

**PRA RENCANA PABRIK
NATRIUM METASILIKAT DARI
NATRIUM KARBONAT DAN PASIR SILIKA
KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN**

**PERANCANGAN ALAT UTAMA
SPRAY DRYER**



Disusun Oleh:

SANG AYU PUTU EKA FEBRIANA P. 10.14.010

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

2016

LEMBAR PERSETUJUAN

PRA RENCANA PABRIK

NATRIUM METASILIKAT DARI

NATRIUM KARBONAT DAN PASIR SILIKA

KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN

PERANCANGAN ALAT UTAMA

SPRAY DRYER

Diajukan sebagai Syarat Memenuhi Wisuda Sarjana pada Jenjang Strata Satu (S-1) di
Institut Teknologi Nasional Malang


Disusun Oleh :

SANG AYU PUTU EKA FEBRIANA PUSPARINI 10.14.010

Malang, September 2016

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Kimia


M. Istiaeny, ST, MT

NIP.Y. 1030400400

Menyetujui

Dosen Pembimbing


Rini Kartika Dewi, ST, MT


NIP.Y. 1030100370

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : SANG AYU PUTU EKA FEBRIANA PUSPARINI
NIM : 10.14.010
Jurusan/Program Studi : TEKNIK KIMIA (S-1)
Judul Skripsi : PRA RENCANA PABRIK NATRIUM METASILIKAT
DARI NATRIUM KARBONAT DAN PASIR SILIKA
KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN

Dipertahankan dihadapan Tim Penguji Ujian Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada:

Hari : Senin
Tanggal : 1 Agustus 2016
Nilai : B⁺

Ketua,

M. Istnaeny Huda, ST, MT.

NIP. Y 1030400400


Sekretaris,


Elvianto Dwi Daryono, ST, MT.

NIP. Y 1030000351

Anggota Penguji,

Penguji Pertama,


M. Istnaeny Huda, ST, MT.

NIP. Y 1030400400

Penguji Kedua,


Faidliyah Nilna Minah, ST, MT.

NIP. P 1030400392

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sang Ayu Putu Eka Febriana Pusparini

NIM : 10.14.010

Jurusan/Prog. Studi : Teknik Kimia (S-1)

Fakultas : Teknologi Industri

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi yang berjudul :

PRA RENCANA PABRIK

NATRIUM METASILIKAT DARI NATRIUM KARBONAT DAN PASIR

SILIKA KAPASITAS 50.000 TON/TAHUN

PERANCANGAN ALAT UTAMA

SPRAY DRYER

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

Malang, September 2016

Yang membuat pernyataan,

SANG AYU PUTU EKA FEBRIANA P.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat dari Natrium Karbonat dan Pasir Silika Kapasitas 50.000Ton/Tahun”**.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi Tugas Akhir Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Malang, sebagai salah satu syarat untuk 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. **Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MTA., selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.**
2. **Ir. Anang Subardi, MT., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri.**
3. M. Istnaeny Huda, ST, MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia.
4. Rini Kartika Dewi, ST, MT., selaku Dosen Pembimbing.
5. Bapak dan Ibu Dosen yang telah memberikan masukan kepada penyusun.
6. Kedua orang tua penyusun yang telah memberikan dukungan serta doa kepada penyusun.
7. Rekan-rekan yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penyusun menyadari Skripsi ini masih kurang sempurna, untuk itu penyusun mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dan semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, September 2016

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
BERITA ACARA	ii
PERNYATAAN KEASLIAN ISI TUGAS AKHIR.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
ABSTRAKSI	viii
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	A - 1
APPENDIKS B	B - 1
APPENDIKS C	C - 1
APPENDIKS D	D - 1
APPENDIKS E	E - 1

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Data Impor Natrium Metasilikat Tahun 2010-2014.....	4
Tabel 7.1.	Instrumentasi Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat	VII - 3
Tabel 7.2.	Tabel Alat Keselamatan Kerja Pabrik Natrium Metasilikat.....	VII - 6
Tabel 10.1.	Jadwal Kerja Karyawan Shift	X - 12
Tabel 10.2.	Perincian Kebutuhan Tenaga Kerja	X - 15
Tabel 10.3.	Daftar Upah (Gaji) Karyawan.....	X - 18
Tabel D.1.1.	Tabel Kebutuhan Steam	D - 1
Tabel D.2.3.1.	Total Kebutuhan Air Pendingin	D - 6
Tabel D.2.4.1.	Total Kebutuhan Air Proses.....	D - 6
Tabel D.2.4.2.	Total Kebutuhan Air yang Perlu Disupply	D - 7
Tabel D.3.1.1.	Pemakaian Listrik untuk Peralatan Proses Produksi.....	D - 75
Tabel D.3.2.1.	Pemakaian Listrik pada Daerah Pengolahan Air	D - 75
Tabel D.3.3.1.	Pemakaian Listrik untuk Penerangan.....	D - 76
Tabel E.1.	Tabel Indeks Harga Alat.....	E - 2
Tabel E.2.	Daftar Harga Peralatan Proses pada Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat	E - 4
Tabel E.3.	Daftar Harga Peralatan Utilitas pada Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat	E - 5
Tabel E.4.	Daftar Gaji Pegawai	E - 9
Tabel E.5.	Cash Flow untuk NPV Selama 10 Tahun.....	E - 23
Tabel E.6.	Cash Flow untuk IRR	E - 24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Blok Diagram Proses Pembuatan Natrium Metasilikat.....	II - 1
Gambar 9.1.	Peta Lokasi Pabrik Natrium Metasilikat.....	IX - 7
Gambar 9.2.	Plant Lay Out Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat.....	IX - 9
Gambar 9.3.	Tata Letak Peralatan Proses Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat	IX - 12
Gambar 10.1.	Struktur Organisasi Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat	X - 9
Gambar E.1.	Grafik Hubungan Antara Tahun dengan Indeks Harga Alat	E - 3

ABSTRAKSI

Natrium Metasilikat (Na_2SiO_3) adalah salah satu dari senyawa-senyawa silikat yang dapat larut dalam air. Natrium Metasilikat dibuat dengan mereaksikan Natrium Karbonat (Na_2CO_3) dan Pasir Silika (SiO_2) di dalam furnace. Kegunaan Natrium Metasilikat (Na_2SiO_3) dalam industri kimia dapat dikatakan cukup luas. Beberapa kegunaan dari Natrium Metasilikat (Na_2SiO_3) antara lain adalah pembuatan silika gel, katalis, pembersih logam dan berbagai industri kimia lainnya. Natrium Metasilikat (Na_2SiO_3) berupa padatan berwarna putih yang memiliki berat molekul 122,06, titik leleh 1088°C dan densitas $2,4 \text{ g/cm}^3$.

Pabrik Natrium Metasilikat (Na_2SiO_3) direncanakan akan didirikan di daerah Tunah, Kabupaten Tuban, Jawa Timur pada tahun 2020 dengan kapasitas 50.000 ton/tahun dan waktu operasi 330 hari/tahun. Utilitas yang digunakan meliputi air, steam, listrik dan bahan bakar. Bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi berbentuk garis dan staf. Dari hasil perhitungan analisa ekonomi didapatkan $\text{TCI} = \$ 42.356.432,08$; Laba Bersih = $\$ 9.299.285,75$; $\text{ROI}_{\text{BT}} = 39,74\%$; $\text{ROI}_{\text{AT}} = 25,83\%$; $\text{POT} = 2,58$ tahun; $\text{BEP} = 54,76\%$; $\text{IRR} = 21,86\%$. Berdasarkan hasil analisa ekonomi tersebut maka dapat diambil kesimpulan bahwa Pabrik Natrium Metasilikat (Na_2SiO_3) layak untuk didirikan.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Natrium Metasilikat adalah salah satu dari senyawa-senyawa silikat yang dapat larut dalam air, oleh karena itu disebut juga Soluble Silikat. Mempunyai rumus kimia Na_2SiO_3 , berat molekul 122,06, bentuk kristal jernih atau bubuk putih.

Menurut *Shreve* Natrium Metasilikat dalam jumlah hidrat dan dijual dalam bentuk padat biasanya digunakan untuk pencuci logam dan sebagai deterjen keras yang bersifat alkali.

Industri Natrium Metasilikat di Indonesia saat ini masih belum ada. Sedangkan kebutuhan Indonesia akan Natrium Metasilikat cukup besar. Sehingga untuk dapat memenuhi kebutuhan di Indonesia akan Natrium Metasilikat diperoleh dari impor yang berasal dari Amerika Serikat, kawasan Eropa yaitu Jerman, Belanda dan Italia, kawasan Asia yaitu Cina, Singapura, Taiwan, Korea, Jepang dan Australia. Sehingga berdasarkan hal diatas maka pendirian pabrik Natrium Metasilikat di Indonesia diharapkan akan dapat memenuhi kebutuhan industri yang menggunakan Natrium Metasilikat sebagai bahan baku maupun bahan pembantu. Selain itu produksi Natrium Metasilikat diharapkan dapat menembus pasar ekspor.

(Biro Pusat Statistik Surabaya)

1.2 Sejarah Industri Natrium Metasilikat

Sejarah pembuatan Soluble Silikat, yaitu Sodium Silikat dan Potassium Silikat sejalan dengan dimulainya pembuatan glass. Produk ini pertama kalinya dibuat oleh bangsa *Phoenix (Syria)* dengan cara melelehkan campuran garam bersodium dengan pasir dari sungai Belus di *Syria* dalam suatu bejana terbuka dengan menggunakan pemanas dari kayu dengan suhu 1200°C . Pada tahun 1640 Van Helmont mereaksikan silikat dengan alkali berlebih, kemudian produk ini diendapkan dengan bantuan asam. Pada tahun 1648 Glauber menamakan produk ini sebagai "*Oleum Silikum*", sedangkan George Baver dan Agricola menyebutnya dengan "*Pottasium Sillikat*". Pada tahun 1768 George melakukan penelitian tentang larutan ini dan pada tahun 1777.

Guyton De Merveau membuat lelehan gelas yang selanjutnya didinginkan dan dilarutkan dalam air. Pembuatan Sodium Silikat untuk skala industri dimulai oleh studi Johan Nepomuk Von Fuch, Professorminerologi Munich. Penelitian ini dimulai pada tahun 1828 dengan cara melarutkan pasir silika dan kaustik soda. Kuhlman memulai industri Sodium Silikat pada tahun 1841 di Perancis. Pada tahun 1863 Sodium Silikat diproduksi di Amerika setelah Elkington mematenkan furnacenyanya. Di Inggris Gossage mulai menggunakan Sodium Silikat untuk meningkatkan produk sabun dan produk Sodium Silikat berskala industry dimulai di Widnes pada tahun 1854.

(<http://www.glassonline.com/history.html>)

1.3 Kegunaan Natrium Metasilikat

1. Sebagai alat tambahan pada pembuatan detergen dan sabun untuk mempertahankan pH.
2. Pembersih logam.
3. Pemutih tekstil (bleach).
4. Digunakan pada water treatment.
5. Digunakan dalam industri pulp dan kertas.
6. Sebagai adhesive (perekat), untuk penyegelan dan laminating lapisan logam pada kertas.
7. Digunakan sebagai bahan pembuatan drum fiber.

1.4 Sifat Bahan Baku dan Produk

1.4.1. Bahan Baku

A. Pasir Silika

Sifat fisik :

- Rumus kimia : SiO_2
- Berat molekul : 60,1 g/mol
- Bentuk : padat
- Warna : putih
- Densitas : $2,6 \text{ g/cm}^3$
- Titik leleh : 1710°C
- Titik didih : 2230°C

Sifat kimia :

- Kelarutan : tidak larut dalam air

B. Natrium Karbonat

Sifat fisik :

- Rumus kimia : Na_2CO_3
- Berat molekul : 106,0 g/mol
- Bentuk : padat
- Warna : putih
- Densitas : 2,5 g/cm³
- Titik leleh : 851°C

Sifat kimia :

- Kelarutan dalam air : 30 g/100 ml (20°C)

1.4.2. Produk

Natrium Metasilikat

Sifat fisik :

- Rumus kimia : Na_2SiO_3
- Berat molekul : 122,06
- Warna : putih
- Bentuk : padat
- Titik leleh : 1088°C
- Densitas : 2,4 g/cm³

Sifat kimia :

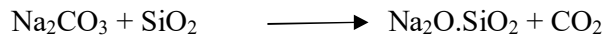
- Kelarutan : larut dalam air

(<http://en.wikipedia.org/wiki>)

1.5 Analisa Pasar

Pemasaran produk untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri yang tersebar di daerah Jawa, Sumatera, Kalimantan, dan daerah lain di Indonesia. Jika kebutuhan dalam negeri sudah dapat dipenuhi maka pemasaran diarahkan ke wilayah Asia, dibawah ini analisa pasar untuk mengetahui potensi produk terhadap pasar.

Reaksi:



No	Reaktan	Berat molekul	Harga (\$)/kg
1	Na ₂ CO ₃	60,1	0,30
2	SiO ₂	106,0	1,94
3	Na ₂ O.SiO ₂	122,06	3,89

EP = Produk - Reaktan

$$\begin{aligned} \text{EP} &= [(122,06 \times 3,89) - ((60,1 \times 0,30) + (106,0 \times 1,94))] \\ &= [474,8134 - (18,03 + 205,64)] \\ &= \$ 251,1434/\text{kmol Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa pabrik Natrium Metasilikat untung dan dapat didirikan pada tahun 2020.

1.6 Penentuan Kapasitas

Dalam mendirikan sebuah pabrik diperlukan suatu perkiraan kapasitas produksi agar produk yang dihasilkan mampu memenuhi target yang diinginkan. Perhitungan kapasitas produksi untuk pabrik yang akan didirikan didasarkan pada jumlah impor.

Table 1.1. Data impor Natrium Metasilikat di Indonesia

Tahun	Impor (kg)	Kenaikan(%)
2010	2.229.968	-
2011	3.430.099	34,99
2012	5.226.941	34,38
2013	7.204.622	27,45
2014	9.124.080	21,04
	Rata-rata kenaikan	29,46

Sumber : Badan Pusat Statistik (2015)

Maka dari rumusan dapat kita hitung perkiraan jumlah kapasitas produksi natrium Metasilikat pada tahun 2020.

Adapun persamaan yang digunakan adalah :

$$M = P_0 (1 + i)^n$$

Dimana : M = jumlah yang diperkirakan
 Po = data terakhir
 i = kenaikan rata-rata
 n = rencana pendirian pabrik

Diketahui dari Tabel 1.1.data terakhir impor pada tahun 2014 adalah 9.124.080 kg, dengan kenaikan rata-rata setiap tahunnya 29,46%. Maka perkiraan kapasitas produksi pada tahun 2020 adalah :

$$M = 9.124.080 \text{ kg} (1 + 0,2946)^5$$

$$M = 33.183.208,87 \text{ kg/tahun}$$

Nilasi ekspor Natrium Metasilikat pada tahun 2020 diperkirakan sebesar 50% dari kapasitas produksi (M). Maka total kapasitas produksi pada tahun 2020 sebesar :

$$M_i = M (1 + 0,5)$$

$$M_i = (33.183.208,87\text{kg/tahun}) \times 1,5$$

$$M_i = 49.774.813,30 \text{ kg/tahun}$$

Perancangan Pabrik Natrium Metasilikat yang akan didirikan pada tahun 2020 adalah sebesar 50.000.000 kg/tahun atau 50.000 ton/tahun.

1.7 Pemilihan Lokasi

Pemilihan lokasi dari suatu perusahaan sangat penting sehubungan dengan perkembangan ekonomi sosial kemasyarakatan. Hal ini akan berpengaruh pada kedudukan perusahaan dalam persaingan serta kelangsungan hidup perusahaan selanjutnya.

Oleh karena itu perlu diadakan seleksi dan evaluasi, sehingga lokasi terpilih benar-benar memenuhi persyaratan bila ditinjau dari segala segi. Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi pabrik dapat digolongkan menjadi dua, yaitu :

1. Faktor utama

a. Penyediaan bahan baku

Ditinjau dari faktor ini, maka pabrik hendaknya didirikan di dekat dengan sumber bahan baku, yang meliputi :

- Letak sumber bahan baku.
- Kapasitas sumber bahan baku tersebut dan berapa lama sumber tersebut dapat diandalkan pengadaannya.

- Kualitas bahan baku yang ada serta apakah kualitas ini sesuai dengan persyaratan yang dibutuhkan.
- Cara mendapatkan bahan baku dan pengangkutannya.

b. Pemasaran (marketing)

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Dimana produk akan dipasarkan (daerah marketing).
- Proyeksi kebutuhan produk pada masa sekarang dan akan datang.
- Pengaruh persaingan dagang.
- Jarak pemasaran dari lokasi dan bagaimana sarana pengangkutan untuk mencapai daerah pemasaran.

c. Utilitas

Utilitas meliputi kebutuhan air, listrik dan bahan bakar.

1. Air

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Sampai berapa jauh sumber ini dapat melayani pabrik.
- Kualitas sumber air yang tersedia.
- Pengaruh musim terhadap kemampuan penyediaan air.

2. Listrik dan bahan bakar

Hal-hal yang perlu diperhatikan :

- Ada atau tidaknya serta jumlah tenaga listrik di daerah tersebut.
- Harga tenaga listrik di daerah tersebut.
- Persediaan tenaga listrik dan bahan bakar di masa mendatang.
- Mudah dan tidaknya mendapatkan bahan bakar.

d. Keadaan geografis dan masyarakat

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Kesiapan masyarakat setempat untuk berubah menjadi masyarakat industri.
- Keadaan geografis yang menyulitkan konstruksi akan berpengaruh terhadap spesifikasi peralatan dan konstruksi peralatan.
- Gempa bumi, banjir, angin topan dan lain-lain.
- Kondisi tanah tempat pabrik berdiri yang dapat menyulitkan pemasangan konstruksi bangunan atau peralatan proses.

2. Faktor khusus

a. Transportasi

Perlu diperhatikan faktor-faktor yang ada, seperti :

- Jalan raya yang dilalui kendaraan.
- Jalur rel kereta api.
- Sungai yang dapat dilayari kapal/perahu.
- Adanya pelabuhan dan lapangan udara.

b. Tenaga kerja

Hal-hal yang diperhatikan dalam hal ini adalah :

- Mudah atau tidaknya mendapatkan tenaga kerja yang diinginkan.
- Keahlian dan pendidikan tenaga kerja yang tersedia.
- Tingkat penghasilan tenaga kerja di daerah tersebut.

c. Buangan pabrik

Yang harus diperhatikan adalah :

- Cara menentukan bentuk buangan, terutama yang berhubungan dengan peraturan pemerintah dan peraturan setempat.
- Masalah polusi atau efek samping dari polusi yang mungkin timbul.

d. Pembuangan limbah

Hal ini berkaitan dengan usaha pencegahan terhadap pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh buangan pabrik yang berupa gas cair maupun padatan dengan memperhatikan ketentuan-ketentuan dari pemerintah.

e. Karakteristik dari lokasi

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan lokasi ini adalah :

- Apakah lokasi tersebut merupakan daerah bebas sawah, rawa, bukit dan sebagainya.
- Harga tanah yang relatif rendah memungkinkan untuk perluasan pabrik dan fasilitas pendukung lainnya.
- Apakah termasuk daerah pedesaan atau perkotaan.

f. Peraturan perundang-undangan

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Ketentuan-ketentuan mengenai daerah tersebut.
- Ketentuan mengenai jalur untuk berdirinya industri di daerah tersebut.

- Peraturan perundang-undangan dari pemerintah dan daerah setempat.
- g. Faktor lingkungan di sekitar pabrik

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Adat istiadat atau kebudayaan daerah lokasi pabrik.
- Fasilitas perumahan, sekolah dan tempat ibadah.
- Fasilitas kesehatan dan rekreasi.

Berdasarkan pertimbangan faktor-faktor di atas, maka daerah yang menjadi alternatif pilihan lokasi pendirian Pabrik Natrium Metasilikat adalah di daerah Tunah, Kabupaten Tuban, Jawa Timur.



Gambar 1.1 Lokasi Pabrik Natrium Metasilikat

Keterangan :

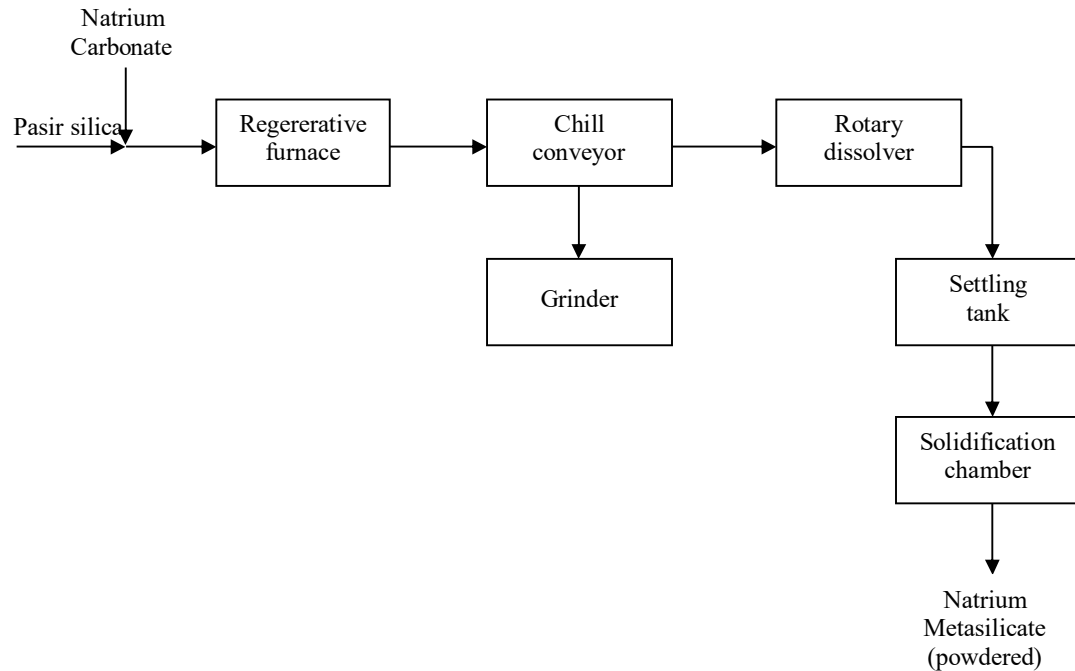
- Menunjukkan lokasi pabrik

BAB II

SELEKSI DAN URAIAN PROSES

2.1 Proses Pembuatan Natrium Metasilikat

Proses pembuatan Natrium Metasilikat yaitu dengan mereaksikan Natrium Karbonat dan Pasir Silika dengan perbandingan mol tertentu pada suhu $\pm 1400^{\circ}\text{C}$ di dalam furnace. Perbandingan mol atau berat dan kondisi operasi inilah yang nantinya menentukan jenis senyawa silikat yang akan dibuat. Kandungan dari Natrium Metasilikat adalah 51,7% Na_2O dan 46,2% SiO_2 .

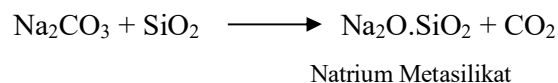


(Keyes, 4th Edition)

Gambar 2.1. Diagram proses pembuatan Natrium Metasilikat

Proses pembuatan secara umum adalah :

Proses pembuatan Natrium Metasilikat dilakukan dengan mereaksikan Natrium Karbonat dan Pasir Silika dalam furnace seperti reaksi berikut :



Reaksi ini berlangsung dalam Furnace pada tekanan 1 atm serta suhu 1400°C sehingga Natrium Karbonat dan Pasir Silika meleleh dan beraksi membentuk metasilikat. Natrium Metasilikat dalam bentuk lelehan masuk ke Chill Conveyor untuk didinginkan dan keluar berubah menjadi padatan dan dipisahkan berdasarkan ukuran. Produk yang ukurannya kecil masuk ke Grinder sehingga keluar menjadi produk yang lebih kecil. Sedangkan ukuran yang lebih besar masuk ke Rotary Dissolver dan dipisahkan dengan steam, kemudian dialirkan ke Settling Tank untuk dipisahkan dari impuritiesnya. Dari Settling Tank dialirkan ke Solidification Chamber untuk dijadikan Natrium Metasilikat powder.

Dari uraian diatas didapatkan dua jenis produk yaitu Na_2SiO_3 dalam bentuk padatan dan Na_2SiO_3 dalam bentuk powder atau serbuk dengan produk samping gas CO_2 .

Pada proses pembuatan natrium metasilikat ini mempunyai keuntungan sebagai berikut :

- Bahan baku yang digunakan mudah didapat
- Kadar SiO_2 cukup tinggi, kadar besinya rendah
- Biaya operasi lebih murah karena jumlah peralatan relatif sedikit
- Gas yang terjadi dari hasil pembakaran tidak membahayakan kesehatan

2.2 Uraian Proses

Pada proses pembuatan Natrium Metasilikat dengan bahan baku Natrium Karbonat dan Pasir Silika meliputi 4 tahapan proses, yaitu :

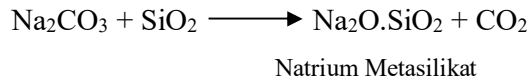
1. Tahap Persiapan
2. Tahap Reaksi
3. Tahap Pemurnian
4. Tahap Penanganan Produk

2.2.1. Tahap Persiapan Bahan Baku

Pasir Silika dari Open Storage (F-111A) dibawa dengan Screw Conveyor (J-112A) dan Bucket Elevator (J-113A) masuk ke hammer mill (C-114A) untuk dihaluskan sampai diameter $\pm 0,5$ mm (32 mesh). Kemudian dicampur dengan Na_2CO_3 dari gudang (F-111B) di dalam Auger (J-110) agar homogen.

2.2.2.Tahap Reaksi

Campuran Na_2CO_3 dan pasir silica dari Auger (J-110) dimasukkan ke dalam electric furnace (Q-210) untuk direaksikan. Reaksi berlangsung pada suhu 1400°C dan tekanan 1 atm dengan reaksi sebagai berikut :



Dengan konversi reaksi sebesar 96%. Hasil reaksi dari Furnace (Q-210) dimasukkan ke dalam Chill Conveyor (J-220) untuk didinginkan dari suhu 1400°C sampai suhu 85°C dengan menggunakan air pendingin yang bersuhu 30°C . Bahan yang keluar dari Chill Conveyor (J-220) dihancurkan dengan Hammer Mill (C-221) sampai ukuran 0,147mm (100 mesh). Setelah itu dilarutkan pada Tangki Pelarut (M-230) dengan temperature pelarutan 90°C selama ± 45 menit.

2.2.3.Tahap Pemurnian

Dengan Pompa Centrifugal (L-231), larutan yang terbentuk dialirkan masuk ke dalam Settling Tank (H-310) untuk diendapkan. Dalam Settling Tank campuran larutan Na_2SiO_3 dan zat pengotornya dipisahkan. Bagian atas berupa larutan Na_2SiO_3 dialirkan kedalam Spray Dryer (B-320) menggunakan Pompa Centrifugal (L-311) untuk dikeringkan dengan udara panas yang keluar dari Burner (Q-323) sehingga membentuk butiran (granular). Untuk menangkap butiran (granular) yang terikut pada udara keluar dari Spray Dryer dilengkapi dengan Cyclone (H-321). Hasil bawah dari settling tank dimasukkan ke dalam unit pengolahan buangan.

2.2.4.Tahap Penanganan Produk

Na_2SiO_3 granular yang keluar dari Spray Dryer diangkut oleh Screw Conveyor untuk dikemas dalam plastik, selanjutnya disimpan dalam gudang dan siap untuk dipasarkan.

BAB III

NERACA MASSA

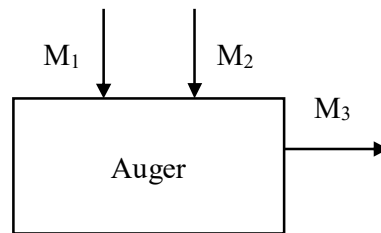
Kapasitas produksi = 50.000 ton/tahun
$$= \frac{50.000 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1.000 \text{ kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$

Waktu Operasi = 330 hari
= 24 jam

Satuan Operasi = kg/jam

Basis = 5719,9479 kg/jam

1. AUGER (J-110)



Neraca Massa Total : $M_3 = M_1 + M_2$

Keterangan :

M_1 = Massa Na_2CO_3 dari storage

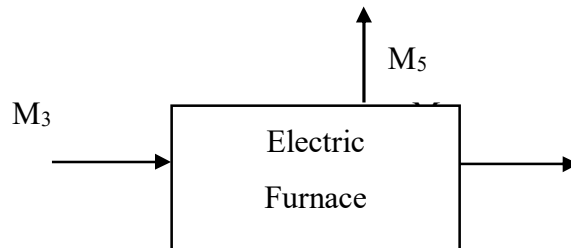
M_2 = Massa SiO_2 dari open storage

M_3 = Massa bahan keluar menuju furnace

Neraca Massa pada Auger

Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
<u>Dari Storage (M₁)</u>	<u>Ke Furnace (M₃)</u>
Na ₂ CO ₃ = 5679,9083	Na ₂ CO ₃ = 5679,9083
NaCl = 1,7160	SiO ₂ = 5548,3495
Na ₂ SO ₄ = 1,1440	Na ₂ SO ₄ = 1,1440
Fe ₂ O ₃ = 8,5799	Fe ₂ O ₃ = 11,4399
H ₂ O = 28,5997	NaCl = 1,7160
<u>Dari Open Storage (M₂)</u>	Al ₂ O ₃ = 28,5997
SiO ₂ = 5548,3495	H ₂ O = 168,7385
Fe ₂ O ₃ = 2,8600	
Al ₂ O ₃ = 28,5997	
H ₂ O = 140,1387	
Total = 11439,8958	Total = 11439,8958

2. ELECTRIC FURNACE (Q-210)



Neraca Masa Total : $M_3 = M_4 + M_5$

Keterangan :

M_3 = Massa bahan masuk dari Auger

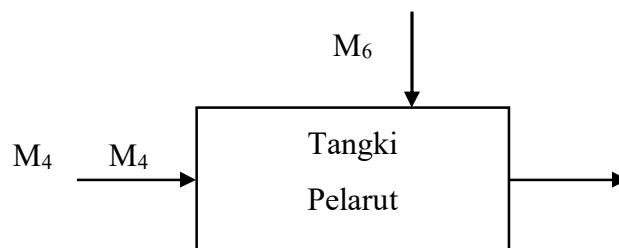
M_4 = Massa bahan keluar menuju tangki pelarut

M_5 = Massa gas CO₂ keluar dari furnace

Neraca Massa pada Electric Furnace

Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
<u>Dari Auger (M₃)</u>	<u>Ke Tangki Pelarut (M₄)</u>
Na ₂ CO ₃ = 5679,9083	Na ₂ SiO ₃ terbentuk = 6275,7828
SiO ₂ = 5548,3495	SiO ₂ sisa = 2461,9087
Na ₂ SO ₄ = 1,1440	Na ₂ CO ₃ sisa = 227,1963
Fe ₂ O ₃ = 11,4399	Na ₂ SO ₄ = 1,1440
NaCl = 1,7160	Fe ₂ O ₃ = 11,4399
Al ₂ O ₃ = 28,5997	NaCl = 1,7160
H ₂ O = 168,7385	Al ₂ O ₃ = 28,5997
	H ₂ O = 205,3682
	<u>Ke Stack (M₅)</u>
	CO ₂ = 2263,3899
Total = 11439,8958	Total = 11439,8958

3. TANGKI PELARUT (M-230)



Neraca Massa Total : $M_7 = M_4 + M_6$

Keterangan :

M₄ = Massa bahan masuk dari furnace

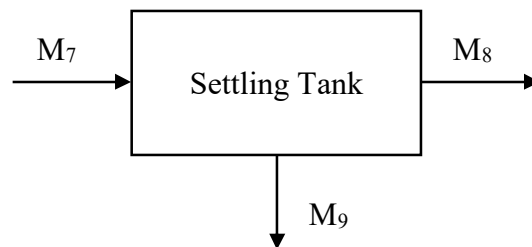
M₆ = Massa H₂O dari water proses

M₇ = Massa larutan keluar menuju settling tank

Neraca Massa pada Tangki Pelarut

Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
<u>Dari Furnace (M₄)</u>	<u>Ke Settling Tank (M₇)</u>
Na ₂ SiO ₃ = 6275,1352	Na ₂ SiO ₃ terlarut = 6275,1352
SiO ₂ = 2461,9087	Na ₂ SiO ₃ padatan = 0,6276
Na ₂ CO ₃ = 227,1963	SiO ₂ = 2461,9087
Na ₂ SO ₄ = 1,1440	Na ₂ CO ₃ = 227,1963
Fe ₂ O ₃ = 11,4399	Na ₂ SO ₄ = 1,1440
NaCl = 1,7160	Fe ₂ O ₃ = 11,4399
Al ₂ O ₃ = 28,5997	NaCl = 1,7160
H ₂ O = 168,7385	Al ₂ O ₃ = 28,5997
<u>Dari Water Process (M₆)</u>	H ₂ O = 8427,5938
H ₂ O = 8258,8553	
Total = 17435,3613	Total = 17435,3613

4. SETTLING TANK (H-310)



Neraca Massa Total : $M_7 = M_8 + M_9$

Keterangan :

M_7 = Massa larutan masuk dari tangki pelarut

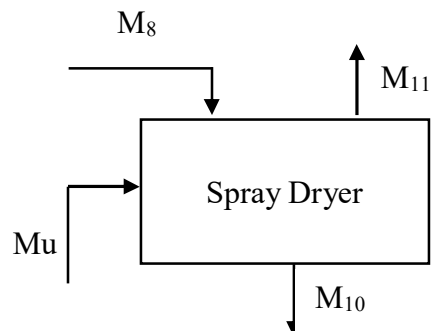
M_8 = Massa larutan keluar menuju spray dryer

M_9 = Massa larutan keluar menuju waste treatment

Neraca Massa pada Settling Tank

Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
<u>Dari Tangki Pelarut (M₇)</u>	
Na ₂ SiO ₃ terlarut = 6275,1352	Na ₂ SiO ₃ terlarut = 6212,3839
Na ₂ SiO ₃ padatan = 0,6276	Na ₂ SiO ₃ padatan = 0,0167
SiO ₂ = 2461,9087	SiO ₂ = 65,5683
Na ₂ CO ₃ = 227,1963	Na ₂ CO ₃ = 6,0509
Na ₂ SO ₄ = 1,1440	Na ₂ SO ₄ = 0,0305
Fe ₂ O ₃ = 11,4399	Fe ₂ O ₃ = 0,3047
NaCl = 1,7160	NaCl = 0,0457
Al ₂ O ₃ = 28,5997	Al ₂ O ₃ = 0,7617
H ₂ O = 8427,5938	H ₂ O = 8343,3179
	<u>Ke Waste Treatment (M₉)</u>
	Na ₂ SiO ₃ terlarut = 62,7514
	Na ₂ SiO ₃ padatan = 0,6109
	SiO ₂ = 2396,3404
	Na ₂ CO ₃ = 221,1454
	Na ₂ SO ₄ = 1,1135
	Fe ₂ O ₃ = 11,1352
	NaCl = 1,6703
	Al ₂ O ₃ = 27,8380
	H ₂ O = 84,2759
Total = 17435,3613	Total = 17435,3613

5. SPRAY DRYER (B-320)



Neraca Massa Total : $M_8 + M_u = M_{10} + M_{11}$

Keterangan :

M_8 = Massa larutan masuk dari settling tank

M_u = Massa udara dari burner

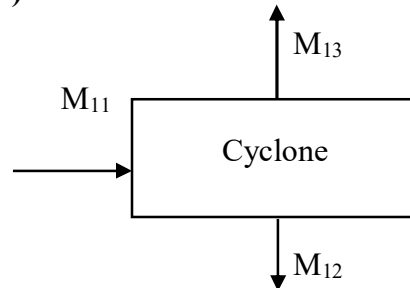
M_{10} = Massa bahan keluar menuju bin produk

M_{11} = Massa bahan keluar menuju cyclone

Neraca Massa pada Spray Dryer

Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
<u>Dari Settling Tank (M_8)</u>	<u>Ke Bin Produk (M_{10})</u>
Na ₂ SiO ₃ = 6212,400578	Na ₂ SiO ₃ = 6150,276572
SiO ₂ = 65,568298	SiO ₂ = 64,912615
Na ₂ CO ₃ = 6,050946	Na ₂ CO ₃ = 5,990436
Na ₂ SO ₄ = 0,030468	Na ₂ SO ₄ = 0,030163
Fe ₂ O ₃ = 0,304680	Fe ₂ O ₃ = 0,301633
NaCl = 0,045702	NaCl = 0,045245
Al ₂ O ₃ = 0,761700	Al ₂ O ₃ = 0,754083
H ₂ O = 8343,317871	H ₂ O = 31,111554
<u>Dari Burner (M_u)</u>	<u>Ke Cyclone (M_{11})</u>
Udara pemanas = 78216,690822	Na ₂ SiO ₃ = 62,124006
	SiO ₂ = 0,655683
	Na ₂ CO ₃ = 0,060509
	Na ₂ SO ₄ = 0,000305
	Fe ₂ O ₃ = 0,003047
	NaCl = 0,000457
	Al ₂ O ₃ = 0,007617
	H ₂ O teruapkan = 8312,206318
	Udara pemanas = 78216,690822
Total = 92845,171066	Total = 92845,171066

6. CYCLONE (H-321)



Neraca Massa Total : $M_{11} = M_{12} + M_{13}$

Keterangan :

M_{11} = Massa bahan masuk dari spray dryer

M_{12} = Massa bahan keluar menuju bin produk

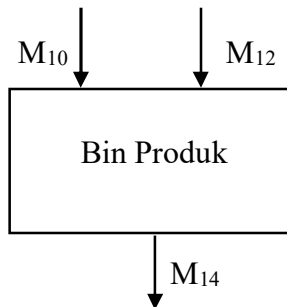
M_{13} = Massa bahan hilang ke stack

Neraca Massa pada Cyclone

Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
<u>Dari Spray Dryer</u> (M_{11})		<u>Ke Bin Produk</u> (M_{12})	
Na ₂ SiO ₃	= 62,124006	Na ₂ SiO ₃	= 59,017805
SiO ₂	= 0,655683	SiO ₂	= 0,622899
Na ₂ CO ₃	= 0,060509	Na ₂ CO ₃	= 0,057484
Na ₂ SO ₄	= 0,000305	Na ₂ SO ₄	= 0,000289
Fe ₂ O ₃	= 0,003047	Fe ₂ O ₃	= 0,002894
NaCl	= 0,000457	NaCl	= 0,000434
Al ₂ O ₃	= 0,007617	Al ₂ O ₃	= 0,007236
H ₂ O teruapkan	= 8312,206318	<u>Ke Stack</u> (M_{13})	
Udara pemanas	= 78216,690822	Na ₂ SiO ₃	= 3,106200
		SiO ₂	= 0,032784
		Na ₂ CO ₃	= 0,003025
		Na ₂ SO ₄	= 0,000015
		Fe ₂ O ₃	= 0,000152
		NaCl	= 0,000023
		Al ₂ O ₃	= 0,000381

	H ₂ O teruapkan = 8312,206318
	Udara pemanas = 78216,690822
Total	= 86591,748764
Total	= 86591,748764

7. BIN PRODUK (F-326)



Neraca Massa Total : $M_{10} + M_{12} = M_{14}$

Keterangan :

M_{10} = Massa bahan masuk dari spray dryer

M_{12} = Massa bahan masuk dari cyclone

M_{14} = Massa bahan keluar menuju packing

Neraca Massa pada Bin Produk

Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
<u>Dari Spray Dryer (M₁₀)</u>	<u>Ke Packing (M₁₄)</u>
Na ₂ SiO ₃ = 6150,276572	Na ₂ SiO ₃ = 6209,294378
SiO ₂ = 64,912615	SiO ₂ = 65,535514
Na ₂ CO ₃ = 5,990436	Na ₂ CO ₃ = 6,047920
Na ₂ SO ₄ = 0,030163	Na ₂ SO ₄ = 0,030453
Fe ₂ O ₃ = 0,301633	Fe ₂ O ₃ = 0,304528
NaCl = 0,045245	NaCl = 0,045679
Al ₂ O ₃ = 0,754083	Al ₂ O ₃ = 0,761319
H ₂ O = 31,111554	H ₂ O = 31,111554
<u>Dari Cyclone (M₁₂)</u>	
Na ₂ SiO ₃ = 59,017805	

SiO ₂	= 0,622899		
Na ₂ CO ₃	= 0,057484		
Na ₂ SO ₄	= 0,000289		
Fe ₂ O ₃	= 0,002894		
NaCl	= 0,000434		
Al ₂ O ₃	= 0,007236		
Total	= 6313,1313	Total	= 6313,1313

BAB IV

NERACA PANAS

Kapasitas Produksi : 50.000 ton/tahun

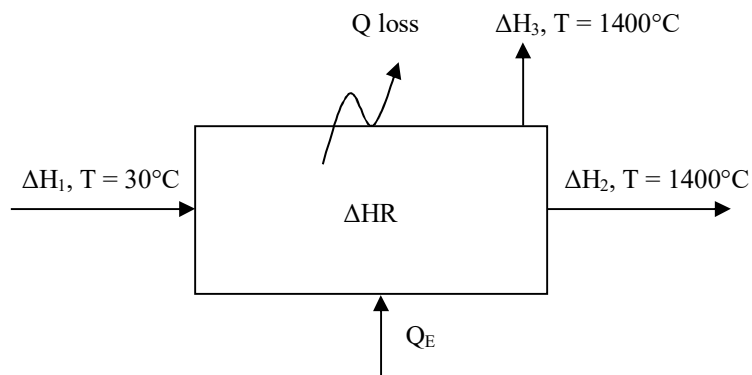
Waktu Operasi : 330 hari

: 24 jam/hari

Satuan panas : kkal/jam

Suhu referensi : 25°C

1. ELECTRIC FURNACE (Q-210)



Neraca Panas Total : $\Delta H_1 + \Delta H_R + Q_E = \Delta H_2 + \Delta H_3 + Q_{\text{loss}}$

Dimana :

ΔH_1 = Panas yang terkandung dalam bahan masuk ke electric furnace

ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam bahan keluar dari electric furnace

ΔH_3 = Panas yang terkandung dalam CO_2 keluar

ΔH_R = Panas reaksi

Q_E = Panas listrik masuk

Q_{loss} = Panas yang hilang (5% ($\Delta H_1 + \Delta H_R + Q_E$))

Neraca Panas pada Electric Furnace

Neraca panas masuk (kkal/jam)

Neraca panas keluar (kkal/jam)

$$\Delta H_1 = 13322,4961$$

$$\Delta H_2 = 2970523,2868$$

$$Q_E = 3843180,9479$$

$$\Delta H_3 = 693163,1445$$

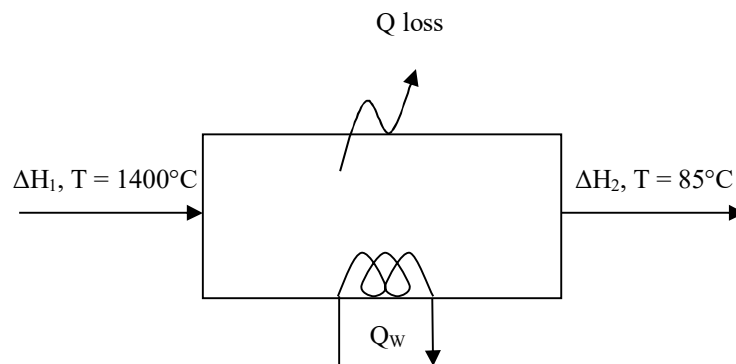
$$\Delta H_R = 8,5888$$

$$Q_{\text{loss}} = 192825,6016$$

$$\text{Total} = 3856512,0329$$

$$\text{Total} = 3856512,0329$$

2. CHILL CONVEYOR (E-220)



$$\text{Neraca Panas Total : } \Delta H_1 = \Delta H_2 + Q_{\text{loss}} + Q_w$$

Dimana :

ΔH_1 = Panas yang terkandung dalam bahan masuk ke chill conveyor

ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam bahan keluar dari chill conveyor

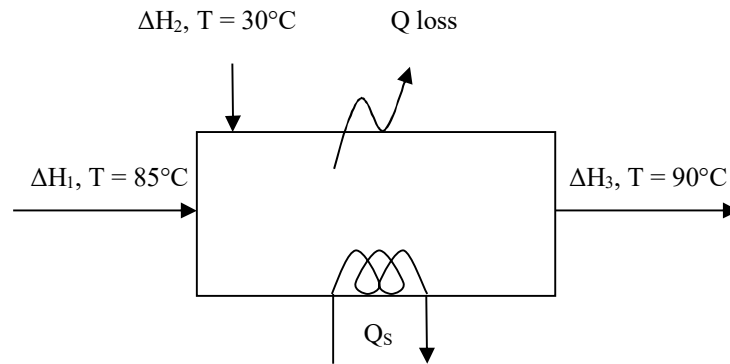
Q_w = Panas yang terkandung dalam bahan masuk ke chill conveyor

Q_{loss} = Panas yang hilang (5% ΔH_1)

Neraca Panas pada Chill Conveyor

Neraca panas masuk (kkal/jam)	Neraca panas keluar (kkal/jam)
$\Delta H_1 = 2970523,2868$	$\Delta H_2 = 129622,8343$
	$Q_w = 2692374,2881$
	$Q_{loss} = 148526,1643$
Total = 2970523,2868	Total = 2970523,2868

3. TANGKI PELARUT (M-230)



Neraca Panas Total : $\Delta H_1 + \Delta H_2 + Q_s = \Delta H_3 + Q_{loss}$

Dimana :

ΔH_1 = panas yang terkandung dalam bahan masuk ke tangki pelarut

ΔH_2 = panas yang terkandung dalam water proses masuk

ΔH_3 = panas yang terkandung dalam bahan keluar dari tangki pelarut

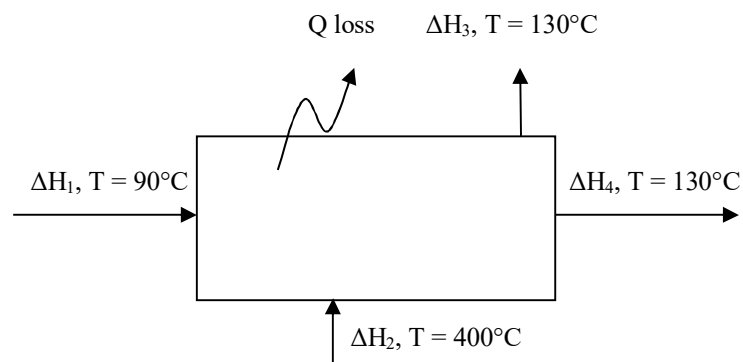
Q_s = panas steam masuk

Q_{loss} = panas yang hilang (5% ($\Delta H_1 + \Delta H_2 + Q_s$))

Neraca Panas pada Tangki Pelarut

Neraca panas masuk (kkal/jam)	Neraca panas keluar (kkal/jam)
$\Delta H_1 = 129622,8343$	$\Delta H_3 = 623567,7750$
$\Delta H_2 = 37164,8491$	$Q_{loss} = 32819,3566$
$Q_s = 489599,4481$	
Total = 656387,1315	Total = 656387,1315

4. SPRAY DRYER (B-320)



Neraca Panas Total : $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3 + \Delta H_4 + Q_{\text{loss}}$

Dimana :

ΔH_1 = Panas yang terkandung dalam bahan masuk ke spray dryer

ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam udara panas masuk ke spray dryer

ΔH_3 = Panas yang terkandung dalam bahan keluar dari spray dryer

ΔH_4 = Panas yang terkandung dalam udara panas keluar dari spray dryer

Q_{loss} = Panas yang hilang ($5\% \Delta H_1 + \Delta H_2$)

Neraca Panas pada Spray Dryer

Neraca panas masuk (Kkal/jam)	Neraca panas keluar (Kkal/jam)
$\Delta H_1 = 582388,6587$	$(\Delta H_3) = 940781,6794$
$\Delta H_2 = 9434094,5707$	$(\Delta H_4) = 7133017,8063$
	$(Q_{\text{loss}}) = 1942683,7437$
Total = 10016483,2294	Total = 10016483,2294

BAB V

SPESIFIKASI PERALATAN

1. OPEN STORAGE PASIR SILIKA [F-111a]

Fungsi : Menyimpan bahan baku pasir silika selama 15 hari
Bahan : Beton
Kapasitas : 34960,24219 ft²
Ukuran : Panjang = 46 ft
 Lebar = 23 ft
 Tinggi = 34,5 ft
Jumlah : 1 buah

2. SCREW CONVEYOR [J-112a]

Fungsi : Mengangkut bahan baku pasir silika dari open storage menuju bucket elevator
Type : Horizontal screw conveyor
Bahan konstruksi : Carbon steel
Diameter flig : 15 in = 0,381 m
Diameter pipa : 2,5 in = 0,0635 m
Diameter shaft : 2 in = 0,0508 m
Diameter feed masuk : 9 in = 0,2286 m
Panjang : 30 ft
Kecepatan putar : 80 rpm
Hangar center : 10 ft
Power motor : 2,25 Hp \approx 3 Hp

3. BUCKET ELEVATOR PASIR SILIKA [J-113a]

Fungsi : Mengangkut pasir silika dari open storage ke hammer mill

Type	: Centrifugal – discharge bucket on belt elevator
Bahan konstruksi	: Carbon steel
Ukuran bucket	: $6 \times 4 \times 4 \frac{1}{2}$ in
Tinggi	: 27 ft
Kapasitas	: 6863,9374 kg/jam
Kecepatan bucket	: 110,3133 ft/menit
Putaran head shaft	: 21,0821 rpm
Bucket spacing	: 14 in
Shaft diameter head	: $1 \frac{15}{16}$ in
Shaft diameter toil	: $1 \frac{11}{16}$ in
Diameter pulley head	: 20 in
Diameter pulley toil	: 14 in
Belt width	: 7 in
Power motor	: 2 Hp

4. HAMMER MILL [C-114]

Fungsi	: Memperkecil ukuran pasir silika
Bahan	: Carbon steel SA 135 Grade B
Kapasitas	: 5719,9479 kg/jam
Daya	: 4 Hp
Jumlah	: 1 buah

5. SCREW CONVEYOR [J-112b]

Fungsi	: Mengangkut pasir silika yang telah dihancurkan menuju bin
Type	: Horizontal screw conveyor
Bahan konstruksi	: Carbon steel
Diameter flig	: 15 in = 0,381 m
Diameter pipa	: 2,5 in = 0,0635 m

Diameter shaft : 2 in = 0,0508 m
Diamater feed masuk : 9 in = 0,2286 m
Panjang : 30 ft
Kecepatan putar : 80 rpm
Hangar center : 10 ft
Power motor : 2,25 Hp \approx 3 Hp

6. BIN PASIR SILIKA [F-I15a]

Fungsi : Menampung sementara pasir silika sebelum masuk ke auger
Type : Tangki silinder dengan tutup bawah berbentuk conis dengan sudut puncak 120°
Bahan : Carbon steel SA 240 Grade M type 316
Kapasitas : 97,1118 ft³
Dimensi : Diameter (di) = 47,6250 in
Tebal tutup bawah (thb) = $\frac{3}{16}$ in
Tebal silinder (ts) = $\frac{3}{16}$ in
Tinggi tutup bawah (h) = 13,7482 in
Jumlah : 1 buah

7. STORAGE NATRIUM KARBONAT [F-111b]

Fungsi : Menyimpan bahan baku Na₂CO₃ selama 15 hari
Type : Bangunan gudang
Bahan : Beton
Kapasitas : 36358,6519 ft³
Panjang : 46 ft
Lebar : 23 ft
Tinggi : 34,5 ft
Jumlah : 1 buah

8. SCREW CONVEYOR [J-112c]

Fungsi	: Mengangkut bahan baku Na_2CO_3 dari storage menuju ke bucket elevator
Type	: Horizontal screw conveyor
Bahan konstruksi	: Carbon steel
Diameter flig	: 15 in = 0,381 m
Diameter pipa	: 2,5 in = 0,0635 m
Diameter shaft	: 2 in = 0,0508 m
Diamater feed masuk	: 9 in = 0,2286 m
Panjang	: 30 ft
Kecepatan putar	: 80 rpm
Hangar center	: 10 ft
Power motor	: 2,25 Hp \approx 3 Hp

9. BUCKET ELEVATOR NATRIUM KARBONAT [J-113b]

Fungsi	: Mengangkut Na_2CO_3 dari storage ke bin
Type	: Centrifugal - discharge bucket on belt elevator
Bahan konstruksi	: Carbon steel
Ukuran bucket	: $6 \times 4 \times 4 \frac{1}{2}$ in
Tinggi	: 27 ft
Kapasitas	: 6863,9374 kg/jam
Kecepatan bucket	: 110,3133 ft/menit
Putaran head shaft	: 21,0821 rpm
Bucket spacing	: 14 in
Shaft diameter head	: $1 \frac{15}{16}$ in
Shaft diameter toil	: $1 \frac{11}{16}$ in
Diameter pulley head	: 20 in
Diameter pulley toil	: 14 in

Belt width : 7 in
Power motor : 2 Hp

10. BIN NATRIUM KARBONAT [F-115b]

Fungsi : Menampung Na_2CO_3 sebagai bahan baku
Type : Tangki silinder dengan tutup bawah berbentuk conis dengan sudut puncak 120°
Bahan : Carbon steel SA 240 Grade M type 316
Kapasitas : $100,9963 \text{ ft}^3$
Dimensi : Diameter (di) = 48,6250 in
Tebal tutup bawah (thb) = $\frac{3}{16}$ in
Tebal silinder (ts) = $\frac{3}{16}$ in
Tinggi tutup bawah (h) = 14,0368 in
Jumlah : 1 buah

11. AUGER [J-110]

Fungsi : Mencampur pasir silika dan natrium karbonat
Bahan konstruksi : Carbon steel
Panjang auger : 30 ft
Kapasitas bahan : $4,6862 \text{ ft}^3/\text{menit}$
Power auger : 2 Hp

12. ELECTRIC FURNACE [Q-210]

Fungsi : Mereaksikan natrium karbonat dan pasir silika menjadi natrium metasilikat
Bahan konstruksi : Stainless steel
Kapasitas : $281,1720 \text{ ft}^3$
Jumlah : 1 buah

13. CHILL CONVEYOR [J-220]

Fungsi	: Mengangkut dan mendinginkan lelehan natrium metasilikat yang keluar dari furnace
Type	: Metal belt
Kapasitas	: 20230,83821 lb/jam
Panjang	: 1335,7421 in
Lebar	: 17,5 in
Kecepatan	: 47,4089 ft/menit
Jumlah	: 1 buah

14. HAMMER MILL [C-221]

Fungsi	: Menghancurkan lelehan natrium metasilikat dari chill conveyor
Bahan	: Carbon steel SA 135 Grade B
Kapasitas	: 9176,5059 kg/jam
Daya	: 7 Hp
Jumlah	: 1 buah

15. BUCKET ELEVATOR [J-222]

Fungsi	: Mengangkut Na_2CO_3 dari hammer mill ke tangki pelarut
Type	: Centrifugal - discharge bucket on belt elevator
Bahan konstruksi	: Carbon steel
Ukuran bucket	: $6 \times 4 \times 4 \frac{1}{2}$ in
Tinggi	: 27 ft
Kapasitas	: 11011,8071 kg/jam
Kecepatan bucket	: 176,9755 ft/menit
Putaran head shaft	: 33,8220 rpm
Bucket spacing	: 14 in
Shaft diameter head	: $1 \frac{15}{16}$ in

Shaft diameter toil : $1 \frac{11}{16}$ in
Diameter pulley head : 20 in
Diameter pulley toil : 14 in
Belt width : 7 in
Power motor : 2 Hp

16. POMPA [L-231]

Fungsi : Mengalirkan Na_2SiO_3 dari tangki pelarutan ke settling tank
Type : Centrifugal pump
Bahan : Stainless steel SA 240 Grade M type 316
Efisiensi pompa : 35%
Efisiensi motor : 80%
Ukuran pipa : 2 in sch 40
Power : 1 Hp
Jumlah : 1 buah

17. SETTLING TANK [H-310]

Fungsi : Mengendapkan impurities dari larutan Na_2SiO_3
Bahan : Carbon steel SA 240 Grade M type 316
Diameter partikel rata-rata : 100 mesh
Kecepatan pengendapan : 0,0007 m/detik
Tinggi : 7,5690 ft
Tebal tangki : $\frac{3}{16}$ in
Diameter : ID = 93,9201 in
OD = 95 in
Jumlah : 1 buah

18. POMPA [L-311]

Fungsi : Melarutkan larutan Na_2SiO_3 dari settling tank ke spray dryer

Type : Centrifugal pump
Bahan : Stainless steel SA 240 Grade M type 316
Efisiensi pompa : 35%
Efisiensi motor : 80%
Ukuran pipa : 2 in sch 40
Power : 1 Hp
Jumlah : 1 buah

19. SPRAY DRYER [B-320]

Perhitungan spesifikasi alat pada BAB VI

20. CYCLONE [H-321]

Fungsi : Menangkap butiran (granular) yang terikut pada udara keluar dari spray dryer
Type : Duclone collector
Bahan : Carbon steel
Rate udara : 172436,5165 lb/jam
Kecepatan udara masuk : 50 ft/detik
Dimensi cyclone : $A_c = 19,9050 \text{ ft}^2$
 $B_c = 2,1632 \text{ ft}$
 $J_c = 2,1632 \text{ ft}$
 $D_c = 8,6526 \text{ ft}$
 $Z_c = 17 \text{ ft}$
 $L_c = 18,5987 \text{ ft}$
Jumlah : 1 buah

21. SCREW CONVEYOR [J-322]

Fungsi : Mengangkut butiran (granular) Na_2SiO_3 ke bin produk

Type : Horizontal screw conveyer
Bahan konstruksi : Carbon steel
Diameter flig : 15 in = 0,381 m
Diameter pipa : 2,5 in = 0,0635 m
Diameter shaft : 2 in = 0,0508 m
Diamater feed masuk : 9 in = 0,2286 m
Panjang : 30 ft
Kecepatan putar : 80 rpm
Hangar center : 10 ft
Power motor : 2,25 Hp \approx 3 Hp

22. BURNER SPRAY DRYER [Q-323]

Fungsi : Menghasilkan panas yang akan dipakai dalam spray dryer
Type : Thermal direct fire heater
Bahan : Carbon steel
Tinggi burner : 3,33 ft
Panjang : 7 ft
Expose burner : 7 ft
Tebal refractory brick : 20 in
Tebal isolasi : 5 in

23. BLOWER SPRAY DRYER [G-324]

Fungsi : Menghembuskan udara menuju ke burner pada spray dryer
Type : Centrifugal blower
Bahan konstruksi : Carbon steel
Kapasitas : 171337,2406 lb/jam
Power motor : 93 Hp

24. FILTER UDARA [H-325]

Fungsi : Menyaring debu yang terdapat dalam udara sebagai penyaring burner
Type : Dry filter
Bahan : Carbon steel
Ukuran dry filter : 24×24
Rate volumetrik udara : $39175,2019 \text{ ft}^3/\text{menit}$
Kapasitas filter : $1000 \text{ ft}^3/\text{menit}$
Jumlah : 40 buah

