ in} = 39,4375 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} = \sqrt{(39,4375)^2 - (19,25)^2} = 34,420254 \text{ in}$$

$$b = r - AC = (40 - 34,420254) \text{ in} = 5,579746 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tutup atas (ha)} &= \text{tha} + b + \text{sf} = (3/16)\text{in} + 5,579746 \text{ in} + 1,5 \text{ in} \\ &= 7,267246 \text{ in} \end{aligned}$$

**Menentukan dimensi tutup bawah :**

Tebal tutup bawah (thb) :

$$\begin{aligned} \text{thb} &= \frac{P_i \cdot d_e}{2 (f \cdot E - 0,6 P_i) \cos \alpha} + C, \text{ dimana } d_e = D_i \\ &= \frac{(20,307071) \cdot (39,625)}{2 [(18750) \cdot (0,8) - (0,6)(20,307071)] \cos 60} + (1/16) \\ &= 0,116188 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,85/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tutup bawah (hb)} &= \frac{1/2 \cdot Di}{\text{tg } 1/2 \alpha} = \frac{1/2 \cdot (53,625)}{\text{tg } 1/2 (120)} \\ &= 11,438752 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= hb + L_s + ha = 11,438752 \text{ in} + 59,4375 \text{ in} + 7,267246 \text{ in} \\ &= 78,143498 \text{ in} \end{aligned}$$

**Spesifikasi peralatan :**

Fungsi : Untuk menampung katalis  $V_2O_5$  yang keluar dari separator selama 1 bulan

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishhead* dan tutup bawah berbentuk conical, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

Kapasitas : 4,593218 kg/jam

**Dimensi tangki :**

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Jumlah = 1 buah
- Di (diameter dalam) = 39,625 in
- Do (diameter luar) = 40 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 59,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 7,267246 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 11,438752 in
- Tinggi tangki = 78,143498 in

**32. Pompa Centrifugal (L-139)**

Fungsi : Untuk mengalirkan larutan dari decanter ke evaporator

Type : *Centrifugal pump*

Jumlah : 1 buah

Bahan : *Commercial steel*

**Dasar Perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 2874,408804 \text{ kg/jam} = 6336,921648 \text{ lb/jam} \\ &= 1,760256 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas campuran} = 70,681976 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas campuran} = 1,650000 \text{ cp} = 0,001109 \text{ lb/ft.dt}$$

$$\text{Rate volumetrik } (Q_f) = \frac{1,760256 \text{ lb/dt}}{70,681976 \text{ lb/ft}^3} = 0,024904 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892 diperoleh :

$$\begin{aligned} ID_{\text{opt}} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} \\ &= 3,9 (0,024904)^{(0,45)} \times (70,681976)^{0,13} \\ &= 1,287641 \text{ in} = 0,107303 \text{ ft} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 1 ¼ in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

- OD = 1,660 in
- ID = 1,380 in
- A = 0,0104 ft<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida } (V) &= \frac{\text{rate volumetrik}(Q_f)}{\text{luasarea}(A)} = \frac{0,0024904 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,0104 \text{ ft}^2} \\ &= 2,394605 \text{ ft/dt} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$N_{Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(1,380/12) \text{ ft} \cdot (2,394605) \text{ ft/dt} \cdot (70,681976) \text{ lb/ft}^3}{0,001109 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}}$$

$$= 17555,229404 > 2100$$

Karena  $N_{Re} > 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah turbulen (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Commercial steel*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 89 diperoleh  $\epsilon = (4,6 \times 10^{-5})$  m, sehingga :

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{(4,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(1,380/12) \text{ ft}} = 0,001312$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,008

Menentukan panjang pipa :

- Pipa lurus = 60 ft
- Elbow, 90° = 3 buah

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 3 \times 0,75 = 2,25$$

- Gate valve = 2 buah (half open)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 2 \times 4,5 = 9$$

Dari pers. 2.10.16, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,0104} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,0104}{0} \right)^2 = 1$$



Dari pers. 2.10.18 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned}\Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,008 \times \frac{60}{(1,380/12)} + 1 + 0,55 + 2,25 + 9) \right] \frac{(2,394605)^2}{2} \\ &= 84,565971 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m\end{aligned}$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\begin{aligned}\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0 \\ \frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0\end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned}- \Delta z &= 18 \text{ ft} & - \Delta v &= 2,394605 \text{ ft/dt} \\ - \Delta P &= 0 & - \alpha &= 2\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}-W_s &= \left[ \frac{(2,394605)^2}{(2) \cdot (2) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(18) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{70,681976} \right] + 84,565971 \\ &= 90,088751\end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned}\text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(90,088751) \cdot (0,024904) \cdot (70,681976)}{550} \\ &= 0,154759 \text{ Hp}\end{aligned}$$

$$\text{Rate volumetrik} = 0,024904 \text{ ft}^3/\text{dt} = 11,178359 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 78 \%$$



$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{0,288326 \text{ Hp}}{0,60} = 0,384435 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 78 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,384435}{0,75} = 0,492865 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi alat :**

- Fungsi : Mengalirkan larutan dari decanter ke evaporator  
 Type : *Centrifugal pump*  
 Ukuran : Pipa 1 ¼ in Sch. 40  
 Kapasitas : 6336,921648 lb/jam  
 Daya : 0,5 Hp  
 Bahan konstruksi : *Commercial steel*  
 Jumlah : 1 buah

**33. Kristaliser (X-140)**

- Fungsi : Untuk mengkristalkan asam oksalat.  
 Type : *Swenson walker crystallizer*

**Dasar Perancangan:**

$$\text{Kapasitas} = 914,039694 \text{ kg/jam} = 2015,091909 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ campuran} = 1,314271 \text{ g/cm}^3 = 82,050301 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Waktu tinggal} = 1 \text{ jam}$$

**Dasar Perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan volumetrik} &= \frac{\text{massa}}{\rho \text{ campuran}} = \frac{2015,091909 \text{ lb/jam}}{82,050301 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 24,559226 \text{ ft}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\text{Rate air} = 2633,753580 \text{ kg/jam} = 5806,373142 \text{ lb/jam}$$

Menghitung  $\Delta t_{\text{LMTD}}$  :

$$\text{Suhu bahan masuk} = 75,9425 \text{ }^{\circ}\text{C} = 168,6965 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Suhu bahan keluar} = 32 \text{ }^{\circ}\text{C} = 89,6 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Suhu air masuk} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} = 86 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Suhu air keluar} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C} = 113 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta t_1 = (168,6965 - 113) \text{ }^{\circ}\text{F} = 55,6965 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta t_2 = (89,6 - 86) \text{ }^{\circ}\text{F} = 3,6 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta t_{\text{LMTD}} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(55,6965 - 3,6) \text{ }^{\circ}\text{F}}{\ln \frac{(55,6965) \text{ }^{\circ}\text{F}}{(3,6) \text{ }^{\circ}\text{F}}} = 19,020378$$

Menghitung luas perpindahan panas (A) :

$$\text{Dari neraca panas didapatkan : } Q = 157862,276438 \text{ Btu/jam}$$

Dari Perry's 6<sup>th</sup>, hlm 19 - 39 didapatkan  $U_D = 50 \text{ Btu/jam.ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$  sehingga luas perpindahan panas (A) yang dibutuhkan :

$$A = \frac{Q}{U_D \times \Delta t_{\text{LMTD}}} = \frac{157862,276438 \text{ Btu/jam}}{(50 \text{ Btu/ft}^2 \text{ .jam. }^{\circ}\text{F}) \times (19,020378 \text{ }^{\circ}\text{F})} = 165,992788 \text{ ft}^2$$

Dari Badger & Bancherco hlm 524, didapatkan :

$$\text{- Diameter} = 60 \text{ in} = 5 \text{ ft}$$

$$\text{- Panjang} = 300 \text{ in} = 12 \text{ ft}$$

Menghitung panjang kristalizer berdasarkan perpindahan panas :

$$A = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot D \cdot L = 165,992788 \text{ ft}^2$$

$$L = \frac{A}{\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot D} = \frac{165,992788 \text{ ft}^2}{\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot (5 \text{ ft})} = 21,126355 \text{ ft}$$

$$\text{Jumlah kristaliser yang dibutuhkan} = \frac{21,126355 \text{ ft}}{25 \text{ ft}} = 0,845054 \approx 1 \text{ buah}$$

Menghitung panjang kristaliser berdasarkan volume liquid :

$$\text{Volume liquid} = \text{kecepatan volumetrik} = 24,559226 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$V = \frac{1}{2} \cdot \pi/4 \cdot D^2 \cdot L = 24,559226 \text{ ft}^3$$

$$L = \frac{V}{\frac{1}{2} \times \pi/4 \times D^2} = \frac{24,559226 \text{ ft}^3}{(1/2) \cdot (\pi/4) \cdot (5 \text{ ft})^2} = 2,500576 \text{ ft}$$

$$\text{Jumlah kristaliser yang dibutuhkan} = \frac{2,500576 \text{ ft}}{25 \text{ ft}}$$

$$= 0,100023 \approx 1 \text{ buah}$$

Menghitung luas perpindahan panas berdasarkan volume liquid :

$$A = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot D \cdot L = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot (5 \text{ ft}) \cdot (2,500576 \text{ ft})$$

$$= 19,647381 \text{ ft}^2$$

Dari perhitungan didapatkan luas perpindahan panas (A) berdasarkan volume liquid < A (luas perpindahan panas) berdasarkan perpindahan panas. Sehingga ditetapkan jumlah kristaliser yang dibutuhkan = 1 buah.

#### Spesifikasi Kristaliser :

Type	=	<i>Swenson walker</i>
Kapasitas	=	914,039694 kg/jam = 2015,091909 lb/jam
Panjang	=	25 ft
Diameter	=	5 ft
Surface area (A)	=	19,647381 ft <sup>2</sup>
Bahan konstruksi	=	<i>Stainless steel</i>
Jumlah	=	1

**34. Kondensor (E-141)**

Fungsi : Untuk mendinginkan bahan dari suhu 120 °C menjadi 30 °C

Type : *Horisontal Shell and tube* type 1 – 2

*Shell side* : Uap dari evaporator

*Tube side* : air

Digunakan pipa ¾ in OD 16 BWG dengan panjang 16 ft.

**Dasar perencanaan :**

Dari perhitungan neraca massa dan neraca panas diperoleh :

Massa bahan masuk = 1960,369110 kg/jam = 4321,829739 lb/jam

Kebutuhan air pendingin = 87974,353652 kg/jam = 193948,260062 lb/jam

Panas yang dibutuhkan (Q) = 1329644,381104 kkal/jam  
= 5273018,643336 Btu/jam

Diasumsikan Rd gabungan minimal = 0,0035 h.ft<sup>2</sup>.°F/Btu.

**Dasar Perhitungan :**

Mencari  $\Delta T_{LMTD}$  :

- Suhu bahan masuk ( $T_1$ ) = 100,94 °C = 213,70 °F

- Suhu bahan keluar ( $T_2$ ) = 30 °C = 86 °F

- Suhu air pendingin masuk ( $t_1$ ) = 30 °C = 86 °F

- Suhu air pendingin keluar ( $t_2$ ) = 45 °C = 113 °F

-  $\Delta t_1$  =  $T_1 - t_1$  = (213,70 – 86) °F = 127,70 °F

-  $\Delta t_2$  =  $T_2 - t_2$  = (113 – 86) °F = 27 °F

Maka :  $\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(127,70 - 27) \text{ °F}}{\ln \frac{127,70 \text{ °F}}{27 \text{ °F}}} = 64,805783 \text{ °F}$

Diasumsikan  $F_t = 1$ , sehingga :

$$\Delta t = F_t \cdot \Delta T_{LMTD} = (1,0) \times (64,805783 \text{ } ^\circ\text{F}) = 64,805783 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Menentukan suhu kaloric :

$$- T_c = \frac{1}{2} (T_1 + T_2) = \frac{1}{2} (213,7 + 86) \text{ } ^\circ\text{F} = 149,848238 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$- t_c = \frac{1}{2} (t_1 + t_2) = \frac{1}{2} (86 + 113) \text{ } ^\circ\text{F} = 99,5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Trial  $U_D$  :

Dari Kern, tabel 8 hal. 840 pada kolom cooler, maka didapat  $U_D = 40 - 75$  Btu/h.ft<sup>2</sup>.°F

Trial  $U_D = 75$  Btu/h.ft<sup>2</sup>.°F, sehingga :

$$A = \frac{Q}{U_D \times \Delta T_{LMTD}} = \frac{5273018,643336 \text{ Btu/jam}}{(75 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}) \times (64,805783 \text{ } ^\circ\text{F})}$$

$$= 1084,886447 \text{ ft}^2$$

Dari Kern, tabel 10 hal. 843 diperoleh :

$$- D_o = \frac{3}{4} \text{ in 16 BWG}$$

$$- a'' = 0,1963$$

$$- N_t = \frac{A}{a'' \times l} = \frac{1084,886447 \text{ ft}^2}{(0,1963 \text{ ft}^2/\text{ft}) \times (16 \text{ ft})} = 345,417233$$

Dari kern, tabel 9 hal. 841, pada  $\frac{3}{4}$  OD, square dengan  $P_T = 1$  didapatkan :

$$- N_T \text{ standar} = 346$$

$$- n = 8$$

$$- \text{IDs} = 25$$

Sehingga :

$$U_D \text{ koreksi} = \frac{N_t}{N_t \text{ standar}} \times U_D \text{ trial} = \frac{345,417233}{346} \times 75 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}$$

$$= 74,873678 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}$$

Kesimpulan sementara rancangan shell & tube :

- Type HE = 1-2
- Bagian shell :
  - IDs = 25 in
  - n' = 1
  - $(N+1) = \frac{12 \cdot l}{B} = \frac{12 \times 16}{19,2} = 10$  in (diambil B = 19,2)
- Bagian tube :
  - $\frac{3}{4}$  in OD 16 BWG
  - di = 0,62 in
  - de = 0,95
  - $P_T = 1$  in
  - $N_t = 346$
  - $C' = P_T - d_o = 1 \text{ in} - 0,75 \text{ in} = 0,25 \text{ in}$
  - n = 8
  - l = 16 ft
  - $a'' = 0,1963 \text{ ft}^2/\text{ft}$
  - $a' = 0,302 \text{ in}^2$
  - Susunan = □ (square)

### Evaluasi Perpindahan panas (Rd)

Bagian shell	Bagian tube (air)
$1. a_s = \frac{IDs \times C' \times B}{n' \times P_T \times 144}$ $= \frac{25 \times 0,25 \times 19,2}{1 \times 1 \times 144}$ $= 0,833333 \text{ ft}^2$	$1'. a_t = \frac{N_t \times a'}{144 \times n}$ $= \frac{346 \times 0,302}{144 \times 8}$ $= 0,090705 \text{ ft}^2$
$2. G_s = \frac{M}{a_s} = \frac{4321,829739}{0,833333}$ $= 5186,195687 \text{ lb/h.ft}^2$	$2'. G_t = \frac{m}{a_t} = \frac{193948,260062}{0,090705}$ $= 2138234,463803$

<p>3. <math>N_{Res} = \frac{de \times G_s}{\mu \times 24,2}</math></p> $= \frac{(0,95/12) \times 5186,195687}{0,024 \times 24,2}$ $= 7069,108561$ <p>4. <math>J_H = -</math></p> <p>5. Trial <math>h_o = 400 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F}</math> Mencari <math>t_w</math></p> $t_w = t_c + \frac{h_o}{h_{io} + h_o} (T_c - t_c)$ $= 105,322849 \text{ °F}$ <p>Mencari <math>t_f</math></p> $t_f = \frac{1}{2} (T_c + t_w)$ $= 127,585544 \text{ °F}$ <p>Karena <math>t_f &lt; T_c</math> (149,848238 °F) maka <math>\mu_f</math> dicari pada fase liquid.</p> <p>Maka didapatkan</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>s_f = 1,38</math> (Kern, tab. 6 hal. 808)</li> <li>- <math>\mu_f = 1,35</math> (Kern, gb. 14 hal. 823)</li> <li>- <math>k_f = 0,438</math> (Kern, tab.5 hal.802)</li> </ul> $G'' = \frac{M}{N_i^{1/2} \cdot 1} = \frac{4321,829739}{(346)^{1/2} \cdot (16)}$ $= 5,480627$ <p>Dari Kern gb. 12.9 hal. 267, didapat :</p> $h_o = 360 \text{ Btu/ ft}^2.\text{jam.°F}$	<p>3'. <math>N_{Ret} = \frac{di \times G_t}{\mu \times 24,2}</math></p> $= \frac{(0,62/12) \times 2138234,463803}{0,74 \times 24,2}$ $= 61690,555783$ <p>4'. <math>J_H = -</math></p> <p>5'. <math>V = \frac{G_t}{3600 \times \rho \text{ air}}</math></p> $= \frac{2138234,463803}{3600 \times 62,5}$ $= 9,503264$ <p><math>h_i = 1850 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F}</math></p> $h_{io} = h_i \times \frac{di}{do}$ $h_{io} = (1850) \times \frac{0,62}{0,75}$ $= 1529,333333 \text{ Btu/ft}^2.\text{jam.°F}$
---	---

$$U_C = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{(1529,333333 \text{ Btu/ft}^2.\text{jam.°F}) \times (360 \text{ Btu/ft}^2.\text{jam.°F})}{(1529,333333 + 360) \text{ Btu/ft}^2.\text{jam.°F}}$$

$$= 214,874485 \text{ Btu/ft}^2.\text{jam.°F}$$

$$\begin{aligned}
 R_d &= \frac{U_C - U_{D \text{ koreksi}}}{U_C \times U_{D \text{ koreksi}}} \\
 &= \frac{(214,874485 - 74,873678) \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}{(214,874485 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}) \times (74,873678 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F})} \\
 &= 0,008702 \text{ h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}/\text{Btu}
 \end{aligned}$$

Karena  $R_d$  hitung  $>$   $R_d$  ketentuan, berarti perhitungan kondensor sudah memadai.

### 35. Pompa Centrifugal (L-142)

Fungsi : Untuk mengalirkan larutan dari evaporator ke kristaliser.

Type : *Centrifugal pump*

Jumlah : 1 buah

Bahan : *Commercial steel*

#### Dasar Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate aliran} &= 914,039694 \text{ kg/jam} = 2015,091909 \text{ lb/jam} \\
 &= 0,559748 \text{ lb/detik}
 \end{aligned}$$

$$\text{Densitas bahan} = 82,050301 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ bahan} = 1,65 \text{ cp} = 0,001109 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}$$

$$\text{Rate volumetrik } (Q_f) = \frac{0,559748 \text{ lb/dt}}{82,050301 \text{ lb/ft}^3} = 0,006822 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892 diperoleh :

$$\begin{aligned}
 ID_{\text{opt}} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} = 3,9 (0,006822)^{(0,45)} \times (82,050301)^{0,13} \\
 &= 0,733087 \text{ in} \\
 &= 0,061091 \text{ ft}
 \end{aligned}$$



Standarisasi ID = ¾ in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} - \text{OD} &= 1,050 \text{ in} & - \text{ID} &= 0,824 \text{ in} \\ - \text{A} &= 0,00371 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{\text{rate volumetrik}(Q_f)}{\text{luasarea}(A)} = \frac{0,006822 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,00371 \text{ ft}^2} \\ &= 1,838816 \text{ ft/dt} \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,824/12) \text{ ft} \cdot (1,838816) \text{ ft/dt} \cdot (82,050301) \text{ lb/ft}^3}{0,001109 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}} \\ &= 9343,951720 > 2100 \end{aligned}$$

Karena  $N_{Re} > 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah turbulen (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Commercial steel*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 89 diperoleh  $\epsilon = (4,6 \times 10^{-5})$  m, sehingga :

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{(4,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(0,824/12) \text{ ft}} = 0,002198$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,009

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 60 ft
- Elbow, 90° = 3 buah

$$K_f(\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 3 \times 0,75 = 2,25$$

- Gate valve = 2 buah (*half open*)

$$K_f(\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 2 \times 4,5 = 9$$

Dari pers. 2.10.16 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,00371} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{\alpha} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,00371}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned} \Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_F \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,009) \times \frac{60}{(0,824/12)} + 1 + 0,55 + 2,25 + 9 \right] \frac{(1,838816)^2}{2} \\ &= 74,820697 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m \end{aligned}$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0 \\ \frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0 \end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} - \Delta z &= 18 \text{ ft} & - \Delta v &= 1,838816 \text{ ft/dt} \\ - \Delta P &= 0 & - \alpha &= 2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} -W_s &= \left[ \frac{(1,838816)^2}{(2) \cdot (2) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(18) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{82,050301} \right] + 74,820697 \\ &= 80,325210 \end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} \\ &= \frac{(80,325210) \cdot (0,006822) \cdot (82,050301)}{550} \\ &= 0,081749 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{Rate volumetrik} = 0,006822 \text{ ft}^3/\text{dt} = 3,062126 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 65 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{0,081749 \text{ Hp}}{0,65} = 0,125767 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 78 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,125767}{0,78} \\ &= 0,161240 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp} \end{aligned}$$

**Spesifikasi alat :**

Fungsi	: Mengalirkan larutan evaporator ke kristaliser
Type	: <i>Centrifugal pump</i>
Ukuran	: Pipa ¾ in Sch. 40
Kapasitas	: 2015,091909 lb/jam
Daya	: 0,5 Hp
Bahan konstruksi	: <i>Commercial steel</i>
Jumlah	: 1 buah

**36. Centrifuge (H-143)**

Fungsi : Untuk memisahkan slurry asam oksalat dengan H<sub>2</sub>O sebelum masuk rotary dryer.