25. BIN NATRIUM METASILIKAT [F-326]

Fungsi : Menampung butiran (granular) Na_2SiO_3 sebelum dimasukkan dalam pengepakan
Type : Tangki silinder dengan tutup bawah berbentuk conis dengan sudut puncak 120°
Bahan : Carbon steel SA 240 grade M type 316
Kapasitas : $116,1146 \text{ ft}^3$
Dimensi : Diameter (di) = $50,6250 \text{ in}$
Tebal tutup bawah (thb) = $\frac{3}{16} \text{ in}$
Tebal silinder (ts) = $\frac{3}{16} \text{ in}$
Tinggi tutup bawah (h) = $14,6142 \text{ in}$
Jumlah : 1 buah

26. PACKING [P-327]

Fungsi : Mengemas produk dari bin produk ke dalam karung bag
Bahan : Carbon steel
Kapasitas bahan masuk : $13918,1448 \text{ lb/jam}$

Kapasitas mesin : 13918,1448 lb
Jumlah : 1 buah

27. BELT CONVEYOR [J-328]

Fungsi : Mengangkut natrium metasilikat dari mesin pengemas produk ke Gudang
Type : Trought belt
Bahan : Carbon steel
Panjang : 49,2120 ft
Lebar : 1,1667 ft
Kapasitas : 32 ton/jam
Kecepatan belt : 100 ft/menit
Power motor : 1 Hp
Jumlah : 1 buah

28. GUDANG NATRIUM METASILIKAT [F-329]

Fungsi : Menyimpan natrium metasilikat
Type : Bangunan gedung
Bahan : Beton
Kapasitas : 83602,5036 ft³
Tinggi : 15 ft
Lebar : 52,7897 ft
Panjang : 105,5794 ft
Jumlah : 1 buah

BAB VI

PERANCANGAN ALAT UTAMA

Nama Alat : Spray Dryer

Fungsi : Mengeringkan larutan Na_2SiO_3 menjadi granular Na_2SiO_3

Kondisi Operasi

- Rate feed : 32249,9475 lb/jam
- Rate udara panas : 172436,5166 lb/jam
- Suhu feed : 90°C
- Suhu produk : 130°C
- Suhu udara panas masuk : 400°C
- Suhu udara panas keluar : 130°C
- Type : Bejana silinder tegak dengan bagian bawah berbentuk conis dengan sudut puncak 60° , sedangkan bagian atas berbentuk pelat datar dilengkapi dengan spray nozzle atomizer
- Bahan Kontruksi : HAS SA - 240 grade M type 316

Tahap Perancangan

1. Perhitungan Spray Chamber

Rate feed masuk = 32249,9475 lb/jam

Feed masuk dengan moisture content 57,03% dan dikeringkan menjadi 0,5%

$$\begin{aligned}\text{Total Kelembapan } (X_1) &= \frac{\text{Berat H}_2\text{O}}{\text{Berat solid kering}} \\ &= \frac{57,03}{(100 - 57,03)} \\ &= 1,3419 \frac{\text{lb H}_2\text{O}}{\text{lb solid kering}}\end{aligned}$$

Jumlah air dalam feed = $57.03\% \times 32249,9475 \text{ lb/jam} = 18393,6786 \text{ lb/jam}$

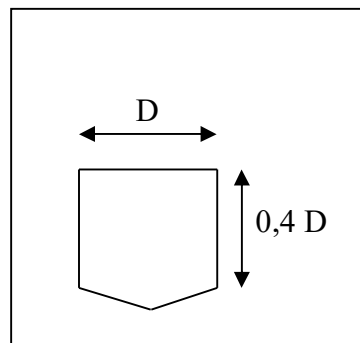
Laju total solid dalam feed (L_s) = $(32249,9475 - 18393,6786) \text{ lb/jam}$
= 13856,2690 lb/jam

$$\begin{aligned}
 \text{Total Kelembapan (X}_2) &= \frac{\text{Berat H}_2\text{O}}{\text{Berat solid kering}} \\
 &= \frac{0,5}{(100 - 0,5)} \\
 &= 0,0050 \frac{\text{lb H}_2\text{O}}{\text{lb solid kering}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju pertumbuhan air} &= L_S \times (X_1 - X_2) \\
 &= 13856,2690 \text{ lb/jam} \times (1,3419 - 0,0050) \\
 &= 18524,3802 \text{ lb/jam}
 \end{aligned}$$

a. Menentukan ukuran spray dryer

Dari Perry edisi 5, fig 20-72, hal 20-63 didapat :



Ukuran spray chamber :

$$\text{Tinggi shell (hs)} = 0,4 \times \text{diameter shell (D)}$$

$$\text{Sudut puncak conis} = 60^\circ$$

$$\text{Volume chamber} = \text{volume shell} + \text{volume conis}$$

$$= \frac{\pi}{4} D^2 h_s + \frac{(\pi D^3)}{24 \text{ tg } 60^\circ}$$

b. Menentukan waktu penguapan

$$t = \frac{\lambda \omega \rho D p^2}{12 K_f (t_a - t_s)}$$

Dimana : t = waktu penguapan, detik

λ = panas laten penguapan, BTU/lb

ω = konduktifitas air (1 lb H₂O/lb solid kering)

D_p = diameter rata-rata partikel, ft

K_f = konduktifitas thermal film gas

ρ = densitas partikel kering, lb/ft³

Dari data neraca panas didapat :

$$t_s = \frac{203 + 266}{2} = 234,5^\circ\text{F}$$

Panas laten penguapan (λ) pada $t_s = 234,5^\circ\text{F} = 955,8 \text{ BTU/lb}$

(Kern, tabel 7 hal 817)

$$t_a = \frac{752 + 266}{2} = 509^\circ\text{F}$$

Konduktifitas thermal film gas (K_f) pada $t_a = 509^\circ\text{F} = 0,0251 \text{ BTU/jam.ft}^\circ\text{F}$

(Kern, tabel 5 hal 801)

$t_a - t_s$ = perbedaan suhu antara gas dan partikel

$$= 509 - 234,5$$

$$= 271,5^\circ\text{F}$$

Densitas solid kering (ρ) = 149,8320 lb/ft³

$$\text{Kandungan air } (\omega) = 1,3419 \frac{\text{lb H}_2\text{O}}{\text{lb solid kering}}$$

Diameter rata-rata (D_p) = 100 mesh = $4,8228 \times 10^{-4} \text{ ft}$

Maka :

$$t = \frac{955,8 \times 1,3419 \times 149,8320 \times (4,8228 \times 10^{-4})^2}{(12 \times 0,0251 \times (509 - 234,5))}$$

$$= 0,0006 \text{ jam} = 2,0277 \text{ detik}$$

c. Menentukan volume chamber

Dari Perry edisi 3, halaman 846 didapatkan :

$$V = Q \times t$$

Dimana : V = volume chamber (ft³)

Q = rate rata-rata udara panas (ft³/jam)

t = waktu kontak (jam)

Rate udara panas (G) = 172436,5166 lb/jam

Spesifik volume udara panas Perry edisi 6, tabel 3-212, hal 3-162

V_1 pada 673,15K (752°F) = 2,14288 m³/kg = 34,32565 ft³/lb

$$\begin{aligned}
V_2 \text{ pada } 403,15\text{K (} 266^\circ\text{F)} &= 1,28318 \text{ m}^3/\text{kg} = 20,55435 \text{ ft}^3/\text{lb} \\
\text{Spesifik volume rata-rata} &= \frac{34,32565 + 20,55435}{2} = 27,44 \text{ ft}^3/\text{lb} \\
\text{Volume rate udara (Q)} &= 27,44 \text{ ft}^3/\text{lb} \times 172436,5166 \text{ lb/jam} \\
&= 4731658,0151 \text{ ft}^3/\text{lb} \\
\text{Volume bahan produk} &= Q \times t \\
&= 4731658,0151 \text{ ft}^3/\text{lb} \times 0,0006 \text{ jam} \\
&= 2665,1009 \text{ ft}^3 \\
&= 75,4677 \text{ m}^3 \\
&= \frac{75,4677}{2} = 37,7338 \text{ m}^3 \\
\text{Volume chamber} &= \text{volume bahan produk} + 10\% \text{ volume chamber} \\
&= 2665,1009 + 10\% \text{ volume chamber} \\
90\% \text{ volume chamber} &= 2665,1009 \text{ ft}^3 \\
\text{Volume chamber} &= \frac{2665,1009}{0,9} = 2861,2232 \text{ ft}^3
\end{aligned}$$

d. Menentukan tinggi shell (hs)

$$\begin{aligned}
\text{Volume chamber} &= \frac{\mu}{4} D^2 h_s + \frac{(\pi D^3)}{24 \text{ tg } 60^\circ} \\
&= \frac{\mu}{4} D^2 (0,4D) + \frac{(\pi D^3)}{24 \text{ tg } 60^\circ}
\end{aligned}$$

$$2961,2232 \text{ ft}^3 = 0,314 D^3 + 0,0756 D^3$$

$$2961,2232 \text{ ft}^3 = 0,3896 D^3$$

$$D = 19,6615 \text{ ft} = 5,9929 \text{ m} = 235,9380 \text{ in}$$

$$h_s = 0,4 D$$

$$= 0,4 \times 19,6615 \text{ ft}$$

$$= 7,8646 \text{ ft} = 2,3972 \text{ m} = 94,3752 \text{ in}$$

e. Menentukan tinggi conis (hc) untuk sudut 60° dan $D = 19,6615 \text{ ft}$

$$h_c = \frac{1/2 D}{\text{tg}(60/2)} = \frac{1/2 \times 19,6615 \text{ ft}}{\text{tg } 30^\circ} = 17,0377 \text{ ft} = 5,1932 \text{ m} = 204,4523 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tinggi total} &= h_s + h_c \\
&= 7,8646 + 17,0377 \\
&= 24,9023 \text{ ft} = 7,5903 \text{ m} = 298,8275 \text{ in}
\end{aligned}$$

2. Menentukan Exposed Area

Exposed Area = luas selimut silinder + luas selimut conis

$$= \left(\frac{\pi}{4} (D+h_s) \right) + \left(\frac{\pi}{4} \times (D+m) \times \sqrt{2h_c^2 + (D-m)^2} \right)$$

$m = d_o =$ diameter pengeluaran produk

$h_c =$ tinggi conis

$h_s =$ tinggi shell

Dari Mc.Cabe pers.26-25 diameter lubang pengeluaran dimana bisa jatuh bebas adalah :

$$F_2 = \frac{\rho \text{ partikel} \times d_o^3}{[(6,288 \text{ tg } \alpha + 23,16)(D_p + 1,889) - 44,9]}$$

Dimana : $f_2 =$ flow rate produk = 6212,4006 kg/jam = 13695,8583 lb/jam

ρ Partikel = 149,8320 lb/ft³

Diameter partikel (D_p) = $4,8228 \times 10^{-4}$ ft

Sudut gesekan zat padat (θ) = 30°

Maka :

$$13695,8583 = \frac{149,8320 \times d_o^3}{[(6,288 \text{ tg } 30^\circ + 23,16)(4,8228 \times 10^{-4} + 1,889)] - 44,9}$$

$$d_o = 8,0542 \text{ ft} = 2,4550 \text{ m}$$

Exposed area = $(\pi \times 19,6615 + 7,8646)$

$$+ \left[\frac{\pi}{4} \times (19,6615 + 8,0542) \times \sqrt{2 \times (17,0377)^2 + (19,6615 - 8,0542)^2} \right]$$

Exposed area = 668,3182 ft² = 18,9248 m²

3. Menentukan Kecepatan Angkut Minimum dari Gas

$$V_{cv} = 910 \left[\frac{\rho_s}{\rho_s + 62,5} \right] D_s^{0,6}$$

Dimana : $V_{cv} =$ kecepatan angkut minimum udara panas

$\rho_s =$ densitas solid (lb/ft³)

$D_s =$ diameter partikel terbesar yang diangkut (ft)

$$= 100 \text{ mesh} = 4,8228 \times 10^{-4} \text{ ft}$$

Maka :

$$V_{cv} = 910 \left[\frac{149,8320}{149,8320 + 62,5} \right] \times (4,8228 \times 10^{-4})^{0,6} = 6,5707 \text{ ft/detik}$$

4. Menentukan Tebal Bahan

Tekanan design = tekanan operasi + tekanan berat material

Laju produk (F_2) = 13695,8583 lb/jam = 3,8044 lb/detik

Waktu tinggal dalam spray chamber = 0,0006 jam = 2,0277 detik

Volume produk = 2665,1009 ft³ = 75,4677 m³

Tinggi bahan dalam tangki :

$$\text{Volume bahan} = \frac{\pi d^3}{4 \cdot \text{tg} \frac{1}{2} \alpha} + \frac{\pi}{4} d^2 h$$

$$2665,1009 = \frac{\frac{3,14}{24} \cdot 19,6615^3}{\text{tg} \frac{1}{2} \cdot 60} + \frac{3,14}{24} 19,6615^2 \cdot h$$

$$2665,1009 = 1723,4256 + 303,4610 \cdot h$$

$$h = 3,1031 \text{ ft}$$

Tinggi bahan dalam tangki = h + hc

$$= 3,1031 + 17,0377$$

$$= 20,1408 \text{ ft} = 6,1390 \text{ m}$$

Tekanan karena grafitasi material

$$\rho \text{ partikel} = 149,8320 \text{ lb/ft}^3 = 2,4001 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$P = \rho \times g \times h$$

$$= 2,4001 \times 10^3 \times 9,8 \times 6,1390$$

$$p = 144395,1631 \text{ N/m}^2 = 20,9427 \text{ psia}$$

$$\text{Jadi tekanan design (Pi)} = 14,7 + 20,9427 = 35,6427 \text{ psig}$$

a. Menentukan tebal silinder

$$ts = \frac{Pi \times di}{2 (f \cdot E - 0,6 \cdot Pi)} + C$$

Dimana : ts = tebal shell

$$d_i = 19,6615 \text{ ft} \times 12 \text{ in/ft} = 235,9380 \text{ in}$$

$$f = 17900 \text{ (untuk SA-167 Grade 11)}$$

$$E = 0,8 \text{ (double welded but joint)}$$

$$C = 2/16 \text{ in}$$

$$P_i = \text{tekanan operasi}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{P_i \times d_i}{2(f.E - 0,6.P_i)} + C \\ &= \frac{35,6427 \times 235,9380}{2(17900 \times 0,8 - 0,6 \times 35,6427)} + \frac{2}{16} \\ &= \frac{6,7051}{16} = \frac{7}{16} \text{ in} \end{aligned}$$

- b. Menentukan tebal tutup bawah conis (tb) dengan $\alpha = 60^\circ$

$$t_{hb} = \frac{P_i \times r_c \times W}{2(f.E - 0,2.P_i)} + C$$

Dimana : t_{hb} = tebal tutup bawah berbentuk conis

$$r_c = \text{radius of crown}$$

$$d_i = D_{\text{Shell}} - 2 \text{ icr} \times (1 - \cos \alpha)$$

$$r_c = 0,06 \times D_{\text{Shell}}$$

$$= 0,06 \times (19,6615 \text{ ft} \times 12) = 14,1563 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} d_i &= (19,6615 \times 12) - 2(14,1563) \times (1 - \cos 60^\circ) \\ &= 221,7817 \text{ in} \end{aligned}$$

$$L = (0,5 \times 221,7817) \cos 60^\circ = 55,4454 \text{ in}$$

$$W = \frac{1}{4} \times \left[3 + \sqrt{\frac{L}{\text{icr}}} \right]$$

(Brownell and Young, pers. 7-76, hal 138)

$$= \frac{1}{4} \times \left[3 + \sqrt{\frac{55,4454}{14,1563}} \right] = 1,2448 \text{ in}$$

Maka :

$$t_{hb} = \frac{P_i \times r_c \times W}{2(f.E - 0,2.P_i)} + C$$

$$= \frac{35,6427 \times 14,1563 \times 1,2396}{2(17900 \times 0,8 - 0,2 \times 35,6427)} + \frac{2}{16}$$

$$= \frac{2,3511}{16} = \frac{3}{16} \text{ in}$$

c. Menentukan tebal tutup atas

Tutup atas berupa plat datar maka tebal tutup atas sama dengan tebal shell

$$t_s = \frac{7}{16}$$

Dari *Brownell and Young, tabel 5.6 hal 88* untuk ketebalan standar flange head didapatkan :

$$s_f = 1 \frac{1}{2} \text{ in}$$

$$i_{cr} = 9/16 \text{ in}$$

5. Faktor pengelasan tutup atas dan silinder spray dryer

Penentuan :

Tutup atas berbentuk flat datar

Shell (silinder) spray dryer berbentuk silinder

Tutup bawah spray dryer berbentuk conis

Pemilihan :

- Tutup atas dan shell (silinder) : Type double welded but joint
- Bagian shell (silinder) dan bagian bawah (conis) : Type double welded but joint

(Brownell and Young, tabel 13-2, hal 254)

6. Perhitungan Nozzle

a. Nozzle inlet feed (terletak pada tutup atas)

$$\text{Feed masuk} = 32249,9475 \text{ lb/jam} = 8,9583 \text{ lb/detik}$$

$$\text{Densitas feed} = 149,8320 \text{ lb/ft}^3$$

$$g_{fm} = \frac{m_{\text{feed}}}{\rho_{\text{feed}}}$$

Dimana : g_{fm} = kecepatan volumetrik

m = massa feed

ρ = densitas feed

Sehingga :

$$g_{fm} \text{ feed} = \frac{8,9583}{149,8320} = 0,0598 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

$$\begin{aligned}
 D_{opt} &= 3,9 \times \text{gfm feed}^{0,45} \times \rho^{0,13} && \text{(Thimmerhaus, pers. 15, hal 496)} \\
 &= 3,9 \times (0,0598)^{0,45} \times (149,8320)^{0,13} \\
 &= 2,1056 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan *Geankoplis App. A.5 hal 892*, dipilih pipa feed dengan dimensi :

$$D_i = 2,067 \text{ in}$$

$$D_o = 2,375 \text{ in}$$

Dari *Brownell and Young tabel 12-2, hal 221*, dipilih flange standar type welding neck, yaitu :

- Ukuran = 2 in
- Diameter luar flange (A) = 6 in
- Ketebalan luar flange minimum (T) = 3/4 in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) = 3 5/8 in
- Diameter hubungan pada titik pengelasan (K) = 2,38 in
- Diameter hubungan pada alas (E) = 3 1/16 in
- Panjang julakan (L) = 2 1/2 in
- Diameter dalam flange (B) = 2,07 in
- Diameter lubang laut = 3/4 in
- Diameter baut = 5/8 in

b. Nozzle outlet feed

$$\text{Feed keluar} = 6253,4223 \text{ lb/jam} = 1,7371 \text{ lb/detik}$$

$$\text{Densitas feed} = 149,8320 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{gfm} = \frac{m_{\text{feed}}}{\rho_{\text{feed}}}$$

Dimana : gfm = kecepatan volumetrik

m = massa feed

ρ = densitas feed

Sehingga :

$$\text{gfm} = \frac{1,7371}{149,8320} = 0,0116 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

$$\begin{aligned}
 D_{opt} &= 3,9 \times \text{gfm feed}^{0,45} \times \rho^{0,13} && \text{(Thimmerhaus, pers. 15, hal 496)} \\
 &= 3,9 \times (0,0116)^{0,45} \times (149,8320)^{0,13} \\
 &= 1,0064 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan *Geankoplis App. A.5 hal 892*, dipilih pipa feed dengan dimensi :

$$D_i = 0,8240 \text{ in}$$

$$D_o = 1,0500 \text{ in}$$

Dari *Brownell and Young tabel 12-2, hal 221*, dipilih flange standar type welding neck, yaitu :

- Ukuran = 2 in
- Diameter luar flange (A) = 6 in
- Ketebalan luar flange minimum (T) = 3/4 in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) = 3 5/8 in
- Diameter hubungan pada titik pengelasan (K) = 2,38 in
- Diameter hubungan pada alas (E) = 3 1/16 in
- Panjang julukan (L) = 2 1/2 in
- Diameter dalam flange (B) = 2,07 in
- Diameter lubang laut = 3/4 in
- Diameter baut = 5/8 in

c. Nozzle inlet feed udara panas

$$\text{Udara masuk} = 172436,5166 \text{ lb/jam} = 47,8990 \text{ lb/detik}$$

$$\text{Densitas udara} = 1,6314 \text{ lb/m}^3 = 0,0462 \text{ lb/ft}^3$$

$$gfm = \frac{m_{\text{feed}}}{\rho_{\text{feed}}}$$

Dimana : gfm = kecepatan volumetrik

m = massa feed

ρ = densitas feed

Sehingga :

$$gfm = \frac{47,8990}{0,0462} = 1036,7756 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

$$\begin{aligned} D_{opt} &= 3,9 \times gfm \text{ feed}^{0,45} \times \rho^{0,13} && (\text{Thimmerhaus, pers. 15, hal 496}) \\ &= 3,9 \times (1036,7756)^{0,45} \times (0,0462)^{0,13} \\ &= 59,5013 \text{ in} \end{aligned}$$

Berdasarkan *Brownell and Young App.K hal 387*, dipilih pipa feed dengan dimensi :

$$D_i = 41,250 \text{ in}$$

$$D_o = 42 \text{ in}$$

Dari *Brownell and Young tabel 12-2, hal 221*, dipilih flange standar type welding neck, yaitu :

- Ukuran = 24 in
- Diameter luar flange (A) = 32 in
- Ketebalan luar flange minimum (T) = 1,875 in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) = 27,25 in
- Diameter hubungan pada titik pengelasan (K) = 24 in
- Diameter hubungan pada alas (E) = 26,125 in
- Panjang julakan (L) = 6 in
- Diameter dalam flange (B) = 23,25 in
- Diameter lubang laut = 1,375 in
- Diameter baut = 1,25 in

d. Nozzle outlet feed udara panas

$$\text{Udara masuk} = 172436,5166 \text{ lb/jam} = 47,8990 \text{ lb/detik}$$

$$\text{Densitas udara} = 1,6314 \text{ lb/m}^3 = 0,0462 \text{ lb/ft}^3$$

$$gfm = \frac{m_{\text{feed}}}{\rho_{\text{feed}}}$$

Dimana : gfm = kecepatan volumetrik

m = massa feed

ρ = densitas feed

Sehingga :

$$gfm = \frac{47,8990}{0,0462} = 1036,7756 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

$$\begin{aligned} D_{opt} &= 3,9 \times gfm \text{ feed}^{0,45} \times \rho^{0,13} && (\text{Thimmerhaus, pers. 15, hal 496}) \\ &= 3,9 \times (1036,7756)^{0,45} \times (0,0462)^{0,13} \\ &= 59,5013 \text{ in} \end{aligned}$$

Berdasarkan *Brownell and Young App.K hal 387*, dipilih pipa feed dengan dimensi :

$$D_i = 41,250 \text{ in}$$

$$D_o = 42 \text{ in}$$

Dari *Brownell and Young* tabel 12-2, hal 221, dipilih flange standar type welding neck, yaitu :

- Ukuran = 24 in
- Diameter luar flange (A) = 32 in
- Ketebalan luar flange minimum (T) = 1,875 in
- Diameter luar bagian yang menonjol (R) = 27,25 in
- Diameter hubungan pada titik pengelasan (K) = 24 in
- Diameter hubungan pada alas (E) = 26,125 in
- Panjang julukan (L) = 6 in
- Diameter dalam flange (B) = 23,25 in
- Diameter lubang laut = 1,375 in
- Diameter baut = 1,25 in

Perhitungan diameter nozzle :

$$\begin{aligned} A \text{ pipa feed} &= \frac{1}{4} \pi d_o^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi (3/4)^2 = 0,4416 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ pipa udara} &= \frac{1}{4} \pi d_o^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi (42)^2 = 379,9400 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A \text{ nozzle udara} + \text{feed} &= 379,9400 + 0,4416 \\ &= 380,3816 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$D \text{ nozzle} = \sqrt{\frac{380,3816}{\frac{1}{4} \pi}} = 22,0128 \text{ in}$$

7. Menentukan diameter Disk Atomizer

Menghitung lubang diameter = 100 mesh = $4,8228 \times 10^{-4}$ ft

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ lubang atomizer} &= \frac{A \text{ pipa feed}}{A \text{ lubang atomizer}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \pi (0,4416)^2}{\frac{1}{4} \pi (4,8228 \times 10^{-4})^2} \end{aligned}$$

$$= 838424,4746 \text{ lubang} = 838424 \text{ lubang}$$

Dari Perry edisi 7, tabel 12-7, hal 12-34, dipilih atomizer dengan ketebalan 0,2708 ft = 3,25 in yang dapat menampung 125 atomizer.

$$\Sigma \text{ lubang} = \frac{838424}{125} = 6707,3920 = 6707$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling atomizer} &= (\Sigma_{\text{lubang}} \times D_{\text{lubang}}) + (\Sigma_{\text{lubang}} \times (X_{\text{average drop}})) \\ &= (6707 \times 4,8228 \times 10^{-4} \text{ ft}) + (6707 \times 2,4114 \times 10^{-4}) \\ &= 4,8520 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter disk atomizer} &= \frac{\text{keliling disk atomizer}}{\pi} \\ &= \frac{4,8520}{\pi} = 1,5452 \text{ ft} = 18,5425 \text{ in} \end{aligned}$$

(Perry edisi 7, pers. 12-69, hal 12-89)

8. Atomizer

Dipilih atomizer dengan jenis centrifugal disk dengan diameter disk = 1,8813 ft

Dari Perry edisi 7, pers. 12-65, hal 12-89

$$D_{vs} = 0,4 \left[\frac{\Gamma}{\rho \times N \times r^2} \right]^{0,6} \left[\frac{\mu}{\Gamma} \right]^{0,2} \left[\frac{\alpha \times \rho \times L_w}{\Gamma^2} \right]^{0,1}$$

Dimana :

D_{vs} = diameter partikel rata-rata = 100 mesh = $4,8228 \times 10^{-4}$ ft

Γ = kecepatan massa spray (lb/min.ft)

r = jari-jari disk (ft) = $1,8813/2 = 0,9407$ ft

ρ_{bahan} = densitas = 149,8320 lb/ft³

μ_{bahan} = viskositas = 4,3544 lb/ft.jam = 0,0726 lb/ft.min

L_w = wetted disk periphery (ft)
 $= 2 \times \pi \times r = 2 \times 3,14 \times 0,9407 = 5,9076$ ft

α = tegangan permukaan (lb/min)

Dari Perry edisi 5, pers. 3-65, hal 3-240 diperoleh :

$$\alpha = \frac{(L_{vb} \times \rho l)}{364}$$

L_{vb} = panas laten = 876,0720 BTU/lb = 569115 kkal/kg

$$\alpha = \frac{(569,115 \times 1,0799)}{364} = 1.6884 \text{ g/cm}^3 = 9,7814 \text{ lb/min}$$

N = kecepatan mesin penyemprot (lb/min)

Diketahui kecepatan rate feed masuk (F_1) = 32249,9475 lb/jam = 537,4991 lb/min

Maka :

$$4,8228 \times 10^{-4} =$$

$$0,4 \left[\frac{5,9076}{149,8320 \times N \times 0,9407^2} \right]^{0,6} \left[\frac{0,0726}{5,9076} \right]^{0,2} \left[\frac{9,7814 \times 149,8320 \times 5,9076}{5,9076^2} \right]^{0,1}$$

$$N = 4999,8448 \text{ rpm}$$

Dari *Perry edisi 6, hal 20-56*, bahwa putaran tertinggi berkisar 3000-50000 rpm.

9. Menentukan power motor penggerak centrifugal disk

Dari *Perry edisi 3, hal 848*, diketahui :

$$P = 1,04 \times 10^{-8} \times (r.N)^2 \times w$$

Dimana : P = Nett horse power (HP)

w = rate feed (lb/s)

Sehingga :

$$P = 1,04 \times 10^{-8} \times (0,9407 \times 4999,8448)^2 \times 5,5035 \\ = 2,0610 = 2 \text{ Hp}$$

10. Menentukan diameter poros

$$\text{Torgue mak (Tq}_{\text{mak}}) = 63025 \times \frac{\text{HP}}{N} \\ = 63025 \times \frac{2}{4999,8448} = 25,2108$$

$$\text{Bending moment max} = \frac{19000 \times \text{HP} \times 13}{N \times 16} \\ = \frac{19000 \times 2 \times 13}{4999,8448 \times 16} = 6,1752$$

11. Perancangan Support (penahan) Spray Dryer

a. Berat total spray dryer

Bahan konstruksi : Stainless Steel

$$\text{Densitas} = 489 \text{ lb/ft}^3 = 0,2829 \text{ lb/in}^3$$

(Perry 6th ed, tabel 3-118)

- Berat shell = $\pi \times D \times h_s \times t_s \times \rho_{\text{bahan}}$

$$= \pi \times (19,6615 \times 12) \times (7,8646 \times 12) \times 0,4375 \times 0,2829 \\ = 8653,5923 \text{ lb}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Berat tutup atas} &= \pi \times D \times sf \times icr \times ts \times \rho_{\text{bahan}} \\
 &= \pi \times (19,6615 \times 12) \times 1,5 \times 0,5625 \times 0,4375 \times 0,2829 \\
 &= 77,3664 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{ Berat tutup bawah} &= \frac{\pi}{4} \times di \times L \times ts \times \rho_{\text{bahan}} \\
 &= \frac{\pi}{4} \times 235,9380 \times 55,4454 \times 0,1875 \times 0,2829 \\
 &= 544,7127 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat total} = 8653,5923 + 77,3664 + 544,7127 = 9275,6714 \text{ lb}$$

$$\text{Tinggi total bejana} = h_s + h_c$$

$$= 7,8646 + 17,0377 = 24,9023 \text{ ft} = 7,5903 \text{ m}$$

Dipakai I-Beam sehingga penyangga spray dryer dengan jumlah 4 buah.

b. Beban tiap penyangga

$$P = \frac{9275,6714 \text{ lb}}{4} = 2318,9179 \text{ lb}$$

Digunakan 4 buah penyangga dengan jenis I-Beam

$$\text{Digunakan ukuran I-Beam} = 3 \times 2 \frac{5}{8}$$

Dari *Brownell and Young, App G, hal 355*, diperoleh :

$$\text{Berat (w)} = 5,7 \text{ lb}$$

$$\text{Luas area support (Ay)} = 1,64 \text{ in}^2$$

$$\text{Dept of beam (h)} = 3 \text{ in}$$

$$\text{Lebar flange (b)} = 2,33 \text{ in}$$

$$\text{Tebal rata-rata flange} = 0,26 \text{ in}$$

$$\text{Ketebalan web} = 0,17 \text{ in}$$

$$\text{Kx-x (I)} = 0,46 \text{ in}$$

$$R = 0,53 \text{ in}$$

$$\text{Tinggi total bejana} = h_s + h_c$$

$$= 7,8646 + 17,0377 = 24,9023 \text{ ft} = 7,5903 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi tangki (L)} = \frac{1}{4} \times (h_s + h_c)$$

$$= \frac{1}{4} \times (24,9023) = 6,2256 \text{ ft}$$

$$\frac{L}{r} = \frac{6,2256}{0,53} = 11,7464 < 60 \text{ maka : } f_c = 15000 \text{ psi}$$

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

$$A = \frac{P}{f_c} = \frac{2318,9179}{15000}$$

$$= 0,1546 < 1,64 \text{ in}^2 \text{ (memenuhi)}$$

12. Menentukan dimensi Lug dan Gusset

Digunakan 2 plate horizontal (lug) dan plate vertikal (gusset)

A = panjang lug

$$= \text{bolt size} + 9 \text{ in}$$

$$= 1 + 9 = 10 \text{ in}$$

b = jarak antar gusset

$$= \text{bolt size} + 8 \text{ in}$$

$$= 1 + 8 = 9 \text{ in}$$

Dari *Brownell and Young, fig. 10-6, hal 191* diperoleh :

$$L = 2 \times (\text{lebar kolom} - 0,5 \text{ bolt size})$$

$$= 2 \times (3,495 - (0,5 \times 1)) = 5,99 \text{ in}$$

Dimana : L = lebar lug bawah

$$A = 0,5 L + 0,5 \text{ bolt size}$$

$$= (0,5 \times 5,99) + (0,5 + 1) = 3,495 \text{ in}$$

Nuts dimension untuk 1 in bolt = 1,625 in (Brownell and Young, tabel 12-4, hal 188)

$$c = \frac{1,625}{2}$$

$$\text{Compression plate thickness} = \frac{b}{L} = \frac{9}{5,99} = 1,5023$$

$$\text{Untuk } \frac{b}{L} = 1,5023 \text{ diperoleh } Y = 0,167 \quad (\text{Brownell and Young, tabel 12-4, hal 188})$$

fs bolt = 12000 psi

Untuk ukuran baut 1 in maka A = 0,551 in² (Brownell and Young, tabel 10-4, hal 188)

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

$$P = f_s \times A_s$$

$$= 12000 \times 0,551 = 6612 \text{ lb}$$

Untuk steel $\mu = 0,33$ cps

Maksimum bending moment pada sumbu radial

$$M_y = \frac{P}{4\pi} \left[(1 + \mu) \ln \frac{2L}{\pi e} + (1 - \gamma_1) \right] \quad (\text{Brownell and Young, pers. 10-40, hal 192})$$

$$= \frac{6612}{4\pi} \left[(1 + 0,33) \ln \frac{25,99}{\pi \times 0,8125} + (1 - 0,167) \right]$$

$$= 1520,2926 \text{ lb/in}$$

Tebal plate horizontal (lug) :

$$thp = \sqrt{\frac{6M_y}{f_{\text{allow}}}} \quad (\text{Brownell and Young, pers. 10-41, hal 193})$$

$$= \sqrt{\frac{61520,3292}{12000}} = 0,8719 \text{ in}$$

Tebal plate vertikal (Gusset)

$$tg = \frac{3}{8} thp$$

$$= \frac{3}{8} \times 0,8719 = 0,3270 \text{ in}$$

Diambil tebal standar 1 in

Tinggi gusset diambil = A + bolt size

$$hg = 10 + 1 = 11 \text{ in}$$

Lebar gusset diambil = lebar lug atas = 3,495 in

Tinggi lug = hg + 2 thp

$$= [(11) + (2 \times 0,8750)] \text{ in} = 12,75 \text{ in}$$

Pengecekan terhadap stress yang terjadi :

$$r^2 = \frac{tg^2}{12} \quad (\text{Brownell and Young, pers. 10-42, hal 194})$$

Dimana : r = radius of gyration

$$tg = \text{lebar gusset} = 0,3720 \text{ in}$$

$$r^2 = \frac{0,3270^2}{12} = 0,0944 \text{ in}$$

$$\frac{hg}{r} = \frac{11}{0,0944} = 116,5254$$

Untuk harga $\frac{hg}{r} = 60 - 200$ berlaku :

$$f_{\text{allow}} = \frac{18000}{1 + \left(\frac{(hg,r)^2}{18000r^2}\right)} \quad (\text{Brownell and Young, pers. 10-42, hal 194})$$

$$= \frac{18000}{1 + \left(\frac{116,5254}{18000}\right)} = 10260,230$$

Luas untuk 2 gusset

$$P_{\text{gusset}} = 10260,253 \times A$$

$$= 10260,253 \times 0,3270 \times 3,495 = 11726,0840 \text{ lb}$$

13. Menentukan base plate

Dibuat base plate dengan toleransi panjang 5% dan toleransi lebar 20%

(Hesse, hal 163)

Direncanakan pondasi terbuat dari beton dengan stress maksimum 600 psi

(Hesse, tabel 7-7, hal 162)

- Luas base plate

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

Dimana : A_{bp} = luas base plate (in²)

P = beban tiap plate

f_{bp} = allowable stress tiap pondasi

Sehingga :

$$A_{bp} = \frac{2318,9179}{600} = 3,8649 \text{ in}^2$$

- Panjang dan lebar base plate

$$\text{Panjang base plate} = 2m + 0,95d$$

$$\text{Lebar base plate} = 2n + 0,80d$$

Data yang diketahui $m = n$

(Hesse, hal 163)

Dari perhitungan kolom penyangga :

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

$$b = 2,330 \text{ in}$$

Maka :

$$\begin{aligned}Abp &= (2m + 0,95d) \times (2m \times 0,80d) \\3,8649 &= (2m + (0,95 \times 3)) \times (2m + (0,80 \times 2,330)) \\&= (2m + 2,85) \times (2m + 1,9) \\4m^2 + 9,428m + 1,9432 &= 0\end{aligned}$$

Digunakan rumus ABC :

$$\begin{aligned}m &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\&= \frac{-9,428 \pm \sqrt{(9,428)^2 - 4(4 \times 1,9432)}}{2 \times 4}\end{aligned}$$

$$m = n = 1,0172 \text{ in}$$

Panjang base plate (l) :

$$\begin{aligned}l &= 2m + 0,95h \\&= (2 \times 1,0178) + (0,95 \times 3) = 4,8856 \text{ in} = 4,8856 \text{ in} = 5 \text{ in}\end{aligned}$$

Lebar base plate (w) :

$$\begin{aligned}w &= 2n + 0,8b \\&= (2 \times 1,0178) + (0,8 \times 2,330) = 3,8996 \text{ in} = 4 \text{ in}\end{aligned}$$

$$Abp = l \times w$$

$$= (5 \times 4) \text{ in}^2 = 20 \text{ in}^2$$

Beban yang harus ditahan :

$$\begin{aligned}f &= \frac{P}{A} = \frac{2318,9179}{20} \\&= 115,9459 < 600 \text{ psi (memenuhi)}\end{aligned}$$

Tebal base plate (thp)

$$\begin{aligned}thp &= (0,00015 \times f \times m^2) \quad (\text{Hesse, pers 7-12, hal 163}) \\&= (0,00015 \times 115,9459 \times 1,0172^2) = 0,0180 \text{ in} = \frac{3}{16} \text{ in}\end{aligned}$$

Kesimpulan :

Base plate ukuran 5×4 dapat digunakan dengan aman, karena yang harus ditahan berada dibawah harga stress maksimum yang diijinkan ($f_{maks} = 600 \text{ psi}$)

Beban base plate

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

Dimana :

W_{bp} = beban base plate (lb)

p = panjang base plate = 5 in = 0,4167 ft

l = lebar base plate = 4 in = 0,3333 ft

t = tebal base plate = 0,1875 in = 0,0156 ft

ρ = densitas bahan konstruksi = 489 lb/ft³

Sehingga :

$$W_{bp} = 0,4167 \times 0,3333 \times 0,0156 \times 489 = 1,0595 \text{ lb}$$

$$\text{Luas atas} = 14 \times 10 \text{ in}$$

$$\text{Luas bawah} = 28 \times 20 \text{ in}$$

$$\text{Tinggi} = 10 \text{ in}$$

$$V = \frac{1}{3} t (A + B + (AB)^{0,5})$$

Dimana : V = volume pondasi

t = tinggi pondasi = 10 in

A = luas pondasi = $(28 \times 20) \text{ in}^2 = 560 \text{ in}^2$

B = luas atas = $(14 \times 10) \text{ in}^2 = 140 \text{ in}^2$

Sehingga :

$$V = \frac{1}{3} 10 (560 + 140 + (560,140)^{0,5})$$

$$= 3266,6667 \text{ in}^3$$

ρ beton = 150 lb/ft³

Jadi berat beban pondasi = 4008,3127 + 200,4156 = 4208,7283 lb

Pondasi menggunakan batu krikil (grave) dengan save bearing power = 2 – 4 ton/ft²

(Hesse, tabel 12-2, hal 372)

Tekanan (P) yang diberikan = 3 ton/ft³ = 45,95 lb/in³

Luas tanah yang digunakan = 28 × 20 in

$$P_{\text{tanah}} = \frac{4208,7283}{(32 \times 25)} = 5,2609 \text{ lb/in}^2$$

$P_{\text{tanah}} < P$ yang diberikan pondasi (memadai)

Kesimpulan Hasil Rancangan Spray Drver :

Nama	: Spray Dryer
Fungsi	: Mengeringkan larutan Na_2SiO_3 menjadi granular Na_2SiO_3
Kapasitas rate feed	: 32249,9475 lb/jam
Kapasitas rate udara panas	: 172436,5166 lb/jam
Type	: Bejana silinder tegak dengan bagian bawah berbentuk conis, sedangkan bagian atas berbentuk pelat datar dilengkapi dengan spray nozzle atomizer
Bahan konstruksi	: HAS SA-240 grade M type 316
Jumlah	: 1 buah

Dimensi Alat :

a. Tangki

- Bahan : HAS SA-240 grade M type 316
- Diameter dalam silinder : 19,6615 ft = 235,9380 in
- Diameter luar silinder : 20,0990 ft = 241,1880 in
- Tinggi spray dryer : 24,9023 ft = 298,8275 in
- Tebal silinder : $\frac{7}{16}$ in
- Tebal tutup atas : $\frac{7}{16}$ in
- Tebal tutup bawah : $\frac{3}{16}$ in

b. Nozzle

Nozzle pemasukan bahan

- Bahan : HAS SA-240 grade M type 316
- Diameter dalam (di) : 2,0670 in
- Diameter luar (do) : 2,3750 in
- Schedule : 40

Nozzle pengeluaran produk

- Bahan : HAS SA-240 grade M type 316
- Diameter dalam (di) : 0,8240 in
- Diameter luar (do) : 1,0500 in
- Schedule : 40

Nozzle pemasukan udara

- Bahan : HAS SA-240 grade M type 316
- Diameter dalam (di) : 41,250 in
- Diameter luar (do) : 42 in
- Schedule : ST

Nozzle pengeluaran udara

- Bahan : HAS SA-240 grade M type 316
- Diameter dalam (di) : 41,250 in
- Diameter luar (do) : 42 in
- Schedule : ST

c. Atomizer

- Bahan : HAS SA-240 grade M type 316
- Diameter disk atomizer : 18,5425 in
- Tebal disk atomizer : 3,25 in

d. Leg support

- Jenis : I-Beam
- Ukuran penyangga : $5 \times 2 \frac{5}{8}$ in
- Berat penyangga : 5,7 lbs
- Luas area penyangga : 1,64 in²
- Kedalaman penyangga : 3 in
- Lebar penyangga : 2,33 in
- Jumlah : 4 buah

e. Base plate

- Bahan konstruksi : Carbon steel
- Panjang base plate : 5 in
- Tebal base plate : $\frac{3}{16}$ in

- Ukuran : 5 × 4 in

f. Pondasi

- Bahan : Cement and gravel
- Ukuran atas : 14 × 10 in
- Ukuran bawah : 28 × 20 in
- Tinggi pondasi : 10 in

BAB VII

INSTRUMENTASI DAN KESELAMATAN KERJA

Instrumentasi dan keselamatan kerja adalah dua faktor yang penting dalam suatu industri guna meningkatkan kualitas dan kuantitas produk. Instrumentasi digunakan untuk mengontrol jalannya suatu proses agar dapat dikendalikan sesuai yang diinginkan.

Sedangkan keselamatan kerja juga harus diperhatikan untuk mencegah kerugian nyawa, materi, alat-alat, sarana dan prasarana pabrik yang dapat timbul sewaktu-waktu. Dengan pertimbangan tersebut perlu adanya suatu bagian yang berfungsi untuk mengontrol peralatan proses dan manajemen tentang keselamatan kerja.

VII.1. Instrumentasi

Instrumentasi merupakan bagian yang sangat penting dalam suatu industri. Instrumentasi ini dapat berupa petunjuk (indikator), perekam (recorder) dan pengontrol (controller). Dalam industri kimia banyak variabel proses yang perlu diukur ataupun dikontrol seperti : suhu, ketinggian cairan, kecepatan alir dan lain-lain. Pada dasarnya alat control hanya digunakan pada alat yang mempengaruhi kualitas dan kuantitas produk yang dihasilkan.

Pada umumnya instrumentasi dapat dibedakan berdasarkan proses kerjanya, yaitu :

1. Proses manual

Pada proses manual biasanya peralatan itu hanya terdiri dari instrumentasi petunjuk dan pencatat saja yang sepenuhnya ditangani oleh tenaga manusia.

2. Proses otomatis

Pengendalian secara otomatis dilakukan dengan alat control yang dapat bekerja dengan sendirinya dan terhubung oleh monitor agar setiap saat kita dapat memantau *performance* alat proses.

Pengendalian proses yang dilakukan secara otomatis dilakukan dengan pertimbangan biaya yang cukup matang, karena biasanya penggunaan alat kontrol otomatis memakan biaya yang lebih besar atau sebaliknya justru lebih murah daripada pemakaian alat kontrol manual. Pengendalian proses secara otomatis memiliki keuntungan antara lain :

- mengurangi jumlah pegawai (man power)
- keselamatan kerja lebih terjamin
- hasil proses lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan

Tujuan dari pemasangan alat instrument ini adalah :

- a. Untuk menjaga keamanan operasi suatu proses dengan jalan :
 - menjaga variabel-variabel proses berada dalam batas operasi aman.
 - mendeteksi situasi bahaya dengan membuat tanda-tanda bahaya (alarm) dan memutuskan hubungan listrik secara otomatis.
- b. Untuk mendapatkan rate produksi yang diinginkan
- c. Untuk menjaga kualitas produk
- d. Untuk memudahkan dalam mengoperasikan alat

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam pemilihan instrumentasi :

1. Jenis instrumentasi
2. Range yang diperlukan untuk pengukuran
3. Ketelitian yang diperlukan
4. Bahan konstruksi serta pengaruh pemasangan pada kondisi proses
5. Faktor ekonomi

Pada pra rencana pabrik Natrium Metasilikat ni, instrumen yang digunakan adalah alat kontrol yang bekerja secara manual maupun secara otomatis. Hal ini tergantung dari sistem peralatan, faktor teknis, faktor ekonomis serta kelayakan lingkungan kerja tetapi instrumen yang digunakan cenderung pada pemakaian alat kontrol secara otomatis karena ada beberapa keunggulan kompetitif bila dibandingkan secara manual. Namun demikian tenaga manusia masih sangat diperlukan dalam pengoperasian dan pengawasan proses.

Pada Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat ini, instrumen yang perlu digunakan adalah :

1. Weight Ratio Controller (WRC)

Alat ini berfungsi untuk menjaga perbandingan rate bahan masuk agar tetap konstan sesuai dengan yang dibutuhkan.
2. Temperature Controller (TC)

Alat ini berfungsi untuk mengendalikan temperatur bhan dalam suatu aliran proses agar sesuai dengan temperatur yang telah ditentukan.

3. Flow Controller (FC)

Alat ini berfungsi untuk menjaga laju alir fluida melalui prpipaan agar sesuai dengan yan ditetapkan, sehingga tidak terjadi over load bahan masuk.

4. Level Indicator (LI)

Alat ini berfungsi untuk mengetahui maksimal dan minimal ketinggian fluida yang ada dalam tangki agar tidak melebihi batas yang telah ditentukan, dan mengetahui ada tidaknya ketersediaan bahan dalam tangki.

5. Weight Controller (WC)

Alat ini berfungsi utuk mengatur berat bahan dalam suatu sistem agar sesuai dengan yang telah ditentukan.

Pemasangan alat instrumentasi pada masing-masing peralatan proses terlihat pada tabel VII.1.

Tabel VII.1. Pemasangan alat kontrol pada Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat

No.	Nama Alat	Kode Alat	Kode Internasional
1	Bin Pasir Silika	F-115 a	WRC
2	Bin Natrium Karbonat	F-115 b	WRC
3	Furnace	Q-210	TC
4	Chill Conveyor	J-220	FC
5	Tangki Pelarut	M-230	TC,FC
6	Settling Tank	H-310	LI
7	Spray Dryer	B-320	TC
8	Bin Produk	F-329	WC

VII.2. Keselamatan Kerja

Pada suatu pabrik, keselamatan kerja merupakan faktor yang harus mendapat perhatian besar, sebab mengabaikan masalah ini dpat mengakibatkan terjadinya hal-hal yang tidak diinginkan. Keselamatan kerja yang terjamin secara psikologis dapat membuat para pekerja yang terlibat di dalamnya merasa aman dan tenang serta lebih berkonsentrasi pada pekerjaan yang ditangani sehingga produktivitas juga akan meningkat.

Usaha untuk menjaga keselamatan kerja dan keamanan pabrik tidak hanya ditujukan kepada faktor manusianya saja, tetapi juga untuk menjaga peralatan yang ada di dalam pabrik. Dengan terpeliharanya peralatan dengan baik maka diharapkan peralatan dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama.

Macam-macam bahaya yang biasa terjadi dalam pabrik yang harus diperhatikan dalam perencanaan yaitu :

- a. Bahaya kebakaran
- b. Bahaya mekanik
- c. Bahaya terhadap kesehatan
- d. Bahaya listrik

VII.2.1. Bahaya Kebakaran

Bahaya kebakaran merupakan hal yang sangat membutuhkan perhatian, oleh karena itu diperlukan pengaman yang sebaik-baiknya terutama dalam produksi. Pencegahan terhadap bahaya kebakaran dan peledakan bertujuan memperkecil kemungkinan resiko adanya kecelakaan yang mengakibatkan terjadinya luka ringan, berat sampai menimbulkan kematian, kerusakan pada peralatan, serta terhentinya proses produksi.

Beberapa cara untuk mencegah terjadinya kebakaran antara lain :

- a. Penyediaan alat-alat pencegah kebakaran, terutama di sekitar alat-alat proses bertekanan tinggi dan bersuhu tinggi.
- b. Pemasangan isolasi pada seluruh kabel-kabel transmisi yang ada.
- c. Menempatkan alat-alat utilitas yang cukup jauh tetapi praktis dari unit operasi.
- d. Penempatan bahan-bahan yang mudah terbakar di tempat tertutup dan jauh dari sumber api.
- e. Pemasangan pipa air melingkar di seluruh lokasi pabrik (water hydrant).
- f. Penyediaan alat pemadam kebakaran di setiap bagian pabrik dan pemasangannya harus pada tempat yang mudah dijangkau.
- g. Pengamanan dan pengontrolan terhadap kebakaran.

Apabila terjadi kebakaran api harus diisolir dan diusahakan dapat diketahui kemungkinan yang dapat terjadi dan bagaimana cara mengatasinya. Jika tidak dapat

ditangani sendiri oleh pabrik maka segera menghubungi unit pemadam kebakaran setempat.

VII.2.2. Bahaya Mekanik

Bahaya mekanik biasanya disebabkan oleh pengerjaan konstruksi yang tidak memenuhi syarat yang berlaku. Hal-hal yang perlu diperhatikan untuk mencegah bahaya mekanik adalah :

- a. Perencanaan peralatan harus sesuai dengan aturan yang berlaku, baik pemilihan bahan konstruksi maupun faktor korosi. Perancangan alat under design biasanya lebih besar menciptakan bahaya ini.
- b. Pemasangan alat kontrol yang baik dan sesuai, serta pemberian alat pengaman proses pada alat-alat yang beresiko besar menciptakan terjadinya bahaya ini.
- c. 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.
- d. Pemasangan tanda-tanda bahaya dan instruksi keselamatan kerja di tempat-tempat yang dianggap bahaya.

VII.2.3. Bahaya Terhadap Kesehatan

Untuk menjaga kesehatan dan keselamatan karyawan perlu adanya kesadaran dari seluruh karyawan agar dapat bekerja dengan baik sehingga tidak membahayakan keselamatan jiwanya dan orang lain. Untuk itu pengetahuan akan bahaya masing-masing alat sangat penting diketahui oleh semua karyawan terutama operator control. Semua karyawan harus menggunakan pelindung diri masker, topi, safety belt, sepatu karet, sarung tangan dan lain-lain. Selain itu, pengetahuan tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) perlu diketahui oleh seluruh karyawan dari mulai karyawan operator proses sampai karyawan administrasi.

Untuk menghindari kerusakan alat seperti peledakan atau kebakaran maka pada alat-alat tertentu perlu dipasang alat pengaman seperti safety valve, isolasi dan pemadam kebakaran.

Selain itu bahaya terhadap kesehatan karyawan juga perlu diwaspadai. Umumnya berasal dari bahan baku, bahan yang diproses dan produk. Karena itu diusahakan agar ruangan proses maupun ruangan lainnya memiliki ventilasi atau pertukaran udara yang cukup sehingga dapat memberikan kesejukan pada karyawan serta dapat menghindari gangguan terhadap pernapasan. dAlat pengaman keselamatan kerja karyawan dapat dilihat pada tabel VII.2.

Tabel VII.2. Alat keselamatan kerja pada Parbrik Natrium Metasilikat

No.	Alat Pelindung	Lokasi Pengamanan
1	Masker	Pekerja pada bagian proses dan laboratorium
2	Helm	Pekerja pada bagian bahan baku, proses dan produk
3	Sepatu karet	Pekerja pada bagian bahan baku, utilitas dan produk
4	Sarung tangan	Pekerja pada bagian bahan baku, proses, produk dan laboratorium
5	Jas laboratorium	Karyawan laboratorium
6	Isolasi panas dan pagar	Pekerja pada bagian boiler, burner, spray dryer dan perpipaan
7	Pemadam kebakaran	Seluruh ruang karyawan kantor dan lapangan
8	P3K	Seluruh ruang karyawan kantor dan lapangan
9	Pagar pelindung	Alat transportasi, misal bucket elevator
10	Sepatu dengan ujung besi	Pekerja pada bagian proses

VII.2.4. Bahaya Listrik

Bahaya pengoperasian maupun perbaikan instalasi listrik hendaknya selalu menggunakan alat pengaman yang disediakan pabrik, sehingga para pekerja dapat terjaga keselamatannya.

Hal-hal yang yang perlu diperhatikan :

- a. Semua bagian pabrik harus diberi penerangan yang cukup.
- b. Peralatan yang penting seperti switcher dan transformator diletakkan di tempat yang aman dan tersendiri.
- c. Peralatan listrik di bawah tanah sebaiknya diberi tanda dengan jelas.

BAB VIII

UTILITAS

Unit utilitas pada suatu pabrik merupakan salah satu bagian yang sangat penting untuk menunjang jalannya proses produksi dalam suatu industri kimia, sehingga kapasitas produksi semaksimal mungkin dapat dicapai. Unit utilitas yang diperlukan pada Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat dari natrium Karbonat dan Pasir Silika meliputi :

- 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 pabrik.
- Bahan bakar untuk mengoperasikan boiler.

Dari kebutuhan unit utilitas yang diperlukan, maka utilitas tersebut dibagi menjadi 4 unit, yaitu :

1. Unit penyediaan steam
2. Unit penyediaan air
3. Unit penyediaan tenaga listrik
4. Unit penyediaan bahan bakar

8.1. Unit Penyediaan Steam

Bahan baku pembuatan steam adalah air umpan boiler. Steam yang dibutuhkan dalam proses pembuatan Natrium Metasilikat sebanyak 907,6530 Kg/jam mempunyai kondisi :

- Tekanan : 14,7 Psia = 101,325 kPa
- Temperatur : 212°F

Zat-zat yang terkandung dalam air umpan boiler yang dapat menyebabkan kerusakan pada boiler adalah :

- Kadar zat terlarut (soluble matter) yang tinggi
- Zat padat terlarut (suspended solid)

- Garam-garam kalsium dan magnesium
- Zat organik (organic matter)
- Silica, sulfat, asam bebas dan oksida

(Jenny Ernawati, Ir Hal 70)

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh air umpan boiler :

a. Tidak boleh berbuih (berbusa)

Busa disebabkan oleh adanya solid matter, suspended matter dan kebasaan yang tinggi. Kesulitan yang dihadapi dengan adanya busa :

- Kesulitan pembacaan tinggi liquida dalam boiler
- Buih dapat menyebabkan percikan kuat yang mengakibatkan adanya solid-solid yang menempel dan mengakibatkan terjadinya korosi dengan adanya pemanasan lebih lanjut.

Untuk mengatasi hal ini perlu adanya pengontrolan terhadap adanya kandungan lumpur, kerak dan alkalinitas air umpan boiler.

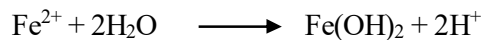
b. Tidak boleh membentuk kerak dalam boiler

Kerak dalam boiler akan menyebabkan :

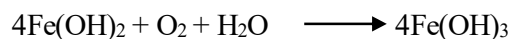
- Isolasi terhadap panas sehingga proses perpindahan panas terhambat.
- Kerak yang terbentuk dapat pecah sewaktu-waktu, sehingga dapat menimbulkan kebocoran karena boiler mendapat tekanan yang kuat.

c. Tidak boleh menyebabkan korosi pada pipa

Korosi pada pipa boiler disebabkan oleh keasaman (pH rendah), minyak dan lemak, bikarbonat dan bahan organik, serta gas H₂S, SO₂, NH₃, CO₂, O₂ yang terlarut dalam air. Reaksi elektrokimia antara besi dan air akan membentuk lapisan pelindung anti korosi pada permukaan baja, yaitu :



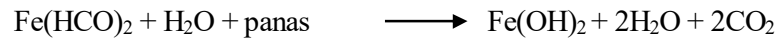
Tetapi jika terdapat oksigen dalam air, maka lapisan hydrogen yang terbentuk akan bereaksi membentuk air. Akibat hilangnya lapisan pelindung tersebut terjadilah korosi menurut reaksi :



Adanya bikarbonat dalam air akan menyebabkan terbentuknya CO₂, karena pemanasan dan adanya tekanan. CO₂ yang terjadi bereaksi dengan air menjadi asam karbonat. Asam

karbonat akan bereaksi dengan metal dan besi membentuk garam bikarbonat. Dengan adanya pemanasan (kalor), garam bikarbonat ini menjadi CO₂ lagi.

Reaksi yang terjadi :



(Muharto, Ir Hal 46)

Proses Pengolahan Air Pada Unit Pengolahan Air

Air sungai digunakan untuk memenuhi kebutuhan air proses, air sanitasi, air pendingin dan air umpan boiler.

Proses pengolahan air sungai tersebut adalah :

Air dari sungai dipompa dengan pompa (L-412) menuju bak sedimentasi (F-413) untuk menghilangkan lumpur-lumpur yang terikut. Kemudian dipompa (L-414) menuju bak skimmer (F-415) yang berfungsi untuk membersihkan kotoran-kotoran yang terapung dalam air sungai. Dari bak skimmer air dipompa (L-416) menuju tangki clarifier (H-410), disini terjadi proses koagulasi dan flokulasi dengan penambahan alum sebagai zat koagulan dan diadakan pengadukan dengan kecepatan yang cepat dan lambat agar terbentuk flok dan mengendap.

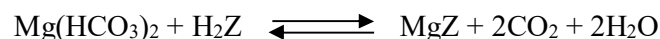
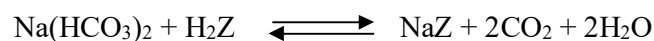
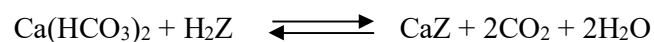
Setelah terjadi proses koagulasi dan flokulasi dalam bak clarifier, kemudian air menuju ke sand filter (F-417) untuk menyaring kotoran-kotoran yang masih tersisa.

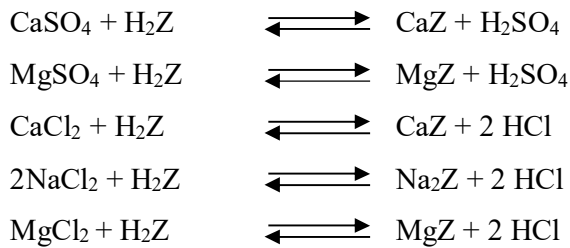
Dari sand filter air masuk ke bak air bersih (F-418) dan diolah sesuai dengan fungsinya masing-masing yaitu :

a. Pelunakan air umpan boiler

Pelunakan air umpan boiler yang dilakukan dengan pertukaran ion dalam demineralisasi yang terdiri dari dua tangki, yaitu tangki kation exchanger (D-420A) dan anion exchanger (D-420B). Kation exchanger yang digunakan adalah resin zeolit (H₂Z) dan anion yang digunakan adalah deacidite (DOH). Air dari bak air bersih (F-418) dialirkan dengan pompa (L-421) menuju kation exchanger (D-420A).

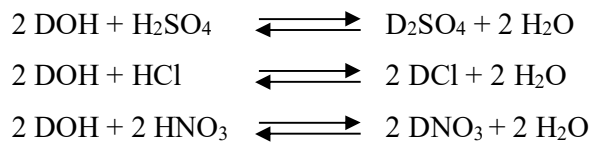
Dalam tangki kation exchanger terjadi reaksi-reaksi sebagai berikut :



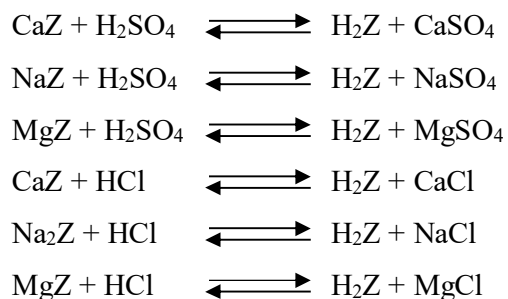


Ion-ion bikarbonat, sulfat dan klor diikat dengan ion Z membentuk CO₂ dan air, H₂SO₄ dan HCl. Selanjutnya air yang bersifat asam ini dialirkan ke tangki anion exchanger (D-420B) untuk dihilangkan anion-anion yang mengganggu proses. Resin yang dipakai dalam anion exchanger adalah Deacidite (DOH).

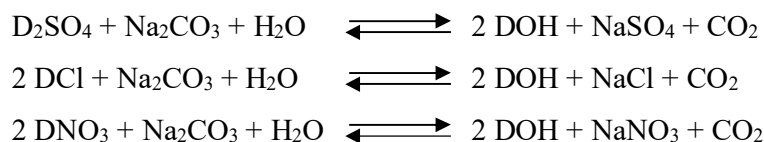
Dalam tangki anion exchanger terjadi reaksi sebagai berikut :



Pemakaian resin yang terus menerus menyebabkan resin tidak aktif lagi. Hal ini dapat diketahui dengan pemeriksaan kesadahan air umpan boiler. Resin yang sudah tidak aktif menunjukkan bahwa resin sudah tidak jenuh dan perlu diregenerasi. Regenerasi hydrogen exchanger dilakukan dengan menggunakan asam sulfat atau asam klorida. Dengan reaksi sebagai berikut :



Sedangkan regenerasi anion exchanger dengan menggunakan larutan Na₂CO₃ atau NaOH. Reaksi yang terjadi sebagai berikut :



Setelah keluar dari demineralisasi, air umpan boiler telah terbebas dari ion-ion pengganggu. Untuk memenuhi kebutuhan umpan boiler, air lunak ditampung dalam bak air lunak (F-422) yang selanjutnya dipompa (L-423) ke bak air boiler (F-431).

Dari bak air boiler, air dipompa (L-432) menuju deaerator (D-433) untuk menghilangkan gas impurities pada air umpan boiler dengan sistem pemanasan. Dari deaerator air ditampung dalam bak boiler feed water (F-434) dan siap diumpankan ke boiler (Q-430) dengan menggunakan pompa (L-435). Steam yang dihasilkan boiler didistribusikan ke peralatan dan kondensat yang dihasilkan direcycle.

b. Pengolahan air pendingin

Untuk memenuhi kebutuhan air pendingin, air dari bak air lunak (F-422) dipompa (L-424) ke bak air pendingin (F-425) kemudian didistribusikan ke peralatan dengan pompa (L-426). Setelah digunakan, air direcycle ke cooling tower (P-427) dan selanjutnya dari cooling tower, air direcycle ke bak air pendingin kembali.

c. Pengolahan air proses

Untuk memenuhi kebutuhan air proses, air dari bak air lunak (F-422) dipompa ke peralatan dengan menggunakan pompa (L-428).

d. Pengolahan air sanitasi

Air dari bak air bersih (F-418) dialirkan dengan pompa (L-441) menuju bak klorinasi (F-440) dan ditambahkan desinfektan klor (Cl_2) sebanyak 1 ppm yang diinjeksikan langsung ke dalam pipa. Dari bak klorinasi, air dialirkan menuju bak air sanitasi (F-443) dengan menggunakan pompa (L-442) dan siap digunakan sebagai air sanitasi.

8.2. Unit Penyediaan Air

Berfungsi untuk memenuhi kebutuhan air baik ditinjau dari segi kuantitas maupun kualitasnya. Dari segi kuantitas air merupakan jumlah kebutuhan air yang harus dipenuhi sedangkan dari segi kualitas air menyangkut syarat air yang harus dipenuhi.

8.2.1. Air Umpan Boiler

Air umpan boiler merupakan bahan baku pembuatan steam yang berfungsi sebagai media pemanas. Kebutuhan steam Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat sebesar 907,6530 kg/jam. Air umpan boiler yang disediakan dengan excess 20% sebagai pengganti steam yang hilang yang diperkirakan adanya kebocoran akibat transmisi dan faktor keamanan 20%. Sehingga kebutuhan air umpan boiler adalah sebanyak 1568,4970 kg/jam.

Air untuk keperluan ini harus memenuhi syarat-syarat agar tidak merusak boiler (ketel), maka air umpan boiler harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Total padatan (total dissolved solid) = 3500 ppm
- Alkalinitas = 700 ppm
- Padatan terlarut = 300 ppm
- Silica = 60 - 100 ppm
- Besi = 0,1 mg/L
- Tembaga = 0,5 mg/L
- Oksigen = 0,007 mg/L
- Kesadahan (hardness) = 0
- Kekeruhan = 175 ppm
- Minyak = 7 ppm
- Residual fosfat = 140 ppm

(Perry, 6th ed, hal 9-76)

Selain harus memenuhi persyaratan tersebut, air umpan boiler harus bebas dari :

- Zat-zat yang menyebabkan korosi, yaitu gas-gas terlarut seperti O₂, CO₂, H₂S, NH₃.
- Zat-zat yang dapat menyebabkan busa yaitu organik, anorganik dan zat tak terlarut dalam jumlah besar.

Untuk memenuhi persyaratan tersebut dan mencegah kerusakan pada boiler, sebelum digunakan air boiler harus diolah dulu, melalui :

- Demineralisasi, untuk menghilangkan ion-ion pengganggu.
- Daerator, untuk menghilangkan gas-gas terlarut.

8.2.2. Air pendingin

Air berfungsi sebagai media pendingin pada alat perpindahan panas. Hal ini disebabkan karena :

- Air merupakan materi yang banyak didapat.
- Mudah dikendalikan dan dikerjakan.
- Dapat menyerap panas.
- Tidak mudah menyusut karena pendinginan.
- Tidak mudah terkondensasi.

Selain sebagai media pendingin air harus memenuhi persyaratan tertentu yaitu tidak mengandung :

- Besi penyebab korosi.
- Silica penyebab kerak.
- Hardness yang memberikan efek pada pembuatan kerak.
- Minyak penyebab turunnya efisiensi heat transfer yang merupakan makanan mikroba yang dapat menyebabkan terbentuknya endapan.

(Jenny Ernawati, Ir hal 69)

Air pendingin pada Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat ini sebesar 9984,7368 kg/jam yang digunakan pada Chill Conveyor (J-220). Dengan excess 20% dari kebutuhan dan untuk faktor keamanan 20% maka kebutuhan air pendingin adalah 14378,0210 kg/jam.

8.2.3. Air sanitasi

Air sanitasi digunakan untuk keperluan karyawan, laboratorium, kantor, air untuk mencuci, mandi, taman dan lain-lain. Air sanitasi yang dibutuhkan sebesar 647,5 kg/jam.

Standar air sanitasi yang harus dipenuhi :

- Syarat fisik :
 - Tidak berwarna
 - Tidak berbau
 - Tidak berbusa
 - Mempunyai suhu dibawah suhu udara
 - Kekeruhan kurang dari 1 ppm SiO_2
 - pH netral
 - Tidak berasa
- Syarat kimia
 - Tidak beracun
 - Tidak mengandung logam berat seperti Pb, As, Cr, Cd, Hg.
- Syarat mikrobiologis
 - Tidak mengandung kuman maupun bakteri, terutama bakteri patogen yang dapat merubah sifat fisik air

(Salvato Jr, hal 34)

8.2.4. Air proses

Air proses pada Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat ini sebesar 8258,8553 kg/jam, yang digunakan pada tangki pelarut (M-230).

8.3. Unit Penyediaan Tenaga Listrik

Listrik yang dibutuhkan pada Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat ini meliputi :

- Proses : 4578,8933 kW
- Penerangan : 133,4800 kW

Kebutuhan listrik untuk proses, penerangan, instrumen dan lain-lain dipenuhi oleh PLN. Sedangkan apabila ada listrik padam, maka digunakan dua buah generator AC bertenaga diesel berkekuatan 6493,2632 kW dengan satu buah sebagai cadangan.

8.4. Unit Penyediaan Bahan Bakar

Bahan bakar yang dibutuhkan oleh pabrik, yaitu pada boiler sebesar 20,7669 lb/jam. Bahan bakar yang digunakan adalah Diesel Oil, pemilihan jenis bahan bakar yang digunakan berdasarkan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

- Harganya relatif murah
- Mudah didapat
- Viskositasnya relatif rendah sehingga mudah mengalami pengabutan
- Heating valuenya relatif tinggi
- Tidak menyebabkan kerusakan pada alat-alat

Dari Perry 6th ed. tabel 9.9 dan fig. 9-9, didapat :

- Flash point = 38°C (100°F)
- Pour point = -6°C (21,2°F)
- Densitas = 55 lb/ft³
- Heating value = 132000 Btu/gallon

8.5. Pengolahan Limbah

Pada Pra Rencana Pabrik natrium Metasilikat ini memiliki kepedulian terhadap lingkungan di sekitarnya. Bentuk kepedulian tersebut antara lain diwujudkan melalui

pemantauan analisa mengenai dampak lingkungan, menyusun rencana pengelolaan lingkungan dan rencana pemantauan lingkungan.

Limbah utama Pabrik Natrium Metasilikat ini adalah limbah gas yang berasal dari proses, seperti gas panas sisa yang keluar dari dryer, gas-gas sisa dari hasil pembakaran bahan bakar, serta produk berupa debu dan uap air yang terikut ke cyclone.

Untuk mengatasinya, berbagai macam gas buangan tersebut dilewatkan melalui sebuah cerobong (stack gas) yang cukup tinggi, sehingga tidak mengganggu lingkungan dan masyarakat sekitar.

BAB IX

LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK

IX.1. Penentuan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi dari suatu perusahaan sangat penting sehubungan dengan perkembangan ekonomi sosial kemasyarakatan. Hal ini akan berpengaruh pada kedudukan perusahaan dalam persaingan serta kelangsungan hidup perusahaan selanjutnya.

Oleh karena itu perlu diadakan seleksi dan evaluasi, sehingga lokasi terpilih benar-benar memenuhi persyaratan bila ditinjau dari segala segi. Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi pabrik dapat digolongkan menjadi dua, yaitu :

1. Faktor utama
 - a. Penyediaan bahan baku
 - b. Pemasaran (marketing)
 - c. Utilitas (bahan bakar, sumber air dan listrik)
 - d. Keadaan geografis dan masyarakat
2. Faktor khusus
 - a. Transportasi
 - b. Tenaga kerja
 - c. Buangan pabrik
 - d. Pembuangan limbah
 - e. Karakteristik dari lokasi
 - f. Peraturan perundang-undangan

IX.1.1. Faktor Utama

a. Penyediaan bahan baku

Ketersediaan dan harga bahan baku sering menentukan penentuan lokasi dari suatu perusahaan/pabrik. Ditinjau dari faktor ini, maka pabrik hendaknya didirikan di dekat dengan sumber bahan baku, yang meliputi :

- Letak sumber bahan baku
- Kapasitas sumber bahan baku tersebut dan berapa lama sumber tersebut dapat diandalkan pengadaannya.
- Kualitas bahan baku yang ada serta apakah kualitas ini sesuai dengan persyaratan yang dibutuhkan.
- Cara mendapatkan bahan baku dan pengangkutannya.

b. Pemasaran (Marketing)

Marketing merupakan salah satu faktor yang sangat penting di dalam suatu pabrik atau industri karena berhasil tidaknya pemasaran akan menentukan keuntungan industri tersebut. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Dimana produk akan dipasarkan (daerah marketing).
- Proyeksi kebutuhan produk pada masa sekarang dan akan datang.
- Pengaruh persaingan dagang.
- Jarak pemasaran dari lokasi dan bagaimana sarana pengangkutan untuk mencapai daerah pemasaran.

c. Utilitas

Faktor utilitas menjadi sangat penting karena menyangkut kelancaran proses produksi. Utilitas meliputi kebutuhan air, listrik dan bahan bakar.

1. Air

Air merupakan yang sangat penting akan suatu industri kimia. Air digunakan untuk keperluan industri proses, media pendingin, air umpan boiler, air sanitasi serta kebutuhan lainnya. Untuk memenuhi kebutuhan ini, air dapat diambil dari tiga macam sumber, yaitu air sungai, air kawasan dan air PDAM.

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Sampai berapa jauh sumber ini dapat melayani pabrik.
- Kualitas sumber air yang tersedia.
- Pengaruh musim terhadap kemampuan penyediaan air.

Untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari diambil dari dua sumber : air sungai dan air PDAM. Air sungai diolah terlebih dahulu pada unit utilitas untuk menghasilkan air yang berkualitas sesuai dengan ketentuan. Apabila dalam masa kemarau air sungai surut maka digunakan air PDAM untuk memenuhi

kebutuhan sehari-hari. Jadi air PDAM hanya bersifat cadangan. Air PDAM juga digunakan untuk sanitasi dan untuk kebutuhan proses (air pendingin).

2. Listrik dan bahan bakar

Listrik dan bahan bakar dalam industri mempunyai peranan yang sangat penting terutama sebagai motor penggerak, selain sebagai penerangan dan untuk memenuhi kebutuhan karyawan lainnya.

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Ada atau tidaknya serta jumlah tenaga listrik di daerah tersebut.
- Harga tenaga listrik di daerah tersebut.
- Persediaan tenaga listrik dan bahan bakar di masa mendatang.
- Mudah atau tidaknya mendapatkan bahan bakar.

Sumber listrik diperoleh dari PLN, walaupun demikian tenaga generator sangat diperlukan sangat diperlukan sebagai cadangan yang harus siap bila setiap saat diperlukan karena listrik PLN tidak akan selamanya berfungsi dengan baik yang disebabkan pemeliharaan atau perbaikan listrik.

d. Keadaan geografis dan masyarakat

Keadaan geografis dan masyarakat harus mendukung iklim industri untuk menciptakan kenyamanan dan ketentraman dalam bekerja. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Kesiapan masyarakat setempat untuk berubah menjadi masyarakat industri.
- Keadaan geografis yang menyulitkan konstruksi akan berpengaruh terhadap spesifikasi peralatan dan konstruksi peralatan.
- Gempa bumi, banjir, angin topan dan lain-lain.
- Kondisi tanah tempat pabrik berdiri yang dapat menyulitkan pemasangan konstruksi bangunan atau peralatan proses.

IX.1.2. Faktor Khusus

a. Transportasi

Masalah transportasi perlu dipertimbangkan agar kelancaran supply bahan baku dan penyaluran produk akan dapat terjamin dengan biaya yang serendah mungkin serta dalam waktu yang singkat. Karena itu diperlukan faktor-faktor yang ada, seperti :

- Jalan raya yang dilalui kendaraan.
- Jalur rel kereta api.
- Sungai yang dapat dilayari kapal/perahu.
- Adanya pelabuhan dan lapangan udara.

b. Tenaga kerja

Kebutuhan tenaga kerja baik tenaga kerja kasar atau tenaga asli perlu diperhatikan karena akan berpengaruh terhadap kinerja dan kelancaran dari perusahaan. Tingkat pendidikan masyarakat dan tenaga kerja juga menjadi pendukung pendirian pabrik ini. Hal-hal yang diperhatikan dalam hal ini adalah :

- Mudah atau tidaknya mendapatkan tenaga yang diinginkan.
- Keahlian dan pendidikan tenaga kerja yang tersedia.
- Tingkat penghasilan tenaga kerja di daerah tersebut.

c. Buangan pabrik

Apabila buangan pabrik (waste disposal) berbahaya bagi kehidupan disekitarnya, maka yang harus diperhatikan adalah :

- Cara menentukan bentuk bangunan, terutama yang berhubungan dengan peraturan pemerintah dan peraturan setempat.
- Masalah polusi atau efek samping dari polusi yang mungkin timbul.

d. Pembuangan limbah

Hal ini berkaitan dengan dengan usaha pencegahan terhadap pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh buangan pabrik yang berupa gas, cair maupun padatan dengan memperhatikan ketentuan-ketentuan dari pemerintah.

e. Karakteristik dari lokasi

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan lokasi ini adalah :

- Apakah lokasi tersebut merupakan daerah bebas sawah, rawa, bukit dan sebagainya.
- Harga tanah yang relatif rendah memungkinkan untuk perluasan pabrik dan fasilitas pendukung lainnya.
- Apakah termasuk daerah pedesaan atau perkotaan.

f. Peraturan perundang-undangan

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Ketentuan-ketentuan mengenai daerah tersebut.

- Ketentuan mengenai jalur untuk berdirinya industri di daerah tersebut.
- Peraturan perundang-undangan dari pemerintah dan daerah setempat.

g. Faktor lingkungan di sekitar pabrik

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah :

- Adat istiadat atau kebudayaan daerah lokasi tersebut.
- Fasilitas perumahan, sekolah dan tempat ibadah.
- Fasilitas kesehatan dan rekreasi.

Berdasarkan beberapa pertimbangan faktor-faktor di atas, maka daerah yang menjadi alternatif pilihan lokasi pendirian Pabrik Natrium Metasilikat adalah di daerah Tunah, Kabupaten Tuban, Jawa Timur.

Dasar pemilihan lokasi ini adalah :

a. Letak Sumber Bahan Baku

Bahan baku dapat diperoleh di daerah Tuban dan sekitarnya, dimana daerah ini merupakan daerah kawasan pantai yang merupakan daerah pasir silica.

b. Sarana Pemasaran

Dengan melihat pangsa pasar yang prospektif maka produk ini bias dikatakan memenuhi pangsa pasar tersebut. Distribusi dan pemasaran dari produk dapat dilakukan melalui kota Surabaya, dimana segala fasilitas telah tersedia karena kedudukan Surabaya sebagai Ibukota propinsi Jawa Timur.

c. Sarana Utilitas yang Memadai

Sarana utilitas meliputi air, bahan bakar dan listrik. Persediaan air merupakan syarat utama dalam rencana pendirian sebuah pabrik kimia. Kebutuhan air untuk Pra-Rencana Pabrik Natrium Metasilikat dapat dipenuhi oleh air yang diambil dari sungai yang terletak disekitar pabrik.

Agar produksi dari pabrik ini tidak bergantung pada supply listrik dari PLN dan untuk menghemat biaya, maka didirikan unit-unit pembangkit listrik sendiri, sehingga PLN digunakan apabila pabrik tidak beroperasi dan apabila generator ada kerusakan. Dengan demikian pabrik diharapkan dapat berjalan dengan lancar. Bahan bakar untuk pabrik ini mudah diperoleh dari Pertamina terdekat.

d. Fasilitas Transportasi yang Memadai

Sebagai daerah kawasan industri, Tuban memiliki sarana transportasi yang memadai, baik melalui darat (jalur kereta api dan jalan tol ke berbagai daerah lain), laut (Pelabuhan Tanjung Perak), maupun udara (Bandara Juanda) sehingga mempermudah distribusi bahan baku maupun produk yang dihasilkan.

e. Tersedianya Tenaga Kerja yang Cukup

Kebutuhan tenaga kerja baik tenaga buruh maupun tenaga ahli mudah diperoleh di Tuban karena merupakan daerah yang dekat dengan kawasan industri.

f. Karakteristik Lokasi

Karakteristik lokasi ini menyangkut iklim serta kondisi sosial masyarakat di daerah Kabupaten Tuban, memiliki kekayaan.

g. Perluasan Pabrik

Di daerah Tunah, Kabupaten Tuban, Jawa Timur memiliki kemungkinan untuk perluasan pabrik karena masih mempunyai areal yang cukup luas.



Gambar IX.1, Lokasi Pabrik Natrium Metasilikat

Keterangan :

- Menunjukkan lokasi pabrik

IX.1.3. Tata Letak Pabrik (Plant Layout)

Plant Layout Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat perlu disusun sebelum pembangunan infrastruktur pabrik seperti perpipaan, listrik dan peralatan proses untuk menciptakan kegiatan operasional yang baik, konstruksi yang ekonomis, distribusi dan transportasi (bahan baku, proses dan produk) yang efektif, ruang gerak karyawan yang memadai sehingga kenyamanan dan keselamatan kerja alat maupun seluruh karyawan terpenuhi.

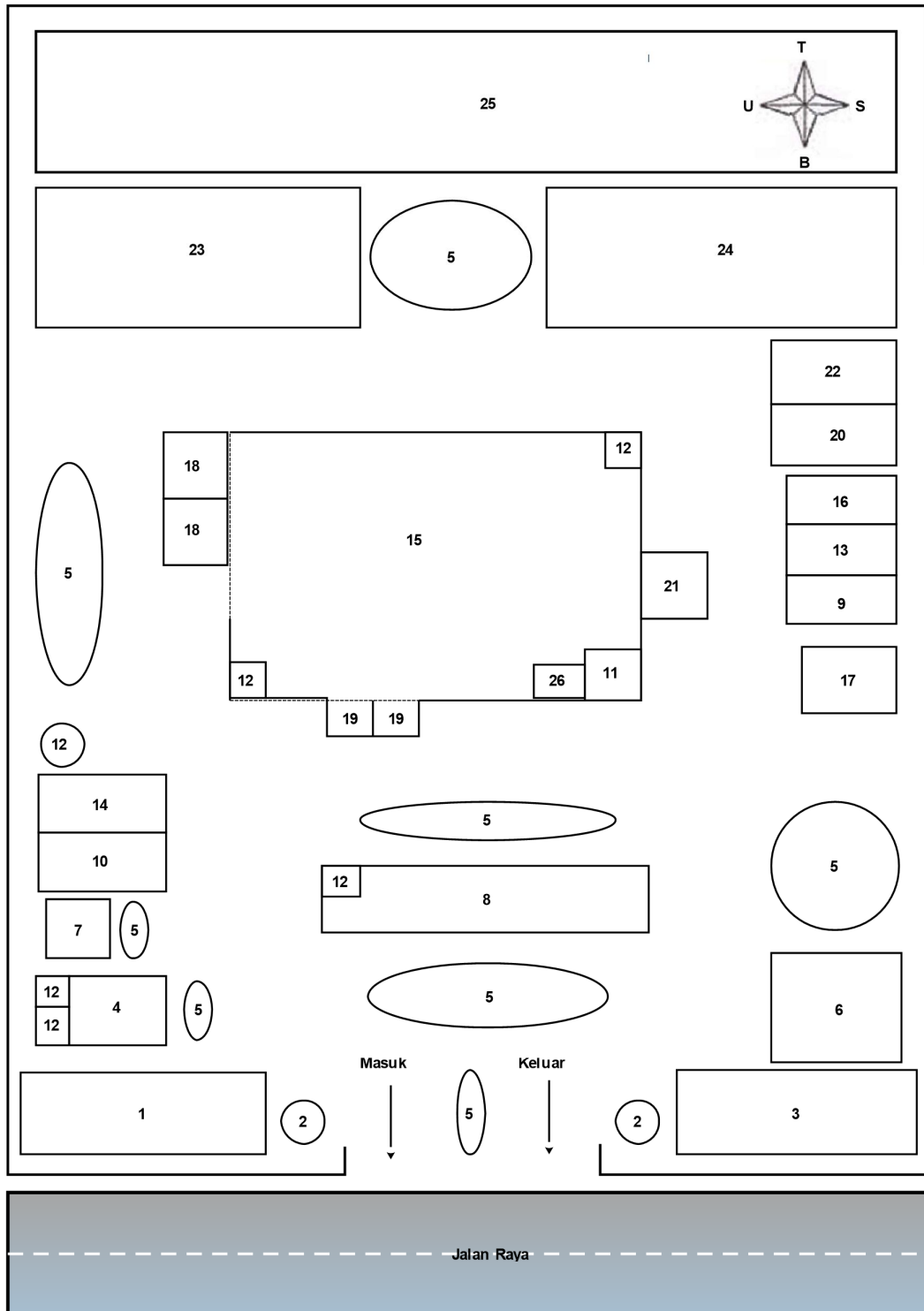
Layout pabrik ini dibagi menjadi 2 bagian besar, yaitu :

- a. Tata ruang pabrik (plant layout)
- b. Tata letak peralatan proses (process layout)

a. Tata Ruang Pabrik (Plant Layout)

Tata letak pabrik merupakan suatu peletakan bangunan dan peralatan dalam pabrik, yaitu meliputi areal proses, areal penyimpanan serta areal material handling, sedemikian rupa sehingga pabrik bisa beroperasi secara efektif dan efisien. Beberapa hal khusus yang perlu diperhatikan dalam pengaturan tata ruang pabrik (Plant Layout) Natrium Metasilikat adalah :

- Adanya ruangan yang cukup untuk pergerakan pekerja dan pemindahan barang-barang.
- Penempatan peralatan harus sedemikian rupa sehingga memudahkan dalam pemeliharaan.
- Pondasi dari bangunan dan peralatan kerja (mesin-mesin).
- Bentuk dari kerangka bangunan, pondasi, dinding serta atap.
- Distribusi secara ekonomis dari kebutuhan steam, air, listrik dan lain sebagainya.
- Kemungkinan perluasan di masa datang.
- Kemungkinan timbulnya bahaya-bahaya seperti kebakaran, ledakan, timbulnya gas-gas dan lain sebagainya.
- Masalah penyaluran zat-zat buangan pabrik.
- Penerangan dan ventilasi ruangan yang cukup.



Gambar IX.2. Tata Letak Pabrik Natrium Metasilikat

Keterangan Gambar :

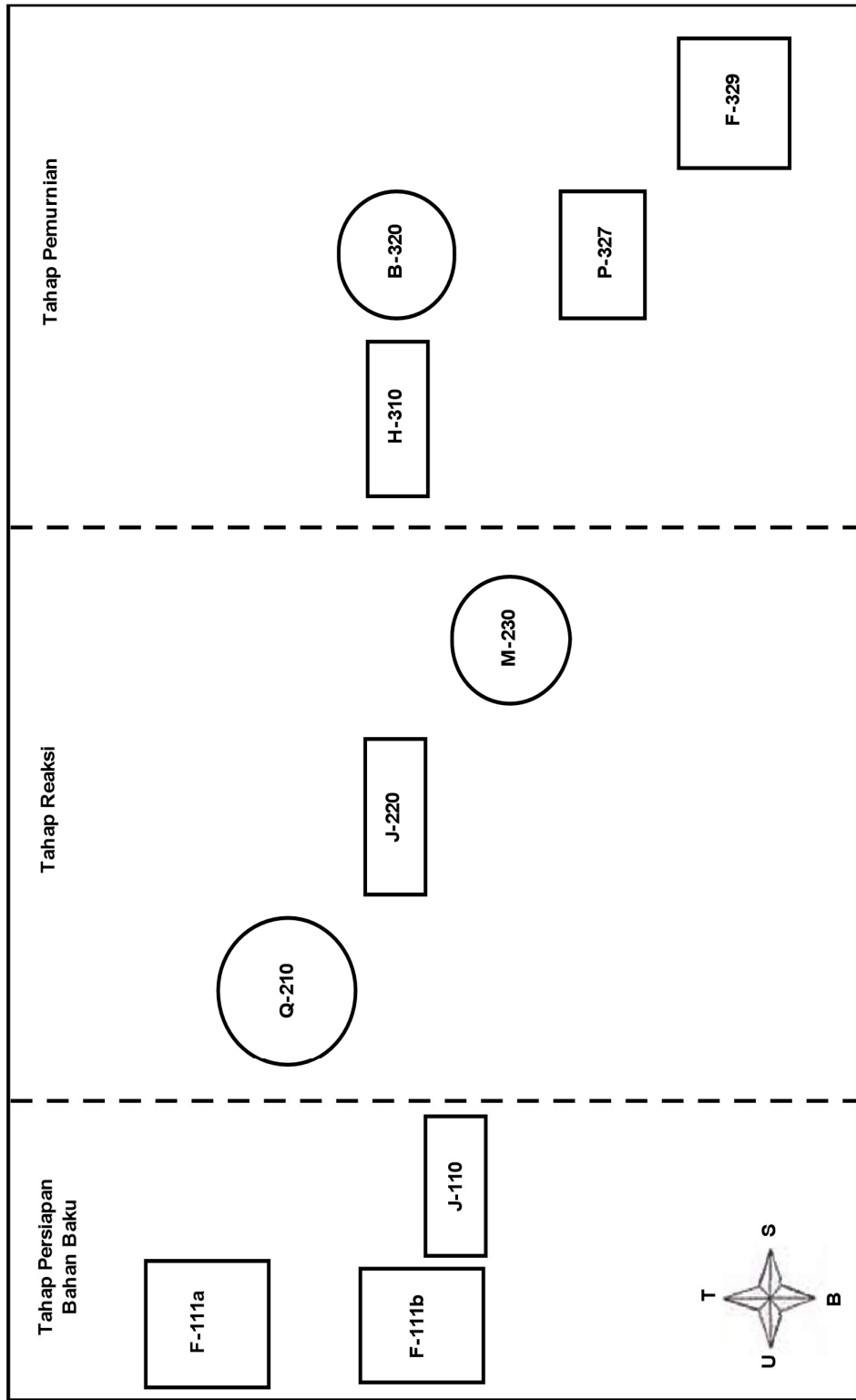
1. Parkir tamu
2. Pos keamanan
3. Parkir pegawai
4. Musholla
5. Taman
6. Aula
7. Poliklinik
8. Perkantoran dan tata usaha
9. Garasi
10. Kantin
11. Ruang kepala pabrik
12. Toilet
13. Bengkel
14. Perpustakaan
15. Ruang proses produksi
16. Areal tangki bahan bakar
17. Laboratorium
18. Ruang bahan baku
19. Gudang produk samping
20. Ruang genset
21. Gudang produk
22. Pemadam kebakaran
23. Areal waste treatment
24. Areal water treatment
25. Perluasan pabrik
26. Ruang kontrol

b. Tata Letak Peralatan Proses (Process Layout)

Dalam perencanaan *process layout* ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu :

- Aliran bahan baku dan produk
Pengaturan aliran bahan baku dan produk yang tepat dapat menunjang kelancaran dan keamanan produksi. Pemasangan elevasi perlu memperhatikan ketinggian. Biasanya pipa atau elevator dipasang pada ketinggian minimal 3 meter agar tidak mengganggu lalu lintas karyawan.
- Aliran udara
Aliran udara di sekitar area proses harus lancar agar tidak terjadi stagnasi udara pada tempat yang dapat menyebabkan akumulasi bahan kimia berbahaya sehingga mengancam keselamatan pekerja.
- Pencahayaan
Penerangan seluruh area pabrik terutama daerah proses harus memadai apalagi pada tempat-tempat yang prosesnya berbahaya sangat membutuhkan penerangan khusus.
- Lalu lintas manusia
Dalam perencanaan *process layout* perlu memperhatikan ruang gerak pekerja agar dapat mencapai seluruh alat proses dengan mudah dan cepat sehingga penanganan khusus seperti kerusakan alat (*trouble shooting*) dapat segera teratasi.
- Efektif dan efisien
Penempatan alat-alat proses diusahakan agar dapat menekan biaya operasi tapi sekaligus menjamin kelancaran dan keamanan produksi pabrik sehingga dapat menguntungkan dari segi ekonomis.
- Jarak antar alat proses
Untuk alat proses bertekanan tinggi atau bersuhu tinggi sebaiknya berjauhan dari alat lainnya agar bila terjadi ledakan atau kebakaran tidak cepat merambat ke alat proses lainnya.

Tata letak peralatan proses ini secara garis besar berorientasi pada keselamatan dan kenyamanan pekerja sehingga dapat meningkatkan produktifitas kerja.



Gambar IX.3. Tata Letak Peralatan Pabrik

Keterangan gambar :

F – 111 a : Open Storage SiO_2

F – 111 b : Storage Na_2CO_3

J – 110 : Auger

Q – 210 : Furnace

J – 220 : Chill Conveyor

M – 230 : Tangki Pelarut

H – 310 : Settling Tank

B – 320 : Spray Dryer

P – 327 : Mesin Pengemas

F – 329 : Gudang Produk (Na_2SiO_3)

BAB X

STRUKTUR ORGANISASI PERUSAHAAN

Suatu perusahaan biasanya memiliki suatu bentuk organisasi yang berfungsi sebagai suatu bentuk hubungan yang memiliki sifat dinamis, dalam arti dapat menyesuaikan diri terhadap segala sesuatu perubahan, yang pada hakekatnya merupakan suatu bentuk yang dengan sabar diciptakan manusia untuk mencapai suatu tujuan tertentu.

Pada umumnya organisasi dibuat dalam suatu struktur yang merupakan gambaran secara skematis tentang hubungan atau kerjasama antar departemen yang terdapat dalam kerangka usaha untuk mencapai suatu tujuan tersebut.

X.1. Umum

Bentuk Perusahaan	: Perseroan Terbatas (PT)
Lokasi Pabrik	: Daerah Tunah, Kabupaten Tuban, Jawa Timur
Kapasitas Produksi	: 50.000 ton/tahun
Modal	: Penanaman Modal Dalam Negeri (PMDN)

X.2. Bentuk Perusahaan

Pabrik Natrium Metasilikat ini direncanakan berstatus perusahaan swasta nasional yang berbentuk Perseroan Terbatas (PT), bentuk ini digunakan dengan alasan :

- a. Tanggung jawab pemegang saham terbatas sebagai segala sesuatu yang menyangkut perusahaan dipegang oleh pemimpin perusahaan.
- b. Pemilik dan pengurus perusahaan terpisah satu dengan yang lainnya. Pemilik PT adalah para pemegang saham, sedangkan pengurus adalah direksi beserta stafnya yang diawasi oleh dewan direksi.
- c. Mudah mendapatkan modal yaitu dari hasil penjualan saham setelah pabrik berjalan optimum dengan validitas yang jelas.
- d. Kehidupan sebuah PT lebih terjamin, karena tidak terpengaruh dengan berhentinya pemegang saham, direksi maupun stafnya dan juga karyawan perusahaan.

- e. Adanya efisiensi dalam manajemen, para pemegang saham dapat memilih orang pat digunakan yang ahli sebagai dewan komisaris, juga dapat memilih direktur utama yang cakap dan berpengalaman.

X.3. Struktur Organisasi

Struktur organisasi yang digunakan adalah sistem garis dan staff. Beberapa hal yang menjadikan alasan pemilihan adalah :

- a. Sistem organisasi garis dan staf sering digunakan dalam perusahaan yang memproduksi secara massal.
- b. Biasa diterapkan pada organisasi yang cukup besar dengan produksi kontinyu.
- c. Masing-masing kepala bagian atau manager secara langsung bertanggung jawab atas aktivitas yang dilakukan untuk mencapai tujuan.
- d. Terdapat kesatuan pimpinan dan perintah, sehingga disiplin kerja lebih baik.
- e. 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 staf ahli yang bertugas memberikan saran kepada direktur.

Di samping alasan tersebut ada beberapa kebaikan yang dapat mendukung pemakaian sistem organisasi garis dan staf yaitu :

- a. Dapat digunakan oleh setiap organisasi besar, apapun tujuannya, betapapun luas tugasnya dan betapapun kompleks susunan organisasinya.
- b. Pengambilan keputusan yang sehat lebih mudah diambil, karena adanya staf ahli.
- c. Perwujudan "the right man in the right place" lebih mudah dilaksanakan.

Dari kelebihan-kelebihan sistem organisasi garis dan staf di atas maka dapat dipakai sebagai pertimbangan untuk menentukan sistem organisasi perusahaan pada Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat ini. Pembagian tanggung jawab dan wewenang berdasarkan departementasi. Pada setiap departemen dibagi lagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yaitu divisi. Selanjutnya tiap divisi dibagi lagi menjadi unit-unit.

Setiap departemen dipimpin oleh seorang manajer yang dibantu oleh asisten manajer, sedangkan untuk divisi dikepalai oleh seorang divisi manajer yang dibantu oleh asisten divisi manager.

X.4. Pembagian Tugas dan Tanggung Jawab (Job Description)

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.

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 bertentangan dengan anggaran dasar dari perseroan tersebut.

Tugas dewan komisaris :

- Menentukan kebijaksanaan perusahaan.
- Mengadakan evaluasi/pengawasan tentang hasil yang diperoleh perusahaan.
- Memberikan nasihat kepada direktur bila direktur ingin mengadakan perubahan dalam perusahaan.
- Menyetujui atau menolak rancangan yang diajukan direktur.

3. Direktur Utama

Direktur utama adalah pemimpin perusahaan yang bertanggung jawab pada perusahaan induk, dimana direktur utama membawahi :

- Direktur teknik dan produksi.
- Direktur keuangan dan administrasi.

Tugas dan wewenang direktur utama adalah :

- Bertanggung jawab kepada dewan komisaris.
- Menetapkan kebijaksanaan peraturan dan tata tertib baik keluar maupun ke dalam perusahaan.
- Mengkoordinasi kerja sama antara direktur teknik dan produksi dengan Direktur Keuangan dan Administrasi.

- Mengatur dan mengawasi keuangan perusahaan.
- Bertanggung jawab atas kelancaran perusahaan.

4. Penelitian dan Pengembangan (R&D)

Research and Development terdiri atas ahli-ahli sebagai pembantu direktur dan bertanggung jawab kepada direktur.

Research and Development membawahi dua departemen :

- Departemen Pemeliharaan
- Departemen Pengembangan

Tugas dan wewenang:

- Mempelajari mutu serta produk
- Memperbaiki proses dari pabrik atau perencanaan alat-alat pengembang produksi
- Mengadakan penelitian pemasaran produk ke suatu tempat
- Mempertinggi efisiensi kerja

5. Direktur Produksi dan Teknik

Direktur Produksi dan Teknik diangkat dan diberhentikan oleh direktur utama.

Direktur Produksi dan Teknik memiliki tugas antara lain :

- Bertanggung jawab pada direktur utama pada bidang produksi, teknik dan pemasaran.
- Mengkoordinir, mengatur serta mengawasi pelaksanaan pekerjaan kepala-kepala bagian yang menjadi bawahannya.

6. Direktur Keuangan dan Administrasi

Direktur Administrasi dan Keuangan memiliki ruang lingkup kerja yang lebih luas dari manager produksi dan teknik. Direktur administrasi dan keuangan bertanggung jawab atas segala kegiatan kerja di luar produksi. Semua manajemen perusahaan diatur dan dijalankan oleh bagian administrasi, termasuk strategi pemasaran, pengaturan keuangan perusahaan, hubungan masyarakat dan mengatur masalah ketenagakerjaan.

7. Manager

Merupakan orang yang memanager-orang agar bekerja sesuai dengan yang dikehendaki. Manager terdiri dari :

a. Plant Manager

- Bertanggung jawab kepada Direktur Teknik dan Produksi.
- Mengkoordinir dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan kepala-kepala biro.

- Melakukan tugas-tugas yang diberikan oleh direktur.

b. Office Manager

- Bertanggung jawab kepada Direktur Administrasi.
- Mengkoordinir dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan kepala-kepala biro.
- Melakukan tugas-tugas yang diberikan oleh direktur.

8. Kepala Departemen

Secara umum tugas kepala departemen adalah mengkoordinir, mengatur dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan dalam lingkungan bagiannya sesuai dengan garis-garis yang diberikan oleh pimpinan perusahaan.

Kepala Departemen terdiri dari :

a. Departemen Quality Control (Pengendalian Mutu)

Departemen QC bertugas mengawasi mutu bahan baku yang diterima dan produk yang dihasilkan. Selama mengawasi mutu produk, tidak hanya produk jadi saja yang dianalisis tapi juga pada setiap tahapan proses.

- Divisi Jaminan Mutu

Divisi Jaminan Mutu bertanggung jawab kepada Departemen Quality Control yang bertugas untuk melakukan penganalisaan, pengujian dan pengawasan terhadap bahan mentah yang dipasok dan produk (Natrium Metasilikat) yang sudah jadi agar sesuai standar yang telah ditentukan.

- Divisi Pengendalian Proses

Divisi Pengendalian Proses bertanggung jawab kepada Departemen Quality Control untuk mengendalikan kualitas bahan selama proses produksi yang sedang berlangsung, yaitu mengatur komponen bahan baku (raw mix design) sehingga didapat produk dengan kualitas yang diinginkan.

b. Departemen Produksi

Kepala Dept. Produksi bertanggung jawab atas jalannya proses produksi sesuai yang direncanakan, termasuk merencanakan kebutuhan bahan baku agar target produksi terpenuhi.

- Divisi Produksi

Divisi Produksi bertanggung jawab kepada kepala Dept. Produksi atas kelancaran proses. Divisi ini juga mengatur pembagian shift dan kelompok kerja

sesuai spesialisasinya pada masing-masing tahapan proses dan mengendalikan kondisi operasi sesuai prosedurnya.

- Divisi Bahan Baku

Bertanggung jawab kepada kepala Dept. Produksi atas ketersediaan bahan baku yang dibutuhkan sesuai banyaknya produksi yang diinginkan sehingga tidak terjadi kekurangan atau kelebihan, mengatur aliran distribusi bahan baku dari storage ke dalam proses.

- c. Departemen Teknik

Kepala Dept. Teknik bertanggung jawab atas kelancaran alat-alat proses selama produksi berlangsung, termasuk pemeliharaan alat proses dan instrumentasinya. Apabila ada keluhan pada alat penunjang produksi maka dept. teknik langsung mengatasi masalahnya.

- Divisi Utilitas

Bertanggung jawab kepada kepala dept. teknik mengenai kelancaran alat-alat utilitas.

- Divisi Bengkel dan Perawatan

Bertugas memperbaiki alat-alat atau instrumen yang rusak, baik alat produksi maupun peralatan utilitas. Divisi ini juga diharapkan menciptakan alat-alat yang inovatif untuk menunjang kelancaran produksi.

- d. Departemen Pemasaran

Kepala Dept. Pemasaran bertanggung jawab dalam mengatur masalah pemasaran produk, termasuk juga melakukan research marketing agar penentuan harga dapat bersaing di pasaran, menganalisis strategi pemasaran perusahaan maupun kompetitor, mengatur masalah distribusi penjualan produk ke daerah-daerah, melakukan promosi pada berbagai media massa baik cetak maupun elektronik agar produk dapat terserap konsumen.

- Divisi Pembelian

Bertanggung jawab kepada kepala dept. pemasaran mengenai pembelian bahan baku, alat-alat yang menunjang proses.

- Divisi Penjualan

Bertanggung jawab kepada kepala dept. pemasaran mengenai penjualan produk pada berbagai daerah distribusi sekaligus mensurvei kebutuhannya agar dapat dipasok setiap saat.

- Divisi Promosi dan Periklanan

Melakukan promosi ke berbagai sumber tentang kelebihan produk perusahaan minimal masyarakat konsumen mengetahui produk yang diproduksi perusahaan.

- Divisi Research Marketing

Melakukan analisis pasar untuk memenangkan persaingan dengan kompetitor dan selalu membuat strategi pemasaran setiap saat sesuai perkembangan di lapangan.

e. Departemen Keuangan dan Akuntansi

Kepala Dept. Keuangan dan Akuntansi bertanggung jawab mengatur neraca perusahaan dengan melakukan pembukuan sebaik-baiknya, baik pemasukan ataupun pembelajaan untuk kebutuhan perusahaan, selain itu juga membayarkan gaji ke rekening bank tiap karyawan pada setiap akhir bulan. Dan juga membayarkan jaminan sosial atas pemutusan hak kerja (PHK) karyawan. Dept. Keuangan dan Akuntansi membawahi 2 divisi yaitu :

- Divisi Pembukuan

- Divisi Keuangan

f. Departemen Umum

Kepala Dept. Umum bertugas untuk merencanakan dan mengelola hal-hal yang bersifat umum. Departemen ini mengatur masalah administrasi, keamanan dan keselamatan, lingkungan serta hubungan antara perusahaan dengan pihak lain, baik dengan masyarakat, pemerintah maupun dengan perusahaan lain. Departemen ini membawahi 4 divisi :

- Divisi Humas

Divisi Humas bertugas menjalin hubungan kemasyarakatan baik di dalam perusahaan, antar instansi ataupun dengan masyarakat setempat ataupun dengan pihak pemerintah, sehingga diharapkan dengan kerjasama yang baik kelangsungan dan kelancaran perusahaan dapat berjalan dengan baik.

- Divisi Personalia
Divisi Personalia bertugas untuk menyaring dan menyeleksi calon pegawai/pekerja baru serta mendistribusikan pekerja sesuai dengan keahlian dan kemampuan yang dimilikinya.
- Divisi Administrasi
Divisi ini bertugas untuk menjalankan kegiatan administrasi perusahaan, mulai dari surat menyurat, absensi karyawan, pendataan sampai pendistribusian gaji.
- Divisi Keamanan dan Keselamatan
Divisi Keamanan bertugas untuk menjaga keamanan perusahaan meliputi pengontrolan setiap kendaraan yang masuk perusahaan baik kendaraan bahan baku, produk, sampai kendaraan tamu. Dan juga menjaga keamanan dan ketertiban di lingkungan kerja di seluruh area pabrik.
- Divisi Kebersihan
Divisi Kebersihan bertugas menjaga kenyamanan, keindahan, perusahaan dari mulai keindahan taman, toilet sampai kebersihan gudang dan produksi.
- Divisi Transportasi
Divisi ini mengatur penggunaan transportasi mulai dari penyediaan bahan baku sampai ke transportasi untuk pemasaran produk-produk yang dihasilkan.

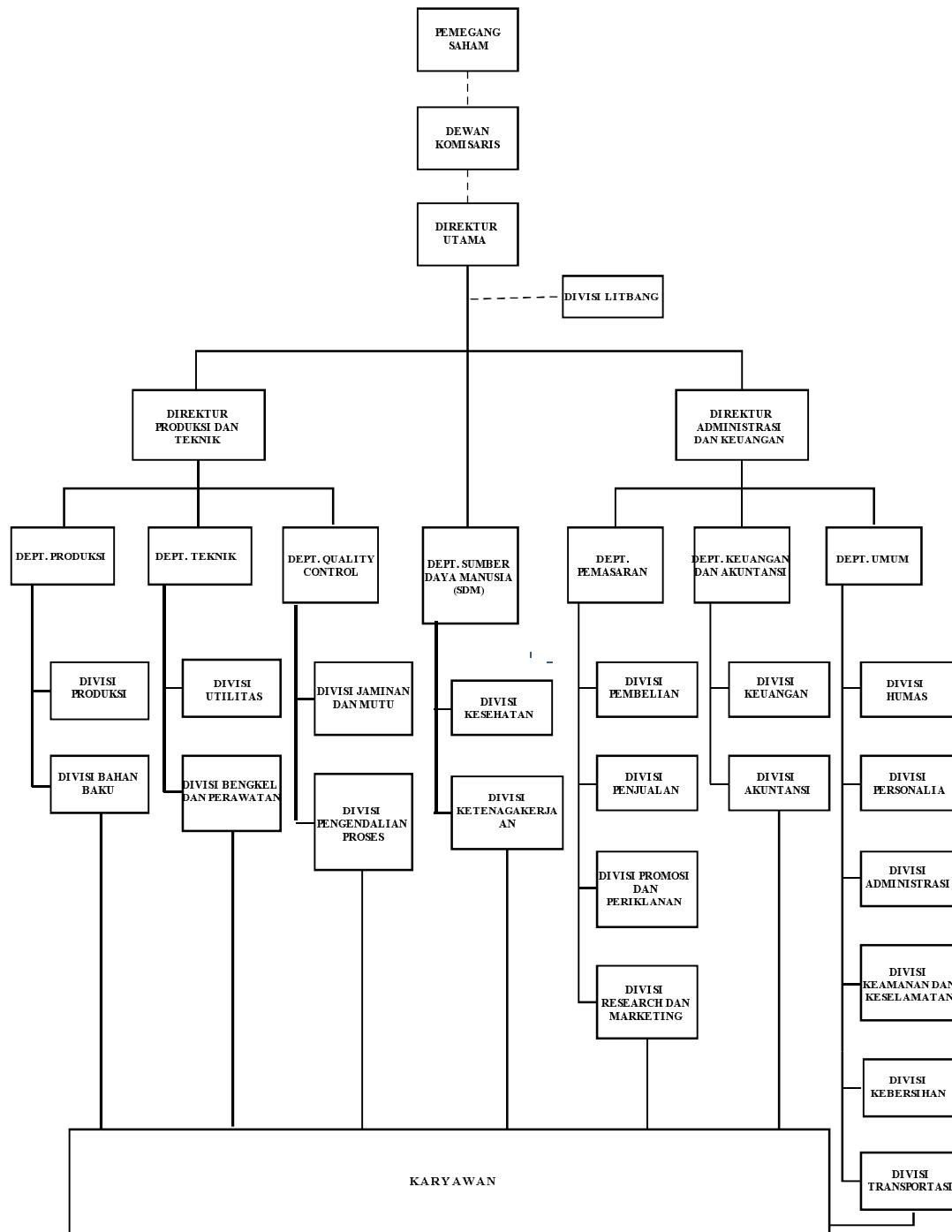
g. Departemen Sumber Daya Manusia (SDM)

Kepala Dept. SDM bertugas merencanakan, mengelola dan mendayagunakan SDM, baik yang telah bekerja ataupun yang akan dipekerjakan. Selain itu Dept. SDM mengatur masalah jenjang karier dan masalah penempatan karyawan, atau pemindahan karyawan antar departemen atau antar divisi sesuai dengan tingkat prestasinya.

- Divisi Kesehatan
Bertugas memperhatikan kesehatan karyawan. Apabila poliklinik yang tersedia tidak dapat mengatasi masalah kesehatan karyawan maka dapat diintensifkan di rumah sakit langganan perusahaan sesuai kebutuhan pengobatan.
- Divisi Ketenagakerjaan
Mengatur kesejahteraan karyawan seperti pemberian fasilitas atau bonus perusahaan untuk karyawan yang berprestasi. Divisi ketenagakerjaan juga perlu

memperhatikan prestasi-prestasi yang dibuat oleh karyawan guna meningkatkan jenjang karier dan kebijakan lainnya.

Struktur organisasi Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat dapat dilihat pada gambar X.1



Gambar X.1 Struktur Organisasi Pabrik Natrium Metasilikat

X.5. Jaminan Sosial

Jaminan sosial adalah jaminan yang diterima oleh pihak karyawan jika terjadi sesuatu hal yang bukan karena kesalahannya menyebabkan dia tidak dapat melakukan pekerjaan.

Jaminan sosial yang diberikan oleh perusahaan pada karyawan adalah :

a. Tunjangan

- Tunjangan di luar 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 (misal helm, sarung tangan, sepatu boot, kaca mata pelindung dan lain-lain), 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 dengan ketentuan sebagai berikut :

- Untuk pengobatan dan perawatan yang dilakukan pada rumah sakit yang telah ditunjuk dan diberikan secara cuma-cuma.
- Karyawan yang mengalami kecelakaan atau terganggu kesehatannya dalam menjalankan tugas perusahaan, akan mendapat penggantian ongkos pengobatan penuh.

d. Insentive atau bonus

Insentive diberikan dengan tujuan untuk meningkatkan produktivitas dan merangsang gairah kerja karyawan. Besarnya insentive ini dibagi menurut golongan dan jabatan. Pemberian insentive untuk golongan operatif (golongan kepala seksi ke bawah) diberikan setiap bulan sedangkan untuk golongan di atasnya 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 bulan bagi tenaga kerja wanita.
- Cuti untuk keperluan dinas atas perintah atasan berdasarkan kondisi tertentu perusahaan.

X.6. Jadwal dan Jam Kerja

Pabrik Natrium Metasilikat ini direncanakan akan beroperasi selama 330 hari dalam setahun dan 24 jam per hari, sisa harinya digunakan untuk pembersihan serta perbaikan dan perawatan peralatan proses produksi, atau yang dikenal dengan istilah shut down.

a. Untuk pegawai non shift

Bekerja selama 6 hari dalam seminggu (total kerja 40 jam per minggu) sedangkan hari minggu dan hari besar libur. Pegawai non shift ini termasuk karyawan yang tidak langsung menangani operasi pabrik, misalnya : direktur, kepala departemen, kepala divisi, karyawan kantor/administrasi dan divisi-divisi di bawah tanggung jawab non teknik atau yang bekerja di pabrik dengan jenis pekerjaan tidak kontinyu.

Ketentuan jam kerja adalah sebagai berikut :

- Senin – Kamis : 08.00 – 16.00 WIB (istirahat : 12.00 – 13.00 WIB)
- Jum'at : 08.00 – 16.00 WIB (istirahat : 11.00 – 13.00 WIB)
- Sabtu : 08.00 – 16.00 WIB (istirahat : 12.00 – 13.00 WIB)

b. Untuk pegawai shift

Sehari bekerja 24 jam, yang terbagi dalam 3 shift. Karyawan shift ini termasuk karyawan yang secara langsung menangani proses operasi pabrik, misalnya : kepala shift, operator, karyawan-karyawan shift, gudang serta keamanan dan keselamatan kerja. Ketentuan jam kerja pegawai shift sebagai berikut :

Shift I : 07.00 – 15.00 WIB

Shift II : 15.00 – 23.00 WIB

Shift III : 23.00 – 07.00 WIB

Jadwal kerja dibagi dalam empat minggu dan empat kelompok (regu). Setiap kelompok kerja akan mendapatkan libur satu kali dari tiga kali shift. Jadwal kerja karyawan shift dapat dilihat pada tabel X.1.

Tabel X.1. Jadwal Kerja Karyawan Pabrik Natrium Metasilikat

R E G U	HARI											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	P	P	P	L	M	M	M	L	S	S	S	L
II	S	S	L	P	P	P	L	M	M	M	L	S
III	M	L	S	S	S	L	P	P	P	L	M	M
IV	L	M	M	M	L	S	S	S	L	P	P	P

Keterangan :

- P = Pagi
- S = Siang
- M = Malam
- L = Libur

Karena kemajuan suatu pabrik atau perusahaan tergantung pada kedisiplinan karyawannya, maka salah satu cara untuk menciptakan kedisiplinan adalah dengan memberlakukan absensi. Dari mulai direktur utama sampai karyawan kebersihan diberlakukan absensi setiap jam kerjanya yang nantinya dapat menjadi pertimbangan perusahaan dalam meningkatkan karier karyawannya.

X.7. Penggolongan dan Tingkat Pendidikan Karyawan

Penggolongan dan tingkat pendidikan karyawan berdasarkan tingkat kedudukan dalam struktur organisasi Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat (gambar X.1) yaitu sebagai berikut :

1. Direktur Utama : Sarjana Teknik Kimia Strata 2
2. Direktur
 - a. Direktur Produksi : Sarjana Teknik Kimia
 - b. Direktur Administrasi dan Keuangan : Sarjana Ilmu Administrasi (FIA)

- | | |
|---|---|
| 3. Penelitian dan Pengembangan | : Sarjana Kimia (MIPA), Teknik Kimia, Ekonomi |
| 4. Kepala Departemen | |
| a. Departemen QC (Quality Control) | : Sarjana Kimia (MIPA) |
| b. Departemen Produksi | : Sarjana Teknik Kimia |
| c. Departemen Teknik | : Sarjana Teknik Mesin |
| d. Departemen Pemasaran | : Sarjana Ekonomi |
| e. Departemen Keuangan dan Akuntansi | : Sarjana Ekonomi |
| f. Departemen Sumber Daya Manusia | : Sarjana Psikologi Industri |
| g. Departemen Umum | : Sarjana Teknik Industri |
| 5. Kepala Divisi | |
| a. Divisi Produksi | : Sarjana Teknik Kimia |
| b. Divisi Bahan Baku | : Sarjana Teknik Kimia |
| c. Divisi Utilitas | : Sarjana Teknik Mesin |
| d. Divisi Bengkel dan Perawatan | : Sarjana Teknik Mesin |
| e. Divisi Jaringan Mutu (Quality Control) | : Sarjana Kimia (MIPA) |
| f. Divisi Pengendalian Proses | : Sarjana Teknik Kimia |
| g. Divisi Kesehatan | : Sarjana Kedokteran |
| h. Divisi Ketenagakerjaan | : Sarjana Teknik Industri |
| i. Divisi Pembelian | : Sarjana Ekonomi |
| j. Divisi Penjualan | : Sarjana Ekonomi |
| k. Divisi Promosi Periklanan | : Diploma Public Relation and Promotion |
| l. Divisi Research Marketing | : Sarjana Ekonomi |
| m. Divisi Keuangan | : Sarjana Ekonomi |
| n. Divisi Akuntansi | : Sarjana Ekonomi |
| o. Divisi Humas | : Diploma Public Relation and Promotion |
| p. Divisi Personalia | : Sarjana Hukum dan Psikologi |
| q. Divisi Administrasi | : Sarjana Ilmu Administrasi (FIA) |
| r. Divisi Keamanan dan Keselamatan | : Diploma/SMU/SMK |

- s. Divisi Kebersihan : Diploma/SMU/SMK
 - t. Divisi Transportasi : Sarjana / Diploma Teknik Mesin
6. Karyawan : Sarjana / Diploma / SMU / SMK / SLTP

X.8. Perincian Jumlah Tenaga Kerja

Step dalam proses = 4 tahap.

Kapasitas produksi = $(50.000 \text{ ton/tahun}) \times (1 \text{ tahun}/330 \text{ hari}) = 151,5152 \text{ ton/hari}$.

$M = 53 \text{ (orang.jam/hari.tahapan proses)}$ [□]

Karena jumlah proses keseluruhan terbagi dalam 4 tahap, maka :

Karyawan proses = $53 \text{ orang.jam/hari.tahapan} \times 4 \text{ tahap} = 212 \text{ orang.jam/hari}$.

Karena satu hari terdapat 3 shift kerja, maka :

Karyawan proses = $\frac{212 \text{ orang.jam/hari}}{3 \text{ shift/hari}} = 70,6667 \text{ orang.jam/shift}$.

Karena setiap karyawan shift bekerja selama 8 jam/hari, maka :

Karyawan proses = $\frac{70,6667 \text{ orang.jam/shift}}{8 \text{ jam/hari}} = 8,8333 = 9 \text{ orang/shift.hari}$.