Type : *Screen bowl decanter centrifuge.*

**Dasar Perancangan :**

$$\text{Rate bahan} = 914,039694 \text{ kg/jam} = 2015,091909 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ bahan} = 1,314271 \text{ g/cm}^3 = 82,050301 \text{ lb/ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{massa}}{\rho} = \frac{2015,091909 \text{ lb/jam}}{82,050301 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 24,559226 \text{ ft}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan centrifuge jenis basket centrifuge, sehingga untuk menentukan kapasitas centrifuge menggunakan persamaan:

$$V_t = 390 \times D^2 \times H$$

Dimana :

$V_t$  = kapasitas maksimum

$D$  = diameter (in) = 44 in = 3,666667 ft (Hugot tabel 35.8 hlm 722)

$H$  = tinggi (in) = 22 in = 1,833333 ft (Hugot tabel 35.8 hlm 722)

Sehingga :

$$V_t = (390) \times (3,66667 \text{ ft})^2 \times (1,833333 \text{ ft}) = 9612,777778 \text{ ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi kapasitas centrifuge} &= \frac{9612,777778 \text{ ft}^3}{82,050301 \text{ lb/ft}^3} = 117,157131 \text{ lb/jam} \\ &= 1,952619 \text{ lb/menit} \end{aligned}$$

Dari Hugot pers. 35.6 hlm 769, putaran centrifuge = 2 – 6 menit dan diambil waktu = 3 menit, sehingga dalam 1 jam terdapat 20 putaran, maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas centrifuge} &= 117,157131 \text{ lb/jam} \times 20 \text{ putaran} \\
 &= 2343,142612 \text{ lb/jam} \\
 &= 29,289283 \text{ lb/menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi jumlah centrifuge yang dibuat} &= \frac{\text{Luas massa}}{\text{Kapasitas centrifuge}} \\
 &= \frac{2015,091909 \text{ lb/jam}}{2343,142612 \text{ lb/jam}} \\
 &= 0,859995 \approx 1 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Menghitung power :

$$\text{BHP} = 5,17 \cdot 10^{-9} \times G \times r^2 \times N^2$$

Dimana :

G = jumlah bahan centrifuge

r = 2,25 ft

N = 1000 rpm

Sehingga power yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 \text{BHP} &= (5,17 \cdot 10^{-9}) \times (29,289283 \text{ lb/menit}) \times (2,25 \text{ ft})^2 \times (1000)^2 \\
 &= 0,766529 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

**Spesifikasi centrifuge:**

Fungsi : Untuk memisahkan slurry asam oksalat dengan H<sub>2</sub>O sebelum masuk rotary dryer.

Type : *Screen bowl decanter centrifuge*

Bahan : *Carbon steel*

Diameter : 44 in = 3,666667 ft

Tinggi : 22 in = 1,833333 ft

Daya : 1 Hp

Jumlah : 1 buah

### 37. Tangki Penampung Filtrat (F-144)

Fungsi : Untuk menampung filtrat yang keluar dari centrifuge

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standard dished head* dan tutup bawah berbentuk conis, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

#### Dasar Perancangan :

Kapasitas = 408,989189 kg/jam = 901,657565 lb/jam

$\rho$  bahan = 1132,022271 kg/m<sup>3</sup> = 70,672452 lb/ft<sup>3</sup>

Kondisi operasi : P = 1 atm ; T = 30 °C

Direncanakan :

Bahan konstruksi : *High Alloy Steel (H.A.S) SA 240 grade M type 316*

Type pengelasan : *Double welded butt joint*

Sehingga didapatkan :

- E (Brownell & Young, hlm 254) = 0,8

- f (Brownell & Young, hlm 342) = 18750 psi

- C (faktor koreksi) = 1/16

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{massa filtrat}}{\rho \text{ filtrat}} = \frac{901,657565 \text{ lb/jam}}{70,672452 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 12,758261 \text{ ft}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Diasumsikan volume bahan = 75 % volume tangki, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= (100/75) \times 12,758261 \text{ ft}^3 \\ &= 17,011014 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

**Menentukan dimensi tangki :**

$$\text{Vol. total} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder} + V \text{ tutup atas}$$

$$\text{Vol. total} = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 Di^3$$

$$17,011014 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 Di^3, \text{ dimana } L_s = 1,5 Di$$

$$= \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot 1,5 Di + 0,0847 Di^3$$

$$Di^3 = 12,705436 \text{ ft}^3$$

$$Di = 2,333439 \text{ ft} = 28,001273 \text{ in}$$

**Menentukan tinggi liquid ( $L_{ls}$ ) :**

$$\text{Volume liquid} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder}$$

$$12,758261 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_{ls}$$

$$= \frac{\pi \cdot (2,333439)^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot (2,333439)^2}{4} \cdot L_{ls}$$

$$L_{ls} = 2,757644 \text{ ft} = 16,053399 \text{ in}$$

**Menentukan tekanan design ( $P_{\text{design}}$ ) :**

$$P_{\text{design}} = 14,7 + \left[ \rho \cdot \frac{g}{g_c} \cdot h \right] = 14,7 + \left( \frac{70,672452 \times 2,757644}{144} \right)$$

$$= 16,053399 \text{ psig}$$

**Menentukan tebal silinder ( $t_s$ ) :**

$$t_s = \frac{P_i \cdot Di}{2(f \cdot E - 0,6P_i)} + C = \frac{(16,053399) \cdot (2,333439 \times 12)}{2[(18750) \cdot (0,8) - (0,6) \cdot (16,053399)]} + (1/16)$$

$$= 0,077493 \text{ in} \times 16/16$$

$$= 1,24/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}\text{Standarisasi } D_i : \quad D_o &= D_i + 2 t_s = (2,333439 \times 12) \text{ in} + (3/16) \text{ in} \\ &= 28,376273 \text{ in}\end{aligned}$$

Standarisasi  $D_o = 30 \text{ in}$  (Brownell & Young, tabel 5-7, hlm 91) :

$$D_i = D_o - 2 t_s = 30 \text{ in} - 2 (3/16) \text{ in} = 29,625 \text{ in}$$

**Menentukan tinggi silinder ( $L_s$ ) :**

$$\begin{aligned}L_s &= 1,5 D_i = 1,5 (29,625) \text{ in} = 44,4375 \text{ in} \\ &= 3,703125 \text{ ft}\end{aligned}$$

**Menentukan dimensi tutup atas :**

Tutup atas berbentuk *standard dished* :

- $r$  (Brownell & Young tabel 5.7 hlm. 89) = 30 in
- $icr$  (Brownell & Young tabel 5.6 hlm 88) = 9/16 in
- $sf$  (Brownell & Young tabel 5.6 hlm 88) = 1,5

Tebal tutup atas ( $t_{ha}$ ) dari Brownell & Young, hlm 258 :

$$\begin{aligned}t_{ha} &= \frac{0,885 \times P_i \cdot D_i}{f \cdot E - 0,1 \cdot P_i} + C = \frac{0,885 \times (16,053399) \cdot (53,625)}{(18750) \cdot (0,8) - 0,1 \cdot (16,053399)} + (1/16) \\ &= 0,090562 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,45/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}\end{aligned}$$

$$a = D_i/2 = (29,625/2) \text{ in} = 14,8125 \text{ in}$$

$$AB = a - icr = (14,8125 - [9/16]) \text{ in} = 14,25 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (30 - [9/16]) \text{ in} = 29,4375 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} = \sqrt{(29,4375)^2 - (14,25)^2} = 25,758570 \text{ in}$$

$$b = r - AC = (30 - 4,241430) \text{ in} = 25,758570 \text{ in}$$



$$\begin{aligned} \text{Tinggi tutup atas (ha)} &= \text{tha} + b + \text{sf} = (3/16)\text{in} + 4,241430 \text{ in} + 1,5 \text{ in} \\ &= 5,928930 \text{ in} \end{aligned}$$

**Menentukan dimensi tutup bawah :**

Tebal tutup bawah (thb) :

$$\begin{aligned} \text{thb} &= \frac{\text{Pi} \cdot \text{de}}{2 (\text{f} \cdot \text{E} - 0,6\text{Pi}) \cos \alpha} + \text{C} \quad , \text{dimana } \text{de} = \text{Di} \\ &= \frac{(16,053399) \cdot (29,625)}{2 [(18750) \cdot (0,8) - (0,6)(16,053399)] \cos 60} + (1/16) \\ &= 0,094226 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,5/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tutup bawah (hb)} &= \frac{1/2 \cdot \text{Di}}{\text{tg } 1/2 \alpha} = \frac{1/2 \cdot (29,625)}{\text{tg } 1/2 (120)} \\ &= 8,552001 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= \text{hb} + \text{L}_s + \text{ha} = 8,552001 \text{ in} + 44,4375 \text{ in} + 5,928930 \text{ in} \\ &= 58,918431 \text{ in} \end{aligned}$$

**Spesifikasi peralatan :**

Nama alat : Tangki Penampung Filtrat

Fungsi : Untuk menampung filtrat yang keluar dari rotary vacuum filter.

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah berbentuk conical, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

Kapasitas : 408,989189 kg/jam

Dimensi tangki:

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Jumlah = 1 buah
- Di (diameter dalam) = 29,625 in

- Do (diameter luar) = 30 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in
- $L_s$  (tinggi silinder) = 44,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 5,928930 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 8,552001 in
- Tinggi tangki = 58,918431 in

### 38. Pompa Centrifugal (L-145)

Fungsi : Untuk mengalirkan larutan dari tangki penampung filtrat ke tangki hidrolisa

Type : *Centrifugal pump*

Jumlah : 1 buah

Bahan : *Commercial steel*

#### Dasar Perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 408,989189 \text{ kg/jam} = 901,657565 \text{ lb/jam}$$

$$= 0,250460 \text{ lb/detik}$$

$$\text{Densitas bahan} = 1132,022271 \text{ kg/m}^3 = 82,050301 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ bahan} = 0,30 \text{ cp} = 0,000202 \text{ lb/ft.dt}$$

$$\text{Rate volumetrik } (Q_r) = \frac{0,250460 \text{ lb/dt}}{82,050301 \text{ lb/ft}^3} = 0,003053 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm

892 diperoleh :

$$\begin{aligned}
 ID_{opt} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} = 3,9 (0,003053)^{(0,45)} \times (82,050301)^{0,13} \\
 &= 0,510495 \text{ in} \\
 &= 0,042541 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 1 ¼ in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

- OD = 0,840 in
- ID = 0,622 in
- A = 0,00211 ft<sup>2</sup>

$$\begin{aligned}
 \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{\text{rate volumetrik (Q}_f\text{)}}{\text{luasarea (A)}} = \frac{0,003053 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,00211 \text{ ft}^2} \\
 &= 0,004908 \text{ ft/dt}
 \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,622/12) \text{ ft} \cdot (0,004908) \text{ ft/dt} \cdot (82,050301) \text{ lb/ft}^3}{0,000202 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}} \\
 &= 103,534894 < 2100
 \end{aligned}$$

Karena  $N_{Re} < 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah laminair (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Commercial steel*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 89 diperoleh  $\varepsilon = (4,6 \times 10^{-5})$  m, sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(4,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(0,622/12) \text{ ft}} = 0,002912$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,150

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 200 ft
- Elbow, 90° = 5 buah

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 5 \times 0,75 = 3,75$$

- Gate valve = 4 buah (*half open*)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 95}) = 4 \times 4,5 = 18$$

Dari pers. 2.10.16, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,0211} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,0211}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned} \Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,150) \times \frac{200}{(0,622/12)} + 1 + 0,55 + 3,75 + 18 \right] \frac{(0,004908)^2}{2} \\ &= 0,028160 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m \end{aligned}$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} - \Delta z &= 18 \text{ ft} & - \Delta v &= 0,004908 \text{ ft/dt} \\ - \Delta P &= 0 & - \alpha &= 2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} -W_s &= \left[ \frac{(1,838816)^2}{(2) \cdot (2) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(18) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{82,050301} \right] + 74,820697 \\ &= 5,506421 \end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(5,506421) \cdot (0,003053) \cdot (82,050301)}{550} \\ &= 0,002508 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{Rate volumetrik} = 0,003053 \text{ ft}^3/\text{dt} = 1,370155 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 36 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{0,002508 \text{ Hp}}{0,36} = 0,006965 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 45 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,006965}{0,45} = 0,015479 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

#### Spesifikasi alat :

Fungsi	:	Mengalirkan larutan evaporator ke kristaliser
Type	:	<i>Centrifugal pump</i>
Ukuran	:	Pipa ½ in Sch. 40
Kapasitas	:	901,657565 lb/jam
Daya	:	0,5 Hp
Bahan konstruksi	:	<i>Commercial steel</i>
Jumlah	:	1 buah

#### 39. Screw Conveyor (H-146)

Fungsi : Untuk mengangkut kristal asam oksalat dari centrifuge menuju Rotary Dryer untuk dikeringkan.

Type : *Horisontal Screw Conveyor*

**Dasar Perhitungan :**

$$\text{Kapasitas} = 505,050505 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Kapasitas design} = 1,2 \times 505,050505 \text{ kg/jam} = 606,060606 \text{ kg/jam}$$

$$= 1336,121212 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ produk} = 82,050301 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{\text{massa bahan}}{\rho \text{ produk}} = \frac{1336,121212 \text{ lb/jam}}{82,050301 \text{ lb/ft}^3}$$

$$= 16,284172 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0,271403 \text{ ft}^3/\text{menit}$$

Dari Perry edisi 3, tabel 7-6 hal. 7-7 direncanakan :

- Panjang *screw* = 15 ft
- Diameter *flight* = 9 in
- Diameter pipa = 2,5 in
- Diameter *shaft* = 2 in

Menentukan daya motor yang dibutuhkan untuk screw conveyor :

$$\text{Hp} = \frac{C \times L \times W \times F}{3300}$$

Dimana :

- C = kapasitas screw conveyor
- L = panjang
- W = densitas bahan
- F = material faktor

$$\text{Maka : Hp} = \frac{(0,271403 \text{ ft}^3/\text{menit}) \times (15 \text{ ft}) \times (82,050301 \text{ lb/ft}^3) \times (2,5)}{3300}$$

$$= 0,253053 \text{ Hp}$$

Karena daya yang digunakan kurang dari 2 Hp, maka daya dikalikan dengan dua (Badger & Benchero, hal. 731).

$$\text{Hp} = 2 \times 0,253053 \text{ Hp} = 0,506107 \text{ Hp}$$

Diketahui efisiensi motor sebesar 70%, sehingga :

$$\text{Hp} = \frac{0,506107 \text{ Hp}}{0,70} = 0,723009 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp}$$

#### 40. Rotary Dryer (B-147)

Fungsi : Untuk mengeringkan produk kristal asam oksalat dari kandungan air yang terdapat dalam kristal asam oksalat.

Type : *Single shell indirect heat rotary dryer*

##### Dasar Perencanaan :

Menentukan volume rotary dryer :

$$\text{Rate bahan masuk} = 505,050505 \text{ kg/jam} = 1113,434343 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ campuran} = 82,050301 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Waktu tinggal} = 1 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas RD} &= \text{rate bahan} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 505,050505 \text{ kg/jam} \times 1 \text{ jam} \\ &= 505,050505 \text{ kg} \\ &= 1113,434343 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bahan} &= \frac{\text{massa bahan}}{\rho \text{ campuran}} = \frac{1113,434343 \text{ lb}}{82,050301 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 13,570143 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Dari Ulrich, tabel 4-10 hal. 132, diketahui volume bahan = 10 – 15 % volume silinder rotary dryer, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume silinder RD} &= \frac{\text{volume bahan}}{0,15} = \frac{13,570143 \text{ ft}^3}{0,15} \\ &= 90,467622 \text{ ft}^3 = 2,561879 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Menentukan diameter rotary dryer :

Dari neraca panas diketahui panas yang dibutuhkan untuk bahan masuk rotary dryer adalah :

$$Q_t = 120100,868441 \text{ kkal/jam}$$

$$Gg_1 = 2163,737783 \text{ kg/jam} = 4770,176317 \text{ lb/jam}$$

Dari Badger & Benchero hal. 509, udara panas yang digunakan adalah 9% berlebih untuk menjaga kehilangan panas, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Udara kering masuk} &= (100 + 9)\% \times Gg_1 = 1,09 \times 4770,176317 \text{ lb/jam} \\ &= 5199,492185 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Kisaran udara masuk = 400 – 4000 lb/ft<sup>2</sup>.jam (Perry, ed. 3 hal. 831), diambil kecepatan udara = 500 lb/ft<sup>2</sup>.jam

$$\begin{aligned} \text{Luas rotary dryer (A)} &= \frac{\text{laju udara kering masuk}}{\text{kecepatan udara}} = \frac{5199,492185 \text{ lb/jam}}{500 \text{ lb/ft}^2 \cdot \text{jam}} \\ &= 10,398984 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \text{Luas (A)} &= \pi/4 \cdot D^2 \\ 10,398984 &= (\pi/4) \times D^2 \\ D &= 3,638004 \text{ ft} \\ &= 1,108877 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari Ulrich tabel 4-10 hal. 132, diketahui kisaran diameter untuk rotary dryer adalah 1 – 3 m, sehingga ukuran diameter diatas sudah memenuhi syarat.



Diketahui :

- Kecepatan peripheral = 30 – 150 ft/menit (Perry ed. 3 hal. 8-32)
- $N \times D$  = 25 – 30 (Perry ed. 3 hal. 20-38)

Dalam perencanaan ditetapkan kecepatan peripheral ( $v$ ) = 80 ft/menit.

$$N = \frac{v}{\pi \times D}$$

Dimana :

- $N$  = jumlah putaran rotary dryer
- $v$  = kecepatan peripheral (ft/menit)
- $D$  = diameter shell (ft)

$$\text{Jadi : } N = \frac{80 \text{ ft/menit}}{\pi \times 3,638004 \text{ ft}} = 6,996844$$

$$\begin{aligned} \text{Sedangkan : } N \times D &= (6,996844) \times (3,638004) \\ &= 25,454545 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Menentukan panjang rotary dryer :

$$\text{Volume rotary dryer} = 90,467622 \text{ ft}^3 = 2,561879 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume RD} = \pi/4 \cdot D^2 \cdot L$$

$$90,467622 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \times (1,108877)^2 \times L$$

$$L = 23,410019 \text{ ft}$$

$$= 7,135461 \text{ m}$$

Dari Ulrich, tabel 4-10 hal. 132, panjang rotary dryer adalah ( $L$ ) adalah 6–30 m dan ratio adalah  $L/D = 6–10$ . Ratio perbandingan panjang dengan diameter rotary dryer :

$$L/D = (7,135461/1,108877) = 6,434853$$

Dari perhitungan diatas, maka panjang rotary dryer sudah memenuhi syarat yang ditentukan.