Dalam satu hari terdapat 4 shift, sehingga :

Karyawan proses = $9 \text{ orang/shift.hari} \times 4 \text{ shift} = 36 \text{ orang/hari}$.

Karyawan administrasi dan karyawan lain (selain karyawan proses) berjumlah 149 orang.

Jadi jumlah karyawan total yang diperlukan pada Pabrik natrium Metasilikat adalah 185 orang.

Perincian kebutuhan tenaga kerja dapat dilihat pada tabel X.2.

Tabel X.2 jabatan dan jumlah tenaga kerja

No.	Jabatan (Tugas)	SLTP	SMU	D3	S1	S2
1.	Direktur Utama					1
2.	Direktur Produksi dan Teknik				1*	
3.	Direktur Administrasi dan Keuangan				1*	
4.	Sekretaris			3*		
5.	Kepala LITBANG (R&D)				1*	
6.	Karyawan LITBANG (R&D)		4*	3*	2*	
7.	Kepala Dept. QC				1*	
8.	Kepala Dept. Produksi				1*	
9.	Kepala Dept. Teknik				1*	
10.	Kepala Dept. Pemasaran				1*	
11.	Kepala Dept. Keuangan dan Akuntansi				1*	
12.	Kepala Dept. SDM				1*	
13.	Kepala Dept. Umum				1*	
14.	Kepala Divisi Produksi				1*	
15.	Karyawan Divisi Produksi			36	6*	
16.	Kepala Divisi Bahan Baku				1	
17.	Karyawan Divisi Bahan Baku		8	2		
18.	Kepala Divisi Utilitas				1	
19.	Karyawan Divisi Utilitas		7	3		
20.	Kepala Divisi Bengkel & Perawatan				1	
21.	Karyawan Divisi Bengkel & Perawatan			10*		
22.	Kepala Divisi Jaminan Mutu				1	
23.	Karyawan Divisi Jaminan Mutu		5	2*		
24.	Kepala Divisi Pengendalian Proses				1	
25.	Karyawan Divisi Pengendalian Proses			5*		
26.	Kepala Divisi Kesehatan				1	
27.	Karyawan Divisi Kesehatan			3*		
28.	Kepala Divisi Ketenagakerjaan				1	
29.	Karyawan Divisi Ketenagakerjaan			3*		

30.	Kepala Divisi Pembelian				1	
31.	Karyawan Divisi Pembelian			2*		
32.	Kepala Divisi Penjualan				1	
33.	Karyawan Divisi Penjualan			2*		
34.	Kepala Divisi Promosi dan Periklanan				1	
35.	Staff Divisi Promosi dan Periklanan			3*		
36.	Kepala Divisi Research Marketing				1	
37.	Staff Divisi Research Marketing			3*		
38.	Kepala Divisi Keuangan				1	
39.	Staff Divisi Keuangan			3*		
40.	Kepala Divisi Akuntansi				1	
41.	Staff Divisi Akuntansi			3*		
42.	Kepala Divisi Humas				1	
43.	Staff Divisi Humas			3*		
44.	Kepala Divisi Personalia				1	
45.	Staff Divisi Personalia			3*		
46.	Kepala Divisi Administrasi				1	
47.	Staff Divisi Administrasi			3*		
48.	Kepala Divisi Transportasi				1	
49.	Staff Divisi Transportasi		5*	2		
50.	Kepala Divisi Keamanan		1*			
51.	Staff Divisi Keamanan		10*			
52.	Kepala Divisi Kebersihan		1*			
53.	Staff Divisi Kebersihan	10*				
JUMLAH		10	41	97	36	1
TOTAL TENAGA KERJA		185				

Catatan :

* Pendidikan minimal
SMU dan sederajat

X.9. Status Karyawan dan Sistem Pengupahan (Gaji)

Pabrik Natrium Metasilikat ini mempunyai sistem pembagian gaji yang berbeda-beda kepada karyawan. Hal ini berdasarkan pada kriteria sebagai berikut :

1. Tingkat pendidikan
2. Pengalaman kerja
3. Tanggung jawab dan kedudukan
4. Keahlian
5. Pengabdian pada perusahaan (lamanya bekerja)

Berdasarkan kriteria di atas, karyawan akan menerima gaji sesuai dengan status kepegawaiannya, status kepegawaiannya dibagi menjadi 3 bagian, yaitu :

a. Karyawan reguler

Karyawan reguler adalah karyawan yang diangkat dan diberhentikan dengan surat keputusan (SK) dan mendapat gaji bulanan berdasarkan kedudukan, keahlian dan masa kerjanya.

b. Karyawan borongan

Karyawan borongan adalah pekerja yang dipergunakan oleh pabrik bila diperlukan saja, misalnya bongkar muat barang dan lain-lain. Pekerja ini menerima upah borongan untuk pekerjaan tersebut.

c. Karyawan harian

Karyawan harian adalah pekerja yang diangkat dan diberhentikan oleh manajer pabrik berdasarkan nota persetujuan manajer pabrik atas pengajuan kepala yang membawahnya dan menerima upah harian yang dibayarkan setiap akhir pekan.

Daftar Upah (Gaji) Karyawan

No.	Jabatan (Tugas)	Jumlah	Gaji/bulan (\$)	Total (\$)
1.	Direktur Utama	1	1500	1500
2.	Direktur Produksi	1	1000	1000
3.	Direktur Administrasi dan Keuangan	1	1000	1000
4.	Sekretaris	3	125	375
5.	Kepala LITBANG (R&D)	1	600	600
6.	Karyawan LITBANG (R&D)	2	300	600
		3	200	600
		4	150	600
7.	Kepala Dept. QC	1	500	500
8.	Kepala Dept. Produksi	1	500	500
9.	Kepala Dept. Teknik	1	500	500
10.	Kepala Dept. Pemasaran	1	500	500
11.	Kepala Dept. Keuangan dan Akuntansi	1	500	500
12.	Kepala Dept. SDM	1	500	500
13.	Kepala Dept. Umum	1	500	500
14.	Kepala Divisi Produksi	1	200	200
15.	Karyawan Divisi Produksi	6	150	900
		36	100	3600
16.	Kepala Divisi Bahan Baku	1	200	200
17.	Karyawan Divisi Bahan Baku	2	100	200
		8	75	600
18.	Kepala Divisi Utilitas	1	200	200
19.	Karyawan Divisi Utilitas	3	150	450
		7	80	560
20.	Kepala Divisi Bengkel & Perawatan	1	200	200
21.	Karyawan Divisi Bengkel & Perawatan	10	100	1000
22.	Kepala Divisi Jaminan Mutu	1	200	200
23.	Karyawan Divisi Jaminan Mutu	2	100	200
		5	75	375
24.	Kepala Divisi Pengendalian Proses	1	200	200
25.	Karyawan Divisi Pengendalian Proses	5	100	500
26.	Kepala Divisi Kesehatan	1	200	200
27.	Karyawan Divisi Kesehatan	3	100	300
28.	Kepala Divisi Ketenagakerjaan	1	200	200
29.	Karyawan Divisi Ketenagakerjaan	3	100	300
30.	Kepala Divisi Pembelian	1	200	200
31.	Karyawan Divisi Pembelian	2	100	200
32.	Kepala Divisi Penjualan	1	200	200
33.	Karyawan Divisi Penjualan	2	100	200
34.	Kepala Divisi Promosi dan Periklanan	1	200	200
35.	Staff Divisi Promosi dan Periklanan	3	100	300
36.	Kepala Divisi Research Marketing	1	200	200
37.	Staff Divisi Research Marketing	3	100	300

38.	Kepala Divisi Keuangan	1	200	200
39.	Staff Divisi Keuangan	3	100	300
40.	Kepala Divisi Akuntansi	1	200	200
41.	Staff Divisi Akuntansi	3	100	300
42.	Kepala Divisi Humas	1	200	200
43.	Staff Divisi Humas	3	100	300
44.	Kepala Divisi Personalia	1	200	200
45.	Staff Divisi Personalia	3	100	300
46.	Kepala Divisi Administrasi	1	200	200
47.	Staff Divisi Administrasi	3	100	300
48.	Kepala Divisi Transportasi	1	200	200
49.	Staff Divisi Transportasi	2	100	200
		5	75	375
50.	Kepala Divisi Keamanan	1	200	200
51.	Staff Divisi Keamanan	10	100	1000
52.	Kepala Divisi Kebersihan	1	85	85
53.	Staff Divisi Kebersihan	10	65	650
JUMLAH				\$ 27370

BAB XI

ANALISA EKONOMI

Perencanaan suatu pabrik perlu ditinjau dari faktor-faktor ekonomi yang menentukan apakah pabrik tersebut layak didirikan atau tidak. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan untung rugi dalam mendirikan pabrik Natrium Metasilikat adalah sebagai berikut :

- Laju Pengembalian Modal (Return on Investment = ROI)
- Waktu Pengembalian Modal (Pay Out Time)
- Titik Impas (Break Even Point = BEP)
- Internal Rate of Return (IRR)

Sedangkan untuk menghitung faktor-faktor di atas perlu diadakan penaksiran terhadap modal industri baik dari segi investasi maupun dari biaya produksi yang dibutuhkan. Sehingga dalam analisa ekonomi ini diperlukan adanya faktor-faktor penentu, yaitu :

11.1. Faktor-faktor penentu :

a. Total Capital Investment (TCI)

Yaitu modal yang diperlukan untuk mendirikan pabrik sebelum berproduksi dan biaya pelaksanaan pabrik untuk beberapa waktu. TCI ini terdiri atas :

1. Fixed Capital Investment (FCI) = Modal Tetap

Yaitu modal yang digunakan untuk keperluan pembelian peralatan pabrik, pemasangan dan fasilitas peralatan sehingga pabrik dapat beroperasi. FCI dibagi menjadi 2 bagian yaitu :

1.1. Biaya Langsung (Direct Cost), meliputi :

- Peralatan :
 - Peralatan sesuai diagram alir
 - Suku cadang
 - Peralatan tambahan
 - Biaya inflasi
 - Pajak dan asuransi
 - Modifikasi selama “*start up*”

- Instalasi peralatan :
 - Pemasangan peralatan
 - Pondasi, isolasi, cat
- Instrumen dan kontrol
- Perpipaan
 - Pipa proses, sambungan, katup
- Peralatan listrik
 - Motor, kabel, bahan listrik, dll
- Bangunan
 - Proses, pemeliharaan, pelayanan
- Lahan pengembangan
 - Jalan, parker
- Fasilitas pelayanan
 - Utilitas (steam, listrik, air)
 - UPL (Unit Pengolahan Limbah)
 - Distribusi dan pengemasan
- Tanah

1.2. Biaya Tak Langsung (Indirect Cost)

- Tenik dan supervise
- Konstruksi
- Kontraktor
- Biaya tak terduga

2. Working Capital Investment (WCI)

Yaitu modal untuk menjalankan pabrik yang berhubungan dengan laju produksi, meliputi :

- Penyediaan bahan baku dalam waktu tertentu
- Gaji dalam waktu tertentu
- Supervisi
- Utilitas dalam waktu tertentu
- Laboratorium
- Pemeliharaan
- Uang tunai

- Patent dan royalty
- Pengemasan produk dalam waktu tertentu

Maka : $TCI = FCI + WCI$

b. Total Biaya Produksi

Yaitu biaya yang digunakan untuk operasi pabrik dan biaya perjalanan produk, meliputi :

1. Biaya pembuatan, terdiri atas :
 - Biaya produksi langsung (DPC)
 - Biaya produksi tetap (FC)
 - Biaya overhead pabrik
2. Biaya umum (general expense)
 - Administrasi
 - Distribusi dan pemasaran
 - Litbang
 - Biaya tak terduga

Biaya produksi total terbagi menjadi :

1. Biaya Variabel (VC), yaitu semua biaya yang pengeluarannya berbanding lurus dengan laju produksi yang meliputi :
 - Biaya bahan baku
 - Biaya utilitas
 - Biaya pengepakan
2. Biaya Semi Variabel (SCV), yaitu biaya pengeluaran yang tidak berbanding lurus dengan laju produksi, meliputi :
 - Upah karyawan
 - Plant Over Head
 - Pemeliharaan dan perbaikan
 - Laboratorium
 - Operating supplies
 - General expenses
3. Biaya Tetap (FC)
 - Despresiasi
 - Asuransi

- Pajak
- Bunga

c. Penaksiran Harga Alat

Penafsiran harga peralatan setiap tahun mengalami perubahan sesuai dengan kondisi perekonomian yang ada. Untuk penafsiran harga peralatan, diperlukan indeks yang dapat dipergunakan untuk mengkonveksi harga peralatan pada masa lalu, sehingga diperoleh harga saat ini, digunakan persamaan :

$$C_x = C_k \times \frac{I_x}{I_k} \quad (\text{Peters and Timmerhaus, hal. 164})$$

Dimana :

- C_x = Tafsiran harga saat ini
- C_k = Tafsiran harga alat pada tahun k
- I_x = Indeks harga saat ini
- I_k = Indeks harga tahun k

Sedangkan untuk menafsir harga alat yang sama dengan kapasitas yang berbeda digunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_A = V_B \left(\frac{C_A}{C_B} \right)^n \quad (\text{Peters and Timmerhaus, hal. 169})$$

Dimana :

- V_A = Harga alat A
- V_B = Harga alat B
- C_A = Kapasita alat A
- C_B = Kapasitas alat B
- n = Eksponen harga alat

11.2. Penentuan Total Capital Investment (TCI)

Dari perhitungan Appendix E diperoleh :

- A. Biaya Langsung (DC) = \$ 19.060.394,44
- B. Biaya TakLangsung (IC) = \$ 16.942.572,83
- C. Fix Capital Investment (FCI) = \$ 36.002.967,27
- D. Modal Kerja (WCI) = \$ 6.353.464,81

Maka TCI = \$ 42.356.432,08

11.3. Penentuan Total Production Cost (TPC)

Dari perhitungan Appendiks E diperoleh :

A. Biaya Produksi Langsung (Direct Production Cost/ DPC)	= \$ 111.970.491,33
B. Biaya Tetap (Fixed Production Cost)	= \$ 9.148.989,33
C. Biaya Overhead	= \$ 1.268.942,02
D. Biaya Umum (General Expenses)	= \$ 18.304.983,86

Maka TPC = \$ 140.693.406,53

11.4. Laba Perusahaan

Laba perusahaan yaitu keuntungan yang diperoleh dari penjualan produk.

Dari Appendiks E diperoleh :

Total penjualan	= \$ 155.000.000,00
Laba kotor	= \$ 14.306.593,47
Pajak penghasilan	= 35% dari laba kotor
Laba bersih	= \$ 9.299.285,75
Cash Flow (C _A)	= \$ 13.979.671,50

11.5. Analisis Profitabilitas

A. Rate On Investment (ROI)

ROI adalah pernyataan umum yang digunakan untuk menunjukkan laba tahunan sebagai usaha untuk pengembalian modal.

- ROI sebelum pajak

$$ROI_{BT} = \frac{\text{Laba kotor}}{\text{Modal tetap}} \times 100\%$$

Dari Appendiks E diperoleh :

$$ROI_{BT} = 39,74\%$$

- ROI setelah pajak

$$ROI_{AT} = \frac{\text{Laba bersih}}{\text{Modal tetap}} \times 100\%$$

Dari Appendix E diperoleh :

$$ROI_{AT} = 25,83\%$$

B. Pay Out Time (POT)

POT adalah masa tahunan pengembalian modal investasi dari laba yang dihitung penyusutan atau waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal investasi.

$$POT = \frac{\text{Modal tetap}}{\text{Cash flow setelah pajak}} \times 1 \text{ tahun}$$

Dari Appendix E diperoleh :

$$POT = 2,58 \text{ tahun}$$

C. 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.

$$BEP = \frac{FC + (0,3 \text{ SVC})}{S - 0,7 \text{ SVC} - VC} \times 100\%$$

Dari Appendix E diperoleh :

$$FPC = \$ 9.148.989,33$$

$$VC = \$ 106.585.895,16$$

$$SVC = \$ 24.958.522,05$$

$$S = \text{harga penjualan} = \$ 155.000.000,00$$

$$\text{Maka nilai BEP} = 53,76\%$$

D. Shut Down Point (SDP)

SDP adalah suatu titik yang merupakan kapasitas minimal pabrik masih boleh beroperasi.

$$SDP = \frac{0,3 \text{ SVC}}{S - 0,7 \text{ SVC} - VC} \times 100\%$$

Dari Appendix E diperoleh :

$$SDP = 24,20\%$$

Titik shut down point terjadi pada kapasitas = 12.098,90 ton/tahun.

E. Net Present Value (NPV)

Metode ini digunakan untuk menghitung selisih dari nilai penerimaan kas bersih sekarang dengan nilai investasi sekarang.

Langkah-langkah menghitung NPV :

- a. Menghitung C_{A_0} (tahun ke-0) untuk masa konstruksi 2 tahun.

Dari Appendix E diperoleh :

$$C_{A-2} = \$ 20.737.709,15$$

$$C_{A-1} = \$ 25.922.136,43$$

$$C_{A-0} = \$ 46.659.845,58$$

- b. Menghitung NPV tiap tahun.

$$NPV = C_A \times Fd$$

Dimana : C_A = cash flow setelah pajak

Fd = faktor diskon = $1/(1+i)$

i = tingkat bunga

n = tahun ke-n

Dari Appendix E diperoleh :

$$NPV = \$ 2.867.234,13$$

Karena harga NPV = (+) maka pabrik Natrium Metasilikat **layak untuk didirikan.**

F. Internal Rate of Return (IRR)

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \times (i_2 - i_1)$$

Dari Appendix E diperoleh :

$$IRR = 21,86\%$$

Karena IRR lebih besar dari bunga bank (12%) maka pabrik Natrium Metasilikat **layak untuk didirikan.**

BAB XII

KESIMPULAN DAN SARAN

XII.1. Kesimpulan

Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat ini diharapkan dapat mencapai produksi yang sesuai dengan tujuan, sehingga dari hasil produksi tersebut akan dapat memenuhi konsumsi/kebutuhan dalam negeri dan menembus pasaran dunia sehingga dapat menambah devisa Negara dari hasil ekspornya.

Dari hasil perhitungan Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat dengan kapasitas 50.000 ton/tahun, dapat disimpulkan bahwa pendirian pabrik ini cukup menguntungkan, dengan memperhitungkan beberapa aspek yaitu :

a. Aspek Lokasi

Pabrik ini didirikan di daerah Tunah, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur. Pabrik ini diperkirakan sangat menguntungkan, mengingat :

- Tuban dekat dengan daerah penghasil bahan baku Pasir Silika maupun Natrium Karbonat.
- Penyediaan sumber air yang cukup, yaitu berasal dari air sungai yang terletak tepat di belakang pabrik.
- Penyediaan sumber tenaga listrik yang cukup dari PLN.

b. Aspek Sosial

Pendirian pabrik Natrium Metasilikat ini bila ditinjau dari aspek sosial dinilai menguntungkan karena :

- Dapat menciptakan lapangan kerja baru.
- Memberikan kesempatan kepada penduduk untuk mendapatkan tambahan penghasilan.

c. Aspek Ekonomi

Kebutuhan akan Natrium Metasilikat semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya perkembangan industri di Indonesia, sedangkan sampai saat ini Indonesia masih terus mendatangkannya dari luar negeri (impor).

Setelah dilakukan analisa ekonomi terhadap Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat, dinilai cukup menguntungkan dengan berdasarkan data-data sebagai berikut :

TCI	= \$ 42.356.432,08
ROI Sebelum Pajak	= 39,74%
ROI Sesudah Pajak	= 25,83%
POT	= 2,58tahun
BEP	= 53,76%
IRR	= 21,86% > bunga bank : 20% (layak untuk didirikan)

XII.2. Saran

1. Diharapkan pemerintah Indonesia dapat mengembangkan industri Natrium Metasilikat, mengingat Indonesia merupakan Negara yang sedang berkembang dengan banyaknya pertumbuhan industri di berbagai tempat.
2. Diharapkan kepada seluruh masyarakat serta pelaku industri di Indonesia agar mengurangi nilai impor Natrium Metasilikat dengan memanfaatkan produksi dalam negeri.
3. Diharapkan agar Natrium Metasilikat bisa lebih dikembangkan lagi dalam berbagai macam industri kimia di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. Austin, George T., (1975), *Shreve's Cemical Process Industries*, 5th edition, Mc Graw Hill Book Company, Singapore
2. *Badan Pusat Statistik Republik Indonesia*. 2015. www.bps.go.id, diakses tanggal 14 Juni 2015
3. Badger, W.L and Banchero, J.T, (1985), *Introduction to Chemical Engineering*, 1st edition, Mc Graw Hill Book Company, Singapore
4. Brown, G.G, (1950), *Unit Operation*, 1st edition, John Willey and Sons lbc, New York
5. Brownell, L.E and Young, E.H, (1959), *Process Equipment Design*, 1st edition, John Willey and Sons lbc, new York
6. Faith, W.L, Keyes, D.B. & Clark, R.L, (1960), *Indutrial Chemical*, 4rd edition, John Willey and Sons lbc, New York
7. Foust, A.S., (1960), *Principles of Unit Operations*, 2nd edition, John Willey and Sons lbc, New York
8. Geankoplis, C.J, (1993), *Transport Processes and Unit Operation*, 3rd edition, Prentice-Hall of India, New Delhi
9. Hesse, H.C, (1945), *Process Equipment Design*, 1st edition, D, Van Nostrand Company, United State of America
10. Himmelblau, D.M, (1989), *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*, 5th edition, Prentice-Hall International, Singapore
11. Hougen, O.A and Watson, K.M, (1945), *Chemical Process Principles*, 2nd edition, John Willey and Sons lbc, New York
12. Kern, D.Q, (1965), *Process Heat Transfer*, 1st edition, Mc Graw-Hill Book Company, Singapore
13. Othmer, D.P, (1979), *Encyclopedia of Chemical Tecnology*, Vol 6, 7, 5th edition, John Willey and Sons lbc, New York
14. Perry, J.H, (1999), *Chemical Engineer's Handbook*, 5th edition, Mc Graw_Hill Book Company, Tokyo
15. Perry, J.H, (1999), *Chemical Engineer's Handbook*, 7th edition, Mc Graw_Hill Book Company, Tokyo

16. Peters, M.S and Timmerhaus, K.D, (1981), *Plant Design and Economic for Chemical Engineer's*, 3rd edition, Mc Graw_Hill International Book Company, Singapore
17. Ulrich, G.D, (1984), *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*, 1st edition, John Willey and Sons, United State of America
18. Vibrant, F.C and Dryen, C.E, (1959), *Chemical Engineering Plant Design*, 4th edition, Mc Graw_Hill Book Company, Tokyo
19. <http://en.wikipedia.org/wiki>, diakses tanggal 14 Juni 2015
20. <http://www.chemicaland21.com/arokorhi/industrialchem/inorganic/sodiummetasilicate.htm>, diakses tanggal 14 Juni 2015
21. <http://www.matche.com/EquipCost/html>, diakses tanggal 15 Juni 2015

APPENDIKS A

PERHITUNGAN NERACA MASSA

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas produksi} &= 50.000 \text{ ton/tahun} \\ &= \frac{50.000 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1.000 \text{ kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu Operasi} &= 330 \text{ hari} \\ &= 24 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\text{Satuan Operasi} = \text{kg/jam}$$

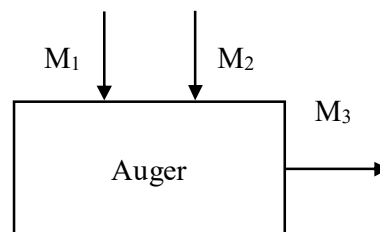
$$\text{Basis} = 5719,9479 \text{ kg/jam}$$

Komposisi Bahan Baku :

- Pasir Silika (% berat)
 - SiO = 97%
 - H₂O = 2,45%
 - Al₂O₃ = 0,50%
 - Fe₂O₃ = 0,05%
- Natrium karbonat (% berat)
 - Na₂CO₃ = 99,3%
 - H₂O = 0,5%
 - Fe₂O₃ = 0,15%
 - NaCl = 0,03%
 - Na₂SO₄ = 0,02%

1. AUGER (J-110)

Fungsi : Mencampur natrium karbonat dengan pasir silika



$$\text{Neraca Massa Total : } M_3 = M_1 + M_2$$

Keterangan :

M_1 = Massa Na_2CO_3 dari storage

M_2 = Massa SiO_2 dari open storage

M_3 = Massa bahan keluar menuju furnace

Komposisi Bahan Masuk :

- *Dari Storage*

- Na_2CO_3 = $99,3 \% \times 5719,9479 \text{ kg/jam}$ = 5679,9083 kg/jam

- H_2O = $0,50 \% \times 5719,9479 \text{ kg/jam}$ = 28,5997 kg/jam

- Fe_2O_3 = $0,15 \% \times 5719,9479 \text{ kg/jam}$ = 8,5799 kg/jam

- NaCl = $0,03 \% \times 5719,9479 \text{ kg/jam}$ = 1,7160 kg/jam

- Na_2SO_4 = $0,02 \% \times 5719,9479 \text{ kg/jam}$ = 1,1440 kg/jam

- *Dari Open Storage*

- SiO_2 = $97 \% \times 5719,9479 \text{ kg/jam}$ = 5548,3495 kg/jam

- H_2O = $2,45 \% \times 5719,9479 \text{ kg/jam}$ = 140,1387 kg/jam

- Al_2O_3 = $0,50 \% \times 5719,9479 \text{ kg/jam}$ = 28,5997 kg/jam

- Fe_2O_3 = $0,05 \% \times 5719,9479 \text{ kg/jam}$ = 2,8600 kg/jam

Komposisi Bahan Keluar :

- Ke Furnace

- Na_2CO_3 = 5679,9083 kg/jam

- SiO_2 = 5548,3495 kg/jam

- Na_2SO_4 = 1,1440 kg/jam

- Fe_2O_3 = $8,5799 + 2,8600 = 11,4399 \text{ kg/jam}$

- NaCl = 1,7160 kg/jam

- Al_2O_3 = 28,5997 kg/jam

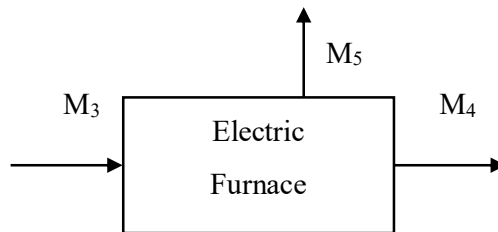
- H_2O = $28,5997 + 140,1387 = 168,7385 \text{ kg/jam}$

Neraca Massa pada Auger

Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
<u>Dari Storage (M₁)</u>	<u>Ke Furnace (M₃)</u>
Na ₂ CO ₃ = 5679,9083	Na ₂ CO ₃ = 5679,9083
NaCl = 1,7160	SiO ₂ = 5548,3495
Na ₂ SO ₄ = 1,1440	Na ₂ SO ₄ = 1,1440
Fe ₂ O ₃ = 8,5799	Fe ₂ O ₃ = 11,4399
H ₂ O = 28,5997	NaCl = 1,7160
<u>Dari Open Storage (M₂)</u>	Al ₂ O ₃ = 28,5997
SiO ₂ = 5548,3495	H ₂ O = 168,7385
Fe ₂ O ₃ = 2,8600	
Al ₂ O ₃ = 28,5997	
H ₂ O = 140,1387	
Total = 11439,8958	Total = 11439,8958

2. ELECTRIC FURNACE (Q-210)

Fungsi : Mereaksikan natrium karbonat dan pasir silika sehingga menghasilkan natrium metasilikat.



Neraca Masa Total : $M_3 = M_4 + M_5$

Keterangan :

M₃ = Massa bahan masuk dari Auger

M₄ = Massa bahan keluar menuju tangki pelarut

M₅ = Massa gas CO₂ keluar dari furnace

Komposisi Bahan Masuk :

- *Dari Auger*

- Na_2CO_3 = 5679,9083 : 106 = 53,5840 kgmol/jam
- SiO_2 = 5548,3495 : 60 = 92,4725 kgmol/jam
- Na_2SO_4 = 1,1440 kg/jam
- Fe_2O_3 = 11,4399 kg/jam
- NaCl = 1,7160 kg/jam
- Al_2O_3 = 28,5997 kg/jam
- H_2O = 168,7385 kg/jam

- Reaksi :

	Na_2CO_3	+	SiO_2	\longrightarrow	Na_2SiO_3	+	CO_2
Mula	: 53,5840		92,4725				
Reaksi	: 51,4407		51,4407		51,4407		51,4407
Sisa	: 2,1434		41,0318		51,4407		51,4407

Komposisi Bahan Keluar :

- *Ke Tangki Pelarut*

- Na_2SiO_3 terbentuk = 51,4407 kgmol/jam = 6275,7628 kg/jam
- SiO_2 sisa = 41,0318 kgmol/jam = 2461,9087 kg/jam
- Na_2CO_3 sisa = 2,1434 kgmol/jam = 227,1963 kg/jam
- Na_2SO_4 = 1,1440 kg/jam
- Fe_2O_3 = 11,4399 kg/jam
- NaCl = 1,7160 kg/jam
- Al_2O_3 = 28,5997 kg/jam
- H_2O = 168,7385 kg/jam

- *Ke Stack*

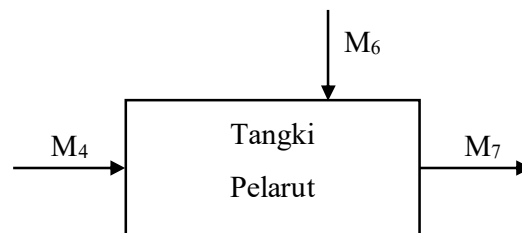
- CO_2 = 51,4407 kgmol/jam = 2263,3899 kg/jam

Neraca Massa pada Electric Furnace

Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
<u>Dari Auger (M₃)</u> Na ₂ CO ₃ = 5679,9083 SiO ₂ = 5548,3495 Na ₂ SO ₄ = 1,1440 Fe ₂ O ₃ = 11,4399 NaCl = 1,7160 Al ₂ O ₃ = 28,5997 H ₂ O = 168,7385	<u>Ke Tangki Pelarut (M₄)</u> Na ₂ SiO ₃ terbentuk = 6275,7828 SiO ₂ sisa = 2461,9087 Na ₂ CO ₃ sisa = 227,1963 Na ₂ SO ₄ = 1,1440 Fe ₂ O ₃ = 11,4399 NaCl = 1,7160 Al ₂ O ₃ = 28,5997 H ₂ O = 205,3682 <u>Ke Stack (M₅)</u> CO ₂ = 2263,3899
Total = 11439,8958	Total = 11439,8958

3. TANGKI PELARUT (M-230)

Fungsi : Melarutkan natrium metasilikat



Neraca Massa Total : $M_7 = M_4 + M_6$

Keterangan :

M₄ = Massa bahan masuk dari furnace

M₆ = Massa H₂O dari water proses

M₇ = Massa larutan keluar menuju settling tank

Komposisi Bahan Masuk :

- *Dari Furnace*

- Na₂SiO₃ = 6275,7628 kg/jam

- SiO₂ = 2461,9087 kg/jam

- Na₂CO₃ = 227,1963 kg/jam

- Na_2SO_4 = 1,1440 kg/jam
- Fe_2O_3 = 11,4399 kg/jam
- NaCl = 1,7160 kg/jam
- Al_2O_3 = 28,5997 kg/jam
- H_2O = 168,7385 kg/jam
- Total = 9176,5059 kg/jam

- *Dari Water Process*

Asumsi water proses yang ditambahkan sebesar 90% dari total bahan masuk tangki pelarut.

Sehinga :

- H_2O = $90\% \times 9176,5059 \text{ kg/jam}$
= 8258,8553 kg/jam

Komposisi Bahan Keluar :

- Ke Settling Tank

Asumsi 99,99% dari Na_2SiO_3 masuk terlarut

Sehingga :

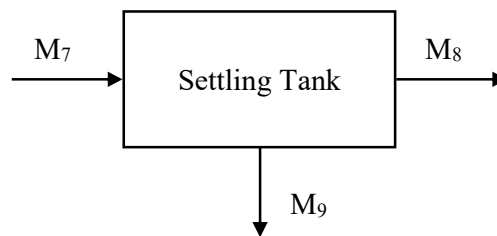
- Na_2SiO_3 terlarut = $99,99\% \times 6275,7628 = 6275,1352 \text{ kg/jam}$
- Na_2SiO_3 padatan = $0,01\% \times 6275,7628 = 0,6276 \text{ kg/jam}$
- SiO_2 = 2461,9087 kg/jam
- Na_2CO_3 = 227,1963 kg/jam
- Na_2SO_4 = 1,1440 kg/jam
- Fe_2O_3 = 11,4399 kg/jam
- NaCl = 1,7160 kg/jam
- Al_2O_3 = 28,5997 kg/jam
- H_2O = 8427,5938 kg/jam

Neraca Massa pada Tangki Pelarut

Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
<u>Dari Furnace (M₄)</u>	<u>Ke Settling Tank (M₇)</u>
Na ₂ SiO ₃ = 6275,1352	Na ₂ SiO ₃ terlarut = 6275,1352
SiO ₂ = 2461,9087	Na ₂ SiO ₃ padatan = 0,6276
Na ₂ CO ₃ = 227,1963	SiO ₂ = 2461,9087
Na ₂ SO ₄ = 1,1440	Na ₂ CO ₃ = 227,1963
Fe ₂ O ₃ = 11,4399	Na ₂ SO ₄ = 1,1440
NaCl = 1,7160	Fe ₂ O ₃ = 11,4399
Al ₂ O ₃ = 28,5997	NaCl = 1,7160
H ₂ O = 168,7385	Al ₂ O ₃ = 28,5997
<u>Dari Water Process (M₆)</u>	H ₂ O = 8427,5938
H ₂ O = 8258,8553	
Total = 17435,3613	Total = 17435,3613

4. SETTLING TANK (H-310)

Fungsi : Memisahkan natrium metasilikat dengan impurities yang terkandung di dalamnya.



Neraca Massa Total : $M_7 = M_8 + M_9$

Keterangan :

M_7 = Massa larutan masuk dari tangki pelarut

M_8 = Massa larutan keluar menuju spray dryer

M_9 = Massa larutan keluar menuju waste treatment

Komposisi Bahan Masuk :

- *Dari Tangki Pelarut*
 - Na_2SiO_3 terlarut = 6275,1352 kg/jam
 - Na_2SiO_3 padatan = 0,6276 kg/jam
 - SiO_2 = 2461,9087 kg/jam
 - Na_2CO_3 = 227,1963 kg/jam
 - Na_2SO_4 = 1,1440 kg/jam
 - Fe_2O_3 = 11,4399 kg/jam
 - NaCl = 1,7160 kg/jam
 - Al_2O_3 = 28,5997 kg/jam
 - H_2O = 8427,5938 kg/jam

- Komposisi Bahan Keluar :

- *Ke Spray Dryer*

Asumsi larutan keluar menuju spray dryer sebesar 99%.

$$\begin{aligned}\text{Larutan keluar menuju spray dryer} &= 99\% \times (6275,1352 + 8427,5938) \\ &= 14555,7017 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

Komposisi larutan :

- Na_2SiO_3 terlarut = 6275,1352 kg/jam = 43%
- H_2O = 8427,5938 kg/jam = 57%
- = 14702,7290 kg/jam = 100%

Asumsi larutan keluar menuju spray dryer mengandung padatan sebesar 0,5%.

$$\begin{aligned}\text{Padatan yang terikut} &= 0,5\% \times 14555,7017 \text{ kg/jam} \\ &= 72,7785 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

Komposisi padatan :

- Na_2SiO_3 = 0,6276 kg/jam = 0,02 %
- SiO_2 = 2461,9087 kg/jam = 90,09 %
- Na_2CO_3 = 227,1963 kg/jam = 8,31 %
- Na_2SO_4 = 1,1440 kg/jam = 0,04 %
- Fe_2O_3 = 11,4399 kg/jam = 0,42 %
- NaCl = 1,7160 kg/jam = 0,06 %

- Al ₂ O ₃	= 28,5997 kg/jam	= 1,05 %
Total	= 2732,6323 kg/jam	= 100%

Jadi komposisi padatan terikut :

- Na ₂ SiO ₃	= 0,02 % × 72,7785 kg/jam	= 0,0167 kg/jam
- SiO ₂	= 90,09 % × 72,7785 kg/jam	= 65,5683 kg/jam
- Na ₂ CO ₃	= 8,31 % × 72,7785 kg/jam	= 6,0509 kg/jam
- Na ₂ SO ₄	= 0,04 % × 72,7785 kg/jam	= 0,0305 kg/jam
- Fe ₂ O ₃	= 0,42 % × 72,7785 kg/jam	= 0,3047 kg/jam
- NaCl	= 0,06 % × 72,7785 kg/jam	= 0,0457 kg/jam
- Al ₂ O ₃	= 1,05 % × 72,7785 kg/jam	= 0,7617 kg/jam

Komposisi keluar menuju Spray Dryer :

- Na ₂ SiO ₃ terlarut	= 6212,3839 kg/jam
- Na ₂ SiO ₃ padatan	= 0,0167 kg/jam
- SiO ₂	= 65,5683 kg/jam
- Na ₂ CO ₃	= 6,0509 kg/jam
- Na ₂ SO ₄	= 0,0305 kg/jam
- Fe ₂ O ₃	= 0,3047 kg/jam
- NaCl	= 0,0457 kg/jam
- Al ₂ O ₃	= 0,7617 kg/jam
- H ₂ O	= 8343,3179 kg/jam

- *Ke Waste Treatment*

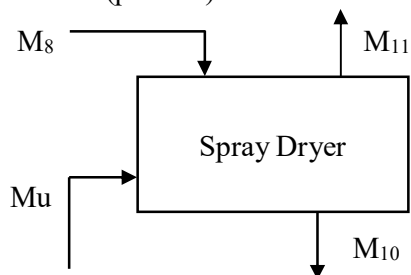
- Na ₂ SiO ₃ terlarut	= 6275,1352 - 6212,3839	= 62,7514 kg/jam
- Na ₂ SiO ₃ padatan	= 0,6276 - 0,0167	= 0,6109 kg/jam
- SiO ₂	= 2461,9087 - 65,5683	= 2396,3404 kg/jam
- Na ₂ CO ₃	= 227,1963 - 6,0509	= 221,1454 kg/jam
- Na ₂ SO ₄	= 1,1440 - 0,0305	= 1,1135 kg/jam
- Fe ₂ O ₃	= 11,4399 - 0,3047	= 11,1352 kg/jam
- NaCl	= 1,7160 - 0,0457	= 1,6703 kg/jam
- Al ₂ O ₃	= 28,5997 - 0,7617	= 27,8380 kg/jam
- H ₂ O	= 8427,5938 - 8343,3179	= 84,2759 kg/jam

Neraca Massa pada Settling Tank

Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
<u>Dari Tangki Pelarut (M₇)</u>	
Na ₂ SiO ₃ terlarut = 6275,1352	Ke Spray Dryer (M ₈)
Na ₂ SiO ₃ padatan = 0,6276	Na ₂ SiO ₃ terlarut = 6212,3839
SiO ₂ = 2461,9087	Na ₂ SiO ₃ padatan = 0,0167
Na ₂ CO ₃ = 227,1963	SiO ₂ = 65,5683
Na ₂ SO ₄ = 1,1440	Na ₂ CO ₃ = 6,0509
Fe ₂ O ₃ = 11,4399	Na ₂ SO ₄ = 0,0305
NaCl = 1,7160	Fe ₂ O ₃ = 0,3047
Al ₂ O ₃ = 28,5997	NaCl = 0,0457
H ₂ O = 8427,5938	Al ₂ O ₃ = 0,7617
	H ₂ O = 8343,3179
	<u>Ke Waste Treatment (M₉)</u>
	Na ₂ SiO ₃ terlarut = 62,7514
	Na ₂ SiO ₃ padatan = 0,6109
	SiO ₂ = 2396,3404
	Na ₂ CO ₃ = 221,1454
	Na ₂ SO ₄ = 1,1135
	Fe ₂ O ₃ = 11,1352
	NaCl = 1,6703
	Al ₂ O ₃ = 27,8380
	H ₂ O = 84,2759
Total = 17435,3613	Total = 17435,3613

5. SPRAY DRYER (B-320)

Fungsi : Mengeringkan larutan natrium metasilikat sehingga menjadi natrium metasilikat serbuk (powder).



$$\text{Neraca Massa Total : } M_8 + M_u = M_{10} + M_{11}$$

Keterangan :

- M_8 = Massa larutan masuk dari settling tank
 M_u = Massa udara dari burner
 M_{10} = Massa bahan keluar menuju bin produk
 M_{11} = Massa bahan keluar menuju cyclone

Komposisi Bahan Masuk :

- *Dari Settling Tank*
 - Na_2SiO_3 = 6212,4006 kg/jam
 - SiO_2 = 65,5683 kg/jam
 - Na_2CO_3 = 6,0509 kg/jam
 - Na_2SO_4 = 0,0305 kg/jam
 - Fe_2O_3 = 0,3047 kg/jam
 - NaCl = 0,0457 kg/jam
 - Al_2O_3 = 0,7617 kg/jam
 - H_2O = 8343,3179 kg/jam
- *Dari Burner*
 - Udara Pemanas = 78216,6908 kg/jam

Komposisi Bahan Keluar :

- *Ke Bin Produk*
 Jika diharapkan padatan yang keluar dari Spray Dryer 99% dari bahan masuk dengan kadar air 0,5% dari padatan keluar.

Maka komposisi keluar :

- Na_2SiO_3 = 99 % \times 6212,4006 = 1072.207234 kg/jam
- SiO_2 = 99 % \times 65,5683 = 11.2604 kg/jam
- Na_2CO_3 = 99 % \times 6,0509 = 1.1054 kg/jam
- Na_2SO_4 = 99 % \times 0,0305 = 0.0052 kg/jam
- Fe_2O_3 = 99 % \times 0,3047 = 0.0521 kg/jam
- NaCl = 99 % \times 0,0457 = 0.0078 kg/jam
- Al_2O_3 = 99 % \times 0,7617 = 0.1304 kg/jam
-
- = 1084.768518 kg/jam
- H_2O = 0.5 % \times 6222,3107 = 31,1116 kg/jam

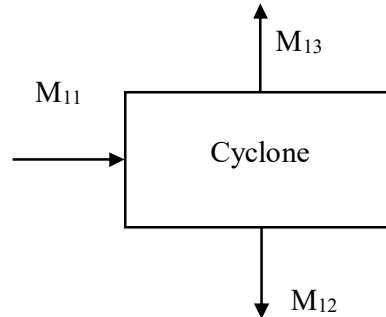
- *Ke Cyclone*
 - Na_2SiO_3 = 6212,4006 - 6150,2766 = 62,124006 kg/jam
 - SiO_2 = 65,5683 - 64,9126 = 0,655683 kg/jam
 - Na_2CO_3 = 6,0509 - 5,9904 = 0,060509 kg/jam
 - Na_2SO_4 = 0,0305 - 0,0302 = 0,000305 kg/jam
 - Fe_2O_3 = 0,3047 - 0,3016 = 0,003047 kg/jam
 - NaCl = 0,0457 - 0,0452 = 0,000457 kg/jam
 - Al_2O_3 = 0,7617 - 0,7541 = 0,007617 kg/jam
 - H_2O teruapkan = 8343,3179 - 31,1116 = 8312,206318 kg/jam
 - Udara pemanas = 78216,6908

Neraca Massa pada Spray Dryer

Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
<u>Dari Settling Tank (M₈)</u>	<u>Ke Bin Produk (M₁₀)</u>
Na_2SiO_3 = 6212,400578	Na_2SiO_3 = 6150,276572
SiO_2 = 65,568298	SiO_2 = 64,912615
Na_2CO_3 = 6,050946	Na_2CO_3 = 5,990436
Na_2SO_4 = 0,030468	Na_2SO_4 = 0,030163
Fe_2O_3 = 0,304680	Fe_2O_3 = 0,301633
NaCl = 0,045702	NaCl = 0,045245
Al_2O_3 = 0,761700	Al_2O_3 = 0,754083
H_2O = 8343,317871	H_2O = 31,111554
<u>Dari Burner (Mu)</u>	<u>Ke Cyclone (M₁₁)</u>
Udara pemanas = 78216,690822	Na_2SiO_3 = 62,124006
	SiO_2 = 0,655683
	Na_2CO_3 = 0,060509
	Na_2SO_4 = 0,000305
	Fe_2O_3 = 0,003047
	NaCl = 0,000457
	Al_2O_3 = 0,007617
	H_2O teruapkan = 8312,206318
	Udara pemanas = 78216,690822
Total = 92845,171066	Total = 92845,171066

6. CYCLONE (H-321)

Fungsi : Menangkap serbuk (powder) yang terikat pada udara keluar dari spray dryer.



Neraca Massa Total : $M_{11} = M_{12} + M_{13}$

Keterangan :

M_{11} = Massa bahan masuk dari spray dryer

M_{12} = Massa bahan keluar menuju bin produk

M_{13} = Massa bahan hilang ke stack

Komposisi Bahan Masuk :

- *Dari Spray Dryer*
 - Na_2SiO_3 = 62,124006 kg/jam
 - SiO_2 = 0,655683 kg/jam
 - Na_2CO_3 = 0,060509 kg/jam
 - Na_2SO_4 = 0,000305 kg/jam
 - Fe_2O_3 = 0,003047 kg/jam
 - NaCl = 0,000457 kg/jam
 - Al_2O_3 = 0,007617 kg/jam
 - H_2O teruapkan = 8312,206318 kg/jam
 - Udara pemanas = 78216,690822 kg/jam

Komposisi Bahan Keluar :

- *Ke Bin Produk*

Jika diharapkan padatan yang mampu dipisahkan cyclone 95% dari bahan masuk.

Maka, komposisi keluar :

- Na_2SiO_3 = 95 % \times 62,124006 = 59,017805 kg/jam
- SiO_2 = 95 % \times 0,655683 = 0,622899 kg/jam

- $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 95 \% \times 0,060509 = 0,057484 \text{ kg/jam}$
- $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 95 \% \times 0,000305 = 0,000289 \text{ kg/jam}$
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 95 \% \times 0,003047 = 0,002894 \text{ kg/jam}$
- $\text{NaCl} = 95 \% \times 0,000457 = 0,000434 \text{ kg/jam}$
- $\text{Al}_2\text{O}_3 = 95 \% \times 0,007617 = 0,007236 \text{ kg/jam}$

- *Ke Stack*

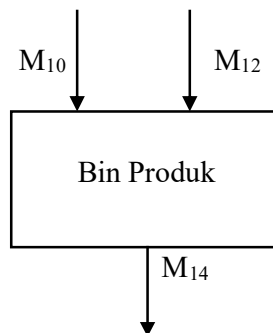
- $\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 62,124006 - 59,017805 = 3,106200 \text{ kg/jam}$
- $\text{SiO}_2 = 0,655683 - 0,622899 = 0,032784 \text{ kg/jam}$
- $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 0,060509 - 0,057484 = 0,003025 \text{ kg/jam}$
- $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 0,000305 - 0,000289 = 0,000015 \text{ kg/jam}$
- $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,003047 - 0,002894 = 0,000152 \text{ kg/jam}$
- $\text{NaCl} = 0,000457 - 0,000434 = 0,000023 \text{ kg/jam}$
- $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,007617 - 0,007236 = 0,000381 \text{ kg/jam}$
- $\text{H}_2\text{O teruapkan} = 8312,206318 \text{ kg/jam}$
- $\text{Udara pemanas} = 78216,690822 \text{ kg/jam}$

Neraca Massa pada Cyclone

Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
<u>Dari Spray Dryer (M₁₁)</u>	<u>Ke Bin Produk (M₁₂)</u>
Na ₂ SiO ₃ = 62,124006	Na ₂ SiO ₃ = 59,017805
SiO ₂ = 0,655683	SiO ₂ = 0,622899
Na ₂ CO ₃ = 0,060509	Na ₂ CO ₃ = 0,057484
Na ₂ SO ₄ = 0,000305	Na ₂ SO ₄ = 0,000289
Fe ₂ O ₃ = 0,003047	Fe ₂ O ₃ = 0,002894
NaCl = 0,000457	NaCl = 0,000434
Al ₂ O ₃ = 0,007617	Al ₂ O ₃ = 0,007236
H ₂ O teruapkan = 8312,206318	<u>Ke Stack (M₁₃)</u>
Udara pemanas = 78216,690822	Na ₂ SiO ₃ = 3,106200
	SiO ₂ = 0,032784
	Na ₂ CO ₃ = 0,003025
	Na ₂ SO ₄ = 0,000015
	Fe ₂ O ₃ = 0,000152
	NaCl = 0,000023
	Al ₂ O ₃ = 0,000381
	H ₂ O teruapkan = 8312,206318
	Udara pemanas = 78216,690822
Total = 86591,748764	Total = 86591,748764

7. BIN PRODUK (F-326)

Fungsi : Menampung sementara produk natrium metasilikat.



Neraca Massa Total : $M_{10} + M_{12} = M_{14}$

Keterangan :

M_{10} = Massa bahan masuk dari spray dryer

M_{12} = Massa bahan masuk dari cyclone

M_{14} = Massa bahan keluar menuju packing

Komposisi Bahan Masuk :

- *Dari Spray Dryer*

- Na_2SiO_3 = 6150,276572 kg/jam

- SiO_2 = 64,912615 kg/jam

- Na_2CO_3 = 5,990436 kg/jam

- Na_2SO_4 = 0,030163 kg/jam

- Fe_2O_3 = 0,301633 kg/jam

- NaCl = 0,045245 kg/jam

- Al_2O_3 = 0,754083 kg/jam

- H_2O = 31,111554 kg/jam

- *Dari Cyclone*

- Na_2SiO_3 = 59,017805 kg/jam

- SiO_2 = 0,622899 kg/jam

- Na_2CO_3 = 0,057484 kg/jam

- Na_2SO_4 = 0,000289 kg/jam

- Fe_2O_3 = 0,002894 kg/jam

- NaCl = 0,000434 kg/jam

- Al_2O_3 = 0,007236 kg/jam

Komposisi Bahan Keluar :

- *Ke Packing*

- Na_2SiO_3 = 6209,294378 kg/jam

- SiO_2 = 65,535514 kg/jam

- Na_2CO_3 = 6,047920 kg/jam

- Na_2SO_4 = 0,030453 kg/jam

- Fe_2O_3 = 0,304528 kg/jam

- NaCl = 0,045679 kg/jam

- Al_2O_3 = 0,761319 kg/jam

- H_2O = 31,111554 kg/jam

Neraca Massa pada Bin Produk

Masuk (kg/jam)	Keluar (kg/jam)
<u>Dari Spray Dryer (M₁₀)</u>	<u>Ke Packing (M₁₄)</u>
Na ₂ SiO ₃ = 6150,276572	Na ₂ SiO ₃ = 6209,294378
SiO ₂ = 64,912615	SiO ₂ = 65,535514
Na ₂ CO ₃ = 5,990436	Na ₂ CO ₃ = 6,047920
Na ₂ SO ₄ = 0,030163	Na ₂ SO ₄ = 0,030453
Fe ₂ O ₃ = 0,301633	Fe ₂ O ₃ = 0,304528
NaCl = 0,045245	NaCl = 0,045679
Al ₂ O ₃ = 0,754083	Al ₂ O ₃ = 0,761319
H ₂ O = 31,111554	H ₂ O = 31,111554
<u>Dari Cyclone (M₁₂)</u>	
Na ₂ SiO ₃ = 59,017805	
SiO ₂ = 0,622899	
Na ₂ CO ₃ = 0,057484	
Na ₂ SO ₄ = 0,000289	
Fe ₂ O ₃ = 0,002894	
NaCl = 0,000434	
Al ₂ O ₃ = 0,007236	
Total = 6313,1313	Total = 6313,1313

APPENDIKS B

PERHITUNGAN NERACA PANAS

Kapasitas Produksi : 50.000 ton/tahun

Waktu Operasi : 330 hari
: 24 jam/hari

Satuan panas : kkal/jam

Suhu referensi : 25°C

Neraca Panas dihitung pada alat-alat yang mengalami perubahan panas. Kapasitas panas (C_p) dapat dihitung dengan metode Kopp's yaitu dengan penentuan kapasitas panas atom pembentuk.

Kapasitas panas masing-masing atom adalah :

Atom Pembentuk	C_p Bahan Padat (kkal/mol°C)	C_p Bahan Cair (kkal/mol°C)
C	1,8	2,8
H	2,3	4,3
B	2,7	4,7
Si	3,8	5,8
O	4,0	6,0
F	5,0	7,0
P	5,4	7,4
S	5,4	7,4
Bahan Lain	6,2	8,0

Perhitungan kapasitas panas (C_p) masing-masing bahan dengan cara sebagai berikut :

$$C_aH_bO_c = \frac{(C_p C \times a) + (C_p H \times b) + (C_p O \times c)}{(Ar C \times a) + (Ar H \times b) + (Ar O \times c)}$$

Contoh perhitungan kapasitas panas (C_p) untuk SiO_2 adalah :

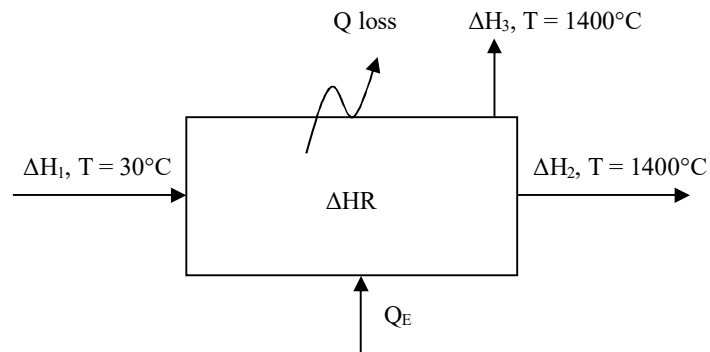
$$\begin{aligned} SiO_2 &= (5,4) + (4 \times 2) \\ &= 13,4 \text{ kkal/kgmol}^\circ C \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } SiO_2 &= 13,4 \text{ kkal/kgmol}^\circ C / 60 \\ &= 0,1967 \text{ kkal/kg}^\circ C \end{aligned}$$

Sehingga data Cp untuk komposisi bahan :

Fe ₂ O ₃	= 0,1525 kkal/kg°C
Al ₂ O ₃	= 0,5304 kkal/kg°C
H ₂ O	= 0,9000 kkal/kg°C
Na ₂ CO ₃	= 0,2472 kkal/kg°C
NaCl	= 0,2120 kkal/kg°C
Na ₂ SO ₄	= 0,2437 kkal/kg°C
Na ₂ SiO ₃	= 0,2311 kkal/kg°C
CO ₂	= 0,2227 kkal/kg°C

1. ELECTRIC FURNACE (Q-210)



$$\text{Neraca Panas Total : } \Delta H_1 + \Delta H_R + Q_E = \Delta H_2 + \Delta H_3 + Q_{\text{loss}}$$

Dimana :

- ΔH_1 = Panas yang terkandung dalam bahan masuk ke electric furnace
- ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam bahan keluar dari electric furnace
- ΔH_3 = Panas yang terkandung dalam CO₂ keluar
- ΔH_R = Panas reaksi
- Q_E = Panas listrik masuk
- Q_{loss} = Panas yang hilang (5% ($\Delta H_1 + \Delta H_R + Q_E$))

Menghitung panas yang terkandung dalam bahan masuk (ΔH_1)

Komponen	m (kg/jam)	Cp (kkal/kg°C)	ΔT (30-25)°C	ΔH_1 (kkal/jam)
SiO ₂	5548,3495	0,1967	5	5455,8770
Na ₂ CO ₃	5679,9083	0,2472	5	7019,5093
Na ₂ SO ₄	1,1440	0,2437	5	1,3937

Fe ₂ O ₃	11,4399	0,1525	5	8,7229
NaCl	1,7160	0,2120	5	1,8187
Al ₂ O ₃	28,5997	0,5304	5	75,8515
H ₂ O	168,7385	0,9000	5	759,3231
Total				13322,4961

Menghitung panas yang terkandung dalam bahan keluar (ΔH_2)

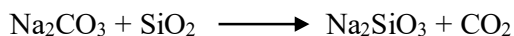
Komponen	m (kg/jam)	Cp (kkal/kg°C)	ΔT (1400-25)°C	ΔH_2 (kkal/jam)
Na ₂ SiO ₃	6275,7628	0,2311	1375	1994612,1136
SiO ₂	2461,9087	0,1967	1375	665741,1566
Na ₂ CO ₃	227,1963	0,2472	1375	77214,6020
Na ₂ SO ₄	1,1440	0,2437	1375	383,2768
Fe ₂ O ₃	11,4399	0,1525	1375	2398,8032
NaCl	1,7160	0,2120	1375	500,1288
Al ₂ O ₃	28,5997	0,5304	1375	20859,1578
H ₂ O	168,7385	0,9000	1375	208813,8480
Total				2970523,2868

Menghitung panas yang terkandung dalam CO₂ keluar (ΔH_3)

Komponen	m (kg/jam)	Cp (kkal/kg°C)	ΔT (1400-25)°C	ΔH_3 (kkal/jam)
CO ₂	2263,3899	0,2227	1375	693163,1445

Menghitung panas reaksi (ΔH_R)

96%



a. Menghitung panas yang terkandung dalam produk (ΔH_{produk})

$$\Delta H_{\text{produk}} = m \times C_p \times \Delta T$$

Cp Na₂SiO₃ dan Cp CO₂ ditentukan dengan rumus Hukum Kopp

$$\begin{aligned} \text{Na}_2\text{SiO}_3 &= (6,2 \times 2) + (3,8) + (4 \times 3) / 122 \\ &= 0,2311 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 &= (1,8) + (4 \times 2) / 44 \\ &= 0,2227 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Komponen	m (kg/jam)	Cp (kkal/kg°C)	ΔT (1400-25)°C	ΔH _{produk} (kkal/jam)
Na ₂ SiO ₃	6275,7628	0,2311	1375	1994612,3136
CO ₂	2263,3899	0,2227	1375	693163,1445
				2687775,4581

b. Menghitung panas yang terkandung dalam reaktan (ΔH_{reaktan})

$$\Delta H_{\text{reaktan}} = m \times C_p \times \Delta T$$

C_p Na₂CO₃ dan C_p SiO₂ ditentukan dengan rumus Hukum Kopp

$$\begin{aligned} \text{Na}_2\text{CO}_3 &= (6,2 \times 2) + (1,8) + (4 \times 3) / 106 \\ &= 0,2472 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 &= (3,8) + (4 \times 2) / 60 \\ &= 0,1967 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Komponen	m (kg/jam)	Cp (kkal/kg°C)	ΔT (1400-25)°C	ΔH _{reaktan} (kkal/jam)
Na ₂ CO ₃	5452,7119	0,2472	1375	1853150,4474
SiO ₂	3086,4407	0,1967	1375	834625,0107
				2687775,4581

c. Menghitung ΔH_{f25°C}

$$\text{Diketahui : } \Delta H_{f25^\circ\text{C}} \text{ Na}_2\text{CO}_3(\text{s}) = - 0,2695 \text{ kkal/kmol}$$

$$\Delta H_{f25^\circ\text{C}} \text{ SiO}_2(\text{s}) = - 0,02026 \text{ kkal/kmol}$$

$$\Delta H_{f25^\circ\text{C}} \text{ Na}_2\text{SiO}_3(\text{s}) = - 0,3839 \text{ kkal/kmol}$$

$$\Delta H_{f25^\circ\text{C}} \text{ CO}_2(\text{s}) = - 0,0941 \text{ kkal/kmol} \quad (\text{Perry's tabel 2-220})$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{f25^\circ\text{C}} &= \{(\Delta H_f \text{ Na}_2\text{SiO}_3) + (\Delta H_f \text{ CO}_2)\} - \{(\Delta H_f \text{ Na}_2\text{CO}_3) + (\Delta H_f \text{ SiO}_2)\} \\ &= \{51,4407 (-0,3839) + 51,4407 (-0,0941)\} - \{53,5840 (-0,2695) + \\ &\quad 53,5840 (-0,02026)\} \\ &= 8,5888 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\Delta H_R = \Delta H_{\text{produk}} - \Delta H_{\text{reaktan}} + \Delta H_{f25^\circ\text{C}}$$

$$= (2687775,4581 - 2687775,4581) + 8,5888$$

$$= 8,5888 \text{ kkal/jam}$$

Menghitung panas listrik masuk (Q_E)

Q_{loss} = 5% dari panas masuk

Neraca Panas Total : $\Delta H_1 + \Delta H_R + Q_E = \Delta H_2 + \Delta H_3 + Q_{loss}$

$$\Delta H_1 + \Delta H_R + Q_E = \Delta H_2 + \Delta H_3 + \{5\% (\Delta H_1 + \Delta H_R + Q_E)\}$$

$$95\% \Delta H_1 + \Delta H_R + Q_E = \Delta H_2 + \Delta H_3$$

$$2970523,2868 \text{ Q}_E = \frac{\Delta H_2 + \Delta H_3 - \{(0,95 \times \Delta H_1) + (0,95 \times \Delta H_R)\}}{0,95}$$

$$Q_E = \frac{2970523,2868 + 693163,1445 - (12656,3713 + 8,1594)}{0,95}$$

$$Q_E = 3843180,9479 \text{ kkal/jam}$$

$$Q_E = 4458,0899 \text{ KWH} = 5978,3960 \text{ Hp}$$

Menghitung panas yang hilang (Q_{loss})

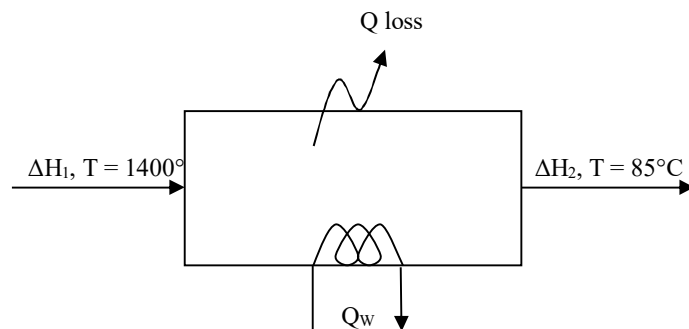
$$5\% (\Delta H_1 + \Delta H_R + Q_E = \{5\% (13322,4961 + 8,5888 + 3843180,9479)\})$$

$$= 192825,6016 \text{ kkal/jam}$$

Neraca Panas pada Electric Furnace

Neraca panas masuk (kkal/jam)	Neraca panas keluar (kkal/jam)
$\Delta H_1 = 13322,4961$	$\Delta H_2 = 2970523,2868$
$Q_E = 3843180,9479$	$\Delta H_3 = 693163,1445$
$\Delta H_R = 8,5888$	$Q_{loss} = 192825,6016$
Total = 3856512,0329	Total = 3856512,0329

2. CHILL CONVEYOR (E-220)



Neraca Panas Total : $\Delta H_1 = \Delta H_2 + Q_{loss} + Q_w$

Dimana :

- ΔH_1 = Panas yang terkandung dalam bahan masuk ke chill conveyor
 ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam bahan keluar dari chill conveyor
 Q_w = Panas yang terkandung dalam bahan masuk ke chill conveyor
 Q_{loss} = Panas yang hilang (5% ΔH_1)

Menghitung panas yang terkandung dalam bahan masuk (ΔH_1)

Komponen	m (kg/jam)	Cp (kkal/kg°C)	ΔT (1400-25)°C	ΔH_1 (kkal/jam)
Na ₂ SiO ₃	6275,7628	0,2311	1375	1994612,1136
SiO ₂	2461,9087	0,1967	1375	665741,1566
Na ₂ CO ₃	227,1963	0,2472	1375	77214,6020
Na ₂ SO ₄	1,1440	0,2437	1375	383,2768
Fe ₂ O ₃	11,4399	0,1525	1375	2398,8032
NaCl	1,7160	0,2120	1375	500,1288
Al ₂ O ₃	28,5997	0,5304	1375	20859,1578
H ₂ O	168,7385	0,9000	1375	208813,8480
Total				2970523,2868

Menghitung panas yang terkandung dalam bahan keluar (ΔH_2)

Komponen	m (kg/jam)	Cp (kkal/kg°C)	ΔT (85-25)°C	ΔH_2 (kkal/jam)
Na ₂ SiO ₃	6275,7628	0,2311	60	87037,6282
SiO ₂	2461,9087	0,1967	60	29050,5232
Na ₂ CO ₃	227,1963	0,2472	60	3369,3644
Na ₂ SO ₄	1,1440	0,2437	60	16,7248
Fe ₂ O ₃	11,4399	0,1525	60	104,6750
NaCl	1,7160	0,2120	60	21,8238
Al ₂ O ₃	28,5997	0,5304	60	910,2178
H ₂ O	168,7385	0,9000	60	9111,8770
Total				129622,8343

Menghitung panas yang hilang (Q_{loss})

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{loss}} &= 5\% \text{ dari panas yang masuk} \\
 &= 5\% \times \Delta H_1 \\
 &= 5\% \times 2970523,2868 \\
 &= 148526,1643 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

Menghitung panas keluar oleh air pendingin (Q_w)

$$\begin{aligned}
 \text{Neraca Panas Total} \quad : \quad \Delta H_1 &= \Delta H_2 + Q_{\text{loss}} + Q_w \\
 Q_w &= \Delta H_1 - (\Delta H_2 + Q_{\text{loss}}) \\
 Q_w &= 2970523,2868 - (129622,8343 + 148526,1643) \\
 Q_w &= 2692374,2881 \text{ kkal/jam}
 \end{aligned}$$

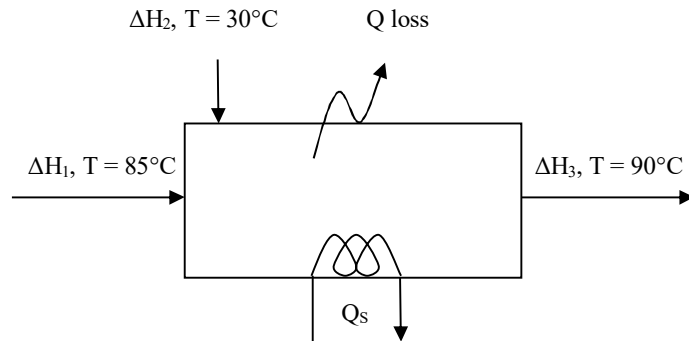
Menghitung kebutuhan air pendingin pada suhu 30°C

$$\begin{aligned}
 m_{\text{Air}} &= \frac{Q_w}{C_{p_{\text{Air}}} \times \Delta T} \\
 m_{\text{Air}} &= \frac{2692374,2881}{0,9987 \times (300 - 30)} \\
 m_{\text{Air}} &= 9984,7368 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Neraca Panas pada Chill Conveyor

Neraca panas masuk (kkal/jam)	Neraca panas keluar (kkal/jam)
$\Delta H_1 = 2970523,2868$	$\Delta H_2 = 129622,8343$
	$Q_w = 2692374,2881$
	$Q_{\text{loss}} = 148526,1643$
Total = 2970523,2868	Total = 2970523,2868

3. TANGKI PELARUT (M-230)



Neraca Panas Total : $\Delta H_1 + \Delta H_2 + Q_s = \Delta H_3 + Q_{loss}$

Dimana :

ΔH_1 = panas yang terkandung dalam bahan masuk ke tangki pelarut

ΔH_2 = panas yang terkandung dalam water proses masuk

ΔH_3 = panas yang terkandung dalam bahan keluar dari tangki pelarut

Q_s = panas steam masuk

Q_{loss} = panas yang hilang (5% ($\Delta H_1 + \Delta H_2 + Q_s$))

Menghitung panas yang terkandung dalam bahan masuk (ΔH_1)

Komponen	m (kg/jam)	Cp (kkal/kg°C)	ΔT (85-25)°C	ΔH_2 (kkal/jam)
Na ₂ SiO ₃	6275,7628	0,2311	60	87037,6282
SiO ₂	2461,9087	0,1967	60	29050,5232
Na ₂ CO ₃	227,1963	0,2472	60	3369,3644
Na ₂ SO ₄	1,1440	0,2437	60	16,7248
Fe ₂ O ₃	11,4399	0,1525	60	104,6750
NaCl	1,7160	0,2120	60	21,8238
Al ₂ O ₃	28,5997	0,5304	60	910,2178
H ₂ O	168,7385	0,9000	60	9111,8770
Total				129622,8343

Menghitung panas yang terkandung dalam water proses (ΔH_2)

Komponen	m (kg/jam)	Cp (kkal/kg°C)	ΔT(30-25)°C	ΔH ₂ (kkal/jam)
H ₂ O	8258,8553	0,9000	5	37164,8491

Menghitung panas yang terkandung dalam bahan keluar (ΔH₃)

Komponen	m (kg/jam)	Cp (kkal/kg°C)	ΔT (90-25)°C	ΔH ₃ (kkal/jam)
Na ₂ SiO ₃	6275,7628	0,2311	65	94290,7639
SiO ₂	2461,9087	0,1967	65	31471,4001
Na ₂ CO ₃	227,1963	0,2472	65	3650,1448
Na ₂ SO ₄	1,1440	0,2437	65	18,1185
Fe ₂ O ₃	11,4399	0,1525	65	113,3980
NaCl	1,7160	0,2120	65	23,6425
Al ₂ O ₃	28,5997	0,5304	65	986,0693
H ₂ O	8427,5938	0,9000	65	493014,2379
Total				623567,7750

Menghitung panas steam masuk (Q_s)

Q_{loss} = 5% dari panas masuk

$$\text{Neraca Panas Total} : \Delta H_1 + \Delta H_2 + Q_s = \Delta H_3 + Q_{\text{loss}}$$

$$: \Delta H_1 + \Delta H_2 + Q_s = \Delta H_3 + 5\% (\Delta H_1 + \Delta H_2 + Q_s)$$

$$95\% (\Delta H_1 + \Delta H_2 + Q_s) = \Delta H_3$$

$$Q_s = \frac{\Delta H_3 - ((0,95 \times \Delta H_1) + (0,95 \times \Delta H_2))}{0,95}$$

$$Q_s = \frac{623567,7750 - ((0,95 \times 129622,8343) + (0,95 \times 37164,8491))}{0,95}$$

$$Q_s = 489599,4481 \text{ kkal/jam}$$

Menghitung panas yang hilang (Q_{loss})

$$Q_{\text{loss}} = 5\% (\Delta H_1 + \Delta H_2 + Q_s)$$

$$= 5\% \times (129622,8343 + 37164,8491 + 489599,4481)$$

$$= 32819,3566 \text{ kkal/jam}$$

Menghitung kebutuhan steam

Pemanas yang digunakan adalah saturated steam dengan kondisi :

Tekanan = 101,325 kPa

Suhu = 100°C

$\lambda_s = 539,4126$ kkal/kg

Sehingga kebutuhan steam :

$$Q_s = m_s \times \lambda_s$$

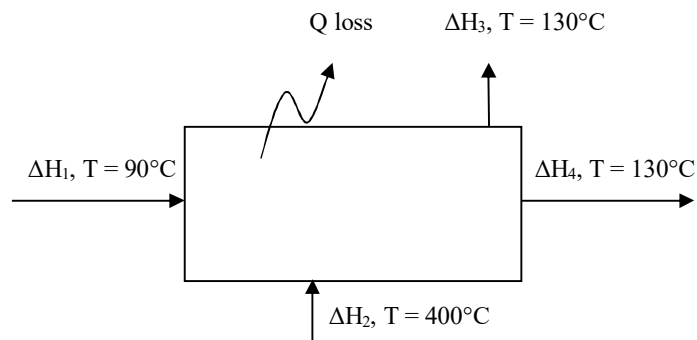
$$m_s = \frac{Q_s}{\lambda_s}$$

$$m_s = \frac{489599,4481 \text{ kkal/jam}}{539,4126 \text{ kkal/kg}}$$

Neraca Panas pada Tangki Pelarut

Neraca panas masuk (kkal/jam)	Neraca panas keluar (kkal/jam)
$\Delta H_1 = 129622,8343$	$\Delta H_3 = 623567,7750$
$\Delta H_2 = 37164,8491$	$Q_{\text{loss}} = 32819,3566$
$Q_s = 489599,4481$	
Total = 656387,1315	Total = 656387,1315

4. SPRAY DRYER (B-320)



Neraca Panas Total : $\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3 + \Delta H_4 + Q_{\text{loss}}$

Dimana :

ΔH_1 = Panas yang terkandung dalam bahan masuk ke spray dryer

ΔH_2 = Panas yang terkandung dalam udara panas masuk ke spray dryer

ΔH_3 = Panas yang terkandung dalam bahan keluar dari spray dryer

ΔH_4 = Panas yang terkandung dalam udara panas keluar dari spray dryer

$Q_{\text{loss}} = \text{Panas yang hilang (5\% } \Delta H_1 + \Delta H_2)$

Menghitung panas yang terkandung dalam bahan masuk ke spray dryer

(ΔH_1)

Komponen	m (kg/jam)	Cp (kkal/kg°C)	ΔT (90-25)°C	ΔH_1 (kkal/jam)
Na ₂ SiO ₃	6212,4006	0,2311	65	93338,7726
SiO ₂	65,5683	0,1967	65	838,1814
Na ₂ CO ₃	6,0509	0,2472	65	97,2147
Na ₂ SO ₄	0,0305	0,2437	65	0,4826
Fe ₂ O ₃	0,3047	0,1525	65	3,0201
NaCl	0,0457	0,2120	65	0,6297
Al ₂ O ₃	0,7617	0,5304	65	26,2621
H ₂ O	8343,3179	0,9000	65	488084,0955
Total				582388,6587

Menghitung panas yang terkandung dalam bahan keluar dari spray dryer

(ΔH_3)

- Ke Bin Produk

Komponen	m (kg/jam)	Cp (kkal/kg°C)	ΔT (130-25)°C	ΔH_3 (kkal/jam)
Na ₂ SiO ₃	6150,2766	0,2311	105	149270,2371
SiO ₂	64,9126	0,1967	105	1340,4455
Na ₂ CO ₃	5,9904	0,2472	105	155,4688
Na ₂ SO ₄	0,0302	0,2437	105	0,7717
Fe ₂ O ₃	0,3016	0,1525	105	4,8299
NaCl	0,0452	0,2120	105	1,0070
Al ₂ O ₃	0,7541	0,5304	105	41,9992
H ₂ O	31,1116	0,9000	105	2940,0418
				153754,8010

- Ke Cyclone

Komponen	m (kg/jam)	Cp (kkal/kg°C)	ΔT (130-25)°C	ΔH ₃ (kkal/jam)
Na ₂ SiO ₃	62,1240	0,2311	105	1507,7802
SiO ₂	0,6557	0,1967	105	13,5399
Na ₂ CO ₃	0,0605	0,2472	105	1,5704
Na ₂ SO ₄	0,0003	0,2437	105	0,0078
Fe ₂ O ₃	0,0030	0,1525	105	0,0488
NaCl	0,0005	0,2120	105	0,0102
Al ₂ O ₃	0,0076	0,5304	105	0,4242
H ₂ O teruapkan	8312,2063	0,9000	105	785503,4970
				787026,8784

$$\begin{aligned}\Delta H_3 &= (153754,8010 + 787026,8784) \text{ kkal/jam} \\ &= 940781,6794 \text{ kkal/jam}\end{aligned}$$

Menghitung panas yang terkandung dalam H₂O yang teruapkan

$$m = 8312,2063 \text{ kg/jam}$$

$$C_{pl} = 1 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C pada } t = \frac{95 + 25}{2} = 60^\circ\text{C} \quad (\text{Perry's, 6}^{\text{th}} \text{ ed, hal 3-139})$$

$$\lambda = 524 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C pada } t = 95^\circ\text{C} \quad (\text{Perry's, 6}^{\text{th}} \text{ ed, hal 3-127})$$

$$C_{pv} = 0,459 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C pada } t = \frac{130 + 95}{2} = 112,5^\circ\text{C} \quad (\text{Perry's, 6}^{\text{th}} \text{ ed, hal 3-140})$$

$$\begin{aligned}\text{Panas air yang teruapkan} &= m (C_{pl} \times \Delta t + \lambda + C_{pv} \times \Delta t) \\ &= 8312,2063 (1(95 - 25) + 524 + 0,459 (130 - 95)) \\ &= 5070986,1472 \text{ kkal/jam}\end{aligned}$$

Pemanas Udara (Burner)

Gas panas (gas hasil pembakaran) suhu 400°C (Perry's, 6th ed, hal 20-54)

Bahan bakar fuel oil 33°API

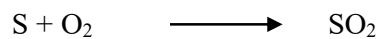
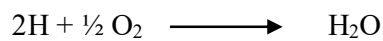
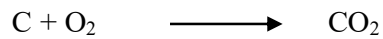
Direncanakan :

- Bahan dan udara keluar spray dryer pada suhu 130°C

Menghitung komposisi gas panas masuk spray dryer

- Temperatur 400°C
- Temperatur udara luar 300°C
- Humidity 0,014 $\frac{\text{kg air}}{\text{kg udara kering}}$ (humidity chart)

Reaksi pembakaran (dianggap pembakaran sempurna)



Menghitung panas gas hasil pembakaran (ΔH_p)

Basis : 1 kg/jam bahan bakar (fuel oil)

(Perry's, 6th ed, hal 9-10)

Komposisi fuel oil 33°API :

$$\text{C} = 87,30\% \times \frac{1 \text{ kg/jam}}{12 \text{ kg/kgmol}} = 0,0727500 \text{ kgmol/jam}$$

$$\text{H} = 12,60\% \times \frac{1 \text{ kg/jam}}{12 \text{ kg/kgmol}} = 0,12600 \text{ kgmol/jam}$$

$$\text{O} = 0,04\% \times \frac{1 \text{ kg/jam}}{12 \text{ kg/kgmol}} = 0,000025 \text{ kgmol/jam}$$

$$\text{N} = 0,006\% \times \frac{1 \text{ kg/jam}}{12 \text{ kg/kgmol}} = 0,00000429 \text{ kgmol/jam}$$

$$\text{S} = 0,22\% \times \frac{1 \text{ kg/jam}}{12 \text{ kg/kgmol}} = 0,00006875 \text{ kgmol/jam}$$

$$\text{Ash} = 0,01\%$$

Berdasarkan stoikiometri persamaan di atas, didapat jumlah kgmol/jam hasil reaksi dan O₂ yang dibutuhkan.

Reaksi	CO ₂	H ₂ O	SO ₂	O ₂
1	0,0727500			0,0727500
2		0,12600		$\frac{1}{4} \times 0,12600$
3			0,00006875	0,00006875
Total				0,1043188

Kebutuhan O₂ = 0,1043188 kgmol/jam

$$\text{O}_2 \text{ dalam fuel oil masuk} = \frac{0,000025}{2} = 0,0000125 \text{ kgmol/jam}$$

$$\text{Kebutuhan O}_2 \text{ teoritis} = (0,1043188 - 0,0000125) = 0,1043063 \text{ kgmol/jam}$$

$$\text{Misal udara kering yang digunakan} = m \text{ kg/jam} = (m/29) \text{ kgmol/jam}$$

$$\text{O}_2 = 0,21 \times (m/29) \text{ kgmol/jam} = 0,00724138 m \text{ kgmol/jam}$$

$$\text{N}_2 = 0,79 \times (m/29) \text{ kgmol/jam} = 0,02724138 m \text{ kgmol/jam}$$

$$\text{Humidity udara luar} = 0,014 \frac{\text{lb air}}{\text{lb udara kering}} = 0,014 \frac{\text{kg air}}{\text{kg udara kering}}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0,014 \times m \text{ kg/jam}$$

$$= \frac{0,014}{18} \times m \text{ kgmol/jam} = 0,00077778 m \text{ kgmol/jam}$$

Gas-gas hasil pembakaran :

$$\text{CO}_2 = 0,072750 \text{ kgmol/jam}$$

$$\text{SO}_2 = 0,00006875 \text{ kgmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} &= ((0,12578/2) + 0,00077778 m) \text{ kgmol/jam} \\ &= (0,063 + 0,00077778 m) \text{ kgmol/jam} \end{aligned}$$

$$\text{O}_2 = (0,00724138 m - 0,104306) \text{ kgmol/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{N}_2 &= (0,00724138 m + (0,00000429/2)) \text{ kgmol/jam} \\ &= (0,00724138 m + 0,00000214) \text{ kgmol/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Harga } C_p \text{ pada } t \text{ rata-rata} = \frac{400 + 25}{2} = 212,5^\circ\text{C} \quad (\text{Perry, 6}^{\text{th}} \text{ ed, hal 3-140})$$

$$C_p \text{ CO}_2 = 0,24 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} = 10,56 \text{ Kkal/Kgmol}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ SO}_2 = 0,173 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} = 11,072 \text{ Kkal/Kgmol}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ H}_2\text{O} = 0,47 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} = 8,46 \text{ Kkal/Kgmol}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ O}_2 = 0,235 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} = 7,52 \text{ Kkal/Kgmol}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ N}_2 = 0,257 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} = 7,196 \text{ Kkal/Kgmol}^\circ\text{C}$$

$$\Delta H = m \times C_p \times \Delta T$$

$$\Delta H_{\text{CO}_2} = 0,0727500 \times 10,56 \times (400 - 25) = 288,0900 \text{ Kkal}$$

$$\Delta H_{\text{SO}_2} = 0,0000688 \times 11,072 \times (400 - 25) = 0,2855 \text{ Kkal}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{H}_2\text{O}} &= (0,063 + 0,00077778 m) \times 8,46 \times (400 - 25) \\ &= (2,4675 m + 199,8675) \text{ Kkal} \end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{O}_2} = (0,00724138 m - 0,104306) \times 7,52 \times (400 - 25)$$

$$= (20,4207 \text{ m} - 294,1436) \text{ Kkal}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{N_2} &= (0,00724138 \text{ m} + 0,00000214) \times 7,196 \times (400 - 25) \\ &= (73,5109 \text{ m} + 0,0058) \text{ Kkal} \end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{produk}} = (194,1051 + 96,3991 \text{ m}) \text{ Kkal}$$

Menghitung panas yang terkandung dalam reaktan (ΔH_R)

Menghitung panas yang terkandung dalam fuel oil masuk burner

$$C_p \text{ fuel oil} = \frac{0,388 + 0,00045 \times ^\circ F}{\text{sg}} \quad (\text{Perry, 6}^{\text{th}} \text{ ed.,hal 9-10})$$

$$^\circ \text{API} = \frac{141,5}{\text{sg}} - 131,5 \quad (\text{Perry, 6}^{\text{th}} \text{ ed.,hal 9-9})$$

$$\text{sg} = \frac{141,5}{33 + 131,5} = 0,8602$$

$$t \text{ rata-rata fuel oil} = \frac{30 + 25}{2} = 27,5^\circ \text{C} = 81,5^\circ \text{F}$$

$$\begin{aligned} C_p \text{ fuel oil} &= \frac{0,388 \times 0,00045 \times 81,5}{0,8602} = 0,4937 \text{ Btu/lb}^\circ \text{F} \\ &= 0,4937 \text{ Kkal/Kg}^\circ \text{C} \end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{fuel oil}} = 1 \times 0,49370345 \times (30 - 25) = 2,4685 \text{ Kkal}$$

Menghitung panas yang terkandung dalam udara masuk burner

$$t = \frac{30 + 25}{2} = 27,5^\circ \text{C}$$

$$C_p \text{ udara} = 0,249 \text{ Kkal/Kg}^\circ \text{C} \quad (\text{Perry, 6}^{\text{th}} \text{ ed.,hal 3-140})$$

$$\Delta H_{\text{udara}} = (1 + 0,014) \text{ m} \times 0,249 \times (30 - 25) = 1,2624 \text{ m Kkal}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{Reaktan}} &= \Delta H_{\text{fuel oil}} + \Delta H_{\text{udara}} \\ &= (2,4685 + 1,2624 \text{ m}) \text{ Kkal} \end{aligned}$$

Menghitung panas yang hilang pada burner (Qloss)

Dianggap kehilangan panas di burner = 20% dari panas pembakaran

$$\begin{aligned} \text{Panas pembakaran (HV)} &= 131000 \text{ Btu/gallon} \quad (\text{Perry, 6}^{\text{th}} \text{ ed.,hal 9-12}) \\ &= 10147,137 \text{ Kkal/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total HV (THV)} &= m \times \text{HV} = 1 \text{ kg/jam} \times 10147,137 \text{ Kkal/kg} \\ &= 10147,137 \text{ Kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Panas yang hilang} = (0,2 \times 10147,137) \text{ Kkal/jam} = 2029,4274 \text{ Kkal/jam}$$

Neraca panas pada burner

Panas masuk = Panas keluar

$$THV + \Delta H_R = \Delta H_P + Q_{loss}$$

$$10147,137 + 2,4685 + 1,2624 m = 194,1051 + 96,3991 m + 2029,4274$$

$$m = 83,3125 \text{ Kg/jam}$$

Massa udara masuk burner = 83,3125 Kg/jam

Komposisi gas panas

Gas	Kgmol	BM	m (Kg/jam)	% Berat
CO ₂	0,0727500	44	3,2010	3,7650
SO ₂	0,0000688	64	0,0044	0,0052
H ₂ O	(0,063 + 0,00077778 (83,3125)) = 0,1277986	18	2,3004	2,7057
O ₂	(0,00724138 (83,3125) - 0,104306) = 0,4989909	32	15,9677	18,7809
N ₂	(0,00724138 (83,3125) + 0,00000214) = 2,2695486	28	63,5474	74,7433
			85,0209	100

Menghitung panas yang terkandung dalam udara panas masuk spray dryer (ΔH_2)

$$\text{Kebutuhan udara} = (1 + H) m = ((1 + 0,014) 83,3125) \text{ Kg/jam}$$

$$= 84,4789 \text{ Kg/jam}$$

Misal massa fuel oil = a Kg/jam

$$THV = HV \times \text{massa fuel oil} = 10147,137 \text{ Kkal/kg} \times a \text{ Kg/jam}$$

$$= 10147,137 a \text{ Kkal/jam}$$

$$\text{Panas yang terkandung dalam udara masuk burner} = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= 84,4789 a \times 0,249 \times (30 - 25)$$

$$= 105,1762 a \text{ Kkal/jam}$$

$$\text{Panas yang terkandung dalam fuel oil masuk burner} = m \times C_p \times \Delta T$$

$$= a \times 0,4937 \times (30 - 25)$$

$$= 2,4685 a \text{ Kkal/jam}$$

$$\Delta H_2 = THV + \text{panas udara masuk burner} + \text{panas fuel oil masuk burner}$$

$$= (10147,137 + 105,1762 + 2,4685) a \text{ Kkal/jam} = 10254,7817 a \text{ Kkal/jam}$$

Menghitung panas yang terkandung dalam udara panas keluar spray dryer (ΔH_4)

$$\text{Harga } C_p \text{ pada } t \text{ rata-rata} = \frac{130 + 25}{2} = 77,5^\circ\text{C} \quad (\text{Perry, 6}^{\text{th}} \text{ ed.,hal 3-140})$$

$$C_p \text{ CO}_2 = 0,22 \text{ Kkal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ SO}_2 = 0,16 \text{ Kkal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ H}_2\text{O} = 0,45 \text{ Kkal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ O}_2 = 0,225 \text{ Kkal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ N}_2 = 0,252 \text{ Kkal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} C_p \text{ gas keluar} &= ((0,22 \times 3,7650\%) + (0,16 \times 0,0052\%) + (0,45 \times 2,7057\%) + \\ &\quad (0,225 \times 18,7809\%) + (0,252 \times 74,7433\%)) \text{ Kkal/Kg}^\circ\text{C} \\ &= 0,2511 \text{ Kkal/Kg}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Panas yang terkandung dalam H₂O yang teruapkan = 5070986,1472 Kkal/jam

Panas yang terkandung dalam udara panas keluar (ΔH_4)

$$= 5070986,1472 + (85,0209 \text{ a} \times 0,2511 \times (130 - 25))$$

$$= (5070986,1472 + 2241,4111 \text{ a}) \text{ Kkal/jam}$$

Dianggap kehilangan panas pada spray dryer 1% dari gas panas yang masuk

$$Q_{\text{loss}} = 0,01 \times (10147,137\text{a} + 105,1762\text{a} + 2,4685\text{a} - 2029,4274\text{a})$$

$$= 0,01 \times 8225,3543 \text{ a}$$

$$= 82,2535 \text{ a Kkal/jam}$$

$$Q_{\text{loss total}} = (2029,4274 + 82,2535) \text{ a} = 2111,6809 \text{ a}$$

Neraca Panas pada Spray Dryer

Masuk :

$$(\Delta H_1) = 582388,6587 \quad \text{Kkal/jam}$$

$$(\Delta H_2) = \quad \quad \quad 10254,7817 \text{ a Kkal/jam}$$

$$\text{Total} = 582388,6587 + 10254,7817 \text{ a Kkal/jam}$$

Keluar :

$$(\Delta H_3) = 940781,6794 \quad \text{Kkal/jam}$$

$$(\Delta H_4) = 5070986,1472 + 2241,4111 \text{ a Kkal/jam}$$

$$(Q_{\text{loss}}) = \quad \quad \quad 2111,6809 \text{ a Kkal/jam}$$

$$\text{Total} = 6011767,8267 + 4353,0921 \text{ a Kkal/jam}$$

$$\text{Panas masuk} = \text{Panas keluar}$$

$$582388,6587 + 10254,7817 a = 6011767,8267 + 4353,0921 a$$

$$5901,6896 a = 5429379,1680 a$$

$$a = 919,9703 \text{ Kg/jam}$$

Massa fuel oil masuk burner = 919,9703 Kg/jam

Massa udara masuk burner = $(84,4789 \times 919,9703) \text{ Kg/jam}$
= 77718,0625 Kg/jam

Massa gas masuk spray dryer = $85,0209 \times 919,9703$
= 78216,6908 Kg/jam

$$(\Delta H_2) = 10254,7817 \times 919,9703$$

$$= 9434094,5707 \text{ Kkal/jam}$$

$$(\Delta H_4) = 5070986,1472 + 2241,4111 (919,9703)$$

$$= 5070986,1472 + 2062031,6591$$

$$= 7133017,8063 \text{ Kkal/jam}$$

$$(Q_{\text{loss}}) = 2111,6809 \times 919,9703$$

$$= 1942683,7437 \text{ Kkal/jam}$$

Masuk :

$$(\Delta H_1) = 582388,6587 \text{ Kkal/jam}$$

$$(\Delta H_2) = 9434094,5707 \text{ Kkal/jam}$$

$$\text{Total} = 10016483,2294 \text{ Kkal/jam}$$

Keluar :

$$(\Delta H_3) = 940781,6794 \text{ Kkal/jam}$$

$$(\Delta H_4) = 7133017,8063 \text{ Kkal/jam}$$

$$(Q_{\text{loss}}) = 1942683,7437 \text{ Kkal/jam}$$

$$\text{Total} = 10016483,2294 \text{ Kkal/jam}$$

Neraca Panas pada Spray Dryer

Neraca panas masuk (Kkal/jam)	Neraca panas keluar (Kkal/jam)
$\Delta H_1 = 582388,6587$	$(\Delta H_3) = 940781,6794$
$\Delta H_2 = 9434094,5707$	$(\Delta H_4) = 7133017,8063$
	$(Q_{\text{loss}}) = 1942683,7437$
$\text{Total} = 10016483,2294$	$\text{Total} = 10016483,2294$

APPENDIKS C

PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN

1. OPEN STORAGE PASIR SILIKA [F-111a]

Fungsi : Menyimpan bahan baku pasir silika selama 15 hari

Type : Open Storage

Dasar perhitungan :

Suhu = 30°C

Tekanan = 1 atm

Waktu tinggal = 15 hari

Massa bahan = 5719,9479 kg/jam = 302649,4182 lb/hari

ρ campuran = 2,6 g/cm³ = 162,318 lb/ft³

Asumsi:

- Volume bahan mengisi gudang adalah 80% dari volume gudang
- Panjang gudang 2 kali lebar gudang
- Tinggi gudang 1.5 kali lebar gudang

$$\text{Volume bahan} = \frac{\text{Massa bahan} \times \text{waktu tinggal}}{\rho \text{ campuran}}$$

$$= \frac{302649,4182 \text{ lb/hari} \times 15 \text{ hari}}{162,318 \text{ ft}^3}$$

$$= 27968,19375 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume gudang} = 27968,19375 \text{ ft}^3 \times 100/80 = 34960,24219 \text{ ft}^3$$

$$\text{Maka: } V_{\text{gudang}} = p \times l \times t$$

$$34960,24219 \text{ ft}^3 = (2 \times l) \times l \times (1,5 \times l)$$

$$3 l^3 = 34960,24219 \text{ ft}^3$$

$$l = \sqrt[3]{\frac{34960,24219}{3}} = 22,671716 \text{ ft} \approx 23 \text{ ft}^3$$

$$p = 2 \times 23 \text{ ft} = 46 \text{ ft}$$

$$t = 1,5 \times 23 \text{ ft} = 34,5 \text{ ft}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama : Open storage pasir silika
Kapasitas : 34960,24219 ft³
Ukuran : Panjang = 46 ft
 Lebar = 23 ft
 Tinggi = 34,5 ft
Jumlah : 1 buah

2. SCREW CONVEYOR [J-112 a]

Fungsi : Mengangkut bahan baku pasir silika dari open storage menuju ke bucket elevator.
Type : Horizontal screw conveyor
Bahan konstruksi : Carbon Steel

Dasar perhitungan :

Rate pasir silika : 5719,9479 kg/jam = 5,7199 ton/jam \approx 6 ton/jam

Dimensi screw conveyor berdasarkan Perry ed 5, tabel 7-6, hal 7-7, maka dipilih screw conveyor untuk kapasitas 15 ton/jam adalah sebagai berikut:

Diameter flig : 15 in = 0,381 m
Diameter pipa : 2,5 in = 0,0635 m
Diameter shaft : 2 in = 0,0508 m
Diameter feed masuk : 9 in = 0,2286 m
Panjang : 30 ft
Kecepatan putar : 80 rpm
Hangar center : 10 ft
Power motor : 2,25 Hp \approx 3 Hp

Untuk memenuhi kapasitas produksi didapatkan kecepatan screw conveyor:

$$\begin{aligned} \text{rpm}_{\text{baru}} &= \frac{\text{kapasitas screw conveyor}}{\text{kapasitas screw conveyor secara teori}} \times \text{kecepatan putar} \\ &= \frac{6}{15} \times 80 = 32 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama	: Screw conveyor
Fungsi	: Mengangkut bahan baku pasir silika dari open storage menuju ke bucket elevator
Type	: Horizontal screw conveyor
Bahan konstruksi	: Carbon Steel
Diameter flig	: 15 in = 0,381 m
Diameter pipa	: 2,5 in = 0,0635 m
Diameter shaft	: 2 in = 0,0508 m
Diameter feed masuk	: 9 in = 0,2286 m
Panjang	: 30 ft
Kecepatan putar	: 80 rpm
Hangar center	: 10 ft
Power motor	: 2,25 Hp \approx 3 Hp

3. BUCKET ELEVATOR PASIR SILIKA [J-113 a]

Fungsi	: Mengangkut pasir silika dari open storage ke hammer mill
Type	: Centrifugal - discharge bucket on belt elevator
Bahan	: Carbon Steel

Dasar perhitungan :

Kapasitas masuk = 5719,9479 kg/jam

Dirancang sebuah bucket elevator dengan :

Tinggi bucket elevator = 8 m = 26,2464 ft \approx 27 ft

Dengan factor keamanan 20 % (Vilbrant table 2-2, ha123)

Kapasitas pemilihan = 1,2 x 5719,9479 kg/jam = 6863,9374 kg/jam

Kapasitas : 14 ton (Perry ed 7, table 21-8, hal 21-15)

Size of lump handled : $\frac{3}{4}$ in

Bucket speed : 225 ft/menit

Head shaft : 43 rpm

Hp required at head shaft : 1 Hp

Lebar belt : 7 in

Bucket spacing : 12

Diameter shaft : head = $1 \frac{15}{16}$

Tail = $1 \frac{11}{16}$

Diameter pulley : head = 20 in

Tail = 14 in

Untuk kapasitas = 6863,9374 kg/jam

Kecepatan bucket = $\frac{6863,9374 \text{ kg/jam}}{14000 \text{ kg/jam}} \times 225 \text{ ft/menit} = 110,3133 \text{ ft/menit}$

Putaran head shaft = $\frac{6863,9374 \text{ kg/jam}}{14000 \text{ kg/jam}} \times 43 \text{ rpm} = 21,0821 \text{ rpm}$

Daya pada head shaft = $(\frac{162,3180 \text{ lb/ft}^3}{100 \text{ lb/ft}^3} \times 1 \text{ Hp}) + 0,02 = 1,6432 \text{ Hp}$

Efisiensi motor 82 % (Petter and Timmerhous fig. 14-3 8 hal1521)

Daya motor = $\frac{1,6432}{0,82} = 2,0039 \text{ Hp} \approx 2 \text{ Hp}$

Spesifikasi Peralatan :

Ukuran bucket : 6 x 4 x 4 ½ in

Tinggi : 27 ft

Kapasitas : 6863,9374 kg/jam

Kecepatan bucket : 110,3133 ft/menit

Putaran head shaft : 21,0821 rpm

Bucket spacing : 14 in

Shaft diameter head : $1 \frac{15}{16}$ in

Shaft diameter toil : $1 \frac{11}{16}$ in

Diameter pulley head : 20 in

Diameter pulley toil : 14 in

Belt width : 7 in

Power motor : 2 Hp

4. HAMMER MILL [C-114]

Fungsi : Memperkecil ukuran pasir silika

Bahan : Carbon Steel SA 135 Grade B

Dasar perhitungan :

Power yang dikonsumsi (P) = $1 \times m^{0,88} \times R$ (Ulrich, tab.4-5 ha176)

- Reduction ratio = 2 : 1

- Massa masuk = 5719,9479 kg/jam = 1,5889 kg/detik

Sehingga : $P = 1 \times m^{0,88} \times R$

$$P = 1 \times 1,5889^{0,88} \times 2$$

$$P = 3,0460 \text{ kW} = 4,0311 \text{ Hp} \approx 4 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama : Hammer mill

Bahan : Carbon steel SA 135 Grade B

Kapasitas : 5719,9479 kg/jam

Daya : 4 Hp

Jumlah : 1 buah

5. SCREW CONVEYOR [J-112 b]

Fungsi : Mengangkut pasir silika yang telah dihancurkan menuju ke Bin

Type : Horizontal screw conveyor

Dasar perhitungan :

Rate pasir silika : 5719,9479 kg/jam = 5,7199 ton/jam \approx 6 ton/jam

Dimensi screw conveyor berdasarkan Perry ed 5, tabel 7-6, hal 7-7, maka dipilih screw conveyor untuk kapasitas 15 ton/jam adalah sebagai berikut:

Diameter flig : 15 in = 0,381 m

Diameter pipa : 2,5 in = 0,0635 m

Diameter shaft : 2 in = 0,0508 m

Diameter feed masuk : 9 in = 0,2286 m

Panjang : 30 ft

Kecepatan putar : 80 rpm

Hangar center : 10 ft
Power motor : 2,25 Hp \approx 3 Hp

Untuk memenuhi kapasitas produksi didapatkan kecepatan screw conveyor:

$$\begin{aligned} \text{rpm baru} &= \frac{\text{kapasitas screw conveyor}}{\text{kapasitas screw conveyor secara teori}} \times \text{kecepatan putar} \\ &= 15 \times 80 = 32 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama : Screw conveyor
Fungsi : Mengangkut pasir silika yang telah dihancurkan menuju ke bin
Type : Horizontal screw conveyor
Bahan konstruksi : Carbon Steel
Diameter flig : 15 in = 0,381 m
Diameter pipa : 2,5 in = 0,0635 m
Diameter shaft : 2 in = 0,0508 m
Diameter feed masuk : 9 in = 0,2286 m .
Panjang : 30 ft
Kecepatan putar : 80 rpm
Hangar center : 10 ft
Power motor : 2,25 Hp \approx 3 Hp

6. BIN PASIR SILIKA [F-I15 a]

Fungsi : Menampung sementara pasir silika sebelum masuk ke auger
Type : Tangki silinder dengan tutup bawah berbentuk conis dengan sudut puncak 120°

Dasar perhitungan :

Suhu : 30°C
Massa bahan masuk : 5719,9479 kg/jam = 12610,3924 lb/jam
Densitas bahan : 2,6 g/cm³ = 162,31801b/ft³
Direncanakan bin digunakan untuk menampung bahan selama 1 jam

Perhitungan:

Menentukan Diameter Tangki

Bahan yang ditampung = 12610,3924 lb/jam x 1 jam = 12610,3924 lb

$$\text{Volume bahan} = \frac{m}{\rho} = \frac{12610,3924 \text{ lb}}{80\%} = 77,6894 \text{ ft}^3$$

Volume bahan mengisi bin = 80% dari volume bin, maka:

$$\text{Volume bin} = \frac{\text{volume bahan}}{80\%} = \frac{77,6894 \text{ ft}^3}{80\%} = 97,1118 \text{ ft}^3$$

$L_s = 1,5 \text{ di}$

$$\text{Volume bin} = \frac{\pi \text{ di}^3}{24 \text{ tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi}{4} \text{ di}^2 (1,5 \text{ di})$$

$$97,1118 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \text{ di}^3}{24 \text{ tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi}{4} \text{ di}^2 (1,5 \text{ di})$$

$$97,1118 \text{ ft}^3 = 1,25304 \text{ di}^3$$

$$\text{di} = 4,2635 \text{ ft} = 51,1623 \text{ in}$$

Menentukan tekanan design (Pi):

Volume bahan dalam shell = volume bahan - volume conis

$$= 77,6894 - \frac{\pi 4,2635^3}{24 \text{ tg } 60^\circ} = 71,8353 \text{ ft}^3$$

$$\text{Tinggi bahan dalam shell} = \frac{\text{volume bahan dalam shell}}{1/4 \pi \text{ di}^2}$$

$$= \frac{71,8353}{1/4 \pi 4,2635^2} = 5,0342 \text{ ft}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik (Ph)} = \frac{\rho (H-1)}{144} = \frac{162,3180 (5,0342-1)}{144}$$

$$= 4,5474 \text{ Psi}$$

$$\text{Tekanan design} = 4,5474 + 14,7 = 19,2474 \text{ Psia}$$

$$= 19,2474 - 14,7 = 4,5474 \text{ Psig}$$

Menentukan Tebal Silinder

Bahan : Carbon steel SA 240 grade M type 316

Allowable (f) : 18750 (Brownell and Young, 6al 342)

Faktor korosi (C) : 1/16 in

Type pengelasan : Double welded butt joint (E = 0,8)

Tekanan design (Pi) : 4,5474 Psig

$$ts = \frac{Pi \ di}{2(f E - 0,6 Pi)} + C = \frac{(4,5474) (51,1623)}{2((18750) (0,8) - 0,6 (4,5474))} + \frac{1}{16}$$

$$ts = \frac{1,1241}{16} = \frac{3}{16} \text{ in}$$

Standarisasi do:

$$do = di + 2 \ ts = 51,1623 \text{ in} + (2 \times (3/16))$$

$$do = 51,5373 \text{ in} = 6,29353 \text{ ft}$$

Dari tabel 5-7 Brownell and Young hal 89 didapat harga:

$$do = 48 \text{ in} \text{ icr} = 4 \ 3/8 \quad r = 48$$

Menentukan harga di baru:

$$di = do - 2 \ ts = 48 - (2 \times (3/16))$$

$$di = 47,6250 \text{ in} = 3,9688 \text{ ft}$$

Cek Hubungan Ls dengan di

$$\text{Volume bin} = \frac{\pi \ di^3}{24 \ \text{tg} \ 1/2 \ \alpha} + \frac{\pi}{4} \ di^2 \ Ls$$

$$97,1118 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \ 3,96883^3}{24 \ \text{tg} \ 60^\circ} + \frac{\pi}{4} \ 3,9688^2 \ Ls$$

$$Ls = 7,4722 \text{ ft}$$

$$\frac{Ls}{di} = \frac{7,4722 \text{ ft}}{3,9688 \text{ ft}} = 1,8828 > 1,5 \text{ (memenuhi)}$$

Menentukan Tebal Tutup Bawah Berbentuk Conis (thb)

$$thb = \frac{Pi \ di}{2(f E - 0,6 Pi) \cos \frac{1}{2} \ \alpha} + C$$

$$thb = \frac{4,5474 \times 47,6250}{2 \ ((18750 \times 0,8) - (0,6 \times 4,5474)) \cos 60^\circ} + \frac{1}{16} = \frac{1,2310}{16} = \frac{3}{16} \text{ in}$$

Menentukan Tinggi Bin (h).

$$\text{Tinggi shell} = Ls = 7,4722 \text{ ft} = 89,6661 \text{ in}$$

Tinggi tutup bawah berbentuk conis:

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha = \frac{\frac{1}{2} \text{ di}}{h}$$

$$h = \frac{\frac{1}{2} \text{ di}}{\operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha} = \frac{\frac{1}{2} (3,9688)}{\operatorname{tg} 60^{\circ}} = 1,1457 \text{ ft} = 13,7482 \text{ in}$$

Tinggi bin = tinggi shell + tinggi tutup bawah

$$= 7,4722 \text{ ft} + 1,1457 \text{ ft}$$

$$= 8,6179 \text{ ft} = 103,4143 \text{ in}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama : Bin pasir silika

Fungsi : Menampung sementara pasir silika sebelum masuk ke auger

Type : Tangki silinder dengan tutup bawah berbentuk conis dengan sudut puncak 120°

Bahan : Carbon steel SA 240 grade M type 316

Kapasitas : $97,1118 \text{ ft}^3$

Dimensi : Diameter (di) = $47,6250 \text{ in}$

Tebal tutup bawah (thb) = $3/16 \text{ in}$

Tebal silinder (ts) = $3/16 \text{ in}$

Tinggi tutup bawah (h) = $13,7482 \text{ in}$

Jumlah : 1 buah

7. STORAGE NATRIUM KARBONAT [F-111 b]

Fungsi : Menyimpan bahan baku Na_2CO_3 selama 15 hari

Type : Bangunan gudang

Dasar perhitungan :

Suhu gudang = 30°C

Tekanan = 1 atm

Waktu tinggal = 15 hari

Massa bahan = $5719,9479 \text{ kg/jam}$ = $302649,4182 \text{ lb/hari}$

ρ campuran = $2,5 \text{ g/cm}^3$ = $156,07501 \text{ lb/ft}^3$

Asumsi:

- Volume bahan mengisi gudang adalah 80% dari volume gudang

- Panjang gudang 2 kali lebar gudang
- Tinggi gudang 1.5 kali lebar gudang

$$\begin{aligned} \text{Volume bahan} &= \frac{\text{Massa bahan} \times \text{waktu tinggal}}{\rho \text{ campuran}} \\ &= \frac{302649,4182 \text{ lb/hari} \times 15 \text{ hari}}{156,075 \text{ lb/ft}^3} = 29086,9215 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume gudang} = 29086,9215 \text{ ft}^3 \times 100/80 = 36358,6519 \text{ ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Maka: } V_{\text{gudang}} &= p \times l \times t \\ 36358,6519 \text{ ft}^3 &= (2 \times l) \times l \times (1,5 \times l) \\ 3 l^3 &= 36358,6519 \text{ ft}^3 \\ l &= \sqrt[3]{\frac{36358,6519}{3}} = 22,9700 \text{ ft} \approx 23 \text{ ft} \\ p &= 2 \times 23 \text{ ft} = 46 \text{ ft} \\ t &= 1,5 \times 23 \text{ ft} = 34,5 \text{ ft} \end{aligned}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama : Storage natrium karbonat

Kapasitas : 36358,6519 ft³

Ukuran : Panjang = 46 ft

Lebar = 23 ft

Tinggi = 34,5 ft

Jumlah : 1 buah

8. SCREW CONVEYOR [J-112 c]

Fungsi : Mengangkut bahan baku Na₂CO₃ dari storage menuju ke bucket elevator.

Type : Horizontal screw conveyor

Bahan konstruksi : Carbon Steel

Dasar perhitungan :

Rate Na₂CO₃ : 5719,9479 kg/jam = 5,7199 ton/jam ≈ 6 ton/jam
Dimensi screw conveyor berdasarkan Perry ed 5, tabel 7-6, hal 7-7, maka dipilih screw conveyor untuk kapasitas 15 ton/jam adalah sebagai berikut:

Diameter flig : 15 in = 0,381 m

Diameter pipa	: 2,5 in = 0,0635 m
Diameter shaft	: 2 in = 0,0508 m
Diameter feed masuk	: 9 in = 0,2286 m
Panjang	: 30 ft
Kecepatan putar	: 80 rpm
Harga center	: 10 ft
Power montor	: 2,25 Hp \approx 3 Hp

Untuk memenuhi kapasitas produksi didapatkan kecepatan screw conveyor:

$$\begin{aligned} \text{rpm baru} &= \frac{\text{kapasitas screw conveyor}}{\text{kapasitas screw conveyor secara teori}} \times \text{kecepatan putar} \\ &= \frac{6}{15} \times 80 = 32 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama	: Screw conveyor
Fungsi	: Mengangkut bahan baku Na ₂ CO ₃ dari storage menuju ke bucket elevator.
Type	: Horizontal screw conveyor
Bahan konstruksi	: Carbon Steel
Diameter flig	: 15 in = 0,381 m
Diameter pipa	: 2,5 in = 0,0635 m
Diameter shaft	: 2 in = 0,0508 m
Diameter feed masuk	: 9 in = 0,2286 m
Panjang	: 30 ft
Kecepatan putar	: 80 rpm
Harga center	: 10 ft
Power motor	: 2,25 Hp \approx 3 Hp

9. BUCKET ELEVATOR NATRIUM KARBONAT [J-113 b]

Fungsi	: Mengangkut Na ₂ CO ₃ dari storage ke bin
Type	: Centrifugal - discharge bucket on belt elevator
Bahan	: Carbon Steel

Dasar perhitungan :

Kapasitas masuk = 5719,9479 kg/jam

Dirancang sebuah bucket elevator dengan :

Tinggi bucket elevator = 8 m = 26,2464 ft \approx 27 ft

Dengan factor keamanan 20 % (Vilbrant table 2-2, ha123)

Kapasitas pemilihan = 1,2 x 5719,9479 kg/jam = 6863,9374 kg/jam

Kapasitas : 14 ton (Perry ed 7, table 21-8, hal 21-15)

Size of lump handled : $\frac{3}{4}$ in

Bucket speed : 225 ft/menit

Head shaft : 43 rpm

Hp required at head shaft : 1 Hp

Lebar belt : 7 in

Bucket spacing : 12

Diameter shaft : head = $1 \frac{15}{16}$

Tail = $1 \frac{11}{16}$

Diameter pulley : head = 20 in

Tail = 14 in

Untuk kapasitas = 6863,9374 kg/jam

Kecepatan bucket = $\frac{6863,9374 \text{ kg/jam}}{14000 \text{ kg/jam}} \times 225 \text{ ft/menit} = 110,3133 \text{ ft/menit}$

Putaran head shaft = $\frac{6863,9374 \text{ kg/jam}}{14000 \text{ kg/jam}} \times 43 \text{ rpm} = 21,0821 \text{ rpm}$

Daya pada head shaft = $\left(\frac{156,0750 \text{ lb/ft}^3}{100 \text{ lb/ft}^3} \right) \times 1 \text{ Hp} + 0,02 = 1,5808 \text{ Hp}$

Efisiensi motor 82 % (Petter and Timmerhous fig. 14-38 hal 521)

Daya motor = $\frac{1,5808}{0,82} = 1,9277 \text{ HP} \approx 2 \text{ Hp}$

Spesifikasi Peralatan :

Ukuran bucket : 6 x 4 x 41- in

Tinggi : 27 ft

Kapasitas	: 6863,9374 kg/jam
Kecepatan bucket	: 110,3133 filmenit
Putaran head shaft	: 21,0821 rpm
Bucket spacing	: 14 in
Shaft diameter head	: $1 \frac{15}{16}$ in
Shaft diameter toil	: $1 \frac{11}{16}$ in
Diameter pulley head	: 20 in
Diameter pulley toil	: 14 in
Belt width	: 7 in
Power motor	: 2 Hp

10. BIN NATRIUM KARBONAT [F-115 b]

Fungsi : Menampung sementara Na_2CO_3 sebelum masuk ke auger

Type : Tangki silinder dengan tutup bawah berbentuk conis dengan sudut puncak 120°

Dasar perhitungan :

Suhu : 30°C

Massa bahan masuk : 5719,9479 kg/jam = 12610,3924 lb/jam

Densitas bahan : $2,5 \text{ g/cm}^3 = 156,0750 \text{ lb/ft}^3$

Direncanakan bin digunakan untuk menampung bahan selama 1 jam

Perhitungan:

Menentukan Diameter Tangki

Bahan yang ditampung = $12610,3924 \text{ lb/jam} \times 1 \text{ jam} = 12610,3924 \text{ lb}$

$$\text{Volume bahan} = \frac{m}{\rho} = \frac{12610,3924 \text{ lb}}{156,0750 \text{ lb/ft}^3} = 80,7970 \text{ ft}^3$$

Volume bahan mengisi bin = 80 % dari volume bin, maka:

$$\text{Volume bin} = \frac{\text{volume bahan}}{80\%} = \frac{80,7970 \text{ ft}^3}{80\%} \times 80\% = 100,9963 \text{ ft}^3$$

$L_s = 1,5 \text{ di}$

$$\text{Volume bin} = \frac{\pi di^3}{24 \operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha} + \frac{\pi}{4} di^2 (1,5 di)$$

$$100,9963 \text{ ft}^3 = \frac{\pi di^3}{24 \operatorname{tg} 60^\circ} + \frac{\pi}{4} di^2 (1,5 di)$$

$$100,9963 \text{ ft}^3 = 1,25304 di^3$$

$$di = 4,3196 \text{ ft} = 51,8356 \text{ in}$$

Menentukan tekanan design (Pi):

Volume bahan dalam shell = volume bahan - volume conis

$$= 80,7970 - \frac{\pi 4,3196^3}{24 \operatorname{tg} 60^\circ} = 74,7087 \text{ ft}^3$$

$$\text{Tinggi bahan dalam shell} = \frac{\text{volume bahan dalam shell}}{\frac{1}{4} \pi di^2}$$

$$= \frac{74,7087}{\frac{1}{4} \pi 4,3196^2} = 5,1004 \text{ ft}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik (Ph)} = \frac{\rho (H-1)}{144} = \frac{156,0750 (5,1004-1)}{144}$$

$$= 4,4443 \text{ Psi}$$

$$\text{Tekanan design} = 4,4443 + 14,7 = 19,1443 \text{ Psia}$$

$$= 19,1443 - 14,7 = 4,4443 \text{ Psig}$$

Menentukan Tebal Silinder

Bahan : Carbon steel SA 240 grade M type 316

Allowable (f) : 18750 (Brownell and Young, ha1342)

Faktor korosi (C) : 1/16 in

Type pengelasan : Double welded butt joint (E = 0,8)

Tekanan design (Pi) : 4,4443 Psig

$$ts = ts = \frac{Pi di}{2(fE - 0,6 Pi)} + C = \frac{(4,5474) (51,1623)}{2((18750) (0,8) - 0,6 (4,5474))} + \frac{1}{16}$$

$$ts = \frac{1,1241}{16} = \frac{3}{16} \text{ in}$$

Standarisasi do:

$$do = di + 2 ts = 51,8356 \text{ in} + (2 \times (3/16))$$

$$d_o = 52,2106 \text{ in} = 4,3509 \text{ ft}$$

Dari tabel 5-7 Brownell and Young hal 89 didapat harga:

$$d_o = 49 \text{ in icr} = 4 \frac{3}{8} \quad r = 49 .$$

Menentukan harga di baru:

$$D_i = d_o - 2 t_s = 49 - (2 \times (3/16))$$

$$d_i = 48,6250 \text{ in} = 4,0521 \text{ ft}$$

Cek Hubungan Ls dengan di

$$\text{Volume bin} = \text{Volume bin} = \frac{\pi d_i^3}{24 \operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha} + \frac{\pi}{4} d_i^2 L_s$$

$$100,9963 \text{ ft}^3 = \frac{\pi 4,0521^3}{24 \operatorname{tg} 60^\circ} + \frac{\pi}{4} 4,0521^2 L_s$$

$$L_s = 7,4458 \text{ ft}$$

$$\frac{L_s}{d_i} = \frac{7,4458 \text{ ft}}{4,0521 \text{ ft}} = 1,8375 > 1,5 \text{ (memenuhi)}$$

Menentukan Tebal Tutup Bawah Berbentuk Conis (thb)

$$\text{thb} = \text{thb} = \frac{\pi d_i}{2(f E - 0,6 \pi) \cos \frac{1}{2} \alpha} + C$$

$$\text{thb} = \frac{4,4443 \times 48,6250}{2((18750 \times 0,8) - (0,6 \times 4,4443)) \cos 60^\circ} + \frac{1}{16} = \frac{1,2306}{16} = \frac{3}{16} \text{ in}$$

Menentukan Tinggi Bin (h)

$$\text{Tinggi shell} = L_s = 7,4458 \text{ ft} = 89,3497 \text{ in}$$

Tinggi tutup bawah berbentuk conis:

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha = \frac{\frac{1}{2} d_i}{h}$$

$$h = \frac{\frac{1}{2} d_i}{\operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha} = \frac{\frac{1}{2} (4,0521)}{\operatorname{tg} 60^\circ} = 1,1697 \text{ ft} = 14,0368 \text{ in}$$

Tinggi bin = tinggi shell + tinggi tutup bawah

$$= 7,4458 \text{ ft} + 1,1697 \text{ ft}$$

$$= 8,6155 \text{ ft} = 103,3865 \text{ in}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama : Bin natrium karbonat

Fungsi : Menampung sementara pasir silika sebelum masuk ke auger
 Type : Tangki silinder dengan tutup bawah berbentuk conis dengan sudut puncak 120°
 Bahan : Carbon steel SA 240 grade M type 316
 Kapasitas : 100,9963 ft³
 Dimensi : Diameter (di) = 48,6250 in
 Tebal tutup bawah (thb) = 3/16 in
 Tebal silinder (ts) = 3/16 in
 Tinggi tutup bawah (h) = 14,0368 in
 Jumlah : 1 buah