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan solid} &= \frac{\text{panjang rotary dryer}}{\text{waktu tinggal solid}} = \frac{7,135461 \text{ m}}{1 \text{ jam} \times 3600 \text{ detik/jam}} \\ &= 0,001982 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

Dari Ulrich, tabel 4-10 hal. 132, kecepatan solid yang diperbolehkan adalah (0,02 – 0,06) m/dt. Dari perhitungan didapatkan kecepatan solid = 0,001982 m/dt, maka diambil kecepatan solid sebesar 0,02 m/dt, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Waktu tinggal solid dalam rotary dryer (t)} &= (7,13546 \text{ m}) / (0,02 \text{ m/dt}) \\ &= 356,773032 \text{ detik} = 5,946217 \text{ menit} \end{aligned}$$

Menentukan tebal shell rotary dryer :

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times (f \cdot E - 0,6 \cdot P)} + C$$

Dimana :

- $t_s$  = tebal *shell rotary dryer*, in
- $P$  = tekanan operasi, psig
- $D$  = diameter *rotary dryer*, in
- $f$  = *stress* maksimum yang diijinkan dari bahan
- $E$  = faktor pengelasan
- $C$  = faktor korosi

Perancangan :

Bahan konstruksi shell RD = *Carbon Steel SA – 53 Grade A*

Type pengelasan = *Double welded butt joint*,  $E = 0,8$

Faktor korosi ( $C$ ) =  $1/16$  in

$P$  operasi ( $P_{\text{design}}$ ) :

$$\begin{aligned} P_{\text{design}} = P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{atm}} &= \frac{(82,050301 \text{ lb/ft}^3) \times (23,410019 \text{ ft})}{144} + 14,7 \\ &= 28,038883 \text{ psia} = 13,338883 \text{ psig} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi tebal shell} &= \frac{(13,338883) \times (3,638004 \times 12)}{2 \times ((10200) \cdot (0,8) - (0,6) \cdot (13,338883))} + (1/16) \\
 &= 0,098217 \text{ in} \times 16/16 \\
 &= 1,57/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menentukan tenaga yang dibutuhkan untuk memutar *rotary dryer* :

- Berat *Shell Rotary Dryer*

Diketahui :  $\rho$  carbon steel = 489 lb/ft<sup>3</sup>

$$\begin{aligned}
 D_o &= D_i + 2 t_s = (3,638004 \times 12) \text{ in} + 2 (3/16) \text{ in} \\
 &= 44,031045 \text{ in} \\
 &= 3,669264 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Berat shell rotary dryer :

$$\begin{aligned}
 W_1 &= (\pi/4) \times (D_o^2 - D_i^2) \times L \times \rho \\
 &= (\pi/4) \times (3,669264^2 - 3,638004^2) \times (23,410019) \times (489) \\
 &= 2053,901956 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

- Berat *flight*

$$W_2 = n \times L \times H \times t \times \rho$$

Dimana :

- $n$  = jumlah *flight*
- $L$  = panjang *rotary dryer*, ft
- $H$  = tinggi *flight*, ft
- $\rho$  = densitas *Carbon steel*

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi berat flight } (W_2) &= (5) \times (23,410019) \times (0,669) \times (489) \\
 &= 38291,885547 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

- Berat gear

$$W_3 = (\pi/4) \times (D_g^2 - D_o^2) \times b \times \rho$$

Dimana :

- $D_g$  = diameter gear, ft
- $D_o$  = diameter luar rotary dryer, ft
- $b$  = lebar permukaan gear
- $\rho$  = densitas Carbon steel

Sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned} W_3 &= (\pi/4) \times (5,167^2 - 3,669254^2) \times (0,6635) \times (450) \\ &= 3104,734869 \text{ lb} \end{aligned}$$

- Berat material

$$\begin{aligned} W_4 &= \text{berat umpan yang masuk rotary dryer} \\ &= 1113,434343 \text{ lb} \end{aligned}$$

- Berat riding ring

$$W_5 = (\pi/4) \times 2 \times (D_r^2 - D_o^2) \times b \times \rho$$

Diketahui :  $D_r$  = diameter riding ring = 4 ft

$$\begin{aligned} \text{Maka berat riding ring : } W_5 &= (\pi/4) \times (4^2 - 3,669254^2) \times (0,6635) \times (450) \\ &= 1190,134839 \text{ lb} \end{aligned}$$

Jadi berat total ( $W_T$ ) :

$$\begin{aligned} W_T &= W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 \\ &= (2053,901956 + 38291,885547 + 3104,734869 + 1113,434343 + \\ &\quad 1190,134839) \text{ lb} \\ &= 45754,091554 \text{ lb} \end{aligned}$$

Jadi tenaga yang dibutuhkan untuk memutar *rotary dryer* :

$$Hp = N \times \frac{(4,75 \times D_o \times W_T) + (0,1925 \times D \times W)(0,33 \times W)}{100000}$$

Dimana :

- N = putaran *rotary dryer* = 4,585 rpm
- $W_T$  = beban material, lb
- D = diameter *riding ring*, ft
- W = berat total, lb
- $D_o$  = diameter luar *shell*, ft

Maka :

$$\begin{aligned} Hp &= (4,585) \times \frac{(4,75 \times 3,669254 \times 1113,434343) + (0,1925 \times 4 \times 45754,091554)(0,33 \times 1113,434343)}{100000} \\ &= 3,197373 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Efisiensi motor adalah 78%, maka :  $Hp = (3,197373 / 0,8) \text{ Hp}$

$$= 4,099196 \text{ Hp} \approx 4,5 \text{ Hp}$$

#### 41. Pemanas Udara (H-148)

Fungsi : Untuk memanaskan udara dari 30 °C menjadi 110 °C.

Type : DPHE

Dasar perencanaan :

Suhu udara masuk	= 30 °C	= 86 °F
Suhu udara keluar	= 110 °C	= 230 °F
Rate udara masuk	= 47666,158621 lb/hari	= 1986,089943 kg/jam
		= 3972,179885 lb/jam

Proses pemanasan secara isothermal, sebagai media pemanas adalah steam jenuh (*saturated steam*) dengan suhu  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $= 320\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) dan tekanan  $618,06\text{ kPa}$ .

$$\begin{aligned}\text{Massa steam jenuh} &= 63,438502\text{ kg/jam} &= 1522,524053\text{ lb/jam} \\ & &= 139,856522\text{ kg/hari}\end{aligned}$$

Type heater : *Double Pipe Heat Exchanger* dengan rate massa udara  $3972,179885\text{ lb/jam}$

**Dasar Perhitungan :**

Diketahui  $C_p$  udara =  $0,2450\text{ Btu/lb.}^{\circ}\text{F}$

$$\begin{aligned}\text{Maka : } Q &= m \cdot C_p \cdot \Delta t \\ &= (3972,179885\text{ lb/h}) \times (0,2450\text{ Btu/lb.}^{\circ}\text{F}) \times (230 - 86)\text{ }^{\circ}\text{F} \\ &= 140138,506345\text{ Btu/jam}\end{aligned}$$

Diketahui  $\lambda$  steam pada  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $320\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) =  $661,994\text{ kkal/kg}$   
=  $1190,825304\text{ Btu/lb}$

$$\begin{aligned}\text{Maka : } Q &= m \cdot \lambda \\ 140138,506345\text{ Btu/jam} &= m \times (1190,825304\text{ Btu/lb}) \\ m &= 117,681835\text{ lb/jam}\end{aligned}$$

Menghitung  $\Delta T_{\text{LMTD}}$  :

Diketahui arah aliran adalah *counter current*

- Suhu steam masuk ( $T_1$ ) =  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  =  $320\text{ }^{\circ}\text{F}$
- Suhu steam keluar ( $T_2$ ) =  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  =  $320\text{ }^{\circ}\text{F}$
- Suhu bahan masuk ( $t_1$ ) =  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  =  $86\text{ }^{\circ}\text{F}$
- Suhu bahan keluar ( $t_2$ ) =  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  =  $230\text{ }^{\circ}\text{F}$
- $\Delta t_1 = T_2 - t_1 = (320 - 86)\text{ }^{\circ}\text{F} = 234\text{ }^{\circ}\text{F}$
- $\Delta t_2 = T_1 - t_2 = (320 - 230)\text{ }^{\circ}\text{F} = 90\text{ }^{\circ}\text{F}$

$$\text{Maka : } \Delta T_{\text{LMTD}} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} = \frac{(234 - 90) ^\circ\text{F}}{\ln \frac{234 ^\circ\text{F}}{90 ^\circ\text{F}}} = 150,704631 ^\circ\text{F}$$

Menentukan suhu kaloric :

$$- T_c = \frac{1}{2} (T_1 + T_2) = \frac{1}{2} (320 + 320) ^\circ\text{F} = 320 ^\circ\text{F}$$

$$- t_c = \frac{1}{2} (t_1 + t_2) = \frac{1}{2} (86 + 230) ^\circ\text{F} = 122,9 ^\circ\text{F}$$

Trial  $U_D$  :

Dari Kern, tabel 8 hal. 840 pada kolom *heater*, maka didapat untuk *hot fluid* adalah steam dan *cold fluid* adalah gas, maka  $U_D = 5 - 50 \text{ Btu/h.ft}^2.^{\circ}\text{F}$

$$\text{Trial } U_D = 40 \text{ Btu/h.ft}^2.^{\circ}\text{F}$$

$$\text{Trial ukuran DPHE} = 2 \text{ in} \times 1 \frac{1}{4} \text{ in}$$

Bagian anulus = udara, maka dari Kern, tabel 6.2 hal. 110, didapat :

$$- a_{an} = 2,63 \text{ in}^2 \quad - de = 2,02 \text{ in}$$

$$- de' = 0,81 \text{ in}$$

Bagian pipa = steam, maka dari Kern, tabel 11 hal. 844, didapat :

$$- a_p = 1,50 \text{ in}^2 \quad - do = 1,66 \text{ in}$$

$$- di = 1,38 \text{ in}$$

$$- a' \text{ (flow area)} = 1,50 \text{ in}^2$$

$$- a'' \text{ (heating surface)} = 0,435 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

### Evaluasi Perpindahan panas (Rd)

Bagian anulus	Bagian pipa
1. $a_{an} = 2,63 \text{ in}^2 = 0,018264 \text{ ft}^2$	1'. $a_t = 1,50 \text{ in}^2 = 0,010417 \text{ ft}^2$
$G_{an} = \frac{m}{a_{an}} = \frac{3972,179885 \text{ lb/jam}}{0,018264 \text{ ft}^2}$	$G_{ap} = \frac{M}{a_{ap}} = \frac{1,500305 \text{ lb/jam}}{0,010417 \text{ ft}^2}$
$= 217488,176216 \text{ lb/h.ft}^2$	$= 11297,456115 \text{ lb/h.ft}^2$

$2. N_{Re\ an} = \frac{de \times G_{an}}{\mu \times 24,2}$ $= \frac{(2,02/12) \times 217488,176216}{0,25 \times 24,2}$ $= 60513,239113$ <p>3. <math>J_H = 190</math> (Kern, gb. 24 hal. 834)</p> $4. h_o = J_H \cdot \frac{k}{de} \cdot \left(\frac{C_p \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$ <p>dimana <math>\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} = 1</math></p> <p><math>k = 0,0226</math>  <math>C_p = 0,245</math>          Jadi <math>h_o =</math></p> $= 190 \times \left(\frac{0,0226}{(2,02/12)}\right) \times \left(\frac{0,0245(0,25 \times 2,42)}{0,0226}\right)^{1/3}$ <p><math>h_o = 47,748851 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}</math></p>	$2'. N_{Re\ t} = \frac{di \times G_p}{\mu \times 24,2}$ $= \frac{(1,38/12) \times 11297,456115}{0,016 \times 24,2}$ $= 33553,911499$ <p>3'. <math>J_H = -</math> (karena steam)</p> <p>4'. Untuk steam :</p> <p><math>h_{io} = 1500 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}</math></p>
--	---

$$U_C = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{(1500 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}) \times (47,748851 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F})}{(1500 + 47,748851) \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}}$$

$$= 46,275774 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot ^\circ\text{F}$$

$$R_d = \frac{U_C - U_D}{U_C \times U_D} \quad ; \quad \text{Diketahui } R_d = 0,003 \text{ h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F/Btu}$$

$$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_C} + R_d = \frac{1}{46,275774} + 0,003 = 0,024610$$

$$U_D = 40,634584$$

Mencari panjang pipa :

$$A = \frac{Q}{U_D \times \Delta T_{LMTD}} = \frac{140138,506345}{40,634584 \times 150,704631}$$

$$= 22,884165 \text{ ft}^2$$



$$\text{Panjang pipa ekonomis (L)} = \frac{A}{a''} = \frac{22,884165}{(0,435)} = 52,607276 \text{ ft}$$

Menentukan panjang pipa :

l	$n = \frac{L}{2 \cdot l}$	$L_{\text{Baru}} (2 \cdot l \times n)$	$A_{\text{Baru}} (L_{\text{Baru}} \times a'')$	$U_D \text{ baru}$	Rd hitung	% over design
12''	2,191970	72	31,32	29,689927	0,012072	3,02
16''	1,643977	64	27,84	33,401168	0,008329	1,78
20''	1,315182	80	34,80	26,720934	0,015814	4,27

Jadi diambil *over design* yang terkecil, yaitu pada :

- l = 16 in
- L = 64 in
- n = 2

#### Evaluasi Penurunan Tekanan ( $\Delta p$ )

Bagian anulus	Bagian pipa
1. $G_{\text{an}} = 217488,176216 \text{ lb/h.ft}^2$	1'. $G_{\text{ap}} = 11297,456115 \text{ lb/h.ft}^2$
2. $N_{\text{Re an}} = 60513,239113$	2'. $N_{\text{Re t}} = 33553,911499$
3. $f = 0,0035 + \frac{0,264}{N_{\text{Re}}^{0,42}}$  $= 0,0035 + \frac{0,264}{(60513,239113)^{0,42}}$  $= 0,006090$	3'. $f = 0,0035 + \frac{0,264}{N_{\text{Re}}^{0,42}}$  $= 0,0035 + \frac{0,264}{(33553,911499)^{0,42}}$  $= 0,006817$
4. $\Delta P_1 = \frac{4f \cdot G_{\text{an}}^2 \cdot L}{2 \cdot 4,2 \cdot 10^8 \cdot \rho^2 \cdot de'} + \frac{\rho}{144}$  Dimana:  - $\rho \text{ campuran} = 64,053453 \text{ lb/ft}^3$  Sehingga didapat $\Delta P_1 = 0,056538 \text{ psi}$	4'. $\Delta P_p = \frac{4f \cdot G_p^2 \cdot L}{2 \cdot 4,2 \cdot 10^8 \cdot \rho^2 \cdot di} + \frac{\rho \text{ steam}}{144}$  Dimana:  - $\rho \text{ campuran} = 24,375 \text{ lb/ft}^3$  Sehingga didapat $\Delta P_p = 64,6686 \cdot 10^{-5} \text{ psi} < 2 \text{ psi (memadai)}$
5. $\Delta P_n = n \cdot \left( \frac{V^2}{2 \cdot gc} \right) \times \frac{\rho}{144}$	

<p>Dimana :</p> $V = \frac{G_{an}}{3600 \cdot 64,053453}$ $= \frac{217488,176216}{(3600) \times (64,053453)}$ $= 0,943171$ <p>Sehingga didapat <math>\Delta P_n = 0,012289</math> psi</p> <p>6. <math>\Delta P_{an} = \Delta P_1 + \Delta P_n</math></p> $= 0,068827 \text{ psi} < 8 \text{ psi}$ <p>(memadai)</p>	
--	--

**Spesifikasi pemanas udara :**

- Fungsi : Untuk memanaskan udara dari 30 °C menjadi 71 °C.
- Type : DPHE
- Kapasitas : 3972,179885 lb/jam
- Kebutuhan steam : 1522,524053 lb/jam
- Bagian anulus : -  $a_{an} = 2,63 \text{ in}^2$   
-  $d_e = 2,02 \text{ in}$   
-  $d_{e'} = 0,81 \text{ in}$
- Bagian pipa : -  $a_p = 1,50 \text{ in}^2$   
-  $d_o = 1,66 \text{ in}$   
-  $d_i = 1,38 \text{ in}$   
-  $a' \text{ (flow area)} = 1,50 \text{ in}^2$   
-  $a'' \text{ (heating surface)} = 0,435 \text{ ft}^2/\text{ft}$
- Bahan konstruksi : *Carbon Steel*
- Jumlah : 1 buah

#### 42. Screw Conveyor (H-149)

Fungsi : Untuk mengangkut kristal asam oksalat dari Rotary Dryer menuju tangki penampung produk

Type : *Horisontal Screw Conveyor*

#### Dasar Perhitungan :

$$\text{Kapasitas} = 352,690064 \text{ kg/jam} = 777,540514 \text{ lb/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas design} &= 1,2 \times 352,690064 \text{ kg/jam} = 423,228076 \text{ kg/jam} \\ &= 933,048617 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ produk} = 92,236931 \text{ lb/ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{massa bahan}}{\rho \text{ produk}} = \frac{777,540514 \text{ lb/jam}}{92,236931 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 11,371666 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,189528 \text{ ft}^3/\text{menit} \end{aligned}$$

Dari Perry edisi 3, tabel 7-6 hal. 7-7 direncanakan :

- Panjang *screw* = 15 ft
- Diameter *flighy* = 9 in
- Diameter pipa = 2,5 in
- Diameter *shaft* = 2 in

Menentukan daya motor yang dibutuhkan untuk *screw conveyor* :

$$Hp = \frac{C \times L \times W \times F}{3300}$$

Dimana :

- C = kapasitas *screw conveyor*
- L = panjang
- W = densitas bahan
- F = material faktor

$$\text{Maka : } Hp = \frac{(0,241429 \text{ ft}^3/\text{menit}) \times (15 \text{ ft}) \times (92,2369 \text{ lb/ft}^3) \times (2,5)}{3300}$$

$$= 0,176714 \text{ Hp}$$

Karena daya yang digunakan kurang dari 2 Hp, maka daya dikalikan dengan dua (Badger & Benchero, hal. 731)

$$Hp = 2 \times 0,176714 \text{ Hp} = 0,353428 \text{ Hp}$$

$$\begin{aligned} \text{Diketahui efisiensi motor sebesar 75\%, sehingga: } Hp &= \frac{0,353428 \text{ Hp}}{0,75} \\ &= 0,471237 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp} \end{aligned}$$

#### 43. Tangki Penampung Produk (F-151)

Fungsi : Untuk menyimpan produk asam oksalat sebelum pengemasan.

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standard dished head* dan tutup bawah berbentuk conis, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

#### Dasar Perancangan :

$$\text{Kapasitas} = 352,690064 \text{ kg/jam} = 777,540514 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ bahan} = 1646,660637 \text{ kg/m}^3 = 102,801462 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Kondisi operasi : } P = 1 \text{ atm} ; T = 30^\circ\text{C}$$

Direncanakan :

Bahan konstruksi : *High Alloy Steel (H.A.S) SA 240 grade M type 316*

Type pengelasan : *Double welded butt joint*

Sehingga didapatkan :

$$- E \text{ (Brownell \& Young, hlm 254)} = 0,8$$

$$- f \text{ (Brownell \& Young, hlm 342)} = 18750 \text{ psi}$$

$$- C \text{ (faktor koreksi)} = 1/16$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{\text{massa}}{\rho} = \frac{777,540514 \text{ lb/jam}}{102,801462 \text{ lb/ft}^3} = 7,563516 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

Diasumsikan volume bahan = 75 % volume tangki, sehingga :

$$\text{Volume tangki} = (100/75) \times 7,563516 \text{ ft}^3 = 10,084688 \text{ ft}^3$$

**Menentukan dimensi tangki :**

$$\text{Vol. Total} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder} + V \text{ tutup atas}$$

$$\text{Vol. total} = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 Di^3$$

$$10,084688 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_s + 0,0847 Di^3, \text{ dimana } L_s = 1,5 Di$$

$$= \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot 1,5 Di + 0,0847 Di^3$$

$$Di^3 = 7,532200 \text{ ft}^3$$

$$Di = 1,960231 \text{ ft} = 23,522774 \text{ in}$$

**Menentukan tinggi liquida ( $L_{ls}$ ) :**

$$\text{Volume liquid} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder}$$

$$7,563516 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot Di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot Di^2}{4} \cdot L_{ls}$$

$$= \frac{\pi \cdot (1,960231)^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot (1,960231)^2}{4} \cdot L_{ls}$$

$$L_{ls} = 2,316589 \text{ ft} = 27,799067 \text{ in}$$

**Menentukan tekanan design ( $P_{\text{design}}$ ) :**

$$P_{\text{design}} = 14,7 + \left[ \rho \cdot \frac{g}{g_c} \cdot h \right] = \left( \frac{102,801462 \times 2,316589}{144} \right)$$

$$= 16,353811 \text{ psig}$$

**Menentukan tebal silinder ( $t_s$ ) :**

$$t_s = \frac{P_i \cdot Di}{2(f \cdot E - 0,6 P_i)} + C = \frac{(16,353811) \cdot (1,960231 \times 12)}{2[(18750) \cdot (0,8) - (0,6)(16,353811)]} + (1/16)$$

$$= 0,075331 \text{ in} \times 16/16$$

$$= 1,21/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}\text{Standarisasi Di : } D_o &= D_i + 2 t_s = (1,960231 \times 12) \text{ in} + (3/16) \text{ in} \\ &= 23,897774 \text{ in}\end{aligned}$$

Standarisasi  $D_o = 24 \text{ in}$  (Brownell & Young, tabel 5-7, hlm 91) :

$$D_i = D_o - 2 t_s = 24 \text{ in} - 2 (3/16) \text{ in} = 23,625 \text{ in}$$

**Menentukan tinggi silinder ( $L_s$ ) :**

$$\begin{aligned}L_s &= 1,5 D_i = 1,5 (23,625) \text{ in} = 35,4375 \text{ in} \\ &= 2,953125 \text{ ft}\end{aligned}$$

**Menentukan dimensi tutup atas :**

Tutup atas berbentuk *standard dishhead* dengan :

- $r$  (Brownell & Young tabel 5.7 hlm. 89) = 24 in
- $icr$  (Brownell & Young tabel 5.6 hlm 88) = 9/16 in
- $sf$  (Brownell & Young tabel 5.6 hlm 88) = 1,5

Tebal tutup atas ( $tha$ ) dari Brownell & Young, hlm 258 :

$$\begin{aligned}tha &= \frac{0,885 \times P_i \cdot D_i}{f \cdot E - 0,1 \cdot P_i} + C = \frac{0,885 \times (16,353811) \cdot (23,625)}{(18750) \cdot (0,8) - 0,1 \cdot (16,353811)} + (1/16) \\ &= 0,085298 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,36/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}\end{aligned}$$

$$a = D_i/2 = (23,625/2) \text{ in} = 11,8125 \text{ in}$$

$$AB = a - icr = (11,8125 - [9/16]) \text{ in} = 11,25 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (24 - [9/16]) \text{ in} = 23,4375 \text{ in}$$

$$AC = \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} = \sqrt{(23,4375)^2 - (11,25)^2} = 20,560980 \text{ in}$$

$$b = r - AC = (24 - 20,560980) \text{ in} = 3,439020 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi tutup atas (ha)} &= tha + b + sf = (3/16)\text{in} + 3,439020 \text{ in} + 1,5 \text{ in} \\ &= 5,126520 \text{ in}\end{aligned}$$

**Menentukan dimensi tutup bawah :**

$$\text{Volume tutup bawah} = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} = \frac{\pi \cdot (23,625)^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 (120)} = 996,938168 \text{ in}^3$$

Tebal tutup bawah (thb) :

$$\begin{aligned} \text{thb} &= \frac{\text{Pi} \cdot d_e}{2 (f \cdot E - 0,6\text{Pi}) \cos \alpha} + C, \text{ dimana } d_e = D_i \\ &= \frac{(16,353811) \cdot (23,625)}{2 [(18750) \cdot (0,8) - (0,6)(16,353811)] \cos 60} + (1/16) \\ &= 0,088274 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,41/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi tutup bawah (hb)} = \frac{1/2 \cdot D_i}{\text{tg } 1/2 \alpha} = \frac{1/2 \cdot (23,625)}{\text{tg } 1/2 (120)} = 6,819950 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= \text{hb} + L_s + \text{ha} = 6,819950 \text{ in} + 35,4375 \text{ in} + 5,126520 \text{ in} \\ &= 47,383970 \text{ in} \end{aligned}$$

**Spesifikasi alat :**

Fungsi : Untuk menampung produk asam oksalat sebelum masuk ke pengemasan.

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk *standar dishead* dan tutup bawah berbentuk conical, dengan  $\alpha = 120^\circ$ .

Kapasitas : 352,690064 kg/jam = 777,540514 lb/jam

Dimensi tangki:

- Bahan konstruksi = *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*
- Jumlah = 1 buah
- Di (diameter dalam) = 23,625 in
- Do (diameter luar) = 24 in
- $t_s$  (tebal silinder) = 3/16 in

- $L_s$  (tinggi silinder) = 35,4375 in
- $t_{ha}$  (tebal tutup atas) = 3/16 in
- $h_a$  (tinggi tutup atas) = 5,126520 in
- $t_{hb}$  (tebal tutup bawah) = 3/16 in
- $h_b$  (tinggi tutup bawah) = 6,819950 in
- Tinggi tangki = 47,383970 in

#### 44. Unit Pengemasan (P-152)

Fungsi : Untuk mengemas hasil produk  $H_2C_2O_4$  kristal dari bin produk ke dalam *plastic bag*.

$$\text{Kapasitas bahan masuk} = 352,690064 \text{ kg/jam} = 777,540514 \text{ lb/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas mesin} &= 352,690064 \text{ kg/jam} \times 2 \text{ jam} = 705,380127 \text{ kg} \\ &= 1555,081029 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ campuran} = 1646,660637 \text{ kg/m}^3 = 102,801462 \text{ lb/ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \frac{\text{kapasitas}}{\rho} = \frac{1555,081029 \text{ lb}}{102,801462 \text{ lb/ft}^3} = 15,127032 \text{ ft}^3 \\ &= 0,428370 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

#### 45. Storage Produk (F-153)

Fungsi : Untuk menyimpan hasil produk  $H_2C_2O_4$  untuk 1 bulan.

$$\text{Kapasitas masuk} = 352,690064 \text{ kg/jam} = 777,540514 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ campuran} = 1646,660637 \text{ kg/m}^3 = 102,801462 \text{ lb/ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{massa}}{\rho} = \frac{777,540514 \text{ lb/jam}}{102,801462 \text{ lb/ft}^3} = 7,563516 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 181,524386 \text{ ft}^3/\text{hari} \\ &= 5,140441 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$



**Perhitungan :**

Diasumsikan volume bahan baku (material) = 40 % volume gudang, maka :

$$\begin{aligned}\text{Volume gudang} &= (100/40) \times 5,140441 \text{ m}^3/\text{hari} \times 30 \text{ hari} \\ &= 385,533060 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Volume} = \text{luas alas} \times \text{tinggi} = \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi}$$

$$\text{Dirancang :} \quad - \text{tinggi gudang} = 8 \text{ m}$$

$$- \text{panjang} = 2 \times \text{lebar}$$

$$\text{Luas} = \frac{\text{volume}}{\text{tinggi}} = \frac{385,533060 \text{ m}^3}{8 \text{ m}} = 48,191633 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas} = \text{panjang} \times \text{lebar} = (2 \times \text{lebar}) \times \text{lebar}$$

$$48,191633 \text{ m}^2 = 2 \text{ lebar}^2$$

$$\text{lebar} = 4,908749 \text{ m}$$

$$\text{panjang} = 2 \times 4,908749 \text{ m} = 9,817498 \text{ m}$$

**Spesifikasi peralatan:**

Nama alat : Storage produk asam oksalat

Fungsi : Untuk menyimpan produk asam oksalat selama 30 hari (1 bulan)

Type : persegi empat

Kapasitas : 352,690064 kg/jam

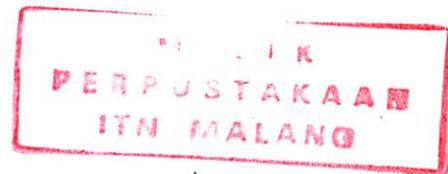
Bahan konstruksi : Beton

Dimensi storage : - Panjang = 9,817498 m

- Lebar = 4,908749 m

- Tinggi = 8 m

Jumlah : 1 buah



## **APPENDIKS D**

### **PERHITUNGAN UTILITAS**

Unit utilitas merupakan salah satu bagian yang sangat penting untuk menunjang jalannya proses produksi dalam suatu industri kimia. Unit utilitas yang diperlukan pada Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat dari Ampas Tapioka ini yaitu :

- Air yang berfungsi sebagai air proses, air pendingin, air umpan boiler, air sanitasi dan air untuk pemadam kebakaran.
- Steam sebagai media pemanas dalam proses produksi.
- Listrik yang berfungsi untuk menjalankan alat-alat produksi, utilitas dan untuk penerangan.
- Bahan bakar untuk mengoperasikan boiler.

Dari kebutuhan unit utilitas yang diperlukan, maka utilitas tersebut dibagi menjadi 4 unit, yaitu :

- a. Unit penyediaan steam
- b. Unit penyediaan air
- c. Unit penyediaan tenaga listrik
- d. Unit penyediaan bahan bakar

#### **A. Unit Penyediaan Steam**

Kebutuhan air pengisi boiler atau air umpan boiler pada Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat dari Ampas Tapioka ini berdasarkan pada kebutuhan steam. Adapun alat-alat yang membutuhkan steam adalah :

Tabel D.1. Kebutuhan Steam pada Peralatan

No.	Kode alat	Nama Alat	Jumlah (kg/jam)
1.	R – 110	Tangki hidrolisa	219,074409
2.	R – 120	Reaktor	238,270513
3.	R – 130	Evaporator	205,8824
		<b>Jumlah</b>	<b>663,227322</b>

Direncanakan banyaknya steam yang disuplay adalah 20% *excess*, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan steam} &= 1,2 \times 663,227322 \text{ kg/jam} \\ &= 795,8727864 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

*Make up* untuk kebutuhan steam direncanakan 10% *excess*, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Make up steam} &= 1,1 \times 795,8727864 \text{ kg/jam} \\ &= 875,460065 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Jadi jumlah steam yang harus dihasilkan oleh boiler adalah :

$$\begin{aligned} \text{Massa steam (m}_s) &= 875,460065 \text{ kg/jam} \\ &= 1926,012143 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Direncanakan steam yang digunakan adalah *saturated steam* dengan kondisi :

- Suhu (T) = 212,777778 °C = 415 °F
- Tekanan (P) = 292,400 psi
- Air umpan boiler masuk pada suhu 212 °F

#### Dasar Perhitungan :

Dari persamaan 172 Savern W.H., "Steam Air and Gas Poer", hlm. 140 :

$$H_p = \frac{m_s \times (H_g - H_f)}{H_{fg} \times 34,5}$$

Dimana :

- $m_s$  = massa steam yang dihasilkan
- $H_g$  = enthalpi steam pada 415 °F
- $H_f$  = enthalpi air masuk pada 212 °F
- $H_{fg}$  = enthalpi uap air pada 212 °F
- 34,5 = angka penyesuaian pada penguapan 34,5 Hp/lb air.jam pada 212 °F menjadi uap kering.

Dari Van Ness, App. C tabel C-3, hlm. 579 didapatkan :

- $H_g$  pada 415 °F = 292,4 psia = 1202,70 Btu/lb
- $H_f$  pada 212 °F = 14,7 psia = 180,07 Btu/lb
- $H_{fg}$  pada 212 °F = 14,7 psia = 970,3 Btu/lb

Sehingga :

$$\begin{aligned} Hp &= \frac{(1926,012143 \text{ lb/jam}) \times (1202,7 - 180,17) \text{ Btu/lb}}{(970,3 \text{ Btu/lb}) \times 34,5} \\ &= 70024,19796 \text{ Btu/jam} \approx 70025 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

Dari persamaan 171 Savern W.H. hlm.140 didapatkan kapasitas boiler (Q) :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m_s \times (H_g - H_f)}{1000} = \frac{(1926,012143 \text{ lb/jam}) \times (1202,7 - 180,17) \text{ Btu/lb}}{1000} \\ &= 1969,405197 \text{ lb/jam} \\ &= 5,470569992 \text{ lb/dt} \end{aligned}$$

Dari persamaan 173 Savern W.H. hlm.140 didapatkan :

$$\begin{aligned} \text{Faktor evaporasi} &= \frac{H_g - H_f}{970,3} = \frac{(1202,7 - 180,17) \text{ Btu/jam}}{970,3 \text{ Btu/jam}} \\ &= 1,053829 \end{aligned}$$

Jumlah air yang dibutuhkan = faktor evaporasi x rate steam

$$\begin{aligned}
 &= (1,053829) \times (1926,012143 \text{ lb/jam}) \\
 &= 2029,687451 \text{ lb/jam} \\
 &= 920,6643643 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Sebagai bahan bakar boiler digunakan *fuel oil*, dengan *heating value* ( $H_v$ ) sebesar 19200 Btu/lb (Perry's, edisi 7 hlm. 9-26).

Diperkirakan efisiensi boiler 85%, maka kebutuhan bahan bakar boiler:

$$\begin{aligned}
 \text{Bahan bakar boiler} &= \frac{m_s \times (H_g - H_f)}{\text{efisiensi} \times H_v} \\
 &= \frac{(1926,012143 \text{ lb/jam}) \times (1202,7 - 180,17) \text{ Btu/lb}}{0,85 \times (19200 \text{ Btu/lb})} \\
 &= 4,44853878 \text{ lb/jam} \\
 &= 2,017853106 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Maka jumlah perpindahan panas boiler dan jumlah tube dapat dihitung sebagai berikut :

- *Heating value surface* = 10 ft<sup>2</sup>/Hp boiler
- Direncanakan panjang pipa = 16 ft
- Ukura pipa yang digunakan = 4 in
- Luas permukaan linear feed = 1,178 ft<sup>2</sup>/ft (Kern, tabel 10 hlm. 844)

Area yang diperlukan untuk transfer panas :

$$A = 10 \times \text{Hp boiler} = 10 \times 1060 = 10600 \text{ ft}^2$$

Jumlah tube yang dibutuhkan :

$$N_t = \frac{A}{a \times L} = \frac{10600 \text{ ft}^2}{(1,178 \text{ ft}^2/\text{ft}) \times (16 \text{ ft})} = 562,393888 \approx 563 \text{ tube}$$

**Spesifikasi boiler (Q-220) :**

- *Type* : *Fire tube boiler*
- *Kapasitas boiler* : 35385,170137 lb/jam
- *Rate steam* : 34605,508041 lb/jam
- *Bahan bakar* : *Fuel oil*
- *Efisiensi* : 85%
- *Heating surface* : 10600 ft<sup>2</sup>
- *Jumlah tube* : 563 buah
- *Ukuran tube* : 4 in
- *Panjang tube* : 16 ft
- *Jumlah boiler* : 1 buah

## **B. Unit Penyediaan Air**

Untuk memenuhi kebutuhan air pada pabrik, maka direncanakan diambil dari air sungai. Pengambilan air sungai ditampung dalam bak penampung air sungai untuk mengalami pengolahan selanjutnya yang dipergunakan sebagai air sanitasi. Sedangkan untuk air proses, air pendingin dan air umpan boiler akan diolah lebih lanjut sesuai dengan kebutuhan masing-masing.

### **B.1. Air Sanitasi**

Air sanitasi ini dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan karyawan, laboratorium, taman dan kebutuhan yang lain. Air sanitasi yang dipergunakan harus memenuhi syarat kualitas air sebagai berikut :

- a. Syarat fisik
  - Berada di bawah suhu udara
  - Warnanya jernih

- Tidak berasa dan
  - Tidak berbau
- b. Syarat kimia
- Tidak mengandung logam berat seperti Pb, As, Cr, Cd, Hg
  - Tidak mengandung zat-zat kimia beracun
- c. Syarat mikrobiologis
- Tidak mengandung kuman maupun bakteri, terutama bakteri patogen

Kebutuhan air sanitasi pada pra rencana pabrik Asam Oksalat dari ampas tapioka ini adalah :

- Untuk kebutuhan karyawan

Menurut standar WHO kebutuhan air untuk tiap orang = 120 kg/hari.

Jumlah karyawan pada pabrik = 125 orang

Jam kerja untuk tiap karyawan = 8 jam/hari

$$\begin{aligned}
 \text{Pemakaian air sanitasi untuk 125 karyawan adalah} &= 120 \text{ kg} \times \frac{125}{3} \\
 &= 5000 \text{ kg/hari} \\
 &= 208,33 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

- Untuk laboratorium dan taman

Direncanakan kebutuhan air untuk taman dan laboratorium adalah sebesar 50% dari kebutuhan karyawan, sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan air untuk laboratorium dan taman} &= 50\% \times 5000 \text{ kg/hari} \\
 &= 2500 \text{ kg/hari} \\
 &= 104,17 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

- Untuk pemadam kebakaran dan cadangan air

Air sanitasi untuk pemadam kebakaran dan air cadangan direncanakan sebesar 40% dari kebutuhan air sanitasi, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air sanitasi adalah} &= (100 \% + 40 \%) \times (208,33 + 104,17) \text{kg/jam} \\ &= 437,5 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

## B.2. Steam

Steam yang dibutuhkan digunakan pada alat-alat seperti pada Tabel D.1. dengan jumlah steam yang dibutuhkan adalah 11891,632936 kg/jam.