11. AUGER [J-110]

Fungsi : Mencampur pasir silika dan natrium karbonat

Dasar perhitungan :

Kapasitas bahan masuk = 11439,8958 kg/jam = 25220,7848 lb/jam

ρ campuran = 89,6988 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik} &= \frac{\text{kapasitas bahan masuk}}{\rho_{\text{bahan}}} = \frac{25220,7848 \text{ lb/jam}}{89,6988 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 281,1720 \text{ ft}^3/\text{jam} = 4,6862 \text{ ft}^3/\text{menit}
 \end{aligned}$$

Untuk bulk density = 89,6988 lb/ft³, bahan termasuk kelas D dengan F= 3 .

$$\text{Power motor} = \frac{C \times L \times W \times F}{33000} \quad (\text{Banchero, pers 16-4 hal 713})$$

Dimana :

C : kapasitas bahan = 4,6862 ft³/menit

L : panjang auger = 30 ft

W : berat dari material = 89,6988 lb/ft³

F : faktor material = 3 (Banchero, tabel 16-6 hal 521)

$$\text{Power motor} = \frac{4,6862 \times 30 \times 89,6988 \times 3}{33000} = 1,1464 \text{ Hp } 33000$$

Efisiensi motor = 80%

$$\text{Power auger} = \frac{1,1464}{0,8} = 1,4330 \text{ Hp} \approx 2 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama	: Auger
Fungsi	: Mencampur pasir silika dan natrium karbonat
Bahan konstruksi	: Carbon steel
Panjang auger	: 30 ft
Kapasitas bahan	: 4,6862 ft ³ /menit
Power auger	: 2 Hp
Jumlah	: 1 buah

12. ELECTRIC FURNACE [Q-210]

Fungsi : Mereaksikan natrium karbonat dan pasir silika menjadi natrium metasilikat

Dasar perhitungan :

Fluks average furnace	= 12000 Btu/J ft ²
Faktor perubahan panas overall (F)	= 0,57
Effisiensi overall	= 75 %

Perhitungan :

$$\frac{Q}{\alpha \times A_{cp}} = 2 \times \text{fluks average} = 2 \times 12000 \text{ Btu/J ft}^2 = 24000 \text{ Btu/J ft}^2$$

$$\text{Faktor perubahan panas overall (F)} = 0,57$$

$$\frac{Q}{\alpha \times A_{cp}} = \frac{24000}{0,57} = 42105,26312 \text{ Btu/J ft}^2$$

$$\text{Listrik yang dibutuhkan} = 4458,0899 \text{ KW}$$

$$Q_E = 3843180,9479 \text{ Kkal/jam}$$

$$= 16090629,9929 \text{ KJ/jam} = 15250914,6332 \text{ Btu/jam}$$

$$Q_F = \frac{Q_E}{\eta} = \frac{15250914,6332}{0,75} = 20334552,8442 \text{ Btu/jam}$$

$$Q_W = 2\% \times Q_E = 0,02 \times 15250914,6332 = 305018,2927 \text{ Btu/jam}$$

$$Q_{net} = Q_F - Q_W$$

$$= 20334552,8442 \text{ Btu/jam} - 305018,2927 \text{ Btu/jam}$$

$$= 20029534,5515 \text{ Btu/jam}$$

$$\text{Panjang tube (L)} = 10 \text{ ft}$$

$$\text{OD} = 5 \text{ ft}$$

$$\text{Luas permukaan pipa (A)} = L \times \text{OD} \times \pi = 10 \times 5 \times 3,14 = 157 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tube (Nt)} &= \frac{Q_{\text{net}}}{\text{Fluks average} \times A} = \frac{20029534,5515}{12000 \times 157} \\ &= 10,6314 \text{ buah} \approx 11 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jarak dari pusat ke pusat (C) = 8,5 in, sehingga:

$$\text{Acp per pipa} = \frac{8,5}{12} \times 10 = 7,08333 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Acp} &= \text{Nt} \times \text{Acp per pipa} \\ &= 11 \times 7,0833 = 77,9167 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Massa bahan masuk furnace} = 11439,8958 \text{ kg/jam} = 25220,7848 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 1 \text{ jam}$$

$$\text{P campuran} = 1,4368 \text{ g/cm}^3 = 89,6988 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Volume bahan (V)} = \frac{25220,7848 \text{ lb/jam} \times 1 \text{ jam}}{89,6988 \text{ lb/ft}^3} = 281,1720 \text{ ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume furnace} &= 1,5 \times \text{Volume bahan} \\ &= 1,5 \times 281,1720 \text{ ft}^3 = 421,7580 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi furnace} = (2/3) \times V^{(1/3)} = (2/3) \times (281,1720^{1/3}) = 4,3675 \text{ ft} \approx 5 \text{ ft}$$

Spesifikasi Peralatan :

Mama : Electric furnace

Fungsi : Mereaksikan natrium karbonat dan pasir silika menjadi natrium metasilikat

Bahan konstruksi : Stainless steel

Kapasitas : 281,1720 ft³

Jumlah : 1 buah

13. CHILL CONVEYOR [J-220]

Fungsi : Mengangkut dan mendinginkan lelehan natrium metasilikat yang keluar dari furnace

Type : Metal belt

Dasar perhitungan :

$$\text{Rate bahan masuk} = 20230,8382 \text{ lb/jam} = 337,1806 \text{ lb/menit}$$

$$\rho \text{ bahan} = 149,8320 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\text{Rate volumetric} = \frac{\text{rate bahan masuk}}{\rho \text{ bahan}}$$

$$= \frac{337,1806}{149,8320}$$

$$= 2,2504 \text{ ft}^3/\text{menit}$$

$$\text{Panas yang di lepaskan bahan} = 2692374,2881 \text{ kkal/jam} \times \frac{1 \text{ Btu}}{0,25199 \text{ kkal}}$$

$$= 10684448,9390 \text{ Btu/jam}$$

$$\Delta T = (2552 \text{ }^\circ\text{F} - 185 \text{ }^\circ\text{F}) = 2367 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$U = 17 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F}$$

$$Q = U \times A \times \Delta T$$

$$10684448,9390 \text{ Btu/jam} = 17 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F} \times A \times 2367 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$A = 265,5247 \text{ ft}^2$$

$$\text{Luas belt yang sebenarnya} = \frac{100}{80} \times 2065,5247 \text{ ft}^2$$

$$= 331,9059 \text{ ft}^2 = 47794,4560 \text{ in}^2$$

$$\text{Tebal cake(t)} = \frac{5}{16} \text{ in}$$

$$\text{Tebal cake yang sebenarnya} = \frac{100}{80} \times \frac{5}{16} \text{ in} = 0,3906 \text{ in}$$

$$\text{Lebar belt (l)} = \frac{100}{80} \times 14 \text{ in} = 17,5 \text{ in}$$

Menghitung panjang belt (p)

$$A = (2 \times p \times l) + (2 \times p \times t) + (2 \times l \times t)$$

$$47794,456 \text{ in}^2 = (2 \times p \times 17,5 \text{ in}) + (2 \times p \times 0,3906 \text{ in}) + (2 \times 17,5 \text{ in} \times 0,3906 \text{ in})$$

$$47794,456 \text{ in}^2 - 13,671 \text{ in}^2 = 35 p + 0,7812 p$$

$$35,7812 p = 47794,456 \text{ in}^2$$

$$P = 1335,7421 \text{ in} = 111,3118 \text{ ft} = 33,9283 \text{ m}$$

Menghitung kecepatan belt :

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan belt} &= \frac{\text{Rate volumetric}}{\text{tebal bahan} \times \text{lebar bahan}} \\ &= \frac{2,2504 \text{ ft}^3/\text{menit}}{0,03255 \text{ ft} \times 1,4583 \text{ ft}} \\ &= 47,4089 \text{ ft/menit}\end{aligned}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama : Chill conveyor
Fungsi : Mengangkut dan mendinginkan lelehan natrium metasilikat yang keluar dari furnace
Type : Metal Belt
Kapasitas : 20230,83821b/jam
Panjang : 1335,7421 in
Lebar : 17,5 in
Kecepatan : 47,4089 ft/menit
Jumlah : 1 buah

14. HAMMER MILL [C-221]

Fungsi : Menghancurkan lelehan natrium metasilikat dari chill conveyor
Bahan : Carbon Steel SA 135 Grade B

Dasar perhitungan:

Power yang dikonsumsi (P) = $1 \times m^{0.88} \times R$ (Ulrich, tab.4-5 hal 76)

– Reduction ratio = 2 : 1

– Massa masuk = 9176,5059 kg/jam = 2,5490 kg/detik

Sehingga: $P = 1 \times m^{0.88} \times R$

$$P = 1 \times 2,5490,88 \times 2$$

$$P = 4,5566 \text{ kW} = 6,1105 \text{ Hp} \approx 7 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Peralatan:

Nama : Hammer mill
Kapasitas : 9176,5059 kg/jam
Daya : 7 Hp

Bahan : Carbon steel SA 135 Grade B

Jumlah : 1 buah

15. BUCKET ELEVATOR [J-113 a]

Fungsi : Mengangkut Na_2SiO_3 dari hammer mill ke tangki pelarut

Type : Centrifugal - discharge bucket on belt elevator

Bahan : Carbon Steel

Dasar perhitungan :

Kapasitas masuk = 9176,5059 kg/jam

Dirancang sebuah bucket elevator dengan :

Tinggi bucket elevator = 8 m = 26,2464 ft \approx 27 ft

Dengan factor keamanan 20 % (Vilbrant table 2-2, ha123)

Kapasitas pemilihan = 1,2 x 9176,5059 kg/jam = 11011,8071 kg/jam

Kapasitas : 14 ton (Perry ed 7, table 21-8, ha121-15)

Size of lump handled : 4 in

Bucket speed : 225 ft/menit

Head shaft : 43 rpm

Hp required at head shaft : 1 Hp

Lebar belt : 7 in

Bucket spacing : 12

Diameter shaft : head = $1 \frac{15}{16}$

Tail = $1 \frac{11}{16}$

Diameter pulley : head = 20 in

Tail = 14 in

Untuk kapasitas = 11011,8071 kg/jam

Kecepatan bucket = $\frac{11011,8071 \text{ kg/jam}}{14000 \text{ kg/jam}} \times 225 \text{ ft/menit} = 176,9755 \text{ ft/menit}$

Putaran head shaft = $\frac{11011,8071 \text{ kg/jam}}{14000 \text{ kg/jam}} \times 43 \text{ rpm} = 33,8220 \text{ rpm}$

Daya pada head shaft = $\left(\frac{149,8320 \text{ lb/ft}^3}{100 \text{ lb/ft}^3} \times 1 \text{ Hp} \right) + 0,02 = 1,5183 \text{ Hp}$

Efisiensi motor 82 %

(Petter and Timmerhous fig. 14-38 hal 521)

$$\text{Daya motor} = \frac{1,5183}{0,82} = 1,8516 \text{ Hp} \approx 2 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Peralatan :

Ukuran bucket	: $6 \times 4 \times 4 \frac{1}{2}$ in
Tinggi	: 27 ft
Kapasitas	: 11011,8071 kg/jam
Kecepatan bucket	: 176,9755 ft/menit
Putaran head shaft	: 33,8220 rpm
Bucket spacing	: 14 in
Shaft diameter head	: $1 \frac{15}{16}$ in
Shaft diameter toil	: $1 \frac{11}{16}$ in
Diameter pulley head	: 20 in
Diameter pulley toil	: 14 in
Belt width	: 7 in
Power motor	: 2 Hp

16. POMPA [L-231]

Fungsi	: Mengalirkan Na_2SiO_3 dari tangki pelarutan ke settling tank
Type	: Centrifugal pump
Bahan	: Stainless Steel SA 240 Grade M type 316

Dasar perhitungan :

Rate liquid	: $17435,3613 \text{ kg/jam} = 38437,9975 \text{ lb/jam}$
$\rho \text{ Na}_2\text{SiO}_3$: $149,8320 \text{ kg/m}^3 = 9,3541 \text{ lb/ft}^3$
$\mu \text{ Na}_2\text{SiO}_3$: $1,8 \text{ cp} = 0,00121 \text{ lb/ft det}$

Perhitungan :

$$Q = \frac{\text{rate massa}}{\text{densitas}} = \frac{38437,9975 \text{ lb/jam}}{9,3541 \text{ lb/ft}^3} = 615,7173 \text{ ft/jam}$$
$$= 0,1710 \text{ ft}^3/\text{det}$$

$$\text{Di optimum} = 3,9 (Qf)^{0,45} x (\rho)^{0,13} \quad (\text{Peter Timerhous edisi 4 fig 14-2 hal 498})$$

$$= 3,9 (0.1710)^{0,45} x (9,3541)^{0,13} = 2,3560 \text{ ft}$$

Standarisasi untuk mendapatkan Dnominal (Tabel 11, Kern, hal 844), diperoleh :

Dnominal	= 2 in	= 0,1667 ft
OD	= 2,38 in	= 0,1983 ft
ID	= 2,067 in	= 0,1723 ft
A (flow area)	= 3,35 in ²	= 0,0233 ft ²
Schedule	= 40	

Menghitung kecepatan linier (v)

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,1710^3/\text{det}}{0,0233 \text{ ft}^3} = 7,3405 \text{ ft/det}$$

Menentukan bilangan Reynold :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot ID}{\mu} \quad (\text{Geankoplis pers 3.4-1, hal 144})$$
$$= \frac{9,3541 \times 7,3405 \times 0,1723}{0,00121 \text{ lb/ftdet}} = 9777,3820$$

$N_{Re} = 9777,3820$ ($N_{Re} > 2100$ maka asumsi aliran turbulen benar)

Menentukan panjang pipa

Direncanakan :

- Panjang pipa lurus dianggap = 60 ft
- Elbow 90° sebanyak 4 buah
- Gate valve sebanyak 2 buah
- Globe valve sebanyak 1 buah
- Tee sebanyak 2 buah

a. Panjang pipa lurus = 60 ft

b. Digunakan 4 buah elbow 90°, $\frac{L_e}{D} = 35$ in (Geankoplis tabe12.10-1, ha193)

$$L_e = 4 \times 35 \times 0,1723 = 24,1120 \text{ ft}$$

c. Digunakan 2 buah gate valve, $\frac{L_e}{D} = 9$ (Geankoplis tabe12.10-1, ha193)

$$L_e = 2 \times 9 \times 0,1723 = 3,1005 \text{ ft}$$

d. Digunakan 1 buah globe valve, $\frac{L_e}{D} = 300$ in (Geankoplis tabe12.10-1, ha193)

$$L_e = 1 \times 300 \times 0,1723 = 51,6750 \text{ ft}$$

Panjang ekivalen (L_e) = (60+ 24,1120 + 3,1005 + 51,6750) ft = 138,8975 ft

Menentukan friction loss

1. Valve dan fitting

Dari Geankoplis table 2.10.1, hal 93, diperoleh:

- 4 buah elbow 90° , $K_f = 0,75 \times 4 = 3,0$
- 2 buah gate valve, $K_f = 0,17 \times 2 = 0,34$
- 1 buah globe valve, $K_f = 6,0$

$$\text{Total } K_f = 3,0 + 0,34 + 6,0 = 9,34$$

$$\begin{aligned} h_f &= K_f \frac{v_1^2}{2 \times \alpha \times g_c} \quad \text{(Geankoplis pers 2.10-17, ha193)} \\ &= 9,34 \frac{(7,3405)^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 7,8209 \text{ ft. lbf/lbm} \end{aligned}$$

2. Pipa lurus

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot ID}{\mu} = \frac{9,3541 \times 7,3405 \times 0,1723}{0,00121 \text{ lb/ftdet}} = 9777,3820$$

$$N_{Re} = 9777,3820 \quad (\text{N Re} > 2100 \text{ maka asumsi aliran turbulen benar})$$

Dipilih pipa comersial steel

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,000046 \text{ m} \quad \text{(Geankoplis fig 2.10-3, ha188)}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000046 \text{ m}}{0,1723 \text{ m}} = 0,000267$$

$$\text{Diperoleh} \quad : f = 0,0055 ; \Delta L = 60 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} F_f &= 4 f \frac{\Delta L \times v^2}{D \times 2 \times g_c} \quad \text{(Geankoplis pers 2.10-6, ha189)} \\ &= 4 \times 0,0055 \frac{60 \times (7,3405)^2}{0,1723 \times 2 \times 32,174} = 6,4150 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

3. Sudden Contraction

Karena tangki sangat besar maka $A_1 = 0$

$$\begin{aligned} h_c &= 0,55 \times \left[1 - \frac{A_2}{A_1} \right] \times \frac{v_2^2}{2 \times \alpha \times g_c} \quad \text{(Geankoplis pers 2.10-16, ha193)} \\ &= 0,55 \times (1 - 0) \times \frac{(7,3405)^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 0,4605 \text{ ft.lbf/lb} \end{aligned}$$

4. Sudden Expansion

$$h_{ex} = \left[1 - \frac{A_2}{A_1} \right] \times \frac{v_2^1}{2 \times \alpha \times g_c} \quad (\text{Geankoplis pers 2.10-15, ha193})$$

$$= (1 - 0) \times \frac{(7,3405)^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 0,8374 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F &= hf + F_f + h_c + h_{ex} \\ &= 7,8209 + 6,4150 + 0,4605 + 0,8374 = 15,5339 \text{ ft.lbf/lbm} \text{ Direncanakan :} \end{aligned}$$

$$\Delta Z = 18 \text{ ft dan } \Delta P = 0 \text{ karena } P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$v_1 = 0 \text{ (permukaan dianggap konstan)}$$

$$v_2 = 7,3405 \text{ ft/det}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \alpha g_c} = \frac{(7,3405)^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 0,8374 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Persamaan Bernoulli

$$\frac{\Delta v^2}{2 \alpha g_c} + \Sigma F + W_s = 0 \quad (\text{Geankoplis, pers 2.10-20, hal 95})$$

$$0,8374 + 15,5339 = - W_s$$

$$W_s = - 16,3713 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Menentukan daya motor

$$\text{WHP} = \frac{-W_s \times Q \times \rho}{550}$$

Dimana : WHP = tenaga penggerak pompa (Hp)

Sehingga :

$$\text{WHP} = \frac{16,3713 \times 0,1710 \times 9,3541}{550} = 0,0476 \text{ Hp}$$

$$\eta_p = 35\% \quad (\text{Petter and Timmerhous fig. 14-3 7 hal 520})$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta_p} = \frac{0,0476}{0,35} = 0,1361 \text{ Hp}$$

$$\eta_m = 80\% \quad (\text{Petter and Timmerhous fig. 14-38 hal 521})$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta_p} = \frac{0,1361}{0,80} = 0,1701 \approx 1 \text{ Hp}$$

Dimana : WHP = tenaga penggerak pompa (Hp)

Spesifikasi Peralatan :

Nama	: Pompa
Fungsi	: Mengalirkan Na_2SiO_3 dari tangki pelarutan ke settling tank
Type	: Centrifugal pump
Bahan	: Stainless Steel SA 240 Grade M type 316 Efisiensi pompa 35%
Efisiensi motor	: 80%
Ukuran pipa	: 2 in sch 40
Power	: 1 Hp
Jumlah	: 1 buah

17. SETTLING TANK [H-310]

Fungsi	: Mengendapkan impurities dari larutan Na_2SiO_3
Bahan	: Carbon steel SA-240 Grade M type 316

Dasar perhitungan :

Rate massa yang masuk tangki pengendap	= 17435,3613 kg/jam
Rate massa yang overflow	= 14628,4802 kg/jam
ρ massa yang overflow	= 1359,45 10 kg/jam
Rate massa yang underflow	= 2806,8810 kg/jam
ρ massa yang underflow	= 2489,5615 kg/jam
μ overflow	= 180 cp = 0,18 kg/m.s
Diameter partikel rata-rata terkecil	= 100 mesh = 0,147 mm = $0,147 \times 10^{-3}$ m

Menentukan kriteria rejim pengendapan (K)

$$K = D_p \left(\frac{g \times \rho (\rho_p - \rho)}{\mu^2} \right)^{1/3}$$

D_p = diameter partikel (m)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

ρ_p = densitas partikel (kg/m^3)

ρ = densitas partikel yang overflow (kg/m^3)

$$K = 0,147 \times 10^3 \left(\frac{9,8067 \times 1359,4510(2489,561-1359,4510)}{(0,18)^2} \right)$$

$$= 0,1139$$

$K < 2.6$ sehingga kecepatan pengendapan dihitung menurut hukum stokes
(MC.Cabe & Smith, persamaan 7-42, hal 154)

$$V_c = \frac{g \times D_p^2 (p-p)}{18 \times \mu}$$

$$= \frac{9,8067 \times (0,147 \times 10^{-3})^2 (2489,5615-1359,4510)}{18 \times 18 \times 10^3}$$

$$= 0,0007 \text{ m/s}$$

Waktu tinggal (θ) = 600 - 1200 s (Ulrich,tabel 4-25)

$$\text{Laju volumetric (Q)} = \frac{\text{jumlah massa overflow}}{\rho \text{ massa overflow}} + \frac{\text{jumlah massa underflow}}{\rho \text{ massa under flow}}$$

$$= \frac{14628,4802}{1359,4510} + \frac{2806,8810}{2489,5615}$$

$$= 11,8880 \text{ m}^3/\text{jam} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0,028317 \text{ m}^3}$$

$$= 419,8199 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

Volume bahan dalam tangki = laju volumetric x waktu tinggal

$$= 419,8199 \text{ ft}^3/\text{jam} \times 1 \text{ jam}/3600 \text{ s} \times 2000 \text{ s}$$

$$= 233,2333 \text{ ft}^3$$

Volume tangki

$$= \frac{100}{80} \times 233,2333 \text{ ft}^3$$

$$= 291,5416 \text{ ft}^3 \times \frac{0,028317 \text{ m}^3}{1 \text{ ft}^3}$$

$$= 8,2556 \text{ m}^3$$

$$V_c = \frac{Q}{A}$$

$$0,0007 = \frac{11,8880 \frac{\text{m}}{\text{jam}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}}}{A}$$

$$A = 4,4676 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} \times d^2$$

$$4,4676 \text{ m}^2 = \frac{\pi}{4} \times d^2$$

$$d = 2,3856 \text{ m} = 7,8267 \text{ ft} = 93,9201 \text{ in}$$

$$\text{Volume tangki} = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times L + \frac{\pi}{24} \cdot \frac{d^3}{\text{tg}_2^1 120^\circ}$$

$$\text{Volume tangki} = \frac{\pi}{4} \times 2,3856^2 \times L + \frac{\pi}{24} \cdot \frac{2,3856^3}{\text{tg}_2^1 120^\circ}$$

$$8,2556 \text{ m}^3 = 0,785 \times 5,6911 \times L + 1,0256$$

$$L = 1,6184 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi konikal} = \frac{1}{2} \times \frac{D}{\text{tg}_2^1 \alpha}$$

$$= \frac{1}{2} \times \frac{2,3856}{\text{tg} 60^\circ}$$

$$= 0,6887 \text{ m} = 2,2594 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi tangki} = \text{Volume tangki} + \text{Tinggi konikal}$$

$$= 1,6184 \text{ m} + 0,6887 \text{ m}$$

$$= 2,3071 \text{ m} = 7,5690 \text{ ft}$$

Menentukan tebal shell

Volume bahan dalam tangki = volume liquid pada silinder + volume conis

$$233,2333 \text{ f}^3 = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times L + 62,1278$$

$$171,1055 \text{ f}^3 = \frac{\pi}{4} \times 7,8267 \times L$$

$$L = 3,5583 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi liquida dalam tangki} = 3,5583 \text{ ft} + 2,2594 \text{ ft}$$

$$= 5,8177 \text{ ft} = 69,8125 \text{ in}$$

$$ts = \frac{62,37 \times (H - 1) \times D}{2 \times f \times \epsilon \times 144} + C$$

(Brownel Pers.3.18 hal. 46)

$$ts = \frac{62,37 \times (69,8125 - 1) \times 93,9201}{2 \times f \times \epsilon \times 144} + \frac{1}{16}$$

$$ts = \frac{1,0055}{16} \text{ in} \approx \frac{3}{16} \text{ in}$$

$$\begin{aligned}
 \text{OD} &= \text{ID} + 2 \times t_s \\
 &= 93,9201 + 2 \times (1/16) \\
 &= 94,0451 \approx 95 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menentukan tebal konikal

$$\sin \theta = \frac{\text{OD}}{430 \times \text{th}}$$

$$\sin 60^\circ = \frac{95}{430 \times \text{th}}$$

$$\text{th} = \frac{95}{430 \times \sin 30^\circ}$$

$$= 0,4419 \text{ in} = \frac{7,0698}{16} \approx \frac{8}{16} \text{ in}$$

Spesifikasi Peralatan :

Fungsi	: Mengendapkan impurities dari larutan Na_2SiO_3
Bahan	: Carbon steel SA-240 Grade M type 316
Kapasitas	: 17435,3613 kg/jam
Kecepatan pengendapan	: 0,0007 m/detik
Volume tangki pengendap	: 291,5416 ft^3
Dimensi :	
Tinggi	: 7,5690 ft
Tebal tangki	: 3/16 in
Diameter	: ID = 93,9201 in
	: OD = 95 in
Jumlah	: 1 buah

18. POMPA [L-311]

Fungsi	: Mengalirkan larutan Na_2SiO_3 dari settling tank ke spray dryer
Type	: Centrifugal pump
Bahan	: Stainless Steel SA 240 Grade M type 316

Dasar perhitungan :

$$\text{Rate liquid} : 14628,4802 \text{ kg/jam} = 32249,9475 \text{ lb/jam}$$

$$\rho_{\text{Na}_2\text{SiO}_3} = 149,8320 \text{ kg/m}^3 = 9,3541 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu_{\text{Na}_2\text{SiO}_3} = 1,8 \text{ cp} = 0,00121 \text{ lb/ft det}$$

Perhitungan :

$$Q = \frac{\text{rate massa}}{\text{densitas}} = \frac{32249,9475 \text{ lb/jam}}{9,3541 \text{ lb/ft}^3} = 516,5943 \text{ ft}^3/\text{jam}$$
$$= 0,1435 \text{ ft}^3/\text{det}$$

$$D_i \text{ optimum} = 3,9 (Qf)^{0,45} x (\rho)^{0,13} \quad (\text{Peter Timerhous edisi 4 fig 14-2 hal 498})$$
$$= 3,9 (0,1435)^{0,45} x (9,3541)^{0,13} = 2,1771 \text{ ft}$$

Standarisasi untuk mendapatkan Dnominal (Tabel 11, Kern, hal 844), diperoleh :

Dnominal	= 2 in	= 0,1667 ft
OD	= 2,38 in	= 0,1983 ft
ID	= 2,067 in	= 0,1723 ft
A (flow area)	= 3,35 in ²	= 0,0233 ft ²
Schedule	= 40	

Menghitung kecepatan linier (v)

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,1435^3/\text{det}}{0,0233 \text{ ft}^2} = 6,1587 \text{ ft/det}$$

Menentukan bilangan Reynold :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot ID}{\mu} \quad (\text{Geankoplis pers 3.4-1, hal 144})$$
$$= \frac{9,3541 \times 6,1587 \times 0,1723}{0,00121 \text{ lb/ftdet}} = 8203,3424$$

$N_{Re} = 8203,3424$ ($N_{Re} > 2100$ maka asumsi aliran turbulen benar)

Menentukan panjang pipa

Direncanakan :

- Panjang pipa lurus dianggap = 60 ft
- Elbow 90° sebanyak 4 buah
- Gate valve sebanyak 2 buah
- Globe valve sebanyak 1 buah
- Tee sebanyak 2 buah

a. Panjang pipa lurus = 60 ft

b. Digunakan 4 buah elbow 90°, $\frac{L_e}{D} = 35$ in (Geankoplis tabel 2.10-1, ha193)

$$L_e = 4 \times 35 \times 0,1723 = 24,1120 \text{ ft}$$

c. Digunakan 2 buah gate valve, $\frac{L_c}{D} = 9$ (Geankoplis tabe12.10-1, ha193)

$$L_e = 2 \times 9 \times 0,1723 = 3,1005 \text{ ft}$$

d. Digunakan 1 buah globe valve, $\frac{L_c}{D} = 300$ in (Geankoplis tabe12.10-1, ha193)

$$L_e = 1 \times 300 \times 0,1723 = 51,6750 \text{ ft}$$

Panjang ekivalen (L_e) = (60+ 24,1120 + 3,1005 + 51,6750) ft = 138,8975 ft

Menentukan friction loss

1. Valve dan fitting

Dari Geankoplis table 2.10.1, ha193, diperoleh:

- 4 buah elbow 90° , $K_f = 0,75 \times 4 = 3,0$
- 2 buah gate valve, $K_f = 0,17 \times 2 = 0,34$
- 1 buah globe valve, $K_f = 6,0$

$$\text{Total } K_f = 3,0 + 0,34 + 6,0 = 9,34$$

$$h_f = K_f \frac{v_1^2}{2 \times \alpha \times g_c} \quad (\text{Geankoplis pers 2.10-17, ha193})$$

$$= 9,34 \frac{(6,1587)^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 5,5055 \text{ ft. lbf / lbm}$$

2. Pipa lurus

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot ID}{\mu} = \frac{9,3541 \times 6,1587 \times 0,1723}{0,00121 \text{ lb/ftdet}} = 8203,3424$$

$$N_{Re} = 8203,3424 \text{ (} N_{Re} > 2100 \text{ maka asumsi aliran turbulen benar)}$$

Dipilih pipa comersial steel

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,000046 \quad (\text{Geankoplis fig 2.10-3, ha188})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000046 \text{ m}}{0,1723 \text{ m}} = 0,000267$$

Diperoleh : $f = 0,0055$; $\Delta L = 60 \text{ ft}$

$$F_f = 4 f \frac{\Delta L \times v^2}{D \times 2 \times g_c} \quad (\text{Geankoplis pers 2.10-6, ha189})$$

$$= 4 \times 0,0055 \frac{60 \times (6,1587)^2}{0,1723 \times 2 \times 32,174} = 4,5158 \text{ ft. lbf / lbm}$$

3. Sudden Contraction

Karena tangki sangat besar maka $A_1 = 0$

$$\begin{aligned} h_c &= 0,55 \times \left[1 - \frac{A_2}{A_1} \right] \times \frac{v_2^1}{2 \times \alpha \times g_c} && \text{(Geankoplis pers 2.10-16, ha193)} \\ &= 0,55 \times (1-0) \times \frac{(6,1587)^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 0,3424 \text{ ft.lbf/lb} \end{aligned}$$

4. Sudden Expansion

$$\begin{aligned} h_{ex} &= \left[1 - \frac{A_2}{A_1} \right] \times \frac{v_2^1}{2 \times \alpha \times g_c} && \text{(Geankoplis pers 2.10-15, ha193)} \\ &= (1-0) \times \frac{(6,1587)^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 0,5895 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum F &= h_f + F_f + h_c + h_{ex} \\ &= 5,5055 + 4,5158 + 0,3242 + 0,5895 = 10,9349 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\Delta Z = 18 \text{ ft dan } \Delta P = 0 \text{ karena } P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$v_1 = 0 \text{ (permukaan dianggap konstan)}$$

$$v_2 = 6,1587 \text{ ft/det}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2\alpha g_c} = \frac{(6,1587)^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 0,5895 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Persamaan Bernoulli

$$\frac{\Delta v^2}{2\alpha g_c} + \sum F + W_s = 0 \quad \text{(Geankoplis, pers 2.10-20, hal 95)}$$

$$0,5895 + 10,9349 = - W_s$$

$$W_s = - 11,5244 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Menentukan daya motor

$$\text{WHP} = \frac{-W_s \times Q \times \rho}{550}$$

Dimana : WHP = tenaga penggerak pompa (Hp)

Sehingga :

$$\text{WHP} = \frac{11,5344 \times 0,1435 \times 9,3541}{550} = 0,0281 \text{ Hp}$$

$$\eta_p = 35\% \quad \text{(Petter and Timmerhous fig. 14-3 7 hal 520)}$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta_p} = \frac{0,0281}{0,35} = 0,0804 \text{ Hp}$$

$$\eta_m = 80 \% \quad (\text{Petter and Timmerhous fig. 14-38 hal 521})$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta_p} = \frac{0,0804}{0,80} = 0,1004 \approx 1 \text{ Hp}$$

Dimana : WHP = tenaga penggerak pompa (Hp)

Spesifikasi Peralatan :

Nama	: Pompa
Fungsi	: Mengalirkan larutan Na_2SiO_3 dari settling tank ke spray dryer
Type	: Centrifugal pump
Bahan	: Stainless Steel SA 240 Grade M type 316
Efisiensi pompa	: 35%
Efisiensi motor	: 80%
Ukuran pipa	: 2 in sch 40
Power	: 1 Hp
Jumlah	: 1 buah

19. SPRAY DRYER [B-320]

Perhitungan spesifikasi alat pada bab VI

20. CYCLONE [H-321]

Fungsi	: Menangkap butiran (granular) Na_2SiO_3 yang terikut pada udara keluar dari spray dryer
Type	: Duclone collector
Bahan	: Carbon Steel

Dasar perhitungan :

Rate udara	= 78216,6908 kg/jam = 172436,51651b/jam
Humidty udara (H)	= 0,0 14 (Hougen,fig 19 hal 120)

Spesifik volume udara

$$V_s = (0,0405)(460 + t)(0,622 + H)$$

(Perry, R.H.,ed. 3 ha1811)

$$= (0,0405)(460 + 266)(0,622 + 0,014) = 20,7781 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

Spesifik volume gas keluar = 20,7781 ft³/lb

$$\text{Densitas gas} = \frac{1}{V_s} = \frac{1}{20,7781} = 0,04813 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu \text{ gas pada } 130^\circ\text{C} = 3,4 \times 10^{-5} \text{ lb/ft det}$$

(Kern ha1825)

$$\text{Kecepatan udara cyclone} = 50 \text{ ft/det}$$

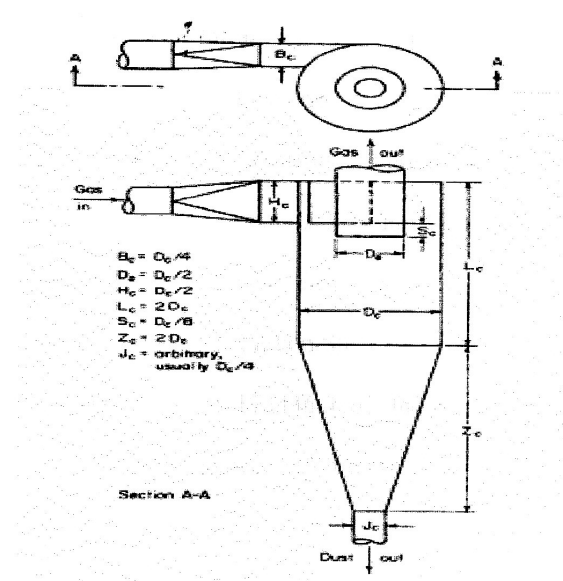
(Perry's, ed 7, hal 17-30)

Perhitungan :

$$\text{Rate volumetrik udara} = \frac{172436,5165 \text{ lb/jam}}{0,048131 \text{ lb/ft}^3 \times 3600} = 995,2518 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

$$\text{Luas aliran (Ac)} = \frac{\text{rate volumetrik udara}}{\text{kecepatan udara}} = \frac{995,2518}{50} = 19,9050 \text{ ft}^2$$

Dari Perry's ed 6, fig 20-106, hal 20-84 diket :



$$\begin{aligned} A_c &= B_c \times H_c \\ B_c &= J_c = D_c/4 \\ H_c &= D_c/2 \\ Z_c &= L_c = 2 \times D_c \\ D_c &= D_c/2 \\ S_c &= D_c/8 \\ A_c &= B_c \times H_c = B_c \times D_c/2 = B_c \times (4B_c/2) \end{aligned}$$

$$19,9050 = 2 Bc^2$$

$$Bc = 2,1632 \text{ ft}$$

$$Bc = Jc = 2,1632 \text{ ft}$$

$$Dc = 4x Bc = 4 x 2,1632 = 8,6526 \text{ ft}$$

$$Hc = Dc/2 = 8,6526/2 = 4,3263 \text{ ft}$$

$$Zc = Lc = 2 Dc = 2 x 8,6526 = 173052 \text{ ft}$$

$$Sc = Dc/8 = 8,6526 /8 = 1,0815 \text{ ft}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama : Cyclone

Fungsi : Menangkap butiran (granular) Na_2SiO_3 yang terikut pada udara keluar dari spray dryer

Type : Duclone collector

Bahan : Carbon Steel

Rate udara : 172436,5165 lb/jam

Kecepatan udara masuk : 50 ft/detik

Dimensi cyclone : $Ac = 19,9050 \text{ ft}^2$
 $Bc = 2,1632 \text{ ft}$
 $Jc = 2,1632 \text{ ft}$
 $Dc = 8,6526 \text{ ft}$
 $Zc = 17 \text{ ft}$
 $Lc = 18,5987 \text{ ft}$

Jumlah : 1 buah

21. SCREW CONVEYOR [J-322]

Fungsi : Mengangkut butiran (granular) Na_2SiO_3 ke bin produk

Type : Horizontal screw conveyor

Rate Na_2SiO_3 : 6313,1313 kg/jam = 6,3131 ton/jam $\approx 7 \text{ ton/jam}$

Dimensi screw conveyor berdasarkan Perry ed 5, tabel 7-6, hal 7-7, maka dipilih screw conveyor untuk kapasitas 15 ton/jam adalah sebagai berikut:

Diameter flig : 15 in = 0,381 m

Diameter pipa : 2,5 in = 0,0635 m

Diameter shaft : 2 in = 0,0508 m .

Diameter feed masuk : 9 in = 0,2286 m
 Panjang : 30 ft
 Kecepatan putar : 80 rpm
 Hangar center : 10 ft
 Power motor : 2,25 Hp \approx 3 Hp

Untuk memenuhi kapasitas produksi didapatkan kecepatan screw conveyor.

$$\text{rpm}_{\text{baru}} = \frac{\text{kapasitas screw conveyor}}{\text{kapasitas screw conveyor secara teori}} \times \text{kecepatan putar}$$

$$= \frac{7}{15} \times 80 = 38 \text{ rpm}$$

Spesifikasi Peralatan:

Nama : Screw conveyor
 Fungsi : Mengangkut bahan butiran (granular) Na_2SiO_3 ke bin produk
 Type : Horizontal screw conveyor
 Bahan konstruksi : Carbon Steel
 Diameter flig : 15 in = 0,381 m
 Diameter pipa : 2,5 in = 0,0635 m
 Diameter shaft : 2 in = 0,0508 m
 Diameter feed masuk : 9 in = 0,2286 m
 Panjang : 30 ft
 Kecepatan putar : 80 rpm
 Hangar center : 10 ft
 Power motor : 2,25 Hp \approx 3 Hp

22. BURNER SPRAY DRYER [Q-323]

Fungsi : Menghasilkan panas yang akan dipakai dalam spray dryer
 Type : Thermal direct fire heater
 Bahan : Carbon Steel

Dasar perhitungan :

Kondisi operasi : Suhu udara masuk burner = $30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$
 Suhu gas masuk spray dryer = $400^\circ\text{C} = 752^\circ\text{F}$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate udara} &= 77718,0625 \text{ Kg/jam} = 171337,2406 \text{ lb/jam} \\ &= 2855,620676 \text{ lb/menit} \end{aligned}$$

$$\text{Humidity udara (H)} = 0,014 \quad (\text{Hougen, fig 19 hal 120})$$

Spesifik volume udara

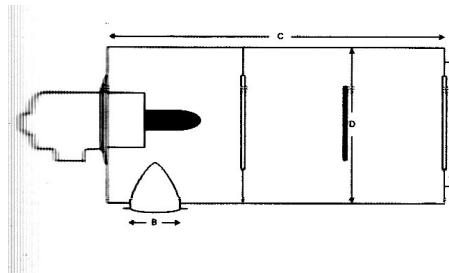
$$\begin{aligned} V_s &= (0,0405)(460 + t)(0,622 + H) \quad (\text{Perry, R.H., ed. 3 hal 811}) \\ &= (0,0405)(460 + 86)(0,622 + 0,014) = 14,0639 \text{ ft}^3/\text{lb} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas} = \frac{1}{V_s} = \frac{1}{14,0639 \text{ lb/ft}^3} = 0,0711 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{2855,6207}{0,0711} = 40161,0723 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Panas yang disupply ke dalam spray dryer = 9540281,3093 kkal/jam

Dipakai burner dengan ukuran sebagai berikut :



$$A = 40 \text{ in} = 3,3 \text{ ft}$$

(Perry, R.H., ed. 5 hal 9-33)

$$B = 24 \text{ in} = 2 \text{ ft}$$

$$C = 84 \text{ in} = 7 \text{ ft}$$

$$D = 46 \text{ in} = 3,83 \text{ ft}$$

Perhitungan tebal refractory brick and isolasi direncanakan

5. Refractory brick terbuat dari fire clay

6. Jenis isolasi adalah asbestos board

$$1 = \text{fire clay}$$

$$2 = \text{asbeston board}$$

$$t_1 = 752 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_5 = 86 \text{ }^\circ\text{F}$$

Dicoba kondisi sebagai berikut:

$$t_2 = 650 \text{ }^\circ\text{F}; t_3 = 405 \text{ }^\circ\text{F}; t_4 = 100 \text{ }^\circ\text{F}$$

Tebal refractory brick (X_{RB}) = 20 in

Tebal isolasi (X_1) = 5 in

$$t_{RB} = \frac{650+405}{2} = 2 \quad = 527,5 \text{ }^\circ\text{F}; k_{RB} = 0,8259 \text{ Btu}/(\text{jam ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft})$$

$$t_1 = \frac{405+100}{2} = 252,5 \text{ }^\circ\text{F}; k_1 = 0,167 \text{ Btu}/(\text{jam ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft})$$

Perhitungan koefisien heat transfer

1. Koefisien heat transfer dari konveksi secara paksaan (h_i)

$$N_{pr} = \frac{C_p \times \mu}{k}$$

$$\text{Pada} = \frac{t_1 \times t_2}{2} = \frac{752+650}{2} = 701 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$C_p = 0,27 \text{ Btu}/\text{lb } ^\circ\text{F} \text{ (Kern hal 805)}$$

$$k = 0,0457 \text{ Btu}/(\text{jam}/\text{ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft}) \quad \text{(Kern tabel 5 ha1801)}$$

Volume spesifik udara

$$V_s = (0,0405)(460 + t)(0,622 + H) \quad \text{(Perry, R.H.,ed. 3 ha1811)}$$

$$= (0,0405)(460 + 701)(0,622 + 0,014) = 29,9050 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

$$\text{Densitas} = \frac{1}{V_s} = \frac{1}{29,9050} = 0,03341 \text{ lb}/\text{ft}^3$$

$$N_{pr} = \frac{C_p \times \mu}{k} = \frac{0,27 \times 0,1}{0,0457} = 0,5908 \text{ ft}/\text{jam}$$

$$\text{Ditetapkan: } V = 20 \text{ ft}/\text{detik} = 72000 \text{ ft}/\text{jam}$$

$$L = 7 \text{ ft}$$

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot v \cdot ID}{\mu} = \frac{0,0334 \times 7 \times 72000}{0,1} = 168533,4759 \text{ (turbulen)}$$

$$h_i = \frac{0,0366 \times (168336,4759)^{0,8} \times (0,5908)^{1/3} \times 0,0457}{7} = 0,5362 \text{ btu}/\text{jam ft } ^\circ\text{F}$$

2. Koefisien heat transfer dari konveksi secara alamiah (h_c)

$$h_c = C \times \frac{k}{L} \times (\alpha \times L^3 \times \Delta t)^{1/3}$$

$$t = \frac{t_4 \times t_5}{2} = \frac{100 \times 86}{2} = 93^\circ\text{Cs}$$

$$\alpha (93^\circ\text{C}) = 1,3 \times 10^6$$

$$L = 3,83 \text{ (pada ukuran burner)}$$

$$\Delta t = t_4 - t_5 = 100 - 86 = 14^\circ\text{F}$$

$$\alpha \times L^3 \times \Delta t = (1,3 \times 10^6) \times (3,83)^3 \times 14 = 1,02 \times 10^9 > 10^9$$

maka: $C = 0,13$

$$\theta = 1/3$$

$$k \text{ udara } (86^\circ\text{F}) = 0,0156 \text{ Btu}/(\text{jam ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft})$$

$$h_c = 0,13 \times (0,0156 \times 1,83) \times (1,02 \times 10^9)^{1/3} = 0,5330 \text{ Btu}/(\text{jam ft}^2)(^\circ\text{F}/\text{ft})$$

3. Koefisien heat transfer dari konveksi secara radiasi (h_r)

$$h_r = \frac{0,1714 \times \epsilon \left[\left(\frac{T_s}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_r}{100} \right)^4 \right]}{t_s - t_r}$$

$$T_s = 100 + 460 = 560^\circ\text{R}$$

$$T_r = 86 + 460 = 546^\circ\text{R}$$

$$T_{\text{avg}} = \frac{100+86}{2} = 93^\circ\text{F}$$

$$\Sigma \text{ pada } 93^\circ\text{F} = 0.96$$

(Mc. Adam tabel A-23 ha1476)

$$h_r = \frac{0,1714 \times \epsilon \left[\left(\frac{560}{100} \right)^4 - \left(\frac{546}{100} \right)^4 \right]}{100-86} = 1.1132 \text{ Btu}/\text{jam ft}^2\text{ }^\circ\text{F}$$

$$h_o = h_c + h_r = 0,5330 + 1,1132 = 1,6462 \text{ Btu}/\text{jam ft}^2\text{ }^\circ\text{F}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{X_{RB}/12}{k_{RB}} + \frac{X_1/12}{k_1} + \frac{1}{h_o}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{3,0394} + \frac{20/12}{0,8259} + \frac{5/12}{0,167} + \frac{1}{1,6462}} = 0,1835 \text{ Btu}/\text{jam ft}^2\text{ }^\circ\text{F}$$

$$\frac{Q}{A} = U \times \Delta t_{\text{overall}} = 0,1835 \times (752 - 86) = 122,211 \text{ Btu}/\text{jam ft}^2$$

Cek terhadap suhu dinding refractory dan isolasi

$$\frac{Q}{A} = \frac{t_2 - t_3}{X_{RB}/k_{RB}}$$

$$122,211 = \frac{500 - t_3}{(20/12)/0,8259} = 403,3632 \text{ }^\circ\text{F}$$

Suhu tersebut sudah mendekati suhu trial yaitu $405 \text{ }^\circ\text{F}$

Cek terhadap permukaan isolasi

$$\frac{Q}{A} = \frac{t_3 - t_4}{X_1/k_1}$$

$$122,211 = \frac{405 - t_4}{(5/12)/0,167} = 100,0823 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Suhu tersebut sudah mendekati suhu trial yaitu 100 °F

Spesifikasi Peralatan :

Nama alat	: Burner spray dryer
F'ungsi	: Menghasilkan panas yang akan dipakai dalam spray dryer
Type	: Thermal direct fire heater
Bahan	: Carbon Steel
Tinggi burner	: 3,33 ft
Panjang	: 7 ft
Expose burner	: 7 ft
Tebal refractory brick	: 20 in
Tebal isolasi	: 5 in

24. BLOWER SPRAY DRYER [G-324]

Fungsi	: Menghembuskan udara menuju ke burner pada spray dryer
Type	: Centrifugal blower
Bahan konstruksi	: Carbon Steel

Dasar Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate udara} &= 77718,0625 \text{ kg/jam} = 171337,2406 \text{ lb/jam} \\ &= 2855,6207 \text{ lb/menit} \end{aligned}$$

$$\text{Suhu udara masuk} = 30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$$

$$\rho \text{ udara } (30^\circ\text{C}) = 1,1676 \text{ kg/m}^3 = 0,0729 \text{ lb/ft}^3 \quad (\text{Geankoplis, App.3-3, ha1866})$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik udara} &= \frac{\text{Udara kering yang dibutuhkan}}{\rho \text{ udara}} \\ &= \frac{2855,6207 \text{ lb/menit}}{0,0729 \text{ lb/ft}^3} = 39175,2019 \text{ ft}^3/\text{menit} \end{aligned}$$

Menentukan daya blower :

$$H_p = \frac{144 \times Q \times (P_1 - P_2)}{33000} \quad (\text{Perry, s edisi 6, hal 14-13})$$

Dimana:

H_p = daya blower yang dibangkitkan (Hp)

Q = rate volumetric udara masuk (ft³/menit)

$P_1 - P_2$ = beda tekanan dalam blower = 0.5 - 10 lb/in² (Perry, s edisi 5, hal 6-20)

Maka:

$$\text{Daya blower} = \frac{144 \times (39175,2019 \text{ ft}^3/\text{menit}) \times (0,5 \text{ lb/in}^2)}{33000} = 85,4732 \text{ Hp}$$

η motor = 92% (Petter and Timmerhous fig.14-38 hal 521)

$$\text{Sehingga : Daya motor} = \frac{85,4732}{0,92} = 92,9056 \text{ Hp} \approx 93 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama alat : Blower

Fungsi : Menghembuskan udara menuju ke burner pada spray dryer

Type : Centrifugal blower

Bahan konstruksi : Carbon Steel

Kapasitas : 171337,2406 lb/jam

Power motor : 93 Hp

Jumlah : 1 buah

25. FILTER UDARA [H-325]

Fungsi : Menyaring debu yang terdapat dalam udara sebagai penyaring burner

Type : Dry filter

Bahan : Carbon Steel

Dasar perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Massa udara kering yang dibutuhkan} &= 77718,0625 \text{ kg/jam} \\ &= 171337,2406 \text{ lb/jam} \\ &= 2855,6207 \text{ lb/menit} \end{aligned}$$

Sehu udara masuk = 30°C

$$\rho_{\text{udara pada } 30^{\circ}\text{C}} = 1,1676 \text{ kg/m}^3 = 0,07291 \text{ lb/ft}^3 \quad (\text{Geankoplis A.3-3, ha1866})$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik udara} &= \frac{\text{Udara kering yang dibutuhkan}}{\rho_{\text{udara}}} \\ &= \frac{2855,62071 \text{ lb/menit}}{0,0729 \text{ lb/ft}^3} = 39175,2019 \text{ ft}^3/\text{menit} \end{aligned}$$

$$\text{Kadar debu dalam udara} = 1 \text{ gram}/1000 \text{ ft}^3 \quad (\text{Perry ed 6 tabel 20-39})$$

$$\begin{aligned} \text{Berat debu udara} &= \frac{1 \text{ gram}}{1000 \text{ ft}} \times 39175,2019 \text{ ft}^3/\text{menit} \\ &= 39,1752 \text{ gram/menit} \end{aligned}$$

$$\text{Ukuran dry filter} = 24 \times 24 \quad (\text{Perry ed 6 tabel 20-39})$$

$$\text{Kapasitas filter} = 1000 \text{ ft}^3/\text{menit, sehingga:}$$

$$N = \frac{39175,2019 \text{ ft}^3/\text{menit}}{1000 \text{ ft}^3/\text{menit}} = 39,1752 \text{ buah} \approx 40 \text{ buah}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama	: Filter udara
Fungsi	: Menyaring debu yang terdapat dalam udara sebagai penyaring burner
Type	: Dry filter
Bahan	: Carbon Steel
Ukuran dry filter	: 24 x 24
Rate volumetrik udara	: 39175,2019 ft ³ /menit
Kapasitas filter	: 1000 ft ³ /menit
Jumlah	: 40 buah

26. BIN NATRIUM METASILIKAT [F-326]

Fungsi : Menampung butiran (granular) Na₂CO₃ sebelum dimasukkan dalam pengepakan

Type : Tangki silinder dengan tutup bawah berbentuk conis dengan sudut puncak 120°

Dasar perhitungan :

Suhu : 30°C

Massa bahan masuk : 6313,1313 kg/jam = 13918,1448 lb/jam

Densitas produk : $2,4 \text{ g/cm}^3 = 149,8320 \text{ lb/ft}^3$

Direncanakan bin digunakan untuk menampung bahan selama 1 jam

Perhitungan :

Menentukan Diameter Tangki

Bahan yang ditampung = $13918,1448 \text{ lb/jam} \times 1 \text{ jam} = 13918,1448 \text{ lb}$ Volume bahan

$$= \frac{m}{\rho} = \frac{13918,1448 \text{ lb}}{149,8320 \text{ lb/ft}^3} = 92,8917 \text{ ft}^3$$

Volume bahan mengisi bin = 80 % dari volume bin, maka:

$$\text{Volume bin} = \frac{\text{volume bahan}}{80\%} = \frac{92,8917 \text{ ft}^3}{80\%} = 116,1146 \text{ ft}^3$$

$L_s = 1,5 \text{ di}$

$$\text{Volume bin} = \frac{\pi \text{ di}^3}{24 \text{ tg } \frac{1}{2} \alpha} + \frac{\pi}{4} \text{ di}^2 (1,5 \text{ di})$$

$$116,1146 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \text{ di}^3}{24 \text{ tg } 60^\circ} + \frac{\pi}{4} \text{ di}^2 (1,5 \text{ di})$$

$$116,1146 \text{ ft}^3 = 1,25304 \text{ di}^3$$

$$\text{di} = 4,5252 \text{ ft} = 54,3028 \text{ in}$$

Menentukan tekanan design (Pi) :

Volume bahan dalam shell = volume bahan - volume conis

$$= 92,8917 - \frac{\pi 4,5252^3}{24 \text{ tg } 60^\circ} = 85,8920 \text{ ft}^3$$

$$\text{Tinggi bahan dalam shell} = \frac{\text{volume bahan dalam shell}}{\frac{1}{4}\pi \text{ di}^2}$$

$$= \frac{85,8920}{\frac{1}{4}\pi 4,5252^2} = 5,3432 \text{ ft}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik (Ph)} = \frac{\rho (H-1)}{144} = \frac{149,8320 (5,3432 - 1)}{144}$$

$$= 4,5191 \text{ Psi}$$

$$\text{Tekanan design} = 4,5191 + 14,7 = 19,2191 \text{ Psia}$$

$$= 19,2191 - 14,7 = 4,5191 \text{ Psig}$$

Menentukan Tebal Silinder:

Bahan : Carbon steel SA 240 grade M type 316

Allowable (f) : 18750 (Brownell and Young, hal 342)

Faktor korosi (C) : 1/16 in

Type pengelasan : Double welded butt joint (E = 0,8)

Tekanan design (Pi) : 4,5191 Psig

$$ts = ts = \frac{Pi \ di}{2(fE - 0,6 Pi)} + C = \frac{(4,5191) (54,3028)}{2((18750) (0,8) - 0,6 (4,5191))} + \frac{1}{16}$$

$$ts = \frac{1,1309}{16} = \frac{3}{16} \text{ in}$$

Standarisasi do:

$$do = di + 2 ts = 54,3028 \text{ in} + (2 \times (3/16))$$

$$do = 54,6678 \text{ in} = 4,5565 \text{ ft}$$

Dari tabel 5-7 Brownell and Young hal 89 didapat harga:

$$do = 51 \text{ in} \text{ icr} = 4 \ 3/8 \quad r = 51$$

Menentukan harga di baru:

$$Di = do - 2 ts = 49 - (2 \times (3/16))$$

$$di = 50,6250 \text{ in} = 4,2188 \text{ ft}$$

Cek Hubungan Ls dengan di

$$\text{Volume bin} = \frac{\pi \ di^3}{24 \ \text{tg} \ 1/2 \ \alpha} + \frac{\pi}{4} \ di^2 \ Ls$$

$$97,1118 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \ 4,2188^3}{24 \ \text{tg} \ 60^\circ} + \frac{\pi}{4} \ 4,2188^2 \ Ls$$

$$Ls = 7,9050 \text{ ft}$$

$$\frac{Ls}{di} = \frac{7,9050 \text{ ft}}{4,2188 \text{ ft}} = 1,8738 > 1,5 \text{ (memenuhi)}$$

Menentukan Tebal Tutup Bawah Berbentuk Conis (thb)

$$thb = \frac{Pi \ di}{2(fE - 0,6Pi) \cos \frac{1}{2} \ \alpha} + C$$

$$thb = \frac{4,5191 \times 50,6250}{2 \ ((18750 \times 0,8) - (0,6 \times 4,5191) \ \cos \ 60^\circ)} + \frac{1}{16} = \frac{1,2441}{16} = \frac{3}{16} \text{ in}$$

Menentukan Tinggi Bin (h)

Tinggi shell = $L_s = 7,4458 \text{ ft} = 89,3497 \text{ in}$

Tinggi tutup bawah berbentuk conis:

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha = \frac{\frac{1}{2} d_i}{h}$$

$$h = \frac{\frac{1}{2} d_i}{\operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha} = \frac{\frac{1}{2} (4,2188)}{\operatorname{tg} 60^\circ} = 1,1697 \text{ ft} = 14,6142 \text{ in}$$

Tinggi bin = tinggi shell + tinggi tutup bawah
= $7,9050 \text{ ft} + 1,2178 \text{ ft}$
= $9,1228 \text{ ft} = 109,4739 \text{ in}$

Spesifikasi Peralatan :

Nama : Bin natrium metasilikat

Fungsi : Menampung butiran (granular) Na_2SiO_3 sebelum dimasukkan dalam pengepakan

Type : Tangki silinder dengan tutup bawah berbentuk conis dengan sudut puncak 120°

Kapasitas : $116,1146 \text{ ft}^3$

Bahan : Carbon steel SA 240 grade M type 316

Dimensi : Diameter (di) = $50,6250 \text{ in}$

Tebal tutup bawah (thb) = $3/16 \text{ in}$

Tebal silinder (ts) = $3/16 \text{ in}$

Tinggi tutup bawah (h) = $14,6142 \text{ in}$

Jumlah : 1 buah

27. PACKING [P-327]

Fungsi : Mengemas produk dari bin produk ke dalam karung bag

Dasar perhitungan :

Kapasitas bahan masuk = $6313,1313 \text{ kg/jam} = 13918,1448 \text{ lb/jam}$

P_{produk} = $149,8320 \text{ lb/ft}^3$

Kapasitas karung bag = 25 kg

Asumsi:

waktu yang dibutuhkan untuk mengemas produk Na_2SiO_3 ke dalam karung bag adalah 20 detik (0,00556 jam)

$$\text{Jd waktu pengemasan} = \frac{6313,1313 \text{ kg}}{25 \text{ kg}} \times 0,00556 \text{ jam} = 1,40292 \text{ jam} \approx 1 \text{ jam}$$

$$\text{Kapasitas mesin} = 13918,1448 \text{ lb/jam} \times 1 \text{ jam} = 13918,1448 \text{ lb}$$

$$\text{Volume mesin} = \frac{13918,1448 \text{ lb}}{149,8320} = 92,8917 \text{ ft}^3$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama	: (Packing) Mesin pengemas produk
Fungsi	: Mengemas produk dari bin produk ke dalam karung bag
Kapasitas bahan masuk	: 13918,1448 lb/jam
Bahan	: Carbon Steel
Kapasitas mesin	: 13918,1448 lb
Jumlah	: 1 buah

28. BELT CONVEYOR [J-328]

Fungsi	: Mengangkut natrium metasilikat dan mesin pengemas produk ke gudang
Type	: Trought belt
Bahan	: Carbon Steel

Dasar perhitungan :

- Rate massa = $6313,1313 \text{ kg/jam} = 13918,1448 \text{ lb/jam} = 6,2135 \text{ ton/jam}$
- Dari tabel 4-4 Ulrich diperoleh:
 - Sudut Elevasi = 30°
 - Panjang = $15 \text{ m} = 49,2120 \text{ ft}$
- Dari Perry ed VI, 7-7 diperoleh:
 - Lebar = $14 \text{ in} = 1,1667 \text{ ft}$
 - Kecepatan belt = 100 ft/min
 - Kapasitas = 32 ton/jam
 - Power = $0,34 \text{ Hp}$

Perhitungan :

$$\text{Power} = \frac{6,2135}{32} \times 0.34 = 0,0660 \text{ Hp}$$

$$\eta_{\text{motor}} = 80\% \quad (\text{Petter and Timmerhous fig.14-38 hal , 521})$$

$$\text{Power motor} = \frac{0,0660}{80\%} = 0,0825 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama	: Belt conveyer
Fungsi	: Mengangkut natrium metasilikat dari mesin pengemas produk ke gudang
Type	: Trought belt
Bahan	: Carbon Steel
Panjang	: 49,2120 ft
Lebar	: 1,1667 ft
Kapasitas	: 32 ton/jam
Kecepatan belt	: 100 ft/menit
Power motor	: 1 Hp
Jumlah	: 1 buah

29. GUDANG PRODUK NATRIUM METASILIKAT (F-329)

Fungsi	: Menyimpan natrium metasilikat
Type	: Bangunan gudang
Bahan	: Beton

Dasar perhitungan :

Rate produk	: 6313,1313 kg/jam = 13918,1448 lb/jam
Waktu tinggal	: 1 bulan = 30 hari
ρ produk	: 149,8320 lb/ft ³
Suhu produk	: 60°C
Tekanan	: 1 atm

Perhitungan :

Menghitung Rate volumetrik

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{13918,1448 \text{ lb/jam}}{149,8320 \text{ lb/ft}^3} = 92,8917 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

Volume Na₂SiO₃ selama 30 hari adalah :

$$92,8917 \text{ ft}^3/\text{jam} \times 30 \text{ hari} \times 24 \text{ jam} = 66882,0029 \text{ ft}^3$$

Menentukan volume gudang

$$\text{- Volume ruang kosong} = 20 \% \text{ volume gudang}$$

$$\text{- Volume bahan} = 80 \% \text{ volume gudang}$$

$$V_{\text{gudang}} = V_{\text{bahan}} + V_{\text{ruang kosong}}$$

$$V_{\text{gudang}} = 66882,0029 \text{ ft}^3 + 0,20 Vt$$

$$V_{\text{gudang}} = \frac{66882,0029 \text{ ft}^3}{0,8} = 83602,5036 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume total} = p \times l \times t$$

Gudang akan dirancang :

$$T = 15 \text{ ft} = 4,5721 \text{ m} \approx 5 \text{ m}; \frac{1}{p} = \frac{1}{2}$$

$$\text{Luas (A)} = \frac{V_{\text{gudang}}}{t} = \frac{83602,5036 \text{ ft}^3}{15 \text{ ft}} = 5573,5002 \text{ ft}^2$$

$$\text{Volume total} = p \times l \times t$$

$$83602,5036 = p \times l/2 \times p \times 15$$

$$7,5 p^2 = 83602,5036$$

$$p = 105,5794 \text{ ft} = 32,1806 \text{ m}$$

$$l = 52,7897 \text{ ft}$$

Spesifikasi Peralatan :

Nama Alat : Gudang natrium metasilikat

Fungsi : Menyimpan natrium metasilikat

Type : Bangunan gudang

Bahan : Beton

Kapasitas : 83602,5036 ft³

Tinggi : 15 ft

Lebar : 52,7897 ft

Panjang : 105,5794 ft

Jumlah : 1 buah

APPENDIKS D

PERHITUNGAN UTILITAS

Unit utilitas pada suatu pabrik adalah salah satu bagian yang sangat penting untuk menunjang jalannya proses produksi dalam suatu industri kimia, sehingga kapasitas produksi semaksimal mungkin dapat dicapai. Unit utilitas yang diperlukan pada Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat dari Natrium Karbonat dan Pasir Silika meliputi :

- 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 :

1. Unit penyediaan steam
2. Unit penyediaan air
3. Unit penyediaan tenaga listrik
4. Unit penyediaan bahan bakar

8.1 Unit Penyediaan Steam

Pada Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat ini, kebutuhan air pengisi boiler atau air umpan boiler berdasarkan pada kebutuhan steam. Adapun kebutuhan steam tersebut digunakan sebagai media pada peralatan wbagai berikut:

Tabel D.1.1 Total Kebutuhan Steam

Nama Alat	Kebutuhan (Kg/jam)
Tangki Pelarut Na_2SiO_3 (M-230)	907,6530
Total	907,6530

Direncanakan banyaknya steam yang disupply adalah 20 % excess.

$$\text{Kebutuhan steam} = 1.2 \times 907,6530 \text{ kg/jam} = 1089,1836 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Massa steam (mS) dalam boiler} = 1089,1836 \text{ kg/jam} = 2401,2141 \text{ lb/jam}$$

Direncanakan steam yang digunakan adalah saturated steam dengan kondisi :

- Suhu(T) = 100°C = 212°F
- Tekanan(P) = 1 atm = 14,7 Psia = 101,325 kPa
- Air umpan boiler masuk pada suhu 30°C = 86°F

Dasar Perhitungan :

$$H_p = \frac{m_s \times (H_g - H_f)}{H_{fg} \times 34,5} \quad (\text{Savem, pers. 172, hal 140})$$

dimana :

- m_s = massa steam yang dihasilkan
- H_g = enthalpi steam pada 212°F
- H_f = enthalpi air masuk pada 86°F
- H_{fg} = enthalpi uap air pada 86°F
- 34.5 = angka penyesuaian pada penguapan 34,5 Hp / lb air / jam pada 86°F menjadi uap kering.