Direncanakan banyaknya steam yang disupply adalah 20% *excess*, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan steam} &= 1,2 \times 11891,632936 \text{ kg/jam} \\ &= 14269,959523 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

*Make up* untuk kebutuhan steam direncanakan 10% *excess*, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Make up steam} &= 1,1 \times 14269,959523 \text{ kg/jam} \\ &= 15696,955475 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

## B.3. Air Pendingin

Air pendingin yang dibutuhkan digunakan pada alat-alat sebagai berikut :

Tabel D.2. Kebutuhan Air Pendingin pada Peralatan

No.	Kode alat	Nama Alat	Jumlah (kg/jam)
1.	E – 121	Cooler dr hidrolisa	1815,084436
2.	E – 141	<i>Kondensor</i>	87974,353652
3.	X – 140	Kristaliser	46,23587599
		<b>Jumlah</b>	<b>89835,67396</b>

Direncanakan banyaknya air pendingin yang disupply dengan *excess* 20%.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air pendingin} &= 1,2 \times 89835,67396 \text{ kg/jam} \\ &= 107802,8088 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$



*Make up* untuk kebutuhan air pendingin direncanakan 10% *excess*, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Make up air pendingin} &= 1,1 \times 107802,8088 \text{ kg/jam} \\ &= 118583,0896 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

#### B.4. Air Proses

Air proses yang dibutuhkan digunakan pada alat-alat sebagai berikut :

Tabel D.3. Kebutuhan Air Proses pada Peralatan

No.	Kode alat	Nama Alat	Jumlah (kg/jam)
1.	R – 110	Tangki hidrolisa	1121,811503
2.	H – 122	<i>Rotary vacuum filter</i>	363,016887
3.	D – 160	Absorber	54,578226
		<b>Jumlah</b>	1539,406617

Jadi jumlah kebutuhan air yang harus disupply dalam Pra Rencana Pabrik

Asam Oksalat dari Ampas Tapioka ini adalah :

Tabel D.4. Kebutuhan Total Air

No.	Keterangan	Jumlah (kg/jam)
1.	Air sanitasi	437,500000
2.	<i>Steam</i>	15696,955475
3.	Air Pendingin	151388,302119
4.	Air Proses	1539,406617
	<b>J u m l a h</b>	169254,664211

Untuk memenuhi kebutuhan air, maka Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat ini menggunakan air sungai. Sebelum digunakan, air sungai tersebut masih perlu diproses (*water treatment*) untuk memenuhi air sanitasi, air pemanas, air pendingin dan juga air proses. Peralatan yang diperlukan pada proses pengolahan air adalah sebagai berikut :

##### 1. Pompa Air Sungai (L-211)

Fungsi : Untuk memompa air sungai ke bak skimer

Type : *Centrifugal pump*

Bahan : *Cast iron*

**Dasar perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 169254,664211 \text{ kg/jam} = 373138,832719 \text{ lb/jam} \\ &= 103,649676 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,430266 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,9 \text{ cp} = 0,000605 \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}$$

$$\text{Rate volumetrik } (Q_f) = \frac{103,649676 \text{ lb/dt}}{62,430266 \text{ lb/ft}^3} = 1,660247 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892 diperoleh :

$$\begin{aligned} ID_{\text{opt}} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} = 3,9 (1,660247)^{(0,45)} \times (62,430266)^{0,13} \\ &= 8,385785 \text{ in} \\ &= 0,698815 \text{ ft} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 8 in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} - \text{ OD} &= 8,625 \text{ in} & - \text{ ID} &= 7,981 \text{ in} \\ - \text{ A} &= 0,3474 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida } (V) &= \frac{\text{rate volumetrik}(Q_f)}{\text{luas area}(A)} = \frac{1,660247 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,3474 \text{ ft}^2} \\ &= 4,779065 \text{ ft/dt} \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$\begin{aligned} N_{\text{Re}} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(7,981/12) \text{ ft} \times (4,779065) \text{ ft/dt} \times (62,430266) \text{ lb/ft}^3}{0,000605 \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}} \\ &= 14282,173608 > 2100 \end{aligned}$$

Karena  $N_{Re} > 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah turbulen (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast iron*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 88 diperoleh  $\epsilon = (2,6 \times 10^{-4})$  m, sehingga :

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{(2,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(7,981/12) \text{ ft}} = 0,001283$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gbr. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,0075

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 140 ft

- Elbow, 90° = 3 buah

$$K_f \text{ (Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93)} = 3 \times 0,75 = 2,25$$

- Gate valve = 1 buah (half open)

$$K_f \text{ (Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93)} = 1 \times 4,5 = 4,5$$

- Globe valve = 1 buah (wide open)

$$K_f \text{ (Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93)} = 1 \times 6 = 6$$

Dari pers. 2.10.16 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,3474} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,3474}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\Sigma F = \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2}$$

$$= \left[ 4(0,0075) \times \frac{140}{(7,981/12)} + 1 + 0,55 + 2,25 + 4,5 + 6 \right] \frac{(4,779065)^2}{2}$$

$$= 240,568857 \text{ lb}_f \cdot \text{ft}/\text{lb}_m$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} - \Delta z &= 20 \text{ ft} & - \Delta v &= 4,779065 \text{ ft/dt} \\ - \Delta P &= 0 & - \alpha &= 1,05 \end{aligned}$$

Maka :

$$-W_s = \left[ \frac{(4,779065)^2}{(2) \cdot (1,05) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(20) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{62,430266} \right] + 240,568857$$

$$= 6,424718$$

Tenaga penggerak :

$$\text{WHP} = \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(6,424718) \times (1,660247) \times (62,430266)}{550}$$

$$= 1,210764 \text{ Hp}$$

$$\text{Kapasitas} = 1,660247 \text{ ft}^3/\text{dt} = 745,218563 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 75 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{1,210764 \text{ Hp}}{0,75} = 1,614351 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 78 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{1,614351}{0,78} = 2,069681 \text{ Hp} \approx 2,5 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi pompa :**

- Type : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 2,5 Hp
- Bahan konstruksi : *Cast iron*
- Jumlah : 1 buah

**2. Skimmer (F-212)**

Fungsi : Untuk memisahkan kotoran yang mengapung sekaligus sebagai bak pengendapan awal.

Bahan konstruksi : Beton bertulang

**Dasar Perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 169254,664211 \text{ kg/jam} = 373138,832719 \text{ lb/jam} \\ &= 103,649676 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ air pada } 30^{\circ}\text{C} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{169254,664211 \text{ kg/jam}}{995,68 \text{ kg/m}^3} = 169,989017 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu pengendapan} = 12 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu pengendapan} \\ &= (169,989017 \text{ m}^3/\text{jam}) \times (12 \text{ jam}) \\ &= 2039,868201 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{2039,868201 \text{ m}^3}{0,8} = 2549,835251 \text{ m}^3$$

Bak berbentuk empat persegi panjang dengan rasio :

$$\text{Panjang} : \text{lebar} : \text{tinggi} = 5 : 3 : 2$$

$$\text{Volume bak} = (5 \text{ m}) \times (3 \text{ m}) \times (2 \text{ m}) = 30 \text{ m}^3$$

Sehingga :

$$\text{Volume bak} = 30 X^3$$

$$2549,835251 \text{ m}^3 = 30 X^3$$

$$84,99451 \text{ m}^3 = X^3$$

$$X = 4,396735 \text{ m}$$

Jadi ukuran bak skimer :

- Panjang = 5 x (4,396735 m) = 21,983675 m
- Lebar = 3 x (4,396735 m) = 13,190205 m
- Tinggi = 2 x (4,396735 m) = 8,793470 m

**Spesifikasi bak skimmer :**

- Bentuk : Persegi panjang
- Panjang : 21,983675 m
- Lebar : 13,190205 m
- Tinggi : 8,793470 m
- Bahan : Beton Bertulang
- Jumlah : 1 buah

### 3. Pompa Skimmer (L-213)

Fungsi : Untuk memompa air dari bak skimer ke bak clarifier

Type : *Centrifugal pump*

Bahan : *Cast iron*

**Dasar perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 169254,664211 \text{ kg/jam} = 373138,832719 \text{ lb/jam} \\ &= 103,649676 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,430266 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,9 \text{ cp} = 0,000605 \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}$$

$$\text{Rate volumetrik } (Q_f) = \frac{103,649676 \text{ lb/dt}}{62,430266 \text{ lb/ft}^3} = 1,660247 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari (Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} ID_{\text{opt}} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} = 3,9 (1,660247)^{(0,45)} \times (62,430266)^{0,13} \\ &= 8,385785 \text{ in} = 0,698815 \text{ ft} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 8 in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} - \text{ OD} &= 8,625 \text{ in} & - \text{ ID} &= 7,981 \text{ in} \\ - \text{ A} &= 0,3474 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida } (V) &= \frac{\text{rate volumetrik}(Q_f)}{\text{luas area}(A)} = \frac{1,660247 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,3474 \text{ ft}^2} \\ &= 4,779065 \text{ ft/dt} \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$\begin{aligned} N_{\text{Re}} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(7,981/12)\text{ft} \times (4,779065)\text{ft/dt} \times (62,430266)\text{lb/ft}^3}{0,000605 \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}} \\ &= 14282,173608 > 2100 \end{aligned}$$

Karena  $N_{\text{Re}} > 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah turbulen (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast iron*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 88 diperoleh  $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4})$  m, sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(7,981/12) \text{ ft}} = 0,001283$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,0075

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 140 ft

- Elbow, 90° = 3 buah

$$K_f \text{ (Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93)} = 3 \times 0,75 = 2,25$$

- Gate valve = 1 buah (half open)

$$K_f \text{ (Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93)} = 1 \times 4,5 = 4,5$$

- Globe valve = 1 buah (wide open)

$$K_f \text{ (Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93)} = 1 \times 6 = 6$$

Dari pers. 2.10.16 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,3474} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,3474}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned} \Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,0075) \times \frac{140}{(7,981/12)} + 1 + 0,55 + 2,25 + 4,5 + 6 \right] \frac{(4,779065)^2}{2} \\ &= 240,568857 \text{ lb}_f \cdot \text{ft/lb}_m \end{aligned}$$



**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} - \Delta z &= 20 \text{ ft} & - \Delta v &= 4,779065 \text{ ft/dt} \\ - \Delta P &= 0 & - \alpha &= 1,05 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} -W_s &= \left[ \frac{(4,779065)^2}{(2) \cdot (1,05) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(20) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{62,430266} \right] + 240,568857 \\ &= 6,424718 \end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(6,424718) \times (1,660247) \times (62,430266)}{550} \\ &= 1,210764 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = 1,660247 \text{ ft}^3/\text{dt} = 745,218563 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 75 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{1,210764 \text{ Hp}}{0,75} = 1,614351 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 78 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{1,614351}{0,78} = 2,069681 \text{ Hp} \approx 2,5 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi pompa skimmer :**

- Type : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 2,5 Hp
- Bahan konstruksi : *Cast iron*
- Jumlah : 1 buah

**4. Bak Clarifier (F-214)**

Fungsi : Untuk tempat terjadinya koagulasi dan flokulasi dengan penambahan koagulan alum ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ )

Bahan konstruksi : *High Alloy Steel SA 240 Grade M type 316*

**Dasar Perhitungan :****A. Menentukan dimensi bak clarifier**

$$\text{Rate aliran} = 169254,664211 \text{ kg/jam} = 373138,832719 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ air pada } 30 \text{ }^\circ\text{C} = 995,68 \text{ kg/m}^3 = 62,160568 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{373138,832719 \text{ lb/jam}}{62,160568 \text{ lb/ft}^3} = 6002,822149 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

Diasumsikan :

$$\text{- Volume bahan} = 75 \% \text{ volume tangki}$$

$$\text{- Volume ruang kosong} = 25 \% \text{ volume tangki}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi volume tangki} = V_T &= (100/75) \times 6002,822149 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 8003,762865 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 169,989017 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Kebutuhan alum = 30% dari volume air total dengan konsentrasi 80 ppm atau 80 mg tiap 1 L air ( $0,08 \text{ kg/m}^3$ ).

$$\begin{aligned}\text{Jadi kebutuhan alum} &= (30\%) \times (169,989017 \text{ m}^3/\text{jam}) \times (0,08 \text{ kg/m}^3) \\ &= 5,439649 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan alum tiap hari} &= 24 \text{ jam/hari} \times 20,398682 \text{ kg/jam} \\ &= 130,551565 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

Menentukan dimensi tangki :

$$\text{Volume total} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder}$$

$$\text{Volume total} = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L_s$$

$$8003,762865 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L_s, \text{ dimana } L_s = 1,5 D_i$$

$$8003,762865 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot 1,5 D_i$$

$$D_i^3 = 6381,686162 \text{ ft}^3$$

$$D_i = 18,548629 \text{ ft} = 222,583548 \text{ in}$$

Menentukan tinggi bahan ( $L_{ls}$ ):

$$\text{Volume bahan} = V \text{ tutup bawah} + V \text{ silinder}$$

$$6002,822149 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \cdot L_{ls}$$

$$= \frac{\pi \cdot (18,548629)^3}{24 \cdot \text{tg}(60)} + \frac{\pi \cdot (18,548629)^2}{4} \cdot L_{ls}$$

$$= 482,489889 \text{ ft}^3 + 270,326286 \text{ ft}^2 \cdot L_{ls}$$

$$L_{ls} = 20,420997 \text{ ft} = 245,051963 \text{ in}$$

Menentukan tekanan design ( $P_{\text{design}}$ ) :

$$P_{\text{design}} = 14,7 + \left[ \rho \cdot \frac{g}{g_c} \cdot h \right] = 14,7 + \left( \frac{62,160568 \times 20,420997}{144} \right)$$

$$= 23,515144 \text{ psig}$$

Menentukan tebal silinder ( $t_s$ ) :

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{P_i \cdot D_i}{2(f \cdot E - 0,6P_i)} + C = \frac{(23,515144) \cdot (222,583548)}{2[(18750) \cdot (0,8) - (0,6)(23,515144)]} + (1/16) \\ &= 0,237134 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 3,79/16 \text{ in} \approx 1/4 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Standarisasi } D_o : \quad D_o &= D_i + 2 t_s = 222,583548 \text{ in} + 2 (1/4) \text{ in} \\ &= 223,083548 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari Brownell & Young, tabel 5-7 hal. 91 didapatkan standarisasi  $D_o = 228 \text{ in}$ , sehingga :

$$D_i = D_o - 2 t_s = 228 \text{ in} - 2 (1/4) \text{ in} = 227,5 \text{ in} = 3,968750 \text{ ft}$$

Menentukan tinggi silinder ( $L_s$ ) :

$$L_s = 1,5 D_i = 1,5 (227,5) \text{ in} = 341,250000 \text{ in} = 28,437500 \text{ ft}$$

Menentukan dimensi tutup bawah (conical) :

Tebal tutup bawah (thb) :

$$\begin{aligned} \text{thb} &= \frac{P_i \cdot d_e}{2(f \cdot E - 0,6P_i) \cos \alpha} + C, \text{ dimana } d_e = D_i \\ &= \frac{(23,515144) \cdot (227,5)}{2[(18750) \cdot (0,8) - (0,6)(23,515144)] \cos 60} + (1/16) \\ &= 0,419482 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 6,71/16 \text{ in} \approx 7/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari Brownell & Young, tabel 5.6 hal. 88, untuk  $t_s = 7/16 \text{ in}$ , maka  $sf = 1,5 - 3,5$  sehingga diambil harga  $sf = 2,5 \text{ in}$ .

$$\text{Tinggi tutup bawah (hb)} = \frac{1/2 \cdot D_i}{\text{tg } 1/2 \alpha} = \frac{1/2 \cdot (227,5)}{\text{tg } 1/2 (120)} = 65,673593 \text{ in}$$



b. Menentukan tinggi impeller dari dasar tangki

$$Z_i/D_i = 0,9 \quad ; \quad Z_i = 0,9 D_i$$

$$\text{Sehingga : } Z_i = 0,9 \times (43,75 \text{ in}) = 39,375 \text{ in}$$

c. Menentukan panjang impeller

$$L/D_i = \frac{1}{4} \quad ; \quad L = \frac{1}{4} \cdot D_i$$

$$\text{Sehingga : } L = (0,25) \times (43,75 \text{ in}) = 10,9375 \text{ in}$$

d. Menentukan lebar impeller

$$W/D_i = 0,1 \quad ; \quad W = 0,1 \cdot D_i$$

$$\text{Sehingga : } W = (0,1) \times (43,75 \text{ in}) = 4,375 \text{ in}$$

e. Menentukan tebal *blades*

$$J/D_t = 1/12 \text{ (Mc. Cabe, hal. 253)} \quad ; \quad J = D_t/12$$

$$\text{Sehingga : } J = (227,5 \text{ in})/12 = 18,9583 \text{ in}$$

Perhitungan daya pengaduk :

$$P = \frac{\Phi \times \rho \times n^3 \times D_i^5}{gc}$$

Dimana :

P = daya pengaduk

$\Phi$  = power number

$\rho$  = densitas bahan = 62,160568 lb/ft<sup>3</sup>

D<sub>i</sub> = diameter impeller = 43,75 in = 3,645833 ft

gc = 32,2 lb.ft/dt<sup>2</sup>.lbf

n = putaran pengaduk, ditetapkan n = 120 rpm = 2 rps (Perry, edisi 6 hal.

19-6)

Menghitung bilangan Reynold ( $N_{Re}$ ) :

$$N_{Re} = \frac{D^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu} \quad (\text{Geankoplis, pers. 3.4-1 hal. 144})$$

$$\begin{aligned} \text{dengan } \mu \text{ bahan} &= 0,9 \text{ cp} = (0,3) \times (6,7197 \cdot 10^{-4}) \\ &= 6,05 \cdot 10^{-4} \text{ lb/ft.s} \end{aligned}$$

$$N_{Re} = \frac{(3,645833 \text{ ft})^2 \times (2) \times (62,160568 \text{ lb/ft}^3)}{6,05 \cdot 10^{-4} \text{ lb/ft.dt}} = 2732412,079895$$

Dari Mc Cabe 5 hal. 49, diketahui aliran liquid adalah turbulen ( $N_{Re} > 2100$ ).

Dari G.G. Brown fig. 4.77 hal.. 507, diperoleh  $\Phi = 0,7$ .

$$\begin{aligned} P &= \frac{(0,7) \times (62,160568 \text{ lb/ft}^3) \times (2)^3 \times (3,645833 \text{ ft})^5}{32,2 \text{ lb/ft/dt}^2 \cdot \text{lbf}} = 6963,557791 \text{ lb.ft/dt} \\ &= (6963,557791 / 550) \\ &= 12,661014 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Kehilangan-kehilangan daya :

- *Gain Losses* (kebocoran daya pada proses dan bearing) diperkirakan 10% dari daya masuk.
- *Transmission System Losses* (kebocoran belt atau gear) diperkirakan 15% dari daya masuk.

$$\begin{aligned} \text{Sehingga daya yang dibutuhkan} &= (0,1 + 0,15) P + P \\ &= (0,25) (12,661014 \text{ Hp}) + 12,661014 \text{ Hp} \\ &= 15,826268 \text{ Hp} \approx 16 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Perhitungan poros pengaduk :

1. Diameter poros

$$T = \frac{(63025) \cdot (16)}{120} = 8403,333333 \text{ lb.in}$$

Dari Hesse, tabel 16-1 hal. 457, untuk bahan *Hot Rolled Steel* SAE 1020, mengandung karbon = 20%, dengan batas = 36000 lb/in<sup>2</sup>.

S = maksimum design shering stress yang diijinkan

$$S = 20\% \times (36000) \text{ lb/in}^2 = 7200 \text{ lb/in}^2$$

Maka didapatkan diameter poros pengaduk (D) :

$$\begin{aligned} D &= \left( \frac{16 \times T}{\pi \times S} \right)^{1/3} = \left( \frac{16 \times 8403,333333 \text{ lb.in}}{\pi \times 7200 \text{ lb/in}^2} \right)^{1/3} \\ &= 1,811221 \text{ in} \end{aligned}$$

## 2. Panjang poros

$$L = h + i - Z_i$$

Dimana :

L = panjang poros (ft)

Z<sub>i</sub> = jarak impeller dari dasar tangki = 39,375 in = 3,281250 ft

i = panjang poros diatas bejana tangki = 10,9375 in = 0,911458 ft

h = tinggi silinder + tinggi tutup atas = 341,25 in = 28,4375 ft

$$\begin{aligned} \text{Jadi panjang poros pengaduk(L)} &= (341,25 \text{ in} + 10,9375 \text{ in}) - 39,375 \text{ in} \\ &= 312,8125 \text{ in} = 26,067708 \text{ ft} \end{aligned}$$

## 5. Sand Filter (F-215)

Fungsi : Tempat untuk menghilangkan warna, rasa dan bau air sungai

Type : Tangki mendatar

Waktu tinggal : 0,5 jam

**Dasar Perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 169254,664211 \text{ kg/jam} = 373138,832719 \text{ lb/jam} \\ &= 103,649676 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$



$$\rho \text{ air pada } 30^{\circ}\text{C} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{169254,664211 \text{ kg/jam}}{955,68 \text{ kg/m}^3} = 169,989017 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 0,5 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= (169,989017 \text{ m}^3/\text{jam}) \times (0,5 \text{ jam}) \\ &= 84,994508 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid = 80% volume tangki, sehingga :

$$\text{Volume tangki} = \frac{84,924508 \text{ m}^3}{0,8} = 106,243135 \text{ m}^3$$

Volume ruang kosong = 20% volume tangki, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume ruang kosong} &= (20\%) \times (106,243135 \text{ m}^3) \\ &= 21,248627 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Porositas} = \frac{V \text{ ruang kosong}}{V \text{ ruang kosong} + V \text{ padatan}}$$

Diasumsikan *porositas bad* sebesar 0,4, maka :

$$0,4 = \frac{21,248627 \text{ m}^3}{21,248627 \text{ m}^3 + V \text{ pada tan}}$$

$$0,4 (21,248627 \text{ m}^3 + V \text{ padatan}) = 21,248627 \text{ m}^3$$

$$8,499451 \text{ m}^3 + 0,4 V \text{ padatan} = 21,248627 \text{ m}^3$$

$$0,4 V \text{ padatan} = 12,749176 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. padatan} = 31,872941 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume total tangki} &= \text{Volume padatan} + \text{Volume air} \\ &= 31,872941 \text{ m}^3 + 84,994508 \text{ m}^3 \\ &= 116,867449 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

**Menentukan dimensi tangki**

$$\text{Volume tangki} = \frac{1}{4} \pi \cdot D_i^2 \cdot L_s$$

Diasumsikan  $L_s = 1,5 D_i$ , sehingga :

$$116,867449 \text{ m}^3 = \frac{1}{4} \pi \cdot (D_i)^2 \cdot 1,5 D_i$$

$$116,867449 \text{ m}^3 = 1,178571 D_i^3$$

$$D_i^3 = 99,160260 \text{ m}^3$$

$$D_i = 4,628560 \text{ m}$$

$$\text{Jadi tinggi tangki } (L_s) = 1,5 \times 4,628560 \text{ m} = 6,942840 \text{ m}$$

Menentukan tinggi tutup atas dan bawah (h) :

$$h = 0,196 D_i = 0,196 (4,628560 \text{ m}) = 0,782227 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi tinggi total tangki} &= L_s + h = 6,942840 \text{ m} + 0,782227 \text{ m} \\ &= 7,725066 \text{ m} \end{aligned}$$

**Speisifikasi tangki *sand filter* :**

- Type : Silinder mendatar
- Tinggi : 7,725066 m
- Diameter : 4,628560 m
- Tutup : *Standard dishead*
- Jumlah : 1 buah

**6. Bak Air Bersih (F-216)**

Fungsi : Untuk menampung air dari tangki sand filter

Bahan konstruksi : Beton bertulang

**Dasar Perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 169254,664211 \text{ kg/jam} = 373138,832719 \text{ lb/jam} \\ &= 103,649676 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ air pada } 30^{\circ}\text{C} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{169254,664211 \text{ kg/jam}}{995,68 \text{ kg/m}^3} = 169,989017 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 24 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= (169,989017 \text{ m}^3/\text{jam}) \times (24 \text{ jam}) \\ &= 4079,736402 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bak air bersih terbagi menjadi 3 bak, sehingga :

$$\text{Volume 1 bak} = \frac{4079,736402 \text{ m}^3}{3} = 1359,912134 \text{ m}^3$$

Direncanakan volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{1359,912134 \text{ m}^3}{0,8} = 1699,890168 \text{ m}^3$$

Bak berbentuk empat persegi panjang dengan rasio :

$$\text{Panjang} : \text{lebar} : \text{tinggi} = 5 : 3 : 2$$

$$\text{Volume bak} = (5 \text{ m}) \times (3 \text{ m}) \times (2 \text{ m}) = 30 \text{ m}^3$$

Sehingga :

$$\text{Volume bak} = 30 X^3$$

$$1699,890168 \text{ m}^3 = 30 X^3$$

$$56,66300559 \text{ m}^3 = X^3$$

$$X = 3,840902 \text{ m}$$

Jadi ukuran bak air bersih :

- Panjang = 5 x (3,840902 m) = 19,204509 m
- Lebar = 3 x (3,840902 m) = 11,522705 m
- Tinggi = 2 x (3,840902 m) = 7,681804 m

**Spesifikasi bak air bersih :**

- Bentuk : Persegi panjang
- Panjang : 19,204509 m
- Lebar : 11,522705 m
- Tinggi : 7,681804 m
- Bahan : Beton Bertulang
- Jumlah : 3 buah

**7. Pompa Air Bersih (L-217)**

Fungsi : Untuk memompa air dari bak air bersih ke anion dan kation exchanger.

Type : *Centrifugal pump*

Bahan : *Cast iron*

**Dasar perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 1539,406617 \text{ kg/jam} = 3393,775827 \text{ lb/jam} \\ &= 0,942716 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,430266 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,9 \text{ cp} = 0,000605 \text{ lb/ft.dt}$$

$$\text{Rate volumetrik } (Q_f) = \frac{0,942716 \text{ lb/dt}}{62,430266 \text{ lb/ft}^3} = 0,015166 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari (Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} ID_{\text{opt}} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} = 3,9 (0,015166)^{(0,45)} \times (62,430266)^{0,13} \\ &= 1,013004 \text{ in} \\ &= 0,084417 \text{ ft} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 1 in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

- OD = 1,315 in
- ID = 1,049 in
- A = 0,00600 ft<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{\text{rate volumetrik}(Q_f)}{\text{luas area}(A)} = \frac{0,084417 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,00600 \text{ ft}^2} \\ &= 2,527635 \text{ ft}/\text{dt} \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(1,049/12) \text{ ft} \times (2,527635) \text{ ft}/\text{dt} \times (62,430266) \text{ lb}/\text{ft}^3}{0,000605 \text{ lb}/\text{ft} \cdot \text{dt}} \\ &= 129,899360 < 2100 \end{aligned}$$

Karena  $N_{Re} < 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah laminair (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast iron*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 88 diperoleh  $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4})$  m, sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft}/\text{m}}{(1,049/12) \text{ ft}} = 0,009264$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,14

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 100 ft
- Elbow, 90° = 3 buah

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 3 \times 0,75 = 2,25$$

- Gate valve = 2 buah (half open)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 1 \times 4,5 = 9$$

- Globe valve = 1 buah (wide open)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 1 \times 6 = 6$$

Dari pers. 2.10.16 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,3474} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,3474}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned} \Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,14) \times \frac{100}{(1,049/12)} + 1 + 0,55 + 2,25 + 9 + 6 \right] \frac{(2,527635)^2}{2} \\ &= 2002,932388 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m \end{aligned}$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0 \\ \frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0 \end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} - \Delta z &= 20 \text{ ft} & - \Delta v &= 2,527635 \text{ ft/dt} \\ - \Delta P &= 0 & - \alpha &= 2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} -W_s &= \left[ \frac{(2,27635)^2}{(2) \cdot (2) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(20) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{62,430266} \right] + 2002,932388 \\ &= 6,136560 \end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(6,136560) \cdot (0,084417) \cdot (62,430266)}{550} \\ &= 0,010518 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = 0,015166 \text{ ft}^3/\text{dt} = 6,807327 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 25 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{0,010518 \text{ Hp}}{0,25} = 0,042073 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 78 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,042073}{0,78} = 0,053940 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi pompa air bersih :**

- Type : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 0,5 Hp
- Bahan konstruksi : *Cast iron*
- Jumlah : 1 buah

### 8. Kation Exchanger (D-210A)

Fungsi : Untuk menghilangkan ion-ion positif yang dapat menyebabkan kasadahan air.

Bahan konstruksi : *Carbon Steel SA-240 Grade M type 316*

Resin yang digunakan adalah Hidrogen exchanger ( $\text{H}_2\text{Z}$ ). Dimana tiap  $1 \text{ m}^3$   $\text{H}_2\text{Z}$  dapat menghilangkan 6500 – 9000 gram *hardness*. Direncanakan  $\text{H}_2\text{Z}$  yang digunakan sebanyak  $7000 \text{ g/m}^3$ .

**Dasar perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 1539,406617 \text{ kg/jam} = 3393,775827 \text{ lb/jam} \\ &= 0,942716 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,430266 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,9 \text{ cp} = 0,000605 \text{ lb/ft.dt}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik } (Q_f) &= \frac{0,942716 \text{ lb/dt}}{62,430266 \text{ lb/ft}^3} = 0,015166 \text{ ft}^3/\text{dt} \\ &= 6,807327 \text{ gpm} \end{aligned}$$

**Direncanakan :**

- Tangki berbentuk silinder
- Kecepatan air = 3 gpm/ft<sup>2</sup>
- Tinggi bad = 2 m
- ❖ Luas penampang tangki =  $\frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Kecepatan air}} = \frac{6,807327 \text{ gpm}}{3 \text{ gpm/ft}^2} = 2,269109 \text{ ft}^2$
- ❖ Volume bad = Luas x tinggi =  $(2,269109 \text{ ft}^2) \times (2 \times 3,2808) \text{ ft} = 14,888985 \text{ ft}^3 = 0,421629 \text{ m}^3$
- ❖ Diameter bad
 
$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \pi/4 \cdot d^2 \\ 2,269109 \text{ ft}^2 &= (\pi/4) \times d^2 \\ d &= 1,699399 \text{ ft} = 0,517983 \text{ m} \end{aligned}$$
- ❖ Direncanakan H/D = 3
 
$$\begin{aligned} H &= 3 \times D = 3 \times (1,699399 \text{ ft}) = 5,098197 \text{ ft} \\ &= 1,553949 \text{ m} \end{aligned}$$



## ❖ Volume tangki

$$V = H \cdot A = (5,098197 \text{ ft}) \times (2,269109 \text{ ft}^2) = 11,568363 \text{ ft}^3$$

$$= 0,327595 \text{ m}^3$$

Diasumsikan : tiap galon air mengandung 10 *grain hardness*, maka :

$$\text{Kandungan kation} = 6,807327 \text{ gpm} \times 10 \text{ grain} = 68,073265 \text{ grain/menit}$$

$$= 4084,395927 \text{ grain/jam}$$

Dalam 0,421629 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>Z dapat menghilangkan :

$$\text{Hardness sebanyak} = 0,421629 \times 7000$$

$$= 2951,402949 \text{ gram}$$

$$= 2951,402949 \times (2,2046/1000 \text{ lb/gram}) \times 7000$$

$$= 45546,640586 \text{ grain}$$

$$\text{Umur resin} = \frac{45546,640586 \text{ grain}}{4084,395927 \text{ grain/jam}} = 11,151377 \text{ jam}$$

Jadi setelah 11,151377 jam resin harus segera diregenerasi dengan menambahkan asam sulfat atau asam klorida.

**Spesifikasi kation exchanger :**

- Bahan konstruksi : *Carbon Steel SA-240 Grade M type 316*
- Diameter : 0,517983 m
- Tinggi : 1,553949 m

**9. Anion Exchanger (D-210B)**

Fungsi : Untuk menghilangkan ion-ion negatif yang dapat menyebabkan kesadahan air.

Bahan konstruksi : *Carbon Steel SA-240 Grade M type 316*

Direncanakan anion *exchanger* yang digunakan sebanyak 1000 g/m<sup>3</sup>.

**Dasar perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 1539,406617 \text{ kg/jam} = 3393,775827 \text{ lb/jam} \\ &= 0,942716 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,430266 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,9 \text{ cp} = 0,000605 \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik } (Q_f) &= \frac{0,942716 \text{ lb/dt}}{62,430266 \text{ lb/ft}^3} = 0,015166 \text{ ft}^3/\text{dt} \\ &= 6,807327 \text{ gpm} \end{aligned}$$

**Direncanakan :**

- Tangki berbentuk silinder
- Kecepatan air = 3 gpm/ft<sup>2</sup>
- Tinggi bad = 2 m
- ❖ Luas penampang tangki =  $\frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Kecepatan air}} = \frac{6,807327 \text{ gpm}}{3 \text{ gpm/ft}^2} = 2,269109 \text{ ft}^2$
- ❖ Volume bad = Luas x tinggi =  $(2,269109 \text{ ft}^2) \times (2 \times 3,2808) \text{ ft} = 14,888985 \text{ ft}^3 = 0,421629 \text{ m}^3$
- ❖ Diameter bad

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \pi/4 \cdot d^2 \\ 2,269109 \text{ ft}^2 &= (\pi/4) \times d^2 \\ d &= 1,699399 \text{ ft} = 0,517983 \text{ m} \end{aligned}$$

- ❖ Direncanakan H/D= 3

$$\begin{aligned} H &= 3 \times D = 3 \times (1,699399 \text{ ft}) = 5,098197 \text{ ft} \\ &= 1,553949 \text{ m} \end{aligned}$$

❖ Volume tangki

$$V = H \cdot A = (5,098197 \text{ ft}) \times (2,269109 \text{ ft}^2) = 11,568363 \text{ ft}^3$$

$$= 0,327595 \text{ m}^3$$

Diasumsikan pada setiap galon air mengandung 20 *grain hardness*, maka :

$$\text{Kandungan kation} = 6,807327 \text{ gpm} \times 20 \text{ grain} = 136,146531 \text{ grain/menit}$$

$$= 8168,791854 \text{ grain/jam}$$

Dalam 0,421629 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>Z dapat menghilangkan :

$$\text{Hardness sebanyak} = 0,421629 \times 1000$$

$$= 421,628993 \text{ gram}$$

$$= 421,628993 \times (2,2046/1000 \text{ lb/gram}) \times 7000$$

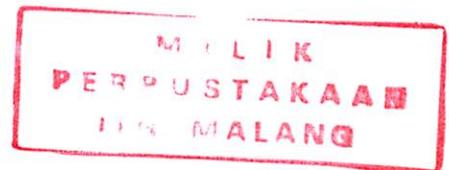
$$= 929,523277 \text{ grain}$$

$$\text{Umur resin} = \frac{929,523277 \text{ grain}}{8168,791854 \text{ grain/jam}} = 0,113790 \text{ jam}$$

Jadi setelah 0,113790 jam resin harus segera diregenerasi dengan menambahkan asam sulfat atau asam klorida.

**Spesifikasi anion exchanger :**

- Bahan konstruksi : *Carbon Steel SA-240 Grade M type 316*
- Diameter : 0,517983 m
- Tinggi : 1,553949 m



#### 10. Bak Air Lunak (F-218)

Fungsi : Untuk menampung air bersih untuk umpan boiler

Bahan konstruksi : Beton bertulang

**Dasar perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 1539,406617 \text{ kg/jam} = 3393,775827 \text{ lb/jam} \\ &= 0,942716 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ air pada } 30^{\circ}\text{C} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{1539,406617 \text{ kg/jam}}{995,68 \text{ kg/m}^3} = 1,546086 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 8 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= (1,546086 \text{ m}^3/\text{jam}) \times (8 \text{ jam}) \\ &= 12,368686 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{12,368686 \text{ m}^3}{0,8} = 15,460857 \text{ m}^3$$

Bak berbentuk empat persegi panjang dengan rasio :

$$\text{Panjang} : \text{lebar} : \text{tinggi} = 5 : 3 : 2$$

$$\text{Volume bak} = (5 \text{ m}) \times (3 \text{ m}) \times (2 \text{ m}) = 30 \text{ m}^3$$

Sehingga :

$$\text{Volume bak} = 30 X^3$$

$$15,460857 \text{ m}^3 = 30 X^3$$

$$0,515361902 \text{ m}^3 = X^3$$

$$X = 0,801747 \text{ m}$$

Jadi ukuran bak air lunak :

- Panjang =  $5 \times (0,801747 \text{ m}) = 4,008736 \text{ m}$
- Lebar =  $3 \times (0,801747 \text{ m}) = 2,405242 \text{ m}$
- Tinggi =  $2 \times (0,801747 \text{ m}) = 1,603494 \text{ m}$

**Spesifikasi bak air lunak :**

- Bentuk : Persegi panjang
- Panjang : 4,008736 m
- Lebar : 2,405242 m
- Tinggi : 1,603494 m
- Bahan : Beton Bertulang
- Jumlah : 1 buah

**11. Pompa ke Deaerator (L-219)**

Fungsi : Untuk memompa air dari bak air lunak ke deaerator

Type : *Centrifugal pump*

Bahan : *Cast iron*

**Dasar perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 1539,406617 \text{ kg/jam} = 3393,775827 \text{ lb/jam} \\ &= 0,942716 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,430266 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,9 \text{ cp} = 0,000605 \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}$$

$$\text{Rate volumetrik } (Q_f) = \frac{0,942716 \text{ lb/dt}}{62,430266 \text{ lb/ft}^3} = 0,015166 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari (Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} ID_{\text{opt}} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} = 3,9 (0,015166)^{(0,45)} \times (62,430266)^{0,13} \\ &= 1,013004 \text{ in} \\ &= 0,084417 \text{ ft} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 1 in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

- OD = 1,315 in
- ID = 1,049 in
- A = 0,00600 ft<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{\text{rate volumetrik}(Q_f)}{\text{luas area}(A)} = \frac{0,084417 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,00600 \text{ ft}^2} \\ &= 2,527635 \text{ ft/dt} \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(1,049/12) \text{ ft} \times (2,527635) \text{ ft/dt} \times (62,430266) \text{ lb/ft}^3}{0,000605 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}} \\ &= 129,899360 < 2100 \end{aligned}$$

Karena  $N_{Re} < 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah laminair (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast iron*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 88 diperoleh  $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4})$  m, sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(1,049/12) \text{ ft}} = 0,009264$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,14

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 100 ft
- Elbow, 90° = 3 buah

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 3 \times 0,75 = 2,25$$

- Gate valve = 2 buah (half open)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 1 \times 4,5 = 9$$

- Globe valve = 1 buah (wide open)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 1 \times 6 = 6$$

Dari pers. 2.10.16 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,00600} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,00600}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned} \Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,14) \times \frac{100}{(1,049/12)} + 1 + 0,55 + 2,25 + 9 + 6 \right] \frac{(2,527635)^2}{2} \\ &= 2002,932388 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m \end{aligned}$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0 \\ \frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0 \end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} - \Delta z &= 20 \text{ ft} & - \Delta v &= 2,527635 \text{ ft/dt} \\ - \Delta P &= 0 & - \alpha &= 2 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} -W_s &= \left[ \frac{(2,27635)^2}{(2) \cdot (2) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(20) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{62,430266} \right] + 2002,932388 \\ &= 6,136560 \end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_r \times \rho}{550} = \frac{(6,136560) \cdot (0,084417) \cdot (62,430266)}{550} \\ &= 0,010518 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = 0,015166 \text{ ft}^3/\text{dt} = 6,807327 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 25 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{0,010518 \text{ Hp}}{0,25} = 0,042073 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 78 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,042073}{0,78} = 0,053940 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi pompa air bersih :**

- Type : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 0,5 Hp
- Bahan konstruksi : *Cast iron*
- Jumlah : 1 buah

## 12. Deaerator (D-221)

Fungsi : Untuk menghilangkan gas impurities dalam air umpan boiler dengan injeksi steam

Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-240 Grade M type 316*

Type : Silinder horisontal

**Dasar perhitungan :**

$$\text{Rate aliran} = 15696,955475 \text{ kg/jam}$$



$$\rho \text{ air pada } 30^{\circ}\text{C} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{15696,955475 \text{ kg/jam}}{995,68 \text{ kg/m}^3} = 15,765061 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 1 \text{ jam}$$

$$\text{Volume air} = \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal}$$

$$= (15,765061 \text{ m}^3/\text{jam}) \times (1 \text{ jam})$$

$$= 15,765061 \text{ m}^3$$

Direncanakan volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

$$\text{Volume tangki} = \frac{15,765061 \text{ m}^3}{0,8} = 19,706326 \text{ m}^3$$

**Menentukan dimensi tangki :**

$$\text{Volume tangki} = \frac{1}{4} \pi \cdot D_i^2 \cdot L_s$$

Diasumsikan  $L_s = 1,5 D_i$ , sehingga :

$$19,706326 \text{ m}^3 = \frac{1}{4} \pi \cdot (D_i)^2 \cdot 1,5 D_i$$

$$19,706326 \text{ m}^3 = 1,178571 D_i^3$$

$$D_i^3 = 16,720519 \text{ m}^3$$

$$D_i = 2,557113 \text{ m}$$

$$\text{Jadi tinggi tangki } (L_s) = 1,5 \times 2,557113 \text{ m} = 3,835669 \text{ m}$$