Dari Kern, tabel 7 hal 816 dengan cara interpolasi didapatkan :

H_g pada 212°F	, 14,6960 psia	= 1150,4 Btu/lb
H_f pada 86°F	, 14,7 psia	= 180,07 Btu/lb
H_{fg} pada 86°F	, 14,7 psia	= 970,3 Btu/lb

Sehingga:

$$H_p = \frac{(2401,21411\text{b/jam}) \times (1150,4 - 180,07) \text{ Btu/lb}}{(970,3 \text{ Btu/lb}) \times 34,5}$$
$$= 69,6026 \text{ Btu/jam} = 0,0193 \text{ Btu/detik} = 0,0274 \text{ Hp}$$

Untuk kapasitas boiler (Q) :

$$Q = \frac{m_s \times (H_g - H_f)}{1000} \quad (\text{Savem, pers 171, hal 140})$$

$$Q = \frac{(2401,21411\text{b/jam}) \times (1150,4 - 180,07) \text{ Btu/lb}}{1000}$$
$$= 2329,9701 \text{ Kbtu/jam} = 2329970,0619 \text{ Btu/jam}$$

Sehingga rate steam yang keluar = 2401,2883 lb/jam = 1089,2004 kg/jam

Panas yang dipindahkan oleh permukaan air = 6.10^5 W/m^2

$$= 190198,44 \text{ Btu/J.ft}^2$$

(Perry's, edisi 6, tabel 6.49)

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan panas (A)} &= \frac{2329970,0619 \text{ Btu/jam}}{190198,44 \text{ Btu/J.ft}^2} \\ &= 12,2502 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor evaporasi} = \frac{H_g - H_f}{970,3} \quad (\text{Savern, pers. 173 hal. 140})$$

$$= \frac{(1150,4 - 180,07) \text{ Btu/jam}}{970,3 \text{ Btu/jam}} = 1000$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah air yang dibutuhkan} &= \text{faktor evaporasi} \times \text{rate steam} \\ &= (1000) \times (1089,2004 \text{ kg/jam}) \\ &= 1089,2340 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Bahan bakar yang digunakan fuel oil 33°API dengan Heating Value :

$$\begin{aligned} H_v &= 132000 \text{ Btu/lb} \quad (\text{Perry, 7th ed., fig. 27-3, hal. 27-10}) \\ &= 8583,2358 \text{ Kkal/kg} \end{aligned}$$

Diperkirakan efisiensi boiler 85%, maka kebutuhan bahan bakar boiler:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan bahan bakar} &= \frac{m_s \times (H_g - H_f)}{\text{effisien} \times H_v} = \frac{2401,2883}{0,85 \times (132000) \text{ Btu/lb}} \\ &= \frac{(2401,2883 \text{ lb/jam}) \times (1150,4 - 180,07) \text{ Btu/lb}}{0,85 \times (132000) \text{ Btu/lb}} \\ &= 20,7669 \text{ lb/jam} = 9,4196 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Jumlah perpindahan panas boiler dan jumlah tube dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Heating value surface} &= 10 \text{ ft}^2 / \text{Hp boiler} \\ \text{Direncanakan panjang pipa} &= 7 \text{ ft} \\ \text{Ukuran pipa yang digunakan} &= 1,5 \text{ in} \\ \text{Luas permukaan linear feed} &= 0,498 \text{ ft}^2/\text{ft} \quad (\text{Kern, tabel 10 hal. 844}) \\ \text{Heating surface boiler} &= H_v \text{ surface} \times H_p \text{ boiler} \\ &= 10 \text{ ft}^2/\text{Hp} \times 0,0274 \text{ Hp} = 0,2735 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tube yang dibutuhkan :

$$N_t = \frac{A}{a \times L} = \frac{12,2502 \text{ ft}^2}{(0,498 \text{ ft}^2/\text{ft}) \times (7 \text{ ft})} = 3,5141 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

Spesifikasi boiler (Q-430):

- Type : Fire tube boiler
- Kapasitas boiler : 2329970,0619 Btu/jam
- Rate steam : 2401,2883 lb/jam (pada P = 1 atm = 14,7 psia)
- Bahan bakar : fuel oil 33°API
- Efisiensi : 85%
- Heating surface : 0,2735 ft²
- Jumlah tube (Nt) : 4 buah
- Ukuran tube : 1,5 in
- Panjang tube (L) : 7 ft
- Jumlah boiler : 1 buah

8.2 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.

8.2.1. Air Sanitasi

Air sanitasi digunakan untuk memenuhi kebutuhan karyawan, laboratorium, perkantoran, taman dan kebutuhan yang lain. Air sanitasi yang dipergunakan harus memenuhi syarat kualitas air sebagai berikut :

a. Syarat fisik

- Suhu : berada di bawah suhu kamar
- Warna : tidak berwarna / jernih
- Rasa : tidak berasa
- Bau : tidak berbau
- Kekeruhan : < 1 mg SiO₂ / liter
- pH . : netral

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 yang dapat merubah sifat-sifat fisik air.

Kebutuhan air sanitasi pada Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat ini adalah:

1. Untuk kebutuhan karyawan

Menurut standar WHO kebutuhan air untuk tiap orang = 120 kg/hari.

Jumlah karyawan pada pabrik = 185 orang

Jam kerja untuk tiap karyawan = 8 jam/hari

Pemakaian air sanitasi untuk 185 karyawan adalah :

$$= \frac{120 \times 185 \times 8}{3} = 7400 \text{ kg/hari} = 308,3333 \text{ kg/jam}$$

2. Untuk laboratorium, taman dan keperluan lain

Direncanakan kebutuhan air untuk laboratorium, taman dan pemadam kebakaran adalah sebesar 50 % dari kebutuhan karyawan. Sehingga kebutuhan air untuk laboratorium dan taman :

$$= 50 \% \times 7400 \text{ kg/hari} = 3700 \text{ kg/hari}$$

Jadi kebutuhan air untuk karyawan , laboratorium, taman adalah:

$$= (7400 + 3700) \text{ kg/hari}$$

$$= 11100 \text{ Kg/hari} = 462,5 \text{ kg/jam}$$

Untuk pemadam kebakaran dan cadangan air diperkirakan 40 % excess, sehingga total kebutuhan air sanitasi :

$$= 1.4 \times 462,5 \text{ kg/jam}$$

$$= 647,5 \text{ kg/jam}$$

8.2.2. Air Umpan Boiler

Air umpan boiler adalah air yang dibutuhkan untuk bahan baku steam yang berfungsi sebagai pemanas. Air umpan boiler disediakan 20 % dari kebutuhan steam :

$$\text{Kebutuhan steam} = 1,2 \times 1089,2340 \text{ kg/jam}$$

$$= 1307,0809 \text{ kg/jam}$$

Make up kebutuhan air umpan boiler 20 % dari kebutuhan :

$$= 0,2 \times 1307,0809 = 261,4162 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Sehingga kebutuhan air umpan boiler} = (1307,0809 + 261,4162) \text{ kg/jam}$$

$$= 1568,4970 \text{ kg/jam}$$

8.2.3. Air Pendingin

Air berfungsi sebagai media pendingin pada alat perpindahan panas. Hal ini disebabkan karena :

- Air merupakan materi yang banyak didapat
- Mudah dikendalikan dan dikerjakan
- Dapat menyerap panas
- Tidak mudah menyusut karena pendinginan
- Tidak mudah terkondensasi

Air pendingin yang dibutuhkan digunakan pada alat-alat sebagai berikut :

Tabel D.2.1 Total Kebutuhan Air Pendingin

Nama Alat	Kebutuhan (Kg/jam)
Chill Conveyor (J-22)	9984,7368
Total	9984,7368

Direncanakan banyaknya air pendingin yang disupply dengan excess 20 %. Kebutuhan air pendingin = $1,2 \times 9984,7368 \text{ kg/jam} = 11981,6841 \text{ kg/jam}$

Make up kebutuhan air pendingin 20 % = $0,2 \times 11981,6841 = 2396,3368 \text{ kg/jam}$

Sefingga kebutuhan air pendingin = $(11981,6841 + 2396,3368) \text{ kg/jam}$
= $14378,0210 \text{ kg/jam}$

8.2.4. Air Proses

Air proses yang dibutuhkan digunakan pada alat-alat sebagai berikut :

Tabel D.2.2. Total Kebutuhan Air Proses

Nama Alat	Kebutuhan (Kg/jam)
Tangki Pelarut Na_2SiO_3 (M-230)	8258,8553
Total	82.58,8553

Total Kebutuhan air yang perlu disupply pada Pra Rencana Pabrik Natrium -Metasilikat ini adalah :

Tabel D.2.3. Total kebutuhan air yang perlu disupply

Keterangan	Kebutuhan (Kg/jam)
Air Sanitasi	647,5000
Air Umpan Boiler	1568,4970
Air Pendingin	14378,0210
Air Prases	8258,8553
Total	24852,8733

Untuk memenuhi kebutuhan air, maka pada Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat 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 digunakan dalam pengolahan air sebagai berikut:

1. Pompa Air Sungai (L-412)

- Fungsi : Untuk memompa air sungai ke bak sedimentasi
- Type : Centrifugal pump
- Bahan : Cast iron

Dasar perhitungan :

Rate aliran = 24852,8733 kg/jam = 54790,6446 lb/jam
 Densitas air = 1 g/cm³ = 62,4280 lb/ft³
 Viskositas (μ) air = 0,8007 cp = 0,8007 x 10⁻³ kg/m.s = 0,0005 lb/ft.s
 Rate volumetrik (Q) = $\frac{54790,6646 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 877,6614 \text{ ft}^3/\text{jam}$
 = 0,2438 ft³/s

A. Menghitung dimensi pipa

Diasumsikan aliran fluida turbulen, untuk menghitung diameter pipa digunakan gambar 14.2 pada Peter Timerhous edisi 4 dengan data sebagai berikut :

Rate Volumetrik = 0,2438 ft³/s
 Densitas air = 62,4280 lb/ft³

Maka didapat Di optimum : 3,5369 in

Standarisasi ID = 4 in Sch. 40

(Geankoplis, App.A-5 hal. 892)

$$\begin{aligned} \text{Diperoleh :} & \quad - \quad \text{OD} &= & 4,5000 \text{ in} = 0,3750 \text{ ft} \\ & \quad - \quad \text{ID} &= & 4,0260 \text{ in} = 0,3355 \text{ ft} = 0,1023 \text{ m} \\ & \quad - \quad \text{A} &= & 0,0884 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

B. Menghitung laju aliran fluida (V)

$$V = \frac{\text{rate volumetrik (Q)}}{\text{luas area (A)}} = \frac{0,2438 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0884 \text{ ft}^2} = 2,7579 \text{ ft/s}$$

Cek jenis aliran fluida

$$N_{Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,3355) \text{ ft} \times (2,7579) \text{ ft/s} \times (62,4280) \text{ ft}^3}{0,0005 \text{ lb/ft.s}}$$

$$N_{Re} = 107364,7934 > 2100$$

Karena $N_{Re} > 2100$, jenis aliran fluida adalah turbulen. (Mc. Cabe jilid II, hal.47)

Ditentukan bahan pipa cast iron, $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}$ (Geankoplis 6th, hal188)

Sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,5 \times 10^{-4}) \text{ m}}{0,1023 \text{ m}} = 0,0025$$

Dari Geankoplis 6th, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat f (Fanning friction factor)

$$f = 0,0045$$

C. Menentukan panjang pipa

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus dianggap = 50 m = 164,0400 ft

b. Digunakan 4 buah elbow 90° = 35 in (Faust, App (-2a))

$$L_e = 4 \times 35 \times 0,3355 = 3,9142 \text{ ft}$$

c. Digunakan 1 buah globe

$$L_e = 1 \times 340 \times 0,3355 = 9,5058 \text{ ft}$$

d. Digunakan 1 buah gate valve = $\frac{L_e}{D} = 9$

$$L_e = 9 \times 1 \times 0,3355 = 0,2516 \text{ ft}$$

Panjang ekuivalen (L_e) = (164,04 + 3,9142 + 9,5058 + 0,2516) = 177,7116 ft

Friction loss pada elbow 90° dan valve :

- Terdapat 4 buah elbow, $K_f = 0,75$; $a = 1$ (Geankoplis e tabel 2_10.1, Ma193)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$= 4 \times 0,75 \times \left(\frac{2,7579^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right)$$

$$= 0,3546 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah globe valve, $K_f = 0,17$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2. 10.1.hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$= 1 \times 0,17 \times \left(\frac{2,7579^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right)$$

$$= 0,0201 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah gate valve, $K_f = 6$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1,hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$= 1 \times 0,17 \times \left(\frac{2,7579^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right)$$

$$= 0,7092 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\sum H_f = (0,3546 + 0,0201 + 0,7092) = 1,0839 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kontraksi losses pada tangki exit

$$h_c = 0,55 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha} \quad ; a = 1 \quad (\text{Geankoplis, pers.2.10-16, hal 93})$$

$$= \frac{0,55 (1-0) \times (2,7579)^2 \text{ ft}^2 / \text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,0650 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Expansi loss entrance tank

$$h_c = 0,55 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha} \quad ; a = 0,5 \quad (\text{Geankoplis, pers.2.10-16, hal 93})$$

$$= \frac{(1-0)^2 \times (2,7579)^2 \text{ ft}^2 / \text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,1182 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kehilangan pada pipa lurus

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D_i} \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$= 4 \times 0,0045 \times \frac{177,7116}{0,3355} \times \frac{(2,7579)^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 1,1270 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Sehingga total friction loss yang terjadi pada sistm perpipaan adalah :

$$\sum F = (1,0839 + 0,0650 + 0,1182 + 1,1270)$$

$$= 2,3940 \text{ ft.lbm/lbf}$$

D. Menentukan tenaga penggerak pompa.

Berdasarkan persamaan kesetimbangan energi mekahik :

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}}, \text{ pers. 2.7.28 hal. 97})$$

Direncanakan :

- DP = 0 (karena P 1 = P2 = 1 atm)
- DZ = 30 ft
- DV = 2,7579 ft/s (karena V 1= V2)
- a = 1

Maka :

$$- W_s = \left[\frac{(2,7579)^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right] + \left[\frac{(32,1740) \times (30)}{32,1740} \right] + [2,3940]$$

$$- W_s = 32,5122 \text{ ft.lbm/lbf}$$

$$\text{Tenaga penggerak} : \text{WHP} = \frac{(-W_s) - Q \cdot \rho}{550}$$

$$= \frac{(32,5122) \times (0,2438) \times (62,4280)}{550} = 0,8997 \text{ Hp}$$

$$\text{Kapasitas} = \frac{(54790,6446 \text{ lb/jam}) \times (7,4810 \text{ gal/ft}^3)}{(60 \text{ min/jam}) \times (62,9297)}$$

$$= 108,5573 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 40\% \quad (\text{Peter \& Timmerhaus, fig.14.37 hal 520})$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta}$$

$$\text{BHP} = \frac{0,8997 \text{ Hp}}{0,4} = 2,2492 \text{ Hp}$$

η (effisiensi) motor = 80% (Peter & Timmerfaos, fig. 14.38 hal 521)

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{2,2492}{0,8} = 2,8115 \text{ Hp} \approx 3 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Air Sungai :

- Bahan konstruksi : Cast iron
- Type : Centrifugal pump
- Kapasitas : 108,5573 gallon/menit
- Diameter dalam (ID) : 0,3355 ft
- Diameter luar (OD) : 0,3750 ft
- Daya pompa : 3 Hp
- Jumlah : 1 buah

2. Bak Sedimentasi (F-413)

Fungsi : Untuk mengendapkan lumpur yang terikut

Bahan konstruksi : Beton bertulang

Dasar perhitungan :

Rate aliran = 24852,8733 kg/jam = 54790,6446 lb/jam

Densitas air = 62,4280 lb/ft³

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{54790,6646 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 877,6614 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0,2438 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Waktu pengendapan = 12 jam

Volume air = Rate volumetrik x waktu pengendapan

$$= (877,6614 \text{ ft}^3/\text{jam}) \times (12 \text{ jam}) = 10531,9365 \text{ ft}^3$$

$$= 298,2328 \text{ m}^3$$

Direncanakan volume liquid = 80 % volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{298,2328 \text{ m}^3}{0,8} = 372,7911 \text{ m}^3$$

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 :

$$\text{Volume bak} = 30 \text{ x}^3$$

$$372,7911 \text{ m}^3 = 30 \text{ x}^3$$

$$\text{x} = 2,3162 \text{ m}$$

Jadi ukuran bak sedimentasi :

$$\text{Panjang} = 5 \times (2,3162 \text{ m}) = 11,5811 \text{ m} = 37,9954 \text{ in}$$

$$\text{Lebar} = 3 \times (2,3162 \text{ m}) = 6,9487 \text{ m} = 22,7972 \text{ in}$$

$$\text{Tinggi} = 2 \times (2,3162 \text{ m}) = 4,6325 \text{ m} = 15,1982 \text{ in}$$

Spesifikasi Bak Sedimentasi :

- Bentuk : Persegi panjang
- Bahan : Beton Bertulang
- Panjang : 11,581 m
- Lebar : 6,9487 m
- Tinggi : 4,6325 m
- Jumlah : 1 buah

3. Pompa Bak Sedimentasi (L-414)

Fungsi : Untuk memompa air dari bak sedimentasi ke bak skimmer

Type : Centrifugal pump

Bahan : Cast iron

Dasar Perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 24852,8733 \text{ kg/jam} = 54790,6446 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,42801 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskoitas } (\mu) \text{ air} = 0,8007 \text{ cp} = 0,8007 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} = 0,0005 \text{ lb/ft.s}$$

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{54790,6446 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 877,6614 \text{ ft}^3/\text{Jam}$$

$$= 0,2438 \text{ ft}^3/\text{s}$$

A. Menghitung dimensi pipa

Diasumsikan aliran fluida turbulen, untuk menghitung diameter pipa digunakan gambar 14.2 pada Peter Timerhoust edisi 4 dengan data sebagai berikut :

$$\text{Rate Volumetrik} = 0,2438 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\text{Densitas air} = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

Maka didapat Di optimum : 3,5369 in

$$\text{Standarisasi ID} = 4 \text{ in Sch. 40} \quad (\text{Geankoplis, App-5 hal. 892})$$

$$\text{Diperoleh : - OD} = 4,5000 \text{ in} = 0,3750 \text{ ft}$$

$$\text{- ID} = 4,0260 \text{ in} = 0,3355 \text{ ft} = 0.1023 \text{ m}$$

$$\text{- A} = 0,0884 \text{ ft}^2$$

B. Menghitung laju aliran fluida (V)

$$V = \frac{\text{rate volumetrik (Q)}}{\text{luas area (A)}} = \frac{0,2438 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,884 \text{ ft}^2} = 2,7579 \text{ ft/s}$$

Cek jenis aliran fluida

$$N_{Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,3355) \text{ ft} \times (2,7579) \text{ ft/s} \times (62,4280) \text{ lb/ft}^3}{0,0005 \text{ lb/ft.s}}$$

$$N_{Re} = 107364,7934 > 2100$$

Karena $N_{Re} > 2100$, jenis aliran fluida adalah turbulen. (Mc. cabe jilid II, hal. 47)

Ditentukan bahan pipa cast iron, $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}$ (Geankoplis 6th, hal 88)

Sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}}{0,1023 \text{ m}} = 0,0025$$

Dari Geankoplis 6th, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat f (Fanning friction factor)

$$f = 0,0045$$

C. Menentukan panjang pipa :

Direncanakan :

$$\text{a. Panjang pipa lurus dianggap} = 50 \text{ m} = 164,0400 \text{ ft}$$

$$\text{b. Digunakan 4 buah elbow } 90^\circ = 35 \text{ in} \quad (\text{Foust, App (-2a)})$$

$$Le = 4 \times 35 \times 0,3355 = 3,9142 \text{ ft}$$

$$\text{c. Digunakan 1 buah globe}$$

$$Le = 1 \times 340 \times 0,3355 = 9,5058 \text{ ft}$$

$$\text{d. Digunakan 1 buah gate valve} = \frac{Le}{D} = 9$$

$$Le = 9 \times 1 \times 0,3355 = 0,2516 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang ekuivalen (Le)} = (164,04 + 3,9142 + 9,5058 + 0,2516) = 177,7116 \text{ ft}$$

Friction loss pada elbow 90° dan valve :

- Terdapat 4 buah elbow, $K_f = 0,75$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1,hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$= 4 \times 0,75 \times \left(\frac{2,7579^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right)$$

$$= 0,3546 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah globe valve, $K_f = 0,17$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1,hal193)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$= 1 \times 0,17 \times \left(\frac{2,7579^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right)$$

$$= 0,0201 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah gate valve, $K_f = 6$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabe12.10.1,hal 193)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$= 1 \times 6 \times \left(\frac{2,7579^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right)$$

$$= 0,7092 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\sum H_f = (0,3546 + 0,0201 + 0,7092) = 1,0839 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kontraksi losses pada tangki exit

$$h_c = 0,55 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha} ; a = 1$$

$$= \frac{0,55 (1-0) \times (2,7579)^2 \text{ ft}^2 / \text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,0650 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Expansi loss entrance tank

$$h_c = \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha} ; a = 1$$

$$= \frac{(1-0)^2 \times (2,7579)^2 \text{ ft}^2 / \text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,1182 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kehilangan pada pipa lurus

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D_i} \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$= 4 \times 0,0045 \times \frac{177,7116}{0,3355} \times \frac{(2,7579)^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 1,1270 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Sehingga total friction loss yang terjadi pada sistm perpipaan adalah :

$$\sum F = (1,0839 + 0,0650 + 0,11-82 + 1,1270)$$

$$= 2,3940 \text{ ft.lbm/lbf}$$

D. Menentukan tenaga penggerak pompa.

Berdasarkan persamaan kesetimbangan energi mekanik :

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}}, \text{ pers. 2.7.28 hal. 97})$$

Direncanakan :

- DP = 0 (karena P 1 = P2 = 1 atm)
- DZ = 20 ft
- DV = 2,7579 ft/s (karena V 1= V2)
- a = 1

Maka :

$$- W_s = \left[\frac{(2,7579)^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right] + \left[\frac{(32,1740) \times 20}{32,1740} \right] + [2,3940]$$

$$- W_s = 22,5122 \text{ ft.lbm/lbf}$$

$$\text{Tenaga penggerak} \quad : \text{WHP} = \frac{(-W_s) - Q \cdot \rho}{550}$$

$$= \frac{(22,5122) \times (0,2438) \times (62,4280)}{550} = 0,8997 \text{ Hp}$$

$$\text{Kapasitas} = \frac{(54790,64461 \text{ b/jam}) \times (7,4810 \text{ gal/ft}^3)}{(60 \text{ min/jam}) \times (62,9297)}$$

$$= 108,5573 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 40\% \quad (\text{Peter \& Timmerhaus, fig.14.37 hal 520})$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta}$$

$$\text{BHP} = \frac{0,6230 \text{ Hp}}{0,4} = 1,5574 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 80\% \quad (\text{Peter \& Timmerhaus, fig. 14.38 hal 521})$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{1,5574}{0,8} = 1,9467 \text{ Hp} \approx 2 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Bak Sedimentasi :

- Bahan konstruksi : Cast iron
- Type : Centrifugal pump
- Kapasitas : 108,5573 gallon/menit
- Diameter dalam (ID) : 0,3355 ft
- Diameter luar (OD) : 0,3750 ft
- Daya pompa : 2 Hp
- Jumlah : 1 buah

4. Bak Skimmer (F-415)

Fungsi : Untuk memisahkan kotoran yang mengapung

Bahan konstruksi : Beton bertulang

Dasar perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 24852,8733 \text{ kg/jam} = 54790,64461 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas air} = 62,42801 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{54790,6646 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 877,6614 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0,2438 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\text{Waktu pengendapan} = 0,5 \text{ jam}$$

$$\text{Volume air} = \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu pengendapan}$$

$$= (877,6614 \text{ ft}^3/\text{jam}) \times (0,5 \text{ jam}) = 438,8307 \text{ ft}^3$$

$$= 12,4264 \text{ m}^3$$

Direncanakan volume liquid = 80 % volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{12,4264 \text{ m}^3}{0,8} = 15,5330 \text{ m}^3$$

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 :

$$\text{Volume bak} = 30 \text{ x}^3$$

$$15,5330 \text{ m}^3 = 30 \text{ x}^3$$

$$\text{x} = 0,8030 \text{ m}$$

Jadi ukuran bak skimmer :

$$\text{Panjang} = 5 \times (0,8030 \text{ m}) = 4,0150 \text{ m} = 13,1723 \text{ in}$$

$$\text{Lebar} = 3 \times (0,8030 \text{ m}) = 2,4090 \text{ m} = 7,9034 \text{ in}$$

$$\text{Tinggi} = 2 \times (0,8030 \text{ m}) = 1,6060 \text{ m} = 5,2689 \text{ in}$$

Spesifikasi Bak Skimmer :

- Bentuk : Persegi panjang
- Bahan : Beton Bertulang
- Panjang : 4,0150 m
- Lebar : 2,4090 m
- Tinggi : 1,6060 m
- Jumlah : 1 buah

5. Pompa Skimmer (L-416)

Fungsi : Untuk memompa air dari bak skimer ke tangki clarifier

Type : Centrifugal pump

Bahan : Cast iron

Dasar perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 24852,8733 \text{ kg/jam} = 54790,6446 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,8007 \text{ cp} = 0,8007 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} = 0,0005 \text{ lb/ft.s}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{54790,6446 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 877,6614 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,2438 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

A. Menghitung dimensi pipa

Diasumsikan aliran fluida turbulen, untuk menghitung diameter pipa digunakan gambar 14.2 pada Peter Timerhoust edisi 4 dengan data sebagai berikut :

Rate Volumetrik = 0,2438 ft³/s
 Densitas air = 62,4280 lb/ft³
 Maka didapat Di optimum : 3,5369 in
 Standarisasi ID = 4 in Sch. 40 (Geankoplis, App.A-5 hal. 892)
 Diperoleh :
 - OD = 4,5000 in = 0,3750 ft
 - ID = 4,0260 in = 0,3355 ft = 0,1023 m
 - A = 0,0884 ft²

B. Menghitung laju aliran fluida (V)

$$V = \frac{\text{rate volumetrik (Q)}}{\text{luas area (A)}} = \frac{0,2438 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0884 \text{ ft}^2} = 2,7579 \text{ ft/s}$$

Cek jenis aliran fluida

$$N_{Re} = \frac{D.V.\rho}{\mu} = \frac{(0,3355)\text{ft} \times (2,7579)\text{ft/s} \times (62,4280)\text{ft}^3}{0,0005 \text{ lb/ft.s}}$$

$$N_{Re} = 107364,7934 > 2100$$

Karena $N_{Re} > 2100$, jenis aliran fluida adalah turbulen. (Mc. Cabe jilid II, hal.47)

Ditentukan bahan pipa cast iron, $\epsilon = (2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}$ (Geankoplis 6th, hal1 88)

Sehingga :

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{(2,5 \times 10^{-4}) \text{ m}}{0,1023 \text{ m}} = 0,0025$$

Dari Geankoplis 6th, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat f (Fanning friction factor)

$$f = 0,0045$$

C. Menentukan panjang pipa

Direncanakan :

- a. Panjang pipa lurus dianggap = 50 m = 164,0400 ft
- b. Digunakan 4 buah elbow 90° = 35 in (Faust, App (-2a))

$$Le = 4 \times 35 \times 0,3355 = 3,9142 \text{ ft}$$

- c. Digunakan 1 buah globe

$$Le = 1 \times 340 \times 0,3355 = 9,5058 \text{ ft}$$

- d. Digunakan 1 buah gate valve = $\frac{Le}{D} = 9$

$$Le = 9 \times 1 \times 0,3355 = 0,2516 \text{ ft}$$

Panjang ekuivalen (Le) = (164,04 + 3,9142 + 9,5058 + 0,2516) = 177,7116 ft

Friction loss pada elbow 90° dan valve :

- Terdapat 4 buah elbow, $K_f = 0,75$; $a = 1$ (Geankoplis tabel 2.10.1,hal 193)

$$\begin{aligned}
 H_f &= K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c} \\
 &= 4 \times 0,75 \times \left(\frac{2,7579^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right) \\
 &= 0,3546 \text{ ft.lbf/lbm}
 \end{aligned}$$

- Terdapat 1 buah globe valve, $K_f = 0,17$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2. 10. 1.hal 93)

$$\begin{aligned}
 H_f &= K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c} \\
 &= 1 \times 0,17 \times \left(\frac{2,7579^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right) \\
 &= 0,0201 \text{ ft.lbf/lbm}
 \end{aligned}$$

- Terdapat 1 buah gate valve, $K_f = 6$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1,hal 93)

$$\begin{aligned}
 H_f &= K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c} \\
 &= 1 \times 0,17 \times \left(\frac{2,7579^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right) \\
 &= 0,7092 \text{ ft.lbf/lbm}
 \end{aligned}$$

$$\sum H_f = (0,3546 + 0,0201 + 0,7092) = 1,0839 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kontraksi losses pada tangki exit

$$\begin{aligned}
 h_c &= 0,55 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha} ; a = 1 && \text{(Geankoplis, pers.2.10-16, hal 93)} \\
 &= \frac{0,55 (1-0) \times (2,7579)^2 \text{ ft}^2 / \text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2} \\
 &= 0,0650 \text{ ft.lbf/lbm}
 \end{aligned}$$

- Expansi loss entrance tank

$$\begin{aligned}
 h_c &= \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha} ; a = 0,5 && \text{(Geankoplis, pers.2.10-16, hal 93)} \\
 &= \frac{(1-0)^2 \times (2,7579)^2 \text{ ft}^2 / \text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}
 \end{aligned}$$

$$= 0,1182 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kehilangan pada pipa lurus

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D_i} \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$= 4 \times 0,0045 \times \frac{177,7116}{0,3355} \times \frac{(2,7579)^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 1,1270 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Sehingga total friction loss yang terjadi pada sistem perpipaan adalah :

$$\Sigma F = (1,0839 + 0,0650 + 0,1182 + 1,1270)$$

$$= 2,3940 \text{ ft.lbm/lbf}$$

D. Menentukan tenaga penggerak pompa.

Berdasarkan persamaan kesetimbangan energi mekanik :

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0 \quad (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}}, \text{ pers. 2.7.28 hal. 97})$$

Direncanakan :

- DP = 0 (karena P₁ = P₂ = 1 atm)
- DZ = 30 ft
- DV = 2,7579 ft/s (karena V₁ = V₂)
- a = 1

Maka :

$$- W_s = \left[\frac{(2,7579)^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right] + \left[\frac{(32,1740) \times (30)}{32,1740} \right] + [2,3940]$$

$$- W_s = 32,5122 \text{ ft.lbm/lbf}$$

$$\text{Tenaga penggerak} : \text{WHP} = \frac{(-W_s) - Q \cdot \rho}{550}$$

$$= \frac{(32,5122) \times (0,2438) \times (62,4280)}{550} = 0,8997 \text{ Hp}$$

$$\text{Kapasitas} = \frac{(54790,64461 \text{ b/jam}) \times (7,4810 \text{ gal/ft}^3)}{(60 \text{ min/jam}) \times (62,9297)}$$

$$= 108,5573 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 40\% \quad (\text{Peter \& Timmerhaus, fig.14.37 hal 520})$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta}$$

$$\text{BHP} = \frac{0,8997 \text{ Hp}}{0,4} = 2,2492 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 80\% \quad (\text{Peter \& Timmerfaos, fig. 14.38 hal 521})$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{2,2492}{0,8} = 2,8115 \text{ Hp} \approx 3 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Skimmer :

- Bahan konstruksi : Cast iron
- Type : Centrifugal pump
- Kapasitas : 108,5573 gallon/menit
- Diameter dalam (ID) : 0,3155A
- Diameter luar (OD) : 0,3750 ft
- Daya pompa : 3 Hp
- Jumlah : 1 buah

6. Tangki Clarifier (H-410)

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 : Carbon Steel SA-240 Grade M type 316

Dasar perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 24852,8733 \text{ kg/jam} = 54790,6446 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ air pada } 30^\circ\text{C} = 62,4280 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik} &= \frac{54790,6646 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 877,6614 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,2438 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\text{Waktu pengendapan} = 2 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu pengendapan} \\ &= (877,6614 \text{ ft}^3/\text{jam}) \times (2 \text{ jam}) = 49,7055 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid = 80 % volume bak, sehingga :

$$\text{Volume tangki} = \frac{49,705 \text{ m}^3}{0,8} = 24,8527 \text{ m}^3/\text{jam} = 62,1318 \text{ m}^3$$

Kebutuhan alum = 30 % dari volume air total dengan konsentrasi 80 ppm atau 80 mg tiap 1 L air (0,08 kg/m³).

$$\begin{aligned}\text{Jadi kebutuhan alum} &= (30 \%) \times (24,8527 \text{ m}^3/\text{jam}) \times (0,08 \text{ kg/m}^3) \\ &= 0,5965 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

$$\text{Kebutuhan alum tiap hari} = \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times 0,5965 \text{ kg/jam} = 14,3152 \text{ kg/hari}$$

Tangki berbentuk silinder dengan tutup bawah berbentuk conical :

$$\text{Volume tangki} = \frac{\pi \times D^3}{24 \times \tan 1/2 \alpha} + \frac{\pi}{4} D^2 \times L_s$$

$$\text{diasumsikan } L_s = 1,5 D$$

Tutup membentuk sudut (α) = 120°

Direncanakan tangki clarifier berjumlah 1 buah, sehingga :

$$62,1318 \text{ m}^3 = \frac{\pi \times D^3}{24 \times \tan 1/2 \alpha} + \frac{\pi}{4} D^2 \times L_s$$

$$62,1318 \text{ m}^3 = 0,2267 D^3 + 1,1775 D^3$$

$$D = 3,5369 \text{ m}$$

Menentukan tinggi clarifier :

$$\text{Tinggi shell} = L_s = 1,5 \times D = 1,5 \times 3,5369 \text{ m} = 5,3054 \text{ m}$$

Tinggi tutup bawah berbentuk conis :

$$\text{tg } 1/2 \alpha = \frac{1/2 \times D}{hb}$$

$$hb = \frac{1/2 \times D}{\text{tg } 1/2 \alpha} = \frac{1/2 (3,5369)}{1,7321} = 2,0420 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi tangki} &= \text{tinggi shell} + \text{tinggi tutup bawah} \\ &= 5,3054 \text{ m} + 2,0420 \text{ m} \\ &= 7,3474 \text{ m}\end{aligned}$$

Jadi ukuran tangki clarifier :

$$\text{Diameter} = 3,5369 \text{ m} = 139,2496 \text{ in}$$

$$\text{Tinggi} = 7,3474 \text{ m} = 289,2678 \text{ in}$$

Perencanaan pengaduk :

Jenis pengaduk : axial turbin 6 blades sudut 45°

Bahan impeller : High alloy steel SA 240 Grade M type 316

Data - data jenis pengaduk :

$$Dt/Di = 2,4 - 3$$

$$Zi/Di = 0,75 - 1,3$$

$$ZUDi = 2,7 - 3,9$$

$$W/Di = 0,17$$

(G.G. Brown, hal 507)

dimana : Dt = diameter dalam tangki
Di = diameter impeller
Zi = tinggi impeller dari dasar tangki
Zl = tinggi zat cair dalam silinder
W = lebar baffle impeller

Menentukan diameter impeller

$$Dt/Di = 2.4$$

$$Di = \frac{Dt}{2,4} = \frac{139,2496 \text{ in}}{2,4} = 58,0207 \text{ in} = 4,8351 \text{ ft}$$

Menentukan tinggi impeller dari dasar tangki

$$Zi/Di = 0,75 - 1,3 \text{ (diambil 0.9)}$$

$$Zi = 0,9 Di = 0,9 \times 58,0207 \text{ in} = 52,2186 \text{ in}$$

Menentukan panjang impeller

$$\frac{L}{Di} = \frac{1}{4}$$

$$L = 1/4 Di = 1/4 \times 58,0207 \text{ in} = 14,5052 \text{ in}$$

Menentukan lebar impeller

$$\frac{W}{Di} = 0,17$$

$$W = 0,17 \times Di = 0,17 \times 58,0207 \text{ in} = 9,8635 \text{ in}$$

Menentukan tebal blades

$$J/Dt = 1/12$$

$$J = Dt/12 = 139,2496/12 = 11,6041 \text{ in}$$

Ditetapkan kecepatan pengadukan : n= 35 rpm

$$n = 0,5833 \text{ rps}$$

Menentukan daya pengaduk

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

$$N_{Re} = \frac{n \times D_i^2 \times \rho}{\mu}$$

$$= 1582401,3320$$

sehingga dari Geankoplis fig 3,4-4 hal 145 didapatkan dan tetha =1,5

$$P = \frac{5 \times 62,4280 \times 0,1085 \times 2642,4498}{32,174}$$

$$P = \frac{1526,5912}{550}$$

$$P = 2,7756 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor = 80%

$$P = \frac{2,7756}{80\%}$$

$$P = 3,4695 \text{ Hp} \approx 4 \text{ Hp}$$

Perhitungan poros pengaduk

1. Diameter poros

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

Dimana :

$$T = \text{momen puntir (lb.in)} = 63025 \text{ H/N}$$

$$H = \text{daya motor pada poros} = 4 \text{ Hp}$$

$$N \text{ putaran pengaduk} = 35 \text{ rpm}$$

Sehingga:

$$T = \frac{63025 \times 4}{35}$$

$$T = 7202,8571 \text{ lb/in}$$

Dari hesse, tabel 16-1 hal. 467, untuk bahan Hot Rolled Steel SAE 1020, mengandung karbon = 20 %, dengan batas = 36000 lb/in²

S = malksimum design shering stress yang diijinkan

$$S = 0,2 \times 36000$$

$$S = 7200 \text{ lb/in}^2$$

Maka didapatkan diameter poros pengaduk (D)

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

$$D = \left(\frac{16 \times 7202,8571}{3,14 \times 7200} \right)^{1/3}$$

$$D = 1,7210 \text{ in} = 0,1434 \text{ ft}$$

2. Panjang Poros

$$L = h + 1 - Z_i$$

Dimana :

L = Panjang poros (ft)

Z_i = Jarak impeller dari dasar tangki = 52,2186 in = 4,3515 ft

1 = Panjang poros diatas bejana tangki = 14,5052 in = 1.2088 ft

h = Tinggi silinder = 289.2678 in = 24,1057 ft

Maka :

$$L = 289,2678 + 14,5052 - 52,2186 = 251,5544 \text{ in}$$

Spesifikasi Tangki Clarifier :

- Bentuk : Tangki silinder tutup bawah berbenauk conical
- Bahan : Carbon Steel SA-240 Grade M type 316
- Diameter tangki (D) : 139,2496 in
- Tinggi impeller dari dasar bejana (Z_i) : 52,2186 in
- Diameter impeller (D_i) : 58,0207 in
- Lebar impeller (W) : 9,8635 in
- Daya motor : 4 Hp
- Jumlah : 1 buah

7. Sand Filter (F-417)

Fungsi : Tempat untuk menyaring zat-zat yang terikut setelah dari tangki clarifier

Type : Tangki mendatar

Dasar perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 24852,8733 \text{ kg/jam} = 54790,6446 \text{ lb/jam}$$

$$\rho \text{ air pada } 30^\circ\text{C} = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{54790,6646 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 877,6614 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu pengendapan} = 30 \text{ menit} = 0,5 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu pengendapan} \\ &= (877,6614 \text{ ft}^3/\text{jam}) \times (0,5 \text{ jam}) = 12,4264 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid = 80 % volume bak, sehingga :

$$\text{Volume sand filter} = \frac{12,4264 \text{ m}^3}{0,8} = 15,5330 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume ruang kosong} = 20 \% \text{ volume tangki}$$

$$\text{Volume ruang kosong} = (20 \%) \times (15,5330 \text{ m}^3) = 3,1066 \text{ m}^3$$

$$\text{Porositas} = \frac{V \text{ ruang kosong}}{V \text{ ruang kosong} + V \text{ padatan}}$$

Diasumsikan porositas bad sebesar 0,4, maka :

$$0,4 = \frac{3,1066 \text{ m}^3}{3,1066 \text{ m}^3 + V \text{ padatan}}$$

$$0,4 (3,1066 \text{ m}^3 + V \text{ padatan}) = 3,1066 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume padatan} = 4,6599 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume total tangki} &= \text{Volume padatan} + \text{Volume air} \\ &= 4,6599 \text{ m}^3 + 12,4264 \text{ m}^3 = 17,0863 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Menentukan dimensi tangki

$$\text{Volume silinder} = 1/4 \pi \times D_i^2 \times L_s$$

$$\text{Diasumsikan } L_s = 1,513i$$

$$17,0863 \text{ m}^3 = 1/4 \pi \times (D_i)^2 \times L_s$$

$$17,0863 \text{ m}^3 = 1,1790 D_i^3$$

$$D_i = 2,4381 \text{ m}$$

$$\text{Jadi tinggi silinder } (L_s) = 1,5 \times 2,4381 \text{ m} = 3,6571 \text{ m}$$

Menentukan tinggi tutup atas dan bawah (h)

$$\begin{aligned} h &= \frac{1/2 d_i}{\text{tg } 1/2 \alpha} \\ &= 0,7038 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi tinggi total tangki : $L_s + 2h$

$$= 3,6571 \text{ m} + 2 (0,7038) \text{ m} = 5,0647 \text{ m}$$

Spesifikasi Sand Filter :

- Type : Silinder mendatar

- Tinggi : 5,0647 m

- Diameter : 2,4381 m
- Tutup : Conical
- Jumlah : 1 buah

8. Bak Air Bersih (IF-418)

Fungsi : Untuk menampung air bersih dari sand filter

Bahan konstruksi : Beton bertulang

Dasar perhitungan :

Rate aliran = 24852,8733 kg/jam = 54790,6446 lb/jam

ρ air pada 30°C = 62,4280 lb/ft³

Rate volumetrik = $\frac{54790,6446 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 877,6614 \text{ ft}^3/\text{jam}$

Waktu tinggal = 24 jam

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal
 = (877,6614 ft³/jam) x (24 jam) = 596,4657 m³

Direncanakan volume liquid = 80 % volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{596,4657 \text{ m}^3}{0,8} = 745,5821 \text{ m}^3$$

Bak berbentuk empat persegi panjang dengan ratio :

Panjang : lebar : tinggi = 5 : 3 : 2

Volume bak = (5 m) x (3 m) x (2 m) = 30 m³

Sehingga :

Volume bak = 30 x³

745,5821 m³ = 30 x³

x = 2,9183 m

Jadi ukuran bak air bersih :

Panjang = 5 x (2,9183 m) = 14,5913 m

Lebar = 3 x (2,9183 m) = 8,7548 m

Tinggi = 2 x (2,9183 m) = 5,8365 m

Spesifikasi Bak Air Bersih:

- Bentuk : Persegi panjang
- Bahan : Beton Bertulang

- Panjang (P) : 14,5913 m
- Lebar (L) : 8,7548 m
- Tinggi (T) : 5,8365 m
- Jumlah : 1 buah

9. Pompa Ke Kation Dan Anion Exchanger (L-421)

Fungsi : Untuk memompa air dari bak bersih ke kation dan anion exchanger

Type : Centrifugal pump

Bahan : Cast iron

Dasar perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 24205,3733 \text{ kg/jam} = 53363,1661 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,8007 \text{ cp} = 0,8007 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} = 0,0005 \text{ lb/ft.s}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{53363,1661 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 854,7954 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,2374 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

A. Menghitung dimensi pipa

Diasumsikan aliran fluida turbulen, untuk menghitung diameter pipa digunakan gambar 14.2 pada Peter Timerhous edisi 4 dengan data sebagai berikut :

$$\text{Rate Volumetrik} = 0,2374 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\text{Densitas air} = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

Maka didapat Di optimum : 3,4951 in

Standarisasi ID = 2.5 in Sch. 40 (Geankoplis, AppA-5 hal. 892)

$$\begin{aligned} \text{Diperoleh :} \quad - \text{OD} &= 2,8750 \text{ in} = 0,2396 \text{ ft} \\ - \text{ID} &= 2,4690 \text{ in} = 0,2058 \text{ ft} = 0,0627 \text{ m} \\ - \text{A} &= 0,0332 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

B. Menghitung laju aliran fluida (V)

$$V = \frac{\text{rate volumetrik (Q)}}{\text{luas area (A)}} = \frac{0,2374 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0332 \text{ ft}^2} = 7,1476 \text{ ft/s}$$

Cek jenis aliran fluida

$$N_{Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,2058) \text{ ft} \times (7,1476) \text{ ft/s} \times (62,4280) \text{ lb/ft}^3}{0,0005 \text{ lb/ft.s}}$$

$$N_{Re} = 107364,7934 > 2100$$

Karena $N_{Re} > 2100$, jenis aliran fluida adalah turbulen.

(Mc. Cabe jilid II, hal.47)

Ditentukan bahan pipa cast iron, $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4})$ m

(Geankoplis 6th, ha188)

Sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}}{0,0627 \text{ m}} = 0,0025$$

Dari Geankoplis 6th, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat f (Fanning friction factor)

$$f = 0,0045$$

C. Menentukan panjang pipa

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus dianggap = 50 m = 164,0400 ft

b. Digunakan 4 buah elbow 90° = 35 in

(Faust, App (-2a))

$$L_e = 4 \times 35 \times 0,2058 = 2,4004 \text{ ft}$$

c. Digunakan 1 buah globe

$$L_e = 1 \times 340 \times 0,2058 = 5,8296 \text{ ft}$$

d. Digunakan 1 buah gate valve = $\frac{L_e}{D} = 9$

$$L_e = 9 \times 1 \times 0,2058 = 0,1543 \text{ ft}$$

Panjang ekuivalen (L_e) = (164,04 + 2,4004 + 5,8296 + 0,1543) = 172,4243 ft

Friction loss pada elbow 90° dan valve :

- Terdapat 4 buah elbow, $K_f = 0,8$; $a = 1$

(Geankoplis 6th tabel 2.10.1,hal 93)

$$\begin{aligned} H_f &= K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c} \\ &= 4 \times 0,8 \times \left(\frac{7,1476^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right) \\ &= 2,3818 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

- Terdapat 1 buah globe valve, $K_f = 0,17$; $a = 1$
(Geankoplis 6th tabel 2.10.1,ha193)

(Geankoplis 6th tabel

$$\begin{aligned} H_f &= K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c} \\ &= 1 \times 0,17 \times \left(\frac{7,1476^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right) \\ &= 0,1350 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

- Terdapat 1 buah gate valve, $K_f = 6$; $a = 1$

(Geankoplis 6th tabe12.10.1,ha193)

$$\begin{aligned} H_f &= K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c} \\ &= 1 \times 6 \times \left(\frac{7,1476^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right) \\ &= 4,7636 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

$$\sum H_f = (2,3818 + 0,1350 + 4,7636) = 7,2804 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kontraksi losses pada tangki exit

$$h_c = 0,55 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha} \quad ; a = 1 \quad \text{(Geankoplis, pers.2.10-16, hal 93)}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{0,55 (1-0) \times (7,1476)^2 \text{ ft}^2 / \text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2} \\ &= 0,4367 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

- Expansi loss entrance tank

$$h_c = \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha} \quad ; a = 0,5 \quad \text{(Geankoplis, pers.2.10-16, hal 93)}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(1-0)^2 \times (7,1476)^2 \text{ ft}^2 / \text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 0,5 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2} \\ &= 0,1182 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

- Kehilangan pada pipa lurus

$$\begin{aligned} F_f &= 4f \times \frac{\Delta L}{D_i} \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c} \\ &= 4 \times 0,0045 \times \frac{172,4243}{0,2058} \times \frac{(7,1476)^2}{2 \times 1 \times 32,174} \\ &= 11,9761 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

Sehingga total friction loss yang terjadi pada sistm perpipaan adalah :

$$\begin{aligned} \sum F &= (7,2804 + 0,4367 + 0,7939 + 11,9761) \\ &= 20,4871 \text{ ft.lbm/lbf} \end{aligned}$$

D. Menentukan tenaga penggerak pompa.

Berdasarkan persamaan kesetimbangan energi mekanik :

$$\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad (\text{Geankoplis 6th, pers. 2.7.28 hal. 97})$$

Direncanakan :

- DP = 0 (karena P₁ = P₂ = 1 atm)
- DZ = 20 ft
- DV = 7,1476 ft/s (karena V₁ = V₂)
- α = 1

Maka :

$$- W_s = \left[\frac{(7,1476 \text{ ft/s})^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \right] + \left[\frac{(32,1740) \times (20)}{32,1740} \right] + [20,4871]$$

$$- W_s = 41,2810 \text{ ft.lbm/lbf}$$

$$\begin{aligned} \text{Tenaga penggerak : WHP} &= \frac{(-W_s) - Q \cdot \rho}{550} \\ &= \frac{(41,2810) \times (0,2374) \times (62,4280)}{550} = 1,1126 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas} &= \frac{(53363,1661 \text{ lb/jam}) \times (7,4810 \text{ gal/ft}^3)}{(60 \text{ min/jam}) \times (62,9297)} \\ &= 105,7291 \text{ gpm} \end{aligned}$$

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 40\% \quad (\text{Peter \& Timmerhaus, fig. 14.37 hal 520})$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta}$$

$$\text{BHP} = \frac{1,1126 \text{ Hp}}{0,4} = 2,7814 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 80\% \quad (\text{Peter \& Timmerhaus, fig. 14.38 hal 521})$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{2,7814}{0,8} = 3,4768 \text{ Hp} \approx 3 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Ke Kation dan Anion Exchanger :

- Bahan konstruksi : Cast iron
- Type : Centrifugal pump
- Kapasitas : 105,7291 gallon/menit

- Diameter dalam (ID) : 0,2058 ft
- Diameter luar (OD) : 0,2396 ft
- Daya pompa : 4 Hp
- Jumlah : 1 buah

10. Kation Exchanger (D-420A)

Fungsi : Untuk menghilangkan ion-ion positif yang dapat menyebabkan kesadahan air. Resin paog digmakan adalah Hidrogen exchanger (H₂Z). Dimana tiap 1 m³ H₂Z dapat menghilangkan 6500 - 9000 gram hardness.

Direncanakan H₂Z yang digunakan spf am rak 8000 g/m³.

Bahan konstruksi : Carbon Steel SA-240 Grade M type 316

Dasar perhitungan :

Rate aliran = 24205,3733 kg/jam = 53363,1661 lb/jam

Densitas air = 1 g/cm³ = 62,42801b/ft³

Viskositas (μ) air = 0,8007 cp = 0,8007 x 10⁻³ Kg/ms = 0,0005 lb/ft.dt

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{53363,1661 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 106,5787 \text{ gpm} \end{aligned}$$

Direncanakan :

- Tangki berbentuk silinder

- Kecepatan air = 8 gpm/ft²

- Tinggi bad= 2 m= 6,5616 ft

Luas penampang tangki

$$\begin{aligned} \frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Kecepatan air}} &= \frac{106,5787 \text{ gpm}}{8 \text{ gpm/ft}^2} = 13,3223 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Volume bad= Luas x tinggi

$$= 13,3223 \text{ ft}^2 \times 6,5616 \text{ ft}$$

$$= 87,4159 \text{ ft}^3 = 2,4754 \text{ m}^3$$

Mencari diameter bad :

$$\text{Luas} = \pi/4 \times D^2$$

$$13,3223 \text{ ft}^2 = (\pi/4) \times D^2$$

$$D = 4,1196 \text{ ft} = 1,2557 \text{ m}$$

Direncanakan :

$$H/D = 3$$

$$H = 3 \times D = 3 \times 4,1196 \text{ ft}$$

Volume tangki :

$$V = H \times A$$

$$= (12,3588 \text{ ft}) \times (13,3223 \text{ ft}^2) = 164,6483 \text{ ft}^3 = 4,6623 \text{ m}^3$$

Diasumsikan : tiap galon air mengandung 10 grain hardness, maka :

$$\text{Kandungan kation} = 106,5787 \text{ gal/min} \times 10 \text{ grain/gal}$$

$$= 1065,7874 \text{ grain/menit} = 63947,2425 \text{ grain/jam}$$

Dalam 4,6623 m³ H₂Z dapat menghilangkan hardness sebanyak

$$= 4,6623 \times 8000 = 37298,7717 \text{ gram}$$

$$= 37298,7717 \times (2,2046/1000 \text{ lb/gram}) \times 8000 = 657830,9773 \text{ grain}$$

$$\text{Umur resin} = \frac{657830,9773 \text{ grain}}{63947,247 \text{ grain/jam}} = 10,2871 \text{ jam}$$

Jadi setelah 10,2871 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 (D) : 1,2557 m

- Tinggi (H) : 3,7670 m

11. Anion Exchanger (D-420B)

Fungsi : Untuk menghilangkan ion-ion negatif yang dapat menyebabkan kesadahan air.