Menentukan tinggi tutup atas dan bawah (h) :

$$h = 0,196 D_i = 0,196 (2,557113 \text{ m}) = 0,432152 \text{ m}$$

$$\text{Jadi tinggi total tangki} = L_s + h = 3,835669 \text{ m} + 0,432152 \text{ m}$$

$$= 4,267822 \text{ m}$$

**Speisifikasi deaerator :**

- Type : Silinder horisontal

- Tinggi : 4,267822 m
- Diameter : 2,557113 m
- Tutup : *Standard dishead*
- Jumlah : 1 buah

### 13. Pompa ke Boiler (L-222)

Fungsi : Untuk memompa air deaerator ke boiler

Type : *Centrifugal pump*

Bahan : *Cast iron*

#### Dasar perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 15696,955475 \text{ kg/jam} = 34605,508041 \text{ lb/jam} \\ &= 9,612641 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas air} = 995,68 \text{ kg/m}^3 = 62,160568 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,9 \text{ cp} = 0,000605 \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}$$

$$\text{Rate volumetrik } (Q_f) = \frac{9,612641 \text{ lb/dt}}{62,160568 \text{ lb/ft}^3} = 0,154642 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari (Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} ID_{\text{opt}} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} = 3,9 (0,154642)^{(0,45)} \times (62,160568)^{0,13} \\ &= 2,880176 \text{ in} \\ &= 0,240015 \text{ ft} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 3 in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

- OD = 3,50 in
- ID = 3,068 in
- A = 0,0513 ft<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{\text{rate volumetrik}(Q_f)}{\text{luas area}(A)} = \frac{0,154642 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,0513 \text{ ft}^2} \\ &= 3,014466 \text{ ft/dt} \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(3,068/12) \text{ ft} \times (3,014466) \text{ ft/dt} \times (62,160568) \text{ lb/ft}^3}{0,000605 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}} \\ &= 1324,552232 < 2100 \end{aligned}$$

Karena  $N_{Re} < 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah laminair (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast iron*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 88 diperoleh  $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}$ , sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(3,068/12) \text{ ft}} = 0,003336$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,048

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 50 ft
- Elbow, 90° = 3 buah

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 3 \times 0,75 = 2,25$$

- Gate valve = 2 buah (half open)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 1 \times 4,5 = 9$$

- Globe valve = 1 buah (wide open)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 1 \times 6 = 6$$

Dari pers. 2.10.16, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,0513} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{0,0513}{0}\right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned}\Sigma F &= \left[4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f\right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[4(0,048) \times \frac{50}{(3,068/12)} + 1 + 0,55 + 2,25 + 9 + 6\right] \frac{(3,014466)^2}{2} \\ &= 102,478199 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m\end{aligned}$$

### Menentukan tenaga penggerak pompa :

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\begin{aligned}\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0 \\ \frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0\end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned}- \Delta z &= 35 \text{ ft} & - \Delta v &= 3,014466 \text{ ft/dt} \\ - \Delta P &= 0 & - \alpha &= 2\end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned}-W_s &= \left[\frac{(3,014466)^2}{(2) \cdot (2) \cdot (32,2)}\right] + \left[\frac{(35) \cdot (9,8)}{32,2}\right] + \left[\frac{0}{62,160568}\right] + 102,478199 \\ &= 113,200924\end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned}\text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(113,200924) \cdot (0,154642) \cdot (62,160568)}{550} \\ &= 1,978472 \text{ Hp}\end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = 0,154642 \text{ ft}^3/\text{dt} = 69,412656 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 55 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{1,978472 \text{ Hp}}{0,55} = 3,597223 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 78 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{3,597223}{0,78} = 4,611824 \text{ Hp} \approx 5 \text{ Hp}$$

#### Spesifikasi pompa air bersih :

- Type : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 5 Hp
- Bahan konstruksi : *Cast iron*
- Jumlah : 1 buah

#### 14. Pompa ke Bak Klorinasi (L-226)

Fungsi : Untuk memompa air bak air bersih ke bak klorinasi

Type : *Centrifugal pump*

Bahan konstruksi : *Cast Iron*

#### Dasar Perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 437,50 \text{ kg/jam} = 1388,898 \text{ lb/jam} = 0,385805 \text{ lb/detik}$$

$$\text{Densitas air} = 995,68 \text{ kg/m}^3 = 62,160568 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,9 \text{ cp} = 0,000605 \text{ lb/ft.dt}$$

$$\text{Rate volumetrik } (Q_f) = \frac{0,385805 \text{ lb/dt}}{62,160568 \text{ lb/ft}^3} = 0,006207 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari (Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} ID_{opt} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} = 3,9 (0,006207)^{(0,45)} \times (62,160568)^{0,13} \\ &= 0,677650 \text{ in} \\ &= 0,056471 \text{ ft} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 3 in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} - \text{OD} &= 3,50 \text{ in} & - \text{ID} &= 3,068 \text{ in} \\ - \text{A} &= 0,0513 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{\text{rate volumetrik}(Q_f)}{\text{luas area}(A)} = \frac{0,006207 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,0513 \text{ ft}^2} \\ &= 0,120986 \text{ ft/dt} \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(3,068/12) \text{ ft} \times (0,120986) \text{ ft/dt} \times (62,160568) \text{ lb/ft}^3}{0,000605 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}} \\ &= 3179,305065 > 2100 \end{aligned}$$

Karena  $N_{Re} > 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah turbulen (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast iron*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 88 diperoleh  $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4})$  m, sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(3,068/12) \text{ ft}} = 0,003336$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,0085

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 50 ft

- Elbow,  $90^\circ$  = 3 buah

$$K_f(\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 3 \times 0,75 = 2,25$$

- Gate valve = 2 buah (half open)

$$K_f(\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 1 \times 4,5 = 9$$

- Globe valve = 1 buah (wide open)

$$K_f(\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 1 \times 6 = 6$$

Dari pers. 2.10.16, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,0513} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,0513}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned} \Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,0085) \times \frac{50}{(3,068/12)} + 1 + 0,55 + 2,25 + 9 + 6 \right] \frac{(0,120986)^2}{2} \\ &= 0,186259 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m \end{aligned}$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

**Direncanakan :**

- |                      |                               |
|----------------------|-------------------------------|
| - $\Delta z$ = 35 ft | - $\Delta v$ = 0,120986 ft/dt |
| - $\Delta P$ = 0     | - $\alpha$ = 1,05             |

Maka :

$$\begin{aligned}
 -W_s &= \left[ \frac{(0,120986)^2}{(2) \cdot (1,05) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(35) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{62,160568} \right] + 0,186259 \\
 &= 10,838649
 \end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned}
 \text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(10,838649) \cdot (0,006207) \cdot (62,160568)}{550} \\
 &= 0,007603 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = 0,006207 \text{ ft}^3/\text{dt} = 2,785889 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 25 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{0,007603 \text{ Hp}}{0,25} = 0,030412 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 78 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,030412}{0,78} = 0,038989 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi pompa air bersih :**

- Type : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 0,5 Hp
- Bahan konstruksi : *Cast iron*
- Jumlah : 1 buah

### 15. Bak Klorinasi (F-230)

Fungsi : Untuk menampung air bersih yang digunakan sebagai air sanitasi.



Bahan konstruksi : Beton bertulang

**Dasar perhitungan :**

$$\text{Rate aliran} = 437,50 \text{ kg/jam} = 1388,898 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ air pada } 30^{\circ}\text{C} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{437,50 \text{ kg/jam}}{995,68 \text{ kg/m}^3} = 0,632733 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 24 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= (1,546086 \text{ m}^3/\text{jam}) \times (24 \text{ jam}) \\ &= 15,185602 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{15,185602 \text{ m}^3}{0,8} = 18,982002 \text{ m}^3$$

Bak berbentuk empat persegi panjang dengan ratio :

$$\text{Panjang} : \text{lebar} : \text{tinggi} = 5 : 3 : 2$$

$$\text{Volume bak} = (5 \text{ m}) \times (3 \text{ m}) \times (2 \text{ m}) = 30 \text{ m}^3$$

Sehingga :

$$\text{Volume bak} = 30 X^3$$

$$18,982002 \text{ m}^3 = 30 X^3$$

$$0,632733 \text{ m}^3 = X^3$$

$$X = 0,858500 \text{ m}$$

Jadi ukuran bak klorinasi :

$$- \text{ Panjang} = 5 \times (0,858500 \text{ m}) = 4,292500 \text{ m}$$

$$- \text{ Lebar} = 3 \times (0,858500 \text{ m}) = 2,575500 \text{ m}$$

$$- \text{ Tinggi} = 2 \times (0,858500 \text{ m}) = 1,717000 \text{ m}$$

**Spesifikasi bak klorinasi :**

- Bentuk : Persegi panjang
- Panjang : 4,2925 m
- Lebar : 2,5755 m
- Tinggi : 1,7170 m
- Bahan : Beton Bertulang
- Jumlah : 1 buah

**16. Pompa ke Bak Air Sanitasi (L-227)**

Fungsi : Untuk memompa air bak klorinasi ke bak air sanitasi

Type : *Centrifugal pump*

Bahan konstruksi : *Cast Iron*

**Dasar Perhitungan :**

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 437,50 \text{ kg/jam} &= 1388,898 \text{ lb/jam} \\ & &= 0,385805 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas air} = 995,68 \text{ kg/m}^3 = 62,160568 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,9 \text{ cp} = 0,000605 \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}$$

$$\text{Rate volumetrik } (Q_f) = \frac{0,385805 \text{ lb/dt}}{62,160568 \text{ lb/ft}^3} = 0,006207 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari (Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} ID_{\text{opt}} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} = 3,9 (0,006207)^{(0,45)} \times (62,160568)^{0,13} \\ &= 0,677650 \text{ in} \\ &= 0,056471 \text{ ft} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 3 in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

- OD = 3,50 in
- ID = 3,068 in
- A = 0,0513 ft<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{\text{rate volumetrik}(Q_f)}{\text{luas area}(A)} = \frac{0,006207 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,0513 \text{ ft}^2} \\ &= 0,120986 \text{ ft}/\text{dt} \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(3,068/12)\text{ft} \times (0,120986)\text{ft}/\text{dt} \times (62,160568)\text{lb}/\text{ft}^3}{0,000605 \text{ lb}/\text{ft} \cdot \text{dt}} \\ &= 3179,305065 > 2100 \end{aligned}$$

Karena  $N_{Re} > 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah turbulen (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast iron*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 88 diperoleh  $\epsilon = (2,6 \times 10^{-4})$  m, sehingga :

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{(2,6 \cdot 10^{-5})\text{m} \times 3,2808 \text{ ft}/\text{m}}{(3,068/12) \text{ ft}} = 0,003336$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,0085

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 50 ft
- Elbow, 90° = 3 buah

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 3 \times 0,75 = 2,25$$

- Gate valve = 2 buah (half open)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 1 \times 4,5 = 9$$

- Globe valve = 1 buah (wide open)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 1 \times 6 = 6$$

Dari pers. 2.10.16 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,0513} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,0513}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned} \Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,0085) \times \frac{50}{(3,068/12)} + 1 + 0,55 + 2,25 + 9 + 6 \right] \frac{(0,120986)^2}{2} \\ &= 0,186259 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m \end{aligned}$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

- $\Delta z = 35 \text{ ft}$
- $\Delta v = 0,120986 \text{ ft/dt}$
- $\Delta P = 0$
- $\alpha = 1,05$

Maka :

$$\begin{aligned} -W_s &= \left[ \frac{(0,120986)^2}{(2) \cdot (1,05) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(35) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{62,160568} \right] + 0,186259 \\ &= 10,838649 \end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(10,838649) \cdot (0,006207) \cdot (62,160568)}{550} \\ &= 0,007603 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = 0,006207 \text{ ft}^3/\text{dt} = 2,785889 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 25 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{0,007603 \text{ Hp}}{0,25} = 0,030412 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 78 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,030412}{0,78} = 0,038989 \text{ Hp} \approx 0,5 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi pompa air bersih :**

- Type : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 0,5 Hp
- Bahan konstruksi : *Cast iron*
- Jumlah : 1 buah

### 17. Bak Air Sanitasi (F-228)

Fungsi : Sebagai tempat penampungan air sanitasi

Bahan konstruksi : Beton bertulang

**Dasar perhitungan :**

$$\text{Rate aliran} = 437,50 \text{ kg/jam} = 1388,898 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ air pada } 30^\circ\text{C} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{437,50 \text{ kg/jam}}{955,68 \text{ kg/m}^3} = 0,632733 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 12 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= (1,546086 \text{ m}^3/\text{jam}) \times (12 \text{ jam}) \\ &= 7,592801 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{7,592801 \text{ m}^3}{0,8} = 9,592801 \text{ m}^3$$

Bak berbentuk empat persegi panjang dengan rasio :

$$\text{Panjang} : \text{lebar} : \text{tinggi} = 5 : 3 : 2$$

$$\text{Volume bak} = (5 \text{ m}) \times (3 \text{ m}) \times (2 \text{ m}) = 30 \text{ m}^3$$

Sehingga :

$$\text{Volume bak} = 30 X^3$$

$$9,592801 \text{ m}^3 = 30 X^3$$

$$0,316367 \text{ m}^3 = X^3$$

$$X = 0,681392 \text{ m}$$

Jadi ukuran bak air sanitasi :

- Panjang = 5 x (0,681392 m) = 3,406959 m
- Lebar = 3 x (0,681392 m) = 2,044175 m
- Tinggi = 2 x (0,681392 m) = 1,362784 m

**Spesifikasi bak air sanitasi :**

- Bentuk : Persegi panjang
- Panjang : 3,406959 m

- Lebar : 2,044175 m
- Tinggi : 1,362784 m
- Bahan : Beton Bertulang
- Jumlah : 1 buah

### 18. Pompa ke Bak Air Pendingin (L-223)

Fungsi : Untuk memompa air bersih ke bak air pendingin

Type : *Centrifugal pump*

Bahan konstruksi : *Cast Iron*

#### Dasar Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 151388,302119 \text{ kg/jam} \\ &= 92,708514 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas air} = 62,430266 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,9 \text{ cp} = 0,000605 \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}$$

$$\text{Rate volumetrik } (Q_f) = \frac{92,708514 \text{ lb/dt}}{62,430266 \text{ lb/ft}^3} = 1,484993 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari (Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned} ID_{\text{opt}} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} = 3,9 (1,484993)^{(0,45)} \times (62,430266)^{0,13} \\ &= 7,975207 \text{ in} \\ &= 0,664601 \text{ ft} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 8 in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

- OD = 8,625 in
- ID = 7,981 in
- A = 0,3474 ft<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{\text{rate volumetrik}(Q_f)}{\text{luas area}(A)} = \frac{1,484993 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,3474 \text{ ft}^2} \\ &= 4,274591 \text{ ft/dt} \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida**

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(7,981/12) \text{ ft} \times (4,274591) \text{ ft/dt} \times (62,430266) \text{ lb/ft}^3}{0,000605 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}} \\ &= 12774,560886 > 2100 \end{aligned}$$

Karena  $N_{Re} > 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah turbulen (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast iron*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 88 diperoleh  $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}$ , sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(7,981/12) \text{ ft}} = 0,001283$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,008

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 100 ft
- Elbow, 90° = 3 buah

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 3 \times 0,75 = 2,25$$

- Gate valve = 1 buah (*half open*)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 2 \times 4,5 = 9$$

- Globe valve = 1 buah (*wide open*)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 1 \times 6 = 6$$

Dari pers. 2.10.16, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,3474} \right) = 0,55$$



Dari pers. 2.10.15 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{0,3474}{0}\right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned} \Sigma F &= \left[4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f\right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[4(0,008) \times \frac{100}{(7,981/12)} + 1 + 0,55 + 2,25 + 9 + 6\right] \frac{(4,274591)^2}{2} \\ &= 215,715562 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m \end{aligned}$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0 \\ \frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0 \end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} - \Delta z &= 20 \text{ ft} & - \Delta v &= 4,274591 \text{ ft/dt} \\ - \Delta P &= 0 & - \alpha &= 1,05 \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} -W_s &= \left[ \frac{(4,274591)^2}{(2) \cdot (1,05) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(20) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{62,430266} \right] + 215,715562 \\ &= 6,357174 \end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(6,357174) \cdot (1,484993) \cdot (62,430266)}{550} \\ &= 1,071571 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = 1,484993 \text{ ft}^3/\text{dt} = 666,553997 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 75 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{1,071571 \text{ Hp}}{0,75} = 1,428762 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 78 \%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{1,428762}{0,78} = 1,831746 \text{ Hp} \approx 2 \text{ Hp}$$

**Spesifikasi pompa skimmer :**

- Type : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 2 Hp
- Bahan konstruksi : *Cast iron*
- Jumlah : 1 buah

### 19. Bak Air Pendingin (F-224)

Fungsi : Sebagai tempat penampungan air prndingin

Bahan konstruksi : Beton bertulang

**Dasar perhitungan :**

$$\text{Rate aliran} = 151388,302119 \text{ kg/jam}$$

$$\rho \text{ air pada } 30^{\circ}\text{C} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{151388,302119 \text{ kg/jam}}{995,68 \text{ kg/m}^3} = 152,045137 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 12 \text{ jam}$$

$$\text{Volume air} = \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal}$$

$$= (152,045137 \text{ m}^3/\text{jam}) \times (12 \text{ jam})$$

$$= 1824,541645 \text{ m}^3$$

Direncanakan volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{1824,541645 \text{ m}^3}{0,8} = 2280,677057 \text{ m}^3$$

Bak berbentuk empat persegi panjang dengan rasio :

$$\text{Panjang} : \text{lebar} : \text{tinggi} = 5 : 3 : 2$$

$$\text{Volume bak} = (5 \text{ m}) \times (3 \text{ m}) \times (2 \text{ m}) = 30 \text{ m}^3$$

Sehingga :

$$\text{Volume bak} = 30 X^3$$

$$2280,677057 \text{ m}^3 = 30 X^3$$

$$76,022569 \text{ m}^3 = X^3$$

$$X = 4,236243 \text{ m}$$

Jadi ukuran bak sanitasi :

- Panjang = 5 x (4,236243 m) = 21,181214 m
- Lebar = 3 x (4,236243 m) = 12,708728 m
- Tinggi = 2 x (4,236243 m) = 8,472486 m

**Spesifikasi bak air pendingin :**

- Bentuk : Persegi panjang
- Panjang : 21,181214 m
- Lebar : 12,708728 m
- Tinggi : 8,472486 m
- Bahan : Beton Bertulang
- Jumlah : 1 buah

## **20. Cooling Tower (P-240)**

**Fungsi :** Untuk mendinginkan air prndingin

**Dasar perhitungan :**

$$\text{Rate aliran} = 151388,302119 \text{ kg/jam}$$

$$\rho \text{ air pada } 30^\circ\text{C} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik} &= \frac{151388,302119 \text{ kg/jam}}{995,68 \text{ kg/m}^3} = 152,045137 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 40165,763871 \text{ galon/jam} \\ &= 669,429398 \text{ galon/menit} \end{aligned}$$

$$\text{Suhu wet bulb udara} = 25^\circ\text{C} = 77^\circ\text{F}$$

$$\text{Suhu air masuk menara} = 60^\circ\text{C} = 140^\circ\text{F}$$

$$\text{Suhu air pendingin} = 30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$$

Digunakan *counter flow encluced draft tower*, dari Perry gambar 12-14 hal. 12-17, maka didapatkan konsentrasi air = 2,5 gpm/ft<sup>2</sup>, sehingga :

$$\text{Luas yang dibutuhkan (A)} = \frac{669,429398 \text{ gpm}}{2,5 \text{ gpm/ft}^2} = 267,771759 \text{ ft}^2$$

**Menghitung diameter :**

$$\text{Luas} = (\pi/4) \cdot d^2$$

$$267,771759 \text{ ft}^2 = (\pi/4) \cdot d^2$$

$$d^2 = 340,800421$$

$$d = 18,460781 \text{ m} = 5,626914 \text{ ft}$$

**Menghitung volume :**

$$\text{Direncanakan tinggi tower (L)} = 3 d$$

$$L = 3 \times 5,626914 \text{ ft} = 16,880743 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= (\pi/4) \cdot d^2 \cdot L = (\pi/4) \times (5,626914 \text{ ft})^2 \times (16,880743 \text{ ft}) \\ &= 419,949258 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Dari Perry's edisi 7, gambar 12-15 hal. 12-17, didapatkan *Standard power performance* adalah 100 %, maka :

$$\text{Hp fan/luas tower area (ft}^2\text{)} = 0,041 \text{ Hp/ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Hp fan} &= 0,041 \text{ Hp/ft}^2 \times \text{luas tower (ft}^2\text{)} \\ &= (0,041 \text{ Hp/ft}^2) \times (267,771759 \text{ ft}^2) \\ &= 10,978642 \text{ Hp} \approx 11 \text{ Hp} \end{aligned}$$

**Spesifikasi *cooling tower* :**

- Diameter : 5,626914 ft
- Tinggi : 16,880743 ft
- Daya : 11 Hp
- Jumlah : 1

## 21. Pompa ke Peralatan (L-225)

Fungsi : Untuk memompa air dari bak air pendingin ke peralatan proses

Type : *Centrifugal pump*

Bahan : *Cast Iron*

**Dasar Perhitungan :**

$$\text{Rate aliran} = 151388,302119 \text{ kg/jam}$$

$$= 92,708514 \text{ lb/detik}$$

$$\text{Densitas air} = 62,430266 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,9 \text{ cp} = 0,000605 \text{ lb/ft}\cdot\text{dt}$$

$$\text{Rate volumetrik } (Q_f) = \frac{92,708514 \text{ lb/dt}}{62,430266 \text{ lb/ft}^3} = 1,484993 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

Diasumsikan aliran fluida turbulen, maka dari (Peter & Timmerhaus, pers. 15, hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 ID_{opt} &= 3,9 (Q_f)^{(0,45)} \times (\rho)^{0,13} = 3,9 (1,484993)^{(0,45)} \times (62,430266)^{0,13} \\
 &= 7,975207 \text{ in} \\
 &= 0,664601 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 8 in Sch. 40 (Geankoplis App. 5 hlm 892) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 - \text{OD} &= 8,625 \text{ in} & - \text{ID} &= 7,981 \text{ in} \\
 - \text{A} &= 0,3474 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{\text{rate volumetrik (Q}_f\text{)}}{\text{luas area (A)}} = \frac{1,484993 \text{ ft}^3/\text{dt}}{0,3474 \text{ ft}^2} \\
 &= 4,274591 \text{ ft/dt}
 \end{aligned}$$

**Cek jenis aliran fluida :**

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(7,981/12) \text{ ft} \times (4,274591) \text{ ft/dt} \times (62,430266) \text{ lb/ft}^3}{0,000605 \text{ lb/ft} \cdot \text{dt}} \\
 &= 12774,560886 > 2100
 \end{aligned}$$

Karena  $N_{Re} > 2100$ , maka jenis aliran fluida adalah turbulen (Mc. Cabe jilid II, hlm. 47).

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast iron*, dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, hlm 88 diperoleh  $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4})$  m, sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \cdot 10^{-5}) \text{ m} \times 3,2808 \text{ ft/m}}{(7,981/12) \text{ ft}} = 0,001283$$

Dari Geankoplis 6<sup>th</sup>, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat  $f$  (*Fanning friction factor*) = 0,008

**Menentukan panjang pipa :**

- Pipa lurus = 100 ft
- Elbow, 90° = 3 buah

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 3 \times 0,75 = 2,25$$

- Gate valve = 1 buah (*half open*)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 2 \times 4,5 = 9$$

- Globe valve = 1 buah (*wide open*)

$$K_f (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}} \text{ tabel 2.10.1, hlm 93}) = 1 \times 6 = 6$$

Dari pers. 2.10.16 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_c = 0,55 \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right) = 0,55 \left( 1 - \frac{0}{0,3474} \right) = 0,55$$

Dari pers. 2.10.15 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 93 :

$$K_{ex} = \left( 1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,3474}{0} \right)^2 = 1$$

Dari pers. 2.10.18 , Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 94 :

$$\begin{aligned} \Sigma F &= \left[ 4f \frac{\Delta L}{D} + K_x + K_c + K_f \right] \frac{v^2}{2} \\ &= \left[ 4(0,008) \times \frac{100}{(7,981/12)} + 1 + 0,55 + 2,25 + 9 + 6 \right] \frac{(4,274591)^2}{2} \\ &= 215,715562 \text{ lb}_f \text{ ft/lb}_m \end{aligned}$$

**Menentukan tenaga penggerak pompa :**

Berdasarkan pers. Bernoulli (pers. 2.7.28, Geankoplis 6<sup>th</sup> hlm 64) :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_{2av}^2 - v_{1av}^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

- $\Delta z = 20 \text{ ft}$
- $\Delta v = 4,274591 \text{ ft/dt}$
- $\Delta P = 0$
- $\alpha = 1,05$

Maka :

$$\begin{aligned}
 -W_s &= \left[ \frac{(4,274591)^2}{(2) \cdot (1,05) \cdot (32,2)} \right] + \left[ \frac{(20) \cdot (9,8)}{32,2} \right] + \left[ \frac{0}{62,430266} \right] + 215,715562 \\
 &= 6,357174
 \end{aligned}$$

Tenaga penggerak :

$$\begin{aligned}
 \text{WHP} &= \frac{W_s \times Q_f \times \rho}{550} = \frac{(6,357174) \cdot (1,484993) \cdot (62,430266)}{550} \\
 &= 1,071571 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = 1,484993 \text{ ft}^3/\text{dt} = 666,553997 \text{ gpm}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hlm 520, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 75 \%$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta} = \frac{1,071571 \text{ Hp}}{0,75} = 1,428762 \text{ Hp}$$

Dari Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hlm 521, didapat :

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 78 \%$$

$$\begin{aligned}
 \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{1,428762}{0,78} \\
 &= 1,831746 \text{ Hp} \approx 2 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

**Spesifikasi pompa skimmer :**

- Type : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 2 Hp
- Bahan konstruksi : *Cast iron*
- Jumlah : 1 buah



### C. Unit Penyediaan Listrik

Kebutuhan tenaga listrik pada Pra Rencana Pabrik Asam Oksalat dari Ampas Tapioka ini direncanakan dan disediakan oleh PLN dan generator set. Tenaga listrik yang disediakan dipergunakan untuk menggerakkan motor, penerangan, instrumentasi dan lainnya.

Perincian kebutuhan listrik terbagi menjadi :

- Peralatan proses produksi
- Penerangan pabrik
- Listrik untuk penerangan

#### C.1. Peralatan Proses Produksi

Pemakaian listrik untuk peralatan proses produksi, yaitu :

Tabel D.5. Pemakaian Listrik pada Peralatan Proses Produksi

No.	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Daya (Hp)
1.	J-114	<i>Belt Conveyor</i>	1	0,5
2.	S-115	<i>Roll Mill</i>	1	2
3.	J-116	<i>Bucket Elevator</i>	1	2
4.	R-110	Tangki Hidrolisa	1	0,5
5.	L-118	Pompa Centrifugal	1	0,5
6.	L-119	Pompa Rotary	1	0,5
7.	R-120	Reaktor	1	0,5
8.	H-122	<i>Rotary Vacuum Filter</i>	1	0,5
9.	L-125	Pompa Centrifugal	1	0,5
10.	L-126	Pompa Centrifugal	1	0,5
11.	G-128	Blower Centrifugal	1	1
12.	G-131	Blower Centrifugal	1	3
13.	G-133	Blower	1	0,5
14.	L-135	Pompa Centrifugal	1	0,5
15.	L-136	Pompa Centrifugal	1	0,5

16.	L-139	Pompa Centrifugal	1	0,5
17.	L-142	Pompa Centrifugal	1	0,5
18.	H-143	<i>Centrifuge</i>	1	1
19.	L-145	Pompa Centrifugal	1	0,5
20.	H-146	<i>Screw Conveyor</i>	1	1
21.	B-147	<i>Rotary Dryer</i>	1	4,5
22.	H-149	<i>Screw Conveyor</i>	1	0,5
		<b>J u m l a h</b>		22

❖ Daerah Pengolahan Air

Pemakaian listrik untuk daerah pengolahan air (*water treatment*) :

Tabel D.6. Pemakaian Listrik Pada Daerah Pengolahan Air

No.	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Daya (Hp)
1.	L – 211	Pompa air sungai	1	2,5
2.	L – 213	Pompa skimmer	1	2,5
3.	L – 214	Bak Clarifier	1	16
3.	L – 217	Pompa air bersih	1	0,5
4.	L – 219	Pompa ke deaerator	1	0,5
5.	L – 222	Pompa ke boiler	1	5
6.	L – 226	Pompa ke bak klorinasi	1	0,5
7.	L – 227	Pompa ke bak air sanitasi	1	0,5
8.	L – 232	Pompa ke bak air pendingin	1	2
9.	P – 240	Cooling tower	1	11
10.	L – 225	Pompa ke peralatan	1	2
		<b>J u m l a h</b>		43

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi kebutuhan total untuk motor penggerak sebesar} &= (22 + 43) \text{ Hp} \\
 &= 65 \text{ Hp} \\
 &= 65 \text{ Hp} \times \frac{0,7475 \text{ kW}}{\text{Hp}} \\
 &= 48,5875 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

## ❖ Listrik Untuk Penerangan

Pemakaian listrik untuk penerangan dapat diperoleh dengan mengetahui luas bangunan dan areal lahan yang dipergunakan, dengan menggunakan rumus :

$$L = \frac{A \times F}{U \times D}$$

Dimana :

- L = lumen outlet
- A = luas daerah
- F = foot candle
- U = koefisien utilitas = 0,8
- D = efisiensi penerangan rata-rata = 0,75

Tabel D.7. Pemakaian Listrik Untuk Penerangan

No	Bangunan	Luas		Candle (ft)	Lumen
		m <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>		
1.	Pos penjagaan	20	65,616	5	546,80
2.	Taman	450	1476,360	5	12303,00
3.	Parkir tamu	150	492,120	5	4101,00
4.	Parkir karyawan	250	820,200	5	6835,00
5.	Parkir truk	250	820,200	5	6835,00
6.	Ruang serba guna	150	492,120	5	4101,00
7.	Perpustakaan	80	262,464	5	2187,20
8.	Area perkantoran & TU	1200	3936,960	5	32808,00
9.	Toilet	50	164,040	5	1367,00
10.	Musholla	60	196,848	5	1640,40
11.	Poliklinik	80	262,464	10	4374,40
12.	Kantin	70	229,656	5	1913,80
13.	Pemeriksaan bahan baku	50	164,040	5	1367,00
14.	Gudang bahan baku	260	853,008	5	7108,40
15.	PMK	60	196,848	10	3280,80
16.	Listrik/R. Genset	80	262,464	5	2187,20
17.	Ruang bahan bakar	120	393,696	10	6561,60

18.	Ruang boiler	400	1312,320	10	21872,00
19.	Unit pengolahan air	700	2296,560	10	38276,00
20.	Ruang proses	30000	98424,000	10	1640400,00
21.	Area perluasan pabrik	15000	49212,000	5	410100,00
22.	Bengkel & garasi	500	1640,400	10	27340,00
23.	Litbang/R&D	80	262,464	5	2187,20
24.	Laboratorium	250	820,200	10	13670,00
25.	Gudang produk	250	820,200	5	6835,00
26.	Pos penimbangan	40	131,232	5	1093,60
27.	Pembuatan Sludge jalan	900	2952,720	5	24606,00
<b>J u m l a h</b>		51500	168961,200		2285897,40

Penerangan seluruh area kecuali jalan dan taman, menggunakan *Fluorescent lamp type day light* 40 watt, yang mempunyai lumen output sebesar 1960 lumen.

$$\text{Lumen output} = \frac{1960 \text{ lumen}}{40 \text{ watt}} = 49 \text{ lumen/watt}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lumen total} &= 2285897,40 - 447009,00 \\ &= 1838888,40 \text{ lumen} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tenaga listrik yang dibutuhkan} &= \frac{1838888,40 \text{ lumen}}{49 \text{ lumen/watt}} = 37528,33 \text{ watt} \\ &\approx 37560,00 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lampu yang dibutuhkan} &= \frac{37560,00 \text{ watt}}{40 \text{ watt}} \\ &= 939 \text{ buah} \end{aligned}$$

Untuk penerangan jalan dan taman, menggunakan *mercury vapor light* 100 watt dengan lumen output sebesar 3000 lumen.

$$\text{Lumen output} = \frac{3000 \text{ lumen}}{100 \text{ watt}} = 30 \text{ lumen/watt}$$

$$\text{Jumlah lumen total} = 12303,00 + 24606,00 = 36909,00 \text{ lumen}$$

$$\begin{aligned} \text{Tenaga listrik yang dibutuhkan} &= \frac{36909,00 \text{ lumen}}{30 \text{ lumen/watt}} = 1230,30 \text{ watt} \\ &\approx 1300 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah lampu yang dibutuhkan} = \frac{1300 \text{ watt}}{100 \text{ watt}} = 13 \text{ buah}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan :

- Listrik untuk Penerangan	=	38860	watt
- Lampu mercury	=	48587,5	watt
- Peralatan bengkel	=	2000	watt
- Peralatan laboratorium	=	1500	watt
- Keperluan lain – lain	=	1250	watt
<hr/>			
<b>J u m l a h</b>	=	53337,50	watt

$$\begin{aligned} \text{Total kebutuhan listrik} &= \text{Listrik untuk penerangan} + \text{Listrik untuk proses} \\ &= (38860 + 53337,50) \text{ watt} \\ &= 92197,50 \text{ watt} = 92,1975 \text{ kW} \end{aligned}$$

Untuk menjamin kelancaran proses produksi, maka kebutuhan listrik juga disupply oleh diesel (generator).

$$\text{Power faktor untuk generator} = 0,75$$

$$\begin{aligned} \text{Power yang dibangkitkan oleh generator} &= \frac{92,1975 \text{ kW}}{0,75} \\ &= 122,93 \text{ kW} \approx 125 \text{ kW} \end{aligned}$$

#### D. Unit Penyediaan Bahan Bakar

Kebutuhan bahan bakar untuk generator :

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Tenaga generator} &= 125 \text{ kW} = (125) \times (81891,698229 \text{ Btu/hari}) \\ &= 10236462,278625 \text{ Btu/hari} \end{aligned}$$

- Bahan bakar yang digunakan adalah diesel oil
  - *Heating value* (Hv) = 19000 Btu/hari
  - Densitas = 55 lb/ft<sup>3</sup>
  - $\eta$  = 0,805
- Kebutuhan bahan bakar =  $\frac{10236462,278625}{(19000) \times (0,805)} = 669,268537 \text{ lb/hari}$   
= 303,578217 kg/hari
- Volume bahan bakar =  $\frac{669,268537 \text{ lb/hari}}{55 \text{ lb/ft}^3} = 12,168519 \text{ ft}^3/\text{hari}$   
= 0,344590 m<sup>3</sup>/hari

### **Tangki Bahan Bakar**

- Fungsi : Untuk menyimpan bahan bakar yang akan digunakan.
- Type : *Fixed roof*
- Bahan : High Alloy Steel SA 240 Grade A
- Kondisi : Tekanan (P) = 14,7 psi dan T = 30 °C

### **Dasar Perhitungan**

Waktu penyimpanan = 30 hari

Massa bahan bakar = 30 hari x 669,268537 lb/hari = 20078,056120 lb

Volume bahan bakar = 12,168519 ft<sup>3</sup>/hari x 30 hari  
= 365,055566 ft<sup>3</sup>

Volume liquid dianggap menempati 80% volume tangki, sehingga :

$$\text{Volume tangki} = \frac{365,055566 \text{ ft}^3}{0,8} = 456,319457 \text{ ft}^3$$

### **Menghitung diameter tangki :**

$$\text{Volume tangki} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$$

Dianggap  $H = 0,5 D$ , sehingga :

$$\begin{aligned} 456,319457 \text{ ft}^3 &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times 0,5 D \\ &= 0,392857 D^3 \\ D^3 &= 1161,540437 \text{ ft}^3 \\ D &= 10,511825 \text{ ft} = 126,141897 \text{ in} \end{aligned}$$

**Menghitung tinggi tangki (H) :**

$$\begin{aligned} H &= 0,5 D = 0,5 \times (10,511825 \text{ ft}) = 5,255912 \text{ ft} \\ &= 63,070948 \text{ in} \end{aligned}$$

**Menghitung tebal tangki :**

$$t_s = \frac{P_i \times D}{2(f \cdot E - 0,6 \cdot P)} + C$$

Dimana :

$$\begin{aligned} - f &= 15600 \text{ psi} & - C &= 1/16 \text{ in} \\ - E &= 0,85 & &= 0,0625 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi tebal tangki} &= \frac{(14,7) \times (126,141897)}{2((15600 \times 0,85) - (0,6 \times 14,7))} + 0,0625 \\ &= 0,132444 \text{ in} \\ &= 2,12/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

**Menghitung tebal tutup tangki :**

$$\begin{aligned} t_h &= \frac{P_i \times D}{2(f \cdot E - 0,6 \cdot P) \cos 0,5 \alpha} + C \\ &= \frac{(14,7) \times (126,141897)}{2((15600 \times 0,85) - (0,6 \times 14,7))(0,5)} + 0,0625 \\ &= 0,074161 \text{ in} \times 16/16 \\ &= 1,2/16 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

## DAFTAR PUSTAKA

1. Brownell E. Lloyd, "**Process Equipment Design**", John Willey and Sons Inc, New Delhi, India, 1959..
2. Brown, G.G, "**Unit Operation**", Charles E. Tuttle Co, Tokyo, Japan, 1961.
3. Geankoplis, Christie, "**Transport Processes and Unit Operations**", 3<sup>rd</sup> Edition, Prentice Hall Inc. New Delhi, India, 1997.
4. Handojo, Lienda, "**Teknologi Kimia**", Volume 2, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, Indonesia, 1995.
5. Hesse, H.C. and Rushton, J.H., "**Process Equipment Design**", D. Van Nostrand Co, New Jersey, 1981.
6. Hougen, A. Olaf and Watson, K.M., "**Chemical Process Principles**", 2<sup>nd</sup> Edition, John Willey and Sons Inc, New York, 1954.
7. Kern D.Q, "**Process Heat Transfer**", 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw-Hill Inc, Singapore, 1988.
8. Kirk R.F and Othmer D.F, "**Encyclopedya of Chemical Technology**", John Willey and Sons Inc, New York, USA.
9. Ludwig E.E, "**Design for Chemical and Petrochemical Plant**", Gulf Publishing Company, Houston, 1964.
10. Mc Cabe Warren, Smith Julian, Harriot Peter, "**Operasi Teknik Kimia**", Jilid I, PT. Gelora Aksara Pratama, Jakarta, Indonesia, 1994.
11. Perry, Robert H, "**Perry's Chemical Engineering Handbook**", 6<sup>th</sup> Edition, McGraw Hill Company, New York, USA, 1998.
12. Ulrich D. Gael, "**A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economic**", John Willey and Sons Inc, New York, USA, 1984.
13. Peter S. and Timmerhause, "**Plant Design and Economic for Chemical Engineering**", 4<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill, Singapore, 1991
14. Vilbrandt and Dryden, "**Chemical Engineering Plant Design**", 4<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, USA, 1959