Direncanakan anion exchanger yang digunakan sebanyak 8000 g/m³

Bahan konstruksi : Carbon Steel SA-240 Grade M type 316

Dasar perhitungan:

$$\text{Rate aliran} = 24205,3733 \text{ kg/jam} = 53363,1661 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,42801 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,8007 \text{ cp} = 0,8007 \times 10^{-3} \text{ Kg/m.s} = 0.0005 \text{ lb/ft.dt}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{53363,1661 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 106,5787 \text{ gpm} \end{aligned}$$

Direncanakan :

- Tangki berbentuk silinder
- Kecepatan air = 8 gpm/ft²
- Tinggi bad = 2 m = 6,5616 ft

Luas penampang tangki

$$= \frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Kecepatan air}} = \frac{106,5787 \text{ gpm}}{8 \text{ gpm/ft}^2} = 13,3223 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bad} &= \text{Luas} \times \text{tinggi} \\ &= 13,3223 \text{ ft}^2 \times 6,5616 \text{ ft} \\ &= 87,4159 \text{ ft}^3 = 2,4754 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Mencari diameter had:

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \pi/4 \times D^2 \\ 13,3223 \text{ ft}^2 &= (\pi/4) \times D^2 \\ D &= 4,1196 \text{ ft} = 1,2557 \text{ m} \end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} H/D &= 3 \\ H &= 3 \times D = 3 \times 4,1196 \text{ ft} \\ &= 12,3588 \text{ ft} = 3,7670 \text{ m} \end{aligned}$$

Volume tangki :

$$\begin{aligned} V &= H \times A \\ &= (12,3588 \text{ ft}) \times (13,3223 \text{ ft}^2) = 164,6483 \text{ ft}^3 = 4,6623 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Diasumsikan : tiap galon air mengandung 20 grain hardness, maka :

$$\begin{aligned} \text{Kandungan anion} &= 106,5787 \text{ gal/min} \times 20 \text{ grain/gal} \\ &= 2131,5747 \text{ grain/menit} = 127894,4849 \text{ grain/jam} \end{aligned}$$

Dalam 4,6623 m³ H₂Z dapat menghilangkan hardness sebanyak :

$$\begin{aligned} &= 4,6623 \times 8000 = 37298,7717 \text{ gram} \\ &= 37298,7717 \times (2,2046/1000 \text{ lb/gram}) \times 8000 = 657830,9773 \text{ grain} \end{aligned}$$

$$\text{Umur resin} = \frac{657830,9773 \text{ grain}}{127894,4849 \text{ grain/jam}} = 5,1435 \text{ jam}$$

Jadi setelah 5,1435 jam, resin harus segera diregenerasi dengan menambahkan NaOH.

Spesifikasi Anion Exchanger:

- Bahan konstruksi : Carbon Steel SA-240 Grade M type 316
- Diameter (D) : 1,2557 m
- Tinggi (H) : 3,7670 m

12. Bak Air Lunak (F-422)

- Fungsi : Untuk menampung air lunak untuk umpan boiler
- Bahan konstruksi : Beton bertulang
- Waktu tinggal : 8 jam

Dasar perhitungan:

Rate aliran = 24205,3733 kg/jam = 53363,1661 lb/jam

Densitas air = 62,4280 lb/ft³

Rate volumetrik (Q) = $\frac{53363,1661 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/m}^3} = 854,7954 \text{ ft}^3/\text{jam}$

Waktu pengendapan = 8 jam

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal
= (854,7954 ft³/jam) x (8 jam) = 6838,3631 ft³
= 193,6419 m³

Direncanakan volume liquid = 80 % volume bak, sehingga:

Volume bak = $\frac{193,6419 \text{ m}^3}{0,8} = 242,0524 \text{ m}^3$

Bak berbentuk empat persegi panjang dengan ratio :

Panjang : lebar : tinggi = 5:3:2

Volume bak = (5 m) × (3 m) × (2 m) = 30 m³

Sehingga :

Volume bak = 30 m³

242,0524 m³ = 30 m³

= 2,0057 m

Jadi ukuran bak air lunak :

Panjang = 5 × (2,0057 m) = 10,0284 m

Lebar = 3 × (2,0057 m) = 6,0171 m

$$\text{Tinggi} = 2 \times (2,0057 \text{ m}) = 4,0114 \text{ m}$$

Spesifikasi Bak Air Lunak :

- Bentuk : Persegi panjang
- Bahan : Beton Bertulang
- Panjang (P) : 10,0284 m
- Lebar (L) : 6,0171 m
- Tinggi (T) : 4,0114 m
- Jumlah : 1 buah

13. Pompa Ke Bak Steam Kondensat (L-423)

- Fungsi : Memompa air dari bak air lunak ke bak steam kondensat
- Type : Centrifugal pump
- Bahan : Cast iron

Dasar perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 1568,4970 \text{ kg/jam} = 3457,9085 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,8007 \text{ cp} = 0,8007 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} = 0,0005 \text{ lb/ft.s}$$

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{3457,9085 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 55,3903 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0,0154 \text{ ft}^3/\text{s}$$

A. Menghitung dimefisi pipa

Diasumsikan aliran fluida turbulen, untuk menghitung diameter pipa digunakan gambar 14.2 pada Peter Timmerhous edisi 4 dengan data sebagai berikut :

$$\text{Rate Volumetrik} = 0,0154 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\text{Densitas air} = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

Maka didapat Di optimum : 1,0202 in

Standarisasi ID = 2,5 in Sch. 40

(Geankoplis, App.A-5 hal. 892)

- Diperoleh : - OD = 1,3150 in = 0,1096 ft
- ID = 1,0940 in = 0,0874 ft = 0,0266 m
- A = 0,0060 ft²

B. Menghitung laju aliran fluida (V)

$$V = \frac{\text{rate volumetrik (Q)}}{\text{luas area (A)}} = \frac{0,0154 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0060 \text{ ft}^2} = 2,5644 \text{ ft/s}$$

Cek jenis aliran fluida

$$N_{Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,0874) \text{ ft} \times (2,5644) \text{ ft/s} \times (62,4280) \text{ lb/ft}^3}{0,0005 \text{ lb/ft.s}}$$

$$N_{Re} = 26011,8786 > 2100$$

Karena $N_{Re} > 2100$, jenis aliran fluida adalah turbulen. (Mc. cabe jilid II, hal. 47)

Ditentukan bahan pipa cast iron, $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}$ (Geankoplis 6th, hal 88)

Sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}}{0,0266 \text{ m}} = 0,0098$$

Dari Geankoplis 6th, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat f (Fanning friction factor)

$$f = 0,0045$$

C. Menentukan panjang pipa :

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus dianggap = 50 m = 164,0400 ft

b. Digunakan 4 buah elbow 90° = 35 in (Foust, App (-2a))

$$L_e = 4 \times 35 \times 0,0874 = 1,0199 \text{ ft}$$

c. Digunakan 1 buah globe

$$L_e = 1 \times 340 \times 0,0874 = 2,4768 \text{ ft}$$

d. Digunakan 1 buah gate valve = $\frac{L_e}{D} = 9$

$$L_e = 9 \times 1 \times 0,0874 = 0,0656 \text{ ft}$$

Panjang ekuivalen (L_e) = (164,04 + 1,0199 + 2,4768 + 0,0656) = 167,6022 ft

Friction loss pada elbow 90° dan valve :

- Terdapat 1 buah elbow, $K_f = 0,8$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times a \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 0,8 \times \frac{2,5644^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,3066 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah globe valve, $K_f = 0,17$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 0,17 \times \frac{2,5644^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,0174 \text{ ft. lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah gate valve, $K_f = 6$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 6 \times \frac{2,5644^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,6132 \text{ ft. lbf/lbm}$$

$$\sum H_f = (0,3066 + 0,0174 + 0,6132) = 0,9371 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kontraksi losses pada tangki exit

$$h_c = 0,55 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha}; a = 1$$

$$h_c = \frac{0,55(1-0) \times (2,5644)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,0562 \text{ ft.lbf/lbm}$$

(Geankoplis, pers.2.10-16, hal.93)

- Expansi loss entrance tank

$$h_c = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha}; a = 0,5$$

(Geankoplis, pers.2.10-15, hal.93)

$$h_c = \frac{(1-0)^2 \times (2,5644)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 0,5 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,1022 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kehilangan pada pipa lurus

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D_i} \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$F_f = 4 \times 0,0045 \times \frac{167,6022}{0,0874} \times \frac{(2,5644)^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 3,5268 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Sehingga total friction loss yang terjadi pada sistem perpipaan adalah:

$$\sum F = (0,9371 + 0,0562 + 0,1022 + 3,5268)$$

$$= 4,6223 \text{ ft.lbm/lbf}$$

D. Menentukan tenaga penggerak pompa.

Berdasarkan persamaan kesetimbangan energi mekanik :

$$\frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}}, \text{ pers. 2.7.28 hal.97})$$

Direncanakan :

- DP = 0 (karena P1= P2 = 1 atm)
- DZ = 20 ft
- DV = 2,5644 ft/s (karena V1= V2)
- α = 1

Maka:

$$- W_s = \left[\frac{(2,5644)^2}{(2) \times (1) \times (32,1740)} \right] + \left[\frac{(32,1740) \times (20)}{32,1740} \right] + [4,62231]$$

$$- W_s = 24,7245 \text{ ft.lbm/lbf}$$

$$\text{Tenaga penggerak : WHP} = \frac{(-W_s) \cdot Q \cdot \rho}{550}$$

$$\text{WHP} = \frac{(24,7245) \times (0,0154) \times (62,4280)}{550} = 0,0432 \text{ Hp}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas pompa} &= \frac{(3457,9085 \text{ lb/Jam}) \times (7,4810 \text{ gal/ft}^3)}{(60 \text{ min/Jam}) \times (62,9297)} \\ &= 6,8512 \text{ gpm} \end{aligned}$$

$$\eta \text{ (efisiensi) pompa} = 40\% \quad (\text{Peter \& Timmerhaus, fig. 14.37 hal 520})$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta}$$

$$\text{BHP} = \frac{0,0432 \text{ Hp}}{0,4} = 0,1079 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ (efisiensi) motor} = 80\% \quad (\text{Peter \& Timmerhaus, fig. 14.38 hal 521})$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,1079 \text{ Hp}}{0,8} = 0,1349 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Ke Bak Steam Kondesat :

- Bahah konstruksi : Cast iron
- Type : Centrifugal pump
- Kapasitas : 6,8512 gallon/menit
- Diameter dalam (ID) : 0,0874 ft
- Diameter luar (OD) : 0,1096 ft

- Daya pompa : 1 Hp
- Jumlah : 1 buah

14. Bak Steam Kondensat (F-431)

Fungsi : Untuk menampung steam kondensat dari tangki pelarutan Na_2SiO_3 untuk diumpankan kembali ke deaerator

Bahan konstruksi : Beton bertulang

Waktu tinggal : 8 jam

Dasar perhitungan :

Rate aliran = 1568,4970 kg/jam = 3457,9085 lb/jam

Densitas air = 1 g/cm³ = 62,4280 lb/ft³

Rate volumetrik (Q) = $\frac{3457,9085 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 55,3903 \text{ ft}^3/\text{jam}$

Waktu tinggal = 8 jam

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal
= (55,3903 ft³/jam) x (8 jam) = 12,5479 m³

Direncanakan volume liquid = 80 % volume bak, sehingga :

Volume bak = $\frac{12,5479 \text{ m}^3}{0,8} = 15,6849 \text{ m}^3$

Bak berbentuk empat persegi panjang dengan ratio :

Panjang : lebar : tinggi = 5 : 3 : 2

Volume bak = (5 m) x (3 m) x (2 m) = 30 m³

Sehingga :

Volume bak = 30 m³

15,6849 m³ = 30 m³

x = 0,8056 m

Jadi ukuran bak air boiler :

Panjang = 5 x (0,8056 m) = 4,0280 m

Lebar = 3 x (0,8056 m) = 2,4168 m

Tinggi = 2 x (0,8056 m) = 1,6112 m

Spesifikasi Bak Steam Kondensat :

- Bentuk : Persegi panjang
- Bahan : Beton Bertulang
- Panjang : 4,0280 m
- Lebar : 2,4168 m
- Tinggi : 1,6112 m
- Jumlah : 1 buah

15. Pompa Ke Deaerator (L-432)

- Fungsi : Memompa air dari bak steam kondensat ke deaerator
- Type : Centrifugal pump
- Bahan : Cast iron

Dasar perhitungan :

Rate aliran = 1568,4970 kg/jam = 3457,9085 lb/jam

Densitas air = 1 g/cm³ = 62,4280 lb/ft³

Viskositas (μ) air = 0,8007 cp = 0,8007 x 10⁻³ kg/m.s = 0,0005 lb/ft.s

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{3457,9085 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 55,3903 \text{ ft}^3/\text{jam}$$
$$= 0,0154 \text{ ft}^3/\text{s}$$

A. Menghitung dimensi pipa

Diasumsikan aliran fluida turbulen, untuk menghitung diameter pipa digunakan gambar 14.2 pada Peter Timerhous edisi 4 dengan data sebagai berikut :

Rate Volumetrik = 0,0154 ft³/s

Densitas air = 62,4280 lb/ft³

Maka didapat Di optimum : 1,0202 in

Standarisasi ID = 2,5 in Sch. 40

(Geankoplis, App.A-5 hal. 892)

- Diperoleh : - OD = 1,3150 in = 0,1096 ft
- ID = 1,0940 in = 0,0874 ft = 0,0266 m
- A = 0,0060 ft²

B. Menghitung laju aliran fluida (V)

$$V = \frac{\text{rate volumetrik (Q)}}{\text{luas area (A)}} = \frac{0,0154 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0060 \text{ ft}^2} = 2,5644 \text{ ft/s}$$

Cek jenis aliran fluida

$$N_{Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,0874) \text{ ft} \times (2,5644) \text{ ft/s} \times (62,4280) \text{ lb/ft}^3}{0,0005 \text{ lb/ft.s}}$$

$$N_{Re} = 26011,8786 > 2100$$

Karena $N_{Re} > 2100$, jenis aliran fluida adalah turbulen. (Mc. cabe jilid II, hal. 47)

Ditentukan bahan pipa cast iron, $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}$ (Geankoplis 6th, hal 88)

Sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}}{0,0266 \text{ m}} = 0,0098$$

Dari Geankoplis 6th, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat f (Fanning friction factor)

$$f = 0,0045$$

C. Menentukan panjang pipa :

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus dianggap = 50 m = 164,0400 ft

b. Digunakan 4 buah elbow 90° = 35 in (Foust, App (-2a))

$$L_e = 4 \times 35 \times 0,0874 = 1,0199 \text{ ft}$$

c. Digunakan 1 buah globe

$$L_e = 1 \times 340 \times 0,0874 = 2,4768 \text{ ft}$$

d. Digunakan 1 buah gate valve = $\frac{L_e}{D} = 9$

$$L_e = 9 \times 1 \times 0,0874 = 0,0656 \text{ ft}$$

Panjang ekuivalen (L_e) = (164,04 + 1,0199 + 2,4768 + 0,0656) = 167,6022 ft

Friction loss pada elbow 90° dan valve :

- Terdapat 1 buah elbow, $K_f = 0,8$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times a \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 0,8 \times \frac{2,5644^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,3066 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah globe valve, $K_f = 0,17$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 0,17 \times \frac{2,5644^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,0174 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah gate valve, $K_f = 6$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 6 \times \frac{2,5644^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,6132 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\sum H_f = (0,3066 + 0,0174 + 0,6132) = 0,9371 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kontraksi losses pada tangki exit

$$h_c = 0,55 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha}; a = 1$$

$$h_c = \frac{0,55(1-0) \times (2.5644)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32.1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,0562 \text{ ft.lbf/lbm}$$

(Geankoplis, pers.2.10-16, hal.93)

- Expansi loss entrance tank

$$h_c = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha}; a = 0,5$$

(Geankoplis, pers.2.10-15, hal.93)

$$h_c = \frac{(1-0)^2 \times (2.5644)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32.1740 \times 0,5 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,1022 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kehilangan pada pipa lurus

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D_i} \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$F_f = 4 \times 0,0045 \times \frac{167,6022}{0,0874} \times \frac{(2,5644)^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 3,5268 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Sehingga total friction loss yang terjadi pada sistem perpipaan adalah:

$$\sum F = (0,9371 + 0,0562 + 0,1022 + 3,5268)$$

$$= 4,6223 \text{ ft.lbm/lbf}$$

D. Menentukan tenaga penggerak pompa.

Berdasarkan persamaan kesetimbangan energi mekanik :

$$\frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}}, \text{ pers. 2.7.28 hal.97})$$

Direncanakan :

- DP = 0 (karena P1 = P2 = 1 atm)
- DZ = 20 ft
- DV = 2,5644 ft/s (karena V1 = V2)
- α = 1

Maka:

$$- W_s = \left[\frac{(2,5644)^2}{(2) \times (1) \times (32,1740)} \right] + \left[\frac{(32,1740) \times (20)}{32,1740} \right] + [4,62231]$$

$$- W_s = 24,7245 \text{ ft.lbm/lbf}$$

$$\text{Tenaga penggerak : } \text{WHP} = \frac{(-W_s) \cdot Q \cdot \rho}{550}$$

$$\text{WHP} = \frac{(24,7245) \times (0,0154) \times (62,4280)}{550} = 0,0432 \text{ Hp}$$

$$\text{Kapasitas pompa} = \frac{(3457,9085 \text{ lb/Jam}) \times (7,4810 \text{ gal/ft}^3)}{(60 \text{ min/Jam}) \times (62,9297)}$$
$$= 6,8512 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ (efisiensi) pompa} = 40\% \quad (\text{Peter \& Timmerhaus, fig. 14.37 hal 520})$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta}$$

$$\text{BHP} = \frac{0,0432 \text{ Hp}}{0,4} = 0,1079 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ (efisiensi) motor} = 80\% \quad (\text{Peter \& Timmerhaus, fig. 14.38 hal 521})$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,1079 \text{ Hp}}{0,8} = 0,1349 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Ke Bak Steam Kondesat :

- Bahah konstruksi : Cast iron
- Type : Centrifugal pump
- Kapasitas : 6,8512 gallon/menit
- Diameter dalam (ID) : 0,0874 ft
- Diameter luar (OD) : 0,1096 ft

- Daya pompa : 1 Hp
- Jumlah : 1 buah

16. Deaerator (D-433)

Fungsi : Untuk menghilangkan gas impurities daim air umpan boiler dengan injeksi steam

Bahan konstruksi : Carbon steel SA-240 Grade M type 316

Type : Silinder horisontal

Dasar perhitungan :

Rate aliran = 1568,4970 kg/jam = 3457,9085 lb/jam

Densitas air = 62,4280 lb/ft³

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{3457,9085 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 55,3903 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,0154 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Waktu aerasi = 1 jam

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu aerasi} \\ &= (55,3903 \text{ ft}^3/\text{jam}) \times (1 \text{ jam}) = 55,3903 \text{ ft}^3 \\ &= 1,5685 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid = 80% volume tangki, sehingga:

$$\text{Volume tangki} = \frac{1,5685 \text{ m}^3}{0,8} = 1,9606 \text{ m}^3$$

Menentukan dimensi tangki

Diasumsikan $L_s = D_i$

$$\text{Volume tangki} = \frac{1}{4} \pi \times D_i^2 \times L_s$$

$$1,9606 \text{ m}^3 = \frac{1}{4} \pi \times (D_i)^2 \times 1,5 D_i$$

$$1,9606 \text{ m}^3 = 1,179 D_i^3$$

$$D_i = 1,1847 \text{ m}$$

Jadi tinggi tangki (L_s) = 1,5 x 1,1847 m = 1,7771 m

Menentukan tinggi tutup atas dan bawah (h)

$$h = 0,169 D_i^3$$

$$h = 0,169 \times (1,1847 \text{ m})^3 = 0,2810 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi tinggi total tangki} &= L_s + 2h \\ &= 1,7771 \text{ m} + 2(0,2810) \text{ m} = 2,3392 \text{ m} \end{aligned}$$

Spesifikasi Deaerator :

- Type : Silinder horisontal
- Tutup : Standard dished
- Tinggi : 2,3392 m
- Diameter : 1,1847m
- Jumlah : 1 buah

17. Bak Boiler Feed Water (F-434)

- Fungsi : Untuk menampung air umpan badar
- Bahan konstruksi : Beton bertulang
- Waktu tinggal : 8 jam

Dasar perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate aliran} &= 1568,4970 \text{ kg/jam} = 3457,9085 \text{ lb/jam} \\ \text{Densitas air} &= 1 \text{ g/cm}^3 = 62,4280 \text{ lb/ft}^3 \\ \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{3457,9085 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 55,3903 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ \text{Waktu tinggal} &= 8 \text{ jam} \\ \text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= (55,3903 \text{ ft}^3/\text{jam}) \times (8 \text{ jam}) = 12,5479 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid = 80 % volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{12,5479 \text{ m}^3}{0,8} = 15,6849 \text{ m}^3$$

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 :

$$\text{Volume bak} = 30 \text{ m}^3$$

$$15,6849 \text{ m}^3 = 30 \text{ m}^3$$

$$x = 0,8056 \text{ m}$$

Jadi ukuran bak boiler feed water:

$$\text{Panjang} = 5 \times (0,8056 \text{ m}) = 4,0280 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 3 \times (0,8056 \text{ m}) = 2,4168 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 2 \times (0,8056 \text{ m}) = 1,6112 \text{ m}$$

Spesifikasi Bak Boiler Feed Water :

- Bentuk : Persegi panjang
- Bahan : Beton Bertulang
- Panjang : 4,0280 m
- Lebar : 2,4168 m
- Tinggi : 1,6112 m
- Jumlah : 1 buah

18. Pompa Ke Boiler (L-435)

Fungsi : Memompa air ke boiler

Type : Centrifugal pump

Bahan : Cast iron

Dasar perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 1568,4970 \text{ kg/jam} = 3457,9085 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,8007 \text{ cp} = 0,8007 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} = 0,0005 \text{ lb/ft.s}$$

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{3457,9085 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 55,3903 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0,0154 \text{ ft}^3/\text{s}$$

A. Menghitung dimensi pipa

Diasumsikan aliran fluida turbulen, untuk menghitung diameter pipa digunakan gambar 14.2 pada Peter Timerhoust edisi 4 dengan data sebagai berikut :

$$\text{Rate Volumetrik} = 0,0154 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\text{Densitas air} = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

Maka didapat Di optimum : 1,0202 in

Standarisasi ID = 2,5 in Sch. 40

(Geankoplis, App.A-5 hal. 892)

$$\text{Diperoleh : } - \text{ OD} = 1,3150 \text{ in} = 0,1096 \text{ ft}$$

$$- \text{ ID} = 1,0940 \text{ in} = 0,0874 \text{ ft} = 0,0266 \text{ m}$$

$$- A = 0,0060 \text{ ft}^2$$

B. Menghitung laju aliran fluida (V)

$$V = \frac{\text{rate volumetrik (Q)}}{\text{luas area (A)}} = \frac{0,0154 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0060 \text{ ft}^2} = 2,5644 \text{ ft/s}$$

Cek jenis aliran fluida

$$N_{Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,0874) \text{ ft} \times (2,5644) \text{ ft/s} \times (62,4280) \text{ lb/ft}^3}{0,0005 \text{ lb/ft.s}}$$

$$N_{Re} = 26011,8786 > 2100$$

Karena $N_{Re} > 2100$, jenis aliran fluida adalah turbulen. (Mc. cabe jilid II, hal. 47)

Ditentukan bahan pipa cast iron, $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}$ (Geankoplis 6th, hal 88)

Sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}}{0,0266 \text{ m}} = 0,0098$$

Dari Geankoplis 6th, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat f (Fanning friction factor)

$$f = 0,0045$$

C. Menentukan panjang pipa :

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus dianggap = 50 m = 164,0400 ft

b. Digunakan 4 buah elbow 90° = 35 in (Foust, App (-2a))

$$L_e = 4 \times 35 \times 0,0874 = 1,0199 \text{ ft}$$

c. Digunakan 1 buah globe

$$L_e = 1 \times 340 \times 0,0874 = 2,4768 \text{ ft}$$

d. Digunakan 1 buah gate valve = $\frac{L_e}{D} = 9$

$$L_e = 9 \times 1 \times 0,0874 = 0,0656 \text{ ft}$$

Panjang ekuivalen (L_e) = (164,04 + 1,0199 + 2,4768 + 0,0656) = 167,6022 ft

Friction loss pada elbow 90° dan valve :

- Terdapat 1 buah elbow, $K_f = 0,8$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times a \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 0,8 \times \frac{2,5644^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,3066 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah globe valve, $K_f = 0,17$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 0,17 \times \frac{2,5644^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,0174 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah gate valve, $K_f = 6$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 6 \times \frac{2,5644^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,6132 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\sum H_f = (0,3066 + 0,0174 + 0,6132) = 0,9371 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kontraksi losses pada tangki exit

$$h_c = 0,55 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha} ; a = 1$$

$$h_c = \frac{0,55(1-0) \times (2.5644)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32.1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,0562 \text{ ft.lbf/lbm}$$

(Geankoplis, pers.2.10-16, hal.93)

- Expansi loss entrance tank

$$h_c = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha} ; a = 0,5$$

(Geankoplis, pers.2.10-15, hal.93)

$$h_c = \frac{(1-0)^2 \times (2.5644)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32.1740 \times 0,5 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,1022 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kehilangan pada pipa lurus

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D_i} \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$F_f = 4 \times 0,0045 \times \frac{167,6022}{0,0874} \times \frac{(2,5644)^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 3,5268 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Sehingga total friction loss yang terjadi pada sistem perpipaan adalah:

$$\begin{aligned}\sum F &= (0,9371 + 0,0562 + 0,1022 + 3,5268) \\ &= 4,6223 \text{ ft.lbm/lbf}\end{aligned}$$

D. Menentukan tenaga penggerak pompa.

Berdasarkan persamaan kesetimbangan energi mekanik :

$$\frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}}, \text{ pers. 2.7.28 hal.97})$$

Direncanakan :

- DP = 0 (karena P1 = P2 = 1 atm)
- DZ = 20 ft
- DV = 2,5644 ft/s (karena V1 = V2)
- α = 1

Maka:

$$\begin{aligned}- W_s &= \left[\frac{(2,5644)^2}{(2) \times (1) \times (32,1740)} \right] + \left[\frac{(32,1740) \times (20)}{32,1740} \right] + [4,62231] \\ - W_s &= 24,7245 \text{ ft.lbm/lbf}\end{aligned}$$

Tenaga penggerak : $WHP = \frac{(-W_s) \cdot Q \cdot \rho}{550}$

$$WHP = \frac{(24,7245) \times (0,0154) \times (62,4280)}{550} = 0,0432 \text{ Hp}$$

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas pompa} &= \frac{(3457,9085 \text{ lb/Jam}) \times (7,4810 \text{ gal/ft}^3)}{(60 \text{ min/Jam}) \times (62,9297)} \\ &= 6,8512 \text{ gpm}\end{aligned}$$

η (effisiensi) pompa = 40% (Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hal 520)

$$BHP = \frac{WHP}{\eta}$$

$$BHP = \frac{0,0432 \text{ Hp}}{0,4} = 0,1079 \text{ Hp}$$

η (effisiensi) motor = 80% (Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hal 521)

$$\text{Daya motor} = \frac{BHP}{\eta} = \frac{0,1079 \text{ Hp}}{0,8} = 0,1349 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Ke Bak Steam Kondesat :

- Bahah konstruksi : Cast iron
- Type : Centrifugal pump
- Kapasitas : 6,8512 gallon/menit

- Diameter dalam (ID) : 0,0874 ft
- Diameter luar (OD) : 0,1096 ft
- Daya pompa : 1 Hp
- Jumlah : 1 buah

19. Pompa Ke Bak Air Pendingin (L-424)

- Fungsi : Untuk memompa air lunak ke bak air pendingin
- Type : Centrifugal pump
- Bahan konstruksi : Cast Iron

Dasar perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 14378,0210 \text{ kg/jam} = 31697,7850 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,8047 \text{ cp} = 0,8007 \times 10^{-3} \text{ Kg/m.s} = 0,0005 \text{ lb/ft.s}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{31697,7850 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 507,7495 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,1410 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

A. Menghitung dimensi pipa

Diasumsikan aliran fluida turbulen, untuk menghitung diameter pipa digunakan gambar 14.2 pada Peter Timmerhaus edisi 4 dengan data sebagai berikut :

$$\text{Rate Volumetrik} = 0,1410 \text{ ft}^3/\text{dt}$$

$$\text{Densitas air} = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

Maka didapat Di optimum : 2,7648 in

$$\text{Standarisasi ID} = 2,5 \text{ in Sch. 40}$$

(Geankoplis, App.A-5 hal. 892)

- Diperoleh :
 - OD = 2,8750 in = 0,2396 ft
 - ID = 2,4690 in = 0,2058 ft = 0,0627 m
 - A = 0,0332 ft²

B. Menghitung laju aliran fluida (V)

$$V = \frac{\text{rate volumetrik (Q)}}{\text{luas area (A)}} = \frac{0,1410 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0332 \text{ ft}^2} = 4,2457 \text{ ft/s}$$

Cek jenis aliran fluida

$$N_{Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,2058) \text{ ft} \times (4,2457) \text{ ft/s} \times (62,4280) \text{ lb/ft}^3}{0,0005 \text{ lb/ft.s}}$$

$$N_{Re} = 101364,1435 > 2100$$

Karena $N_{Re} > 2100$, jenis aliran fluida adalah turbulen. (Mc. cabe jilid II, hal. 47)

Ditentukan bahan pipa cast iron, $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4})$ m (Geankoplis 6th, hal 88)

Sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}}{0,0627 \text{ m}} = 0,0041$$

Dari Geankoplis 6th, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat f (Fanning friction factor)

$$f = 0,0045$$

C. Menentukan panjang pipa :

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus dianggap = 50 m = 164,0400 ft

b. Digunakan 4 buah elbow 90° = 35 in (Foust, App (-2a))

$$L_e = 4 \times 35 \times 0,2058 = 2,4004 \text{ ft}$$

c. Digunakan 1 buah globe

$$L_e = 1 \times 340 \times 0,2058 = 5,8296 \text{ ft}$$

d. Digunakan 1 buah gate valve = $\frac{L_e}{D} = 9$

$$L_e = 9 \times 1 \times 0,2058 = 0,1543 \text{ ft}$$

Panjang ekuivalen (L_e) = (164,04 + 2,4004 + 5,8296 + 0,1543) = 172,4243 ft

Friction loss pada elbow 90° dan valve :

- Terdapat 1 buah elbow, $K_f = 0,8$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times a \times g_c}$$

$$H_f = 4 \times 0,8 \times \frac{4,2457^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,8404 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah globe valve, $K_f = 0,17$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times a \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 0,17 \times \frac{4,2457^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,0476 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah gate valve, $K_f = 6$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 6 \times \frac{4,2457^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 1,6808 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\sum H_f = (0,8404 + 0,0476 + 1,6808) = 2,5688 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kontraksi losses pada tangki exit

$$h_c = 0,55 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha}; a=1$$

$$h_c = \frac{0,55(1-0) \times (4,2457)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,1541 \text{ ft.lbf/lbm}$$

(Geankoplis, pers.2.10-16, hal.93)

- Expansi loss entrance tank

$$h_c = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha}; a=0,5$$

(Geankoplis, pers.2.10-15, hal.93)

$$h_c = \frac{(1-0)^2 \times (4,2457)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 0,5 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,2801 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kehilangan pada pipa lurus

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D_i} \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$F_f = 4 \times 0,0045 \times \frac{172,4243}{0,2058} \times \frac{(4,2457)^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 4,2256 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Sehingga total friction loss yang terjadi pada sistem perpipaan adalah:

$$\sum F = (2,5688 + 0,1541 + 0,2801 + 4,2256)$$

$$= 7,2286 \text{ ft.lbm/lbf}$$

D. Menentukan tenaga penggerak pompa.

Berdasarkan persamaan kesetimbangan energi mekanik :

$$\frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F + W_s = 0$$

(Geankoplis 6th, pers. 2.7.28 hal.97)

Direncanakan :

- DP = 0 (karena P1= P2 = 1 atm)
- DZ = 20 ft
- DV = 4,2457 ft/s (karena V1= V2)
- α = 1

Maka:

$$- W_s = \left[\frac{(4,2457)^2}{(2) \times (1) \times (32,1740)} \right] + \left[\frac{(32,1740) \times (20)}{32,1740} \right] + [7,2286]$$

$$- W_s = 27,5087 \text{ ft.lbm/lbf}$$

Tenaga penggerak : $WHP = \frac{(-W_s) \cdot Q \cdot \rho}{550}$

$$WHP = \frac{(27,5087) \times (0,1410) \times (62,4280)}{550} = 0,4404 \text{ Hp}$$

$$\text{Kapasitas pompa} = \frac{(31697,7850 \text{ lb/Jam}) \times (7,4810 \text{ gal/ft}^3)}{(60 \text{ min/Jam}) \times (62,9297)}$$
$$= 62,8032 \text{ gpm}$$

η (effisiensi) pompa = 40% (Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hal 520)

$$BHP = \frac{WHP}{\eta}$$

$$BHP = \frac{0,4404 \text{ Hp}}{0,4} = 1,1010 \text{ Hp}$$

η (effisiensi) motor = 80% (Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hal 521)

$$\text{Daya motor} = \frac{BHP}{\eta} = \frac{1,1010 \text{ Hp}}{0,8} = 1,3762 \text{ Hp} \approx 2 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Ke Bak Steam Kondesat :

- Bahah konstruksi : Cast iron
- Type : Centrifugal pump
- Kapasitas : 62,8032 gallon/menit
- Diameter dalam (ID) : 0,2058 ft
- Diameter luar (OD) : 0,2396 ft
- Daya pompa : 2 Hp
- Jumlah : 1 buah

20. Bak Air Pendingin (F-425)

Fungsi : Sebagai tempat penampungan air pendingin

Bahan konstruksi : Beton bertulang

Dasar perhitungan :

Rate aliran = 14378,0210 kg/jam = 31697,7850 lb/jam

Densitas air = 62,4280 lb/ft³

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{31697,7850 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 507,7495 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

Waktu tinggal = 8 jam

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= (507,7495 \text{ ft}^3/\text{jam}) \times (8 \text{ jam}) = 4061,9959 \text{ ft}^3 \\ &= 115,0235 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{115,0235 \text{ m}^3}{0,8} = 143,7794 \text{ m}^3$$

Bak berbentuk empat persegi panjang dengan ratio :

Panjang : lebar : tinggi = 5 : 3 : 2

$$\text{Volume bak} = (5 \text{ m}) \times (3 \text{ m}) \times (2 \text{ m}) = 30 \text{ m}^3$$

Sehingga :

$$\text{Volume bak} = 30 \text{ m}^3$$

$$143,7794 \text{ m}^3 = 30 \text{ m}^3$$

$$x = 1,6860 \text{ m}$$

Jadi ukuran bak air pendingin :

$$\text{Panjang} = 5 \times (1,6860 \text{ m}) = 8,4300 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 3 \times (1,6860 \text{ m}) = 5,0580 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 2 \times (1,6860 \text{ m}) = 3,3720 \text{ m}$$

Spesifikasi Bak Steam Kondensat :

- Bentuk : Persegi panjang

- Bahan : Beton Bertulang

- Panjang : 8,4300 m

- Lebar : 5,0580 m

- Tinggi : 3,3720 m
- Jumlah : 1 buah

21. Pompa Air Pendingin Ke Peralatan (L-426)

- Fungsi : Untuk memompa air dari bak air pendingin ke peralatan proses
- Type : Centrifugal pump
- Bahan : Cast Iron

Dasar perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 9984,7368 \text{ kg/jam} = 22012,3507 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,8007 \text{ cp} = 0,8007 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} = 0,0005 \text{ lb/ft.s}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{22012,3507 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 352,6038 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,0979 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

A. Menghitung dimensi pipa

Diasumsikan aliran fluida turbulen, untuk menghitung diameter pipa digunakan gambar 14.2 pada Peter Timerhous edisi 4 dengan data sebagai berikut :

$$\text{Rate Volumetrik} = 0,0979 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\text{Densitas air} = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

Maka didapat Di optimum : 2,3464 in

$$\text{Standarisasi ID} = 2,5 \text{ in Sch. 40} \quad (\text{Geankoplis, App.A-5 hal. 892})$$

- Diperoleh :
 - OD = 2,3750 in = 0,1979 ft
 - ID = 2,0670 in = 0,1723 ft = 0,0525 m
 - A = 0,0233 ft²

B. Menghitung laju aliran fluida (V)

$$V = \frac{\text{rate volumetrik (Q)}}{\text{luas area (A)}} = \frac{0,0979 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0233 \text{ ft}^2} = 4,2037 \text{ ft/s}$$

Cek jenis aliran fluida

$$N_{Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,1723) \text{ ft} \times (4,2457) \text{ ft/s} \times (62,4280) \text{ lb/ft}^3}{0,0005 \text{ lb/ft.s}}$$

$$N_{Re} = 84020,4410 > 2100$$

Karena $N_{Re} > 2100$, jenis aliran fluida adalah turbulen. (Mc. cabe jilid II, hal. 47)

Ditentukan bahan pipa cast iron, $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4})$ m

(Geankoplis 6th, hal 88)

Sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}}{0,0525 \text{ m}} = 0,0050$$

Dari Geankoplis 6th, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat f (Fanning friction factor)

$$f = 0,0045$$

C. Menentukan panjang pipa :

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus dianggap = 50 m = 164,0400 ft

b. Digunakan 4 buah elbow 90° = 35 in

(Foust, App (-2a))

$$Le = 4 \times 35 \times 0,1723 = 2,0096 \text{ ft}$$

c. Digunakan 1 buah globe

$$Le = 1 \times 340 \times 0,1723 = 4,8804 \text{ ft}$$

d. Digunakan 1 buah gate valve = $\frac{Le}{D} = 9$

$$Le = 9 \times 1 \times 0,1723 = 0,1292 \text{ ft}$$

Panjang ekuivalen (Le) = (164,04 + 2,0096 + 4,8804 + 0,1292) = 171,0592 ft

Friction loss pada elbow 90° dan valve :

- Terdapat 1 buah elbow, $K_f = 0,8$; $a = 1$

(Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times a \times g_c}$$

$$H_f = 4 \times 0,8 \times \frac{4,2037^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,8238 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah globe valve, $K_f = 0,17$; $a = 1$

(Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times a \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 0,17 \times \frac{4,2037^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,0467 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah gate valve, $K_f = 6$; $a = 1$

(Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times a \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 6 \times \frac{4,2037^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 1,6477 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\sum H_f = (0,8238 + 0,0467 + 1,6477) = 2,5182 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kontraksi losses pada tangki exit

$$h_c = 0,55 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha}; \alpha = 1$$

$$h_c = \frac{0,55(1-0) \times (4,2037)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32.1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,1510 \text{ ft.lbf/lbm}$$

(Geankoplis, pers.2.10-16, hal.93)

- Expansi loss entrance tank

$$h_c = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha}; \alpha = 0,5$$

(Geankoplis, pers.2.10-15, hal.93)

$$h_c = \frac{(1-0)^2 \times (4,2037)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32.1740 \times 0,5 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,2746 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kehilangan pada pipa lurus

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D_i} \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$F_f = 4 \times 0,0045 \times \frac{171,0592}{0,1723} \times \frac{(4,2037)^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 4,9089 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Sehingga total friction loss yang terjadi pada sistem perpipaan adalah:

$$\sum F = (2,5182 + 0,1510 + 0,2746 + 4,9089)$$

$$= 7,8527 \text{ ft.lbm/lbf}$$

D. Menentukan tenaga penggerak pompa.

Berdasarkan persamaan kesetimbangan energi mekanik :

$$\frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F + W_s = 0$$

(Geankoplis 6th, pers. 2.7.28 hal.97)

Direncanakan :

- DP = 0 (karena P1 = P2 = 1 atm)

- DZ = 20 ft

- DV = 4,2037 ft/s (karena V1 = V2)

$$- \alpha = 1$$

Maka:

$$- W_s = \left[\frac{(4,2037)^2}{(2) \times (1) \times (32,1740)} \right] + \left[\frac{(32,1740) \times (20)}{32,1740} \right] + [7,8527]$$

$$- W_s = 28,1273 \text{ ft.lbm/lbf}$$

$$\text{Tenaga penggerak : WHP} = \frac{(-W_s) \cdot Q \cdot \rho}{550}$$

$$\text{WHP} = \frac{(28,1273) \times (0,0979) \times (62,4280)}{550} = 0,3127 \text{ Hp}$$

$$\text{Kapasitas pompa} = \frac{(22012,3507 \text{ lb/Jam}) \times (7,4810 \text{ gal/ft}^3)}{(60 \text{ min/Jam}) \times (62,9297)}$$

$$= 43,6133 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 40\% \quad (\text{Peter \& Timmerhaus, fig. 14.37 hal 520})$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta}$$

$$\text{BHP} = \frac{0,3127 \text{ Hp}}{0,4} = 0,7818 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 80\% \quad (\text{Peter \& Timmerhaus, fig. 14.38 hal 521})$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,7818 \text{ Hp}}{0,8} = 0,9772 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Ke Bak Steam Kondesat :

- Bahah konstruksi : Cast iron
- Type : Centrifugal pump
- Kapasitas : 43,6133 gallon/menit
- Diameter dalam (ID) : 0,1723 ft
- Diameter luar (OD) : 0,1979 ft
- Daya pompa : 1 Hp
- Jumlah : 1 buah

22. Cooling Tower (P-427)

Fungsi : Untuk mendinginkan air pendingin setelah lewat proses.

Dasar perhitungan:

$$\text{Rate aliran} = 9984,7368 \text{ kg/jam} = 22012,3507 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas air} = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{22012,3507 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 352,6038 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 2637,8291 \text{ gal/jam} \\ &= 43,9638 \text{ gpm} \end{aligned}$$

$$\text{Suhu wet bulb udara} = 25^\circ\text{C} = 77^\circ\text{F}$$

$$\text{Suhu air masuk menara} = 45^\circ\text{C} = 113^\circ\text{F}$$

$$\text{Suhu air pendingin} = 30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$$

Digunakan counter flow encluced draft tower, dari Perry's fig 12-14 hal. 12-17 maka didapatkan konsentrasi air = 2,5 gpm/ft².

Sehingga luas yang dibutuhkan :

$$A = \frac{43,9638 \text{ gpm}}{2,5 \text{ gpm/ft}^2} = 17,5855 \text{ ft}^2$$

Menghitung diameter

$$\text{Luas} = (\pi/4) \times d^2$$

$$17,5855 \text{ ft}^2 = (\pi/4) \times d^2$$

$$d = 4,7331 \text{ ft} = 1,4427 \text{ m}$$

Menghitung volume

$$\text{Direncanakan tinggi tower (L)} = 3 d$$

$$L = 3 \times 1,4427 \text{ m} = 4,3280 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= (\pi/4) \times d^2 \times L \\ &= (\pi/4) \times (1,4427 \text{ m})^2 \times (4,3280 \text{ m}) \\ &= 7,0710 \text{ m}^3 = 249,6979 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari Perry's edisi 7, gambar 12-15 haL 12-17, didapatkan :

Standard power performance adalah 100 %, maka:

$$\text{Hp fan/luas tower area (ft}^2\text{)} = 0,041 \text{ Hp/ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Hp fan} &= 0,041 \text{ Hp/ft}^2 \times \text{luas tower (ft}^2\text{)} \\ &= (0,041 \text{ Hp/ft}^2) \times (17,5855 \text{ ft}^2) = 0.7210 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Spesifikasi Cooling Tower :

- Type : Encluced draft tower
- Diameter : 1,4427 m
- Tinggi : 4,3280 m

- Daya : 1 Hp
- Jumlah : 1 buah

23. Pompa Ke Bak Klorinasi (L-441)

- Fungsi : Untuk memompa air dari bak air bersih ke bak klorinasi
- Type : Centrifugal pump
- Bahan konstruksi : Cast Iron

Dasar perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 647,5000 \text{ kg/jam} = 1427,4785 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) \text{ air} = 0,8007 \text{ cp} = 0,8007 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} = 0,0005 \text{ lb/ft.s}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{1427,4785 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 22,8660 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,0064 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

A. Menghitung dimensi pipa

Diasumsikan aliran fluida turbulen, untuk menghitung diameter pipa digunakan gambar 14.2 pada Peter Timerhous edisi 4 dengan data sebagai berikut :

$$\text{Rate Volumetrik} = 0,0064 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\text{Densitas air} = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

Maka didapat Di optimum : 0,6851 in

$$\text{Standarisasi ID} = 2,5 \text{ in Sch. 40}$$

(Geankoplis, App.A-5 hal. 892)

- Diperoleh : - OD = 4,0000 in = 0,3333 ft
- ID = 3,5480 in = 0,2957 ft = 0,2957 m
- A = 0,0670 ft²

B. Menghitung laju aliran fluida (V)

$$V = \frac{\text{rate volumetrik (Q)}}{\text{luas area (A)}} = \frac{0,0064 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0670 \text{ ft}^2} = 0,0949 \text{ ft/s}$$

Cek jenis aliran fluida

$$N_{Re} = \frac{D.V.\rho}{\mu} = \frac{(0,2957) \text{ ft} \times (0,0948) \text{ ft/s} \times (62,4280) \text{ lb/ft}^3}{0,0005 \text{ lb/ft.s}}$$

$$N_{Re} = 3252,4630 > 2100$$

Karena $N_{Re} > 2100$, jenis aliran fluida adalah turbulen.

(Mc. cabe jilid II, hal. 47)

Ditentukan bahan pipa cast iron, $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4})$ m

(Geankoplis 6th, hal 88)

Sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}}{0,0901 \text{ m}} = 0,0029$$

Dari Geankoplis 6th, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat f (Fanning friction factor)

$$f = 0,0045$$

C. Menentukan panjang pipa :

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus dianggap = 50 m = 164,0400 ft

b. Digunakan 4 buah elbow 90° = 35 in

(Foust, App (-2a))

$$Le = 4 \times 35 \times 0,2957 = 3,4494 \text{ ft}$$

c. Digunakan 1 buah globe

$$Le = 1 \times 340 \times 0,2957 = 8,3772 \text{ ft}$$

d. Digunakan 1 buah gate valve = $\frac{Le}{D} = 9$

$$Le = 9 \times 1 \times 0,2957 = 0,2218 \text{ ft}$$

Panjang ekuivalen (Le) = (164,04 + 3,4494 + 8,3772 + 0,2218) = 176,0884 ft

Friction loss pada elbow 90° dan valve :

- Terdapat 1 buah elbow, $K_f = 0,8$; $a = 1$

(Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times a \times g_c}$$

$$H_f = 4 \times 0,8 \times \frac{0,0948^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,0004 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah globe valve, $K_f = 0,17$; $a = 1$

(Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times a \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 0,17 \times \frac{0,0948^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,0000237 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah gate valve, $K_f = 6$; $a = 1$

(Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times a \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 6 \times \frac{0,0948^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,0008 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\sum H_f = (0,0004 + 0,0000237 + 0,0008) = 0,0013 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kontraksi losses pada tangki exit

$$h_c = 0,55 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha}; \alpha = 1$$

$$h_c = \frac{0,55(1-0) \times (0,0948)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,0001 \text{ ft.lbf/lbm}$$

(Geankoplis, pers.2.10-16, hal.93)

- Expansi loss entrance tank

$$h_c = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha}; \alpha = 0,5$$

(Geankoplis, pers.2.10-15, hal.93)

$$h_c = \frac{(1-0)^2 \times (0,0948)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 0,5 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,0001 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kehilangan pada pipa lurus

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D_i} \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$F_f = 4 \times 0,0045 \times \frac{176,0884}{0,2957} \times \frac{(0,0948)^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 0,0015 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Sehingga total friction loss yang terjadi pada sistem perpipaan adalah:

$$\sum F = (0,0013 + 0,0001 + 0,0001 + 0,0015)$$

$$= 0,0030 \text{ ft.lbm/lbf}$$

D. Menentukan tenaga penggerak pompa.

Berdasarkan persamaan kesetimbangan energi mekanik :

$$\frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F + W_s = 0$$

(Geankoplis 6th, pers. 2.7.28 hal.97)

Direncanakan :

- DP = 0 (karena P1 = P2 = 1 atm)

- DZ = 20 ft

- DV = 0,0948 ft/s (karena V1 = V2)

$$- \alpha = 1$$

Maka:

$$- W_s = \left[\frac{(0,0948)^2}{(2) \times (1) \times (32,1740)} \right] + \left[\frac{(32,1740) \times (20)}{32,1740} \right] + [0,0030]$$

$$- W_s = 20,0031 \text{ ft.lbm/lbf}$$

$$\text{Tenaga penggerak : WHP} = \frac{(-W_s) \cdot Q \cdot P}{550}$$

$$\text{WHP} = \frac{(20,0031) \times (0,0064) \times (62,4280)}{550} = 0,0144 \text{ Hp}$$

$$\text{Kapasitas pompa} = \frac{(1427,4785 \text{ lb/Jam}) \times (7,4810 \text{ gal/ft}^3)}{(60 \text{ min/Jam}) \times (62,9297)}$$

$$= 2,8283 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ (effisiensi) pompa} = 40\% \quad (\text{Peter \& Timmerhaus, fig. 14.37 hal 520})$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta}$$

$$\text{BHP} = \frac{0,0144 \text{ Hp}}{0,4} = 0,0361 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ (effisiensi) motor} = 80\% \quad (\text{Peter \& Timmerhaus, fig. 14.38 hal 521})$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,0361 \text{ Hp}}{0,8} = 0,0451 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Ke Bak Steam Kondesat :

- Bahan konstruksi : Cast iron
- Type : Centrifugal pump
- Kapasitas : 2,8283 gallon/menit
- Diameter dalam (ID) : 0,2957 ft
- Diameter luar (OD) : 0,3333 ft
- Daya pompa : 1 Hp
- Jumlah : 1 buah

24. Bak Klorinasi (F-440)

Fungsi : Untuk menampung air yang akan dinetralkan dengan reaksi klorinasi.

Bahan konstruksi : Beton bertulang

Dasar perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 647,5000 \text{ kg/jam} = 1427,4785 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas air} = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik} &= \frac{1427,4785 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 22,8660 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,0064 \text{ ft}^3/\text{S}\end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 12 \text{ Jam}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= (22,8660 \text{ ft}^3/\text{jam}) \times (12 \text{ jam}) = 274,3920 \text{ ft}^3 \\ &= 7,7700 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid = 80 % volume bak, sehingga:

$$\text{Volume bak} = \frac{7,7700 \text{ m}^3}{0,8} = 9,7124 \text{ m}^3$$

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 :

$$\text{Volume bak} = 30 \text{ m}^3$$

$$9,7124 \text{ m}^3 = 30 \text{ m}^3$$

$$x = 0,6867 \text{ m}$$

Jadi ukuran bak klorinasi :

$$\text{Panjang} = 5 \times (0,6867 \text{ m}) = 3,4333 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 3 \times (0,6867 \text{ m}) = 2,0600 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 2 \times (0,6867 \text{ m}) = 1,3733 \text{ m}$$

Spesifikasi Bak Klorinasi :

- Bentuk : Persegi panjang
- Bahan : Beton Bertulang
- Panjang : 3,4333 m
- Lebar : 2,0600 m
- Tinggi : 1,3733 m
- Jumlah : 1 buah

25. Pompa Ke Bak Air Sanitasi (L-442)

Fungsi : Untuk memompa air dari bak klorinasi ke bak air sanitasi

Type : Centrifugal pump

Bahan konstruksi : Cast Iron

Dasar perhitungan :

Rate aliran = 647,5000 kg/jam = 1427,4785 lb/jam

Densitas air = 1 g/cm³ = 62,4280 lb/ft³

Viskositas (μ) air = 0,8007 cp = 0,8007 x 10⁻³ Kg/m.s = 0,0005 lb/ft.s

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik}(Q) &= \frac{1427,4785 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 22,8660 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,0064 \text{ ft}^3/\text{S}\end{aligned}$$

A. Menghitung dimensi pipa

Diasumsikan aliran fluida turbulen, untuk menghitung diameter pipa digunakan gambar 14.2 pada Peter Timerhoust edisi 4 dengan data sebagai berikut :

Rate Volumetrik = 0,0064 ft³/s

Densitas air = 62,4280 lb/ft³

Maka didapat Di optimum : 0,6851 in

Standarisasi ID = 2,5 in Sch. 40

(Geankoplis, App.A-5 hal. 892)

Diperoleh :

- OD = 4,0000 in = 0,3333 ft
- ID = 3,5480 in = 0,2957 ft = 0,2957 m
- A = 0,0687 ft²

B. Menghitung laju aliran fluida (V)

$$V = \frac{\text{rate volumetrik (Q)}}{\text{luas area (A)}} = \frac{0,0064 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0687 \text{ ft}^2} = 0,0925 \text{ ft/s}$$

Cek jenis aliran fluida

$$N_{Re} = \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,2957) \text{ ft} \times (0,0925) \text{ ft/s} \times (62,4280) \text{ lb/ft}^3}{0,0005 \text{ lb/ft.s}}$$

$$N_{Re} = 3171,9799 > 2100$$

Karena $N_{Re} > 2100$, jenis aliran fluida adalah turbulen.

(Mc. cabe jilid II, hal. 47)

Ditentukan bahan pipa cast iron, $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}$

(Geankoplis 6th, hal 88)

Sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}}{0,0901 \text{ m}} = 0,0029$$

Dari Geankoplis 6th, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat f (Fanning friction factor)

$$f = 0,0045$$

C. Menentukan panjang pipa :

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus dianggap = 50 m = 164,0400 ft

b. Digunakan 4 buah elbow 90° = 35 in

(Foust, App (-2a))

$$Le = 4 \times 35 \times 0,2957 = 3,4494 \text{ ft}$$

c. Digunakan 1 buah globe

$$Le = 1 \times 340 \times 0,2957 = 8,3772 \text{ ft}$$

d. Digunakan 1 buah gate valve = $\frac{Le}{D} = 9$

$$Le = 9 \times 1 \times 0,2957 = 0,2218 \text{ ft}$$

Panjang ekuivalen (Le) = (164,04 + 3,4494 + 8,3772 + 0,2218) = 176,0884 ft

Friction loss pada elbow 90° dan valve :

- Terdapat 1 buah elbow, $K_f = 0,8$; $a = 1$

(Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times a \times g_c}$$

$$H_f = 4 \times 0,8 \times \frac{0,0925^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,0004 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah globe valve, $K_f = 0,17$; $a = 1$

(Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times a \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 0,17 \times \frac{0,0925^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,0000226 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah gate valve, $K_f = 6$; $a = 1$

(Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times a \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 6 \times \frac{0,0925^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,0008 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\sum H_f = (0,0004 + 0,0000226 + 0,0008) = 0,0012 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kontraksi losses pada tangki exit

$$h_c = 0,55 \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha}; a=1$$

$$h_c = \frac{0,55(1-0) \times (0,0925)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32.1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,0001 \text{ ft.lbf/lbm}$$

(Geankoplis, pers.2.10-16, hal.93)

- Expansi loss entrance tank

$$h_c = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha}; a=0,5$$

(Geankoplis, pers.2.10-15, hal.93)

$$h_c = \frac{(1-0)^2 \times (0,0925)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32.1740 \times 0,5 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,0001 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kehilangan pada pipa lurus

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D_i} \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$F_f = 4 \times 0,0045 \times \frac{176,0884}{0,2957} \times \frac{(0,0925)^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 0,0014 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Sehingga total friction loss yang terjadi pada sistem perpipaan adalah:

$$\sum F = (0,0012 + 0,0001 + 0,0001 + 0,0014)$$

$$= 0,0028 \text{ ft.lbm/lbf}$$

D. Menentukan tenaga penggerak pompa.

Berdasarkan persamaan kesetimbangan energi mekanik :

$$\frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times g_c} + \frac{\Delta Z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F + W_s = 0$$

(Geankoplis 6th, pers. 2.7.28 hal.97)

Direncanakan :

- DP = 0 (karena P1 = P2 = 1 atm)
- DZ = 20 ft
- DV = 0,0925 ft/s (karena V1 = V2)
- α = 1

Maka:

$$- W_s = \left[\frac{(0,0925)^2}{(2) \times (1) \times (32,1740)} \right] + \left[\frac{(32,1740) \times (20)}{32,1740} \right] + [0,0028]$$

- $W_s = 20,0030 \text{ ft.lbm/lbf}$

Tenaga penggerak : $WHP = \frac{(-W_s) \cdot Q \cdot p}{550}$

$$WHP = \frac{(20,0030) \times (0,0064) \times (62,4280)}{550} = 0,0144 \text{ Hp}$$

$$\text{Kapasitas pompa} = \frac{(1427,4785 \text{ lb/Jam}) \times (7,4810 \text{ gal/ft}^3)}{(60 \text{ min/Jam}) \times (62,9297)}$$

$$= 2,8283 \text{ gpm}$$

η (effisiensi) pompa = 40% (Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hal 520)

$$BHP = \frac{WHP}{\eta}$$

$$BHP = \frac{0,0144 \text{ Hp}}{0,4} = 0,0361 \text{ Hp}$$

η (effisiensi) motor = 80% (Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hal 521)

$$\text{Daya motor} = \frac{BHP}{\eta} = \frac{0,0361 \text{ Hp}}{0,8} = 0,0451 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Ke Bak Steam Kondesat :

- Bahah konstruksi : Cast iron
- Type : Centrifugal pump
- Kapasitas : 2,8283 gallon/menit
- Diameter dalam (ID) : 0,2957 ft
- Diameter luar (OD) : 0,3333 ft
- Daya pompa : 1 Hp
- Jumlah : 1 buah

26. Bak Air Sanitasi (F-443)

Fungsi : Sebagai tempat penampungan air sanitasi

Bahan konstruksi : Beton bertulang

Dasar perhitungan :

Rate aliran = 647,5000 kg/jam = 1427,4785 lb/jam

Densitas air = 62,4280 lb/ft³

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{1427,4785 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 22,8660 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0,0064 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Waktu tinggal = 12 Jam

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal
= (22,8660 ft³/jam) x (12 jam) = 7,7700 m³

Direncanakan volume liquid = 80 % volume bak, sehingga:

$$\text{Volume bak} = \frac{7,7700 \text{ m}^3}{0,8} = 9,7124 \text{ m}^3$$

Bak berbentuk empat persegi panjang dengan ratio :

Panjang : lebar : tinggi = 5 : 3 : 2

$$\text{Volume bak} = (5 \text{ m}) \times (3 \text{ m}) \times (2 \text{ m}) = 30 \text{ m}^3$$

Sehingga :

$$\text{Volume bak} = 30 \text{ m}^3$$

$$9,7124 \text{ m}^3 = 30 \text{ m}^3$$

$$x = 0,6867 \text{ m}$$

Jadi ukuran bak sanitasi :

$$\text{Panjang} = 5 \times (0,6867 \text{ m}) = 3,4333 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 3 \times (0,6867 \text{ m}) = 2,0600 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 2 \times (0,6867 \text{ m}) = 1,3733 \text{ m}$$

Spesifikasi Bak Sanitasi :

- Bentuk : Persegi panjang
- Bahan : Beton Bertulang
- Panjang : 3,4333 m
- Lebar : 2,0600 m
- Tinggi : 1,3733 m
- Jumlah : 1 buah

27. Pompa Air Proses Ke Peralatan (L-428)

Fungsi : Untuk memompa air bersih ke peralatan

Type : Centrifugal pump

Bahan konstruksi : Cast Iron

Dasar Perhitungan :

$$\text{Rate aliran} = 8258,8553 \text{ kg/jam} = 18207,4725 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3 = 62,4280 \text{ lb/ft}^3$$

Viskositas (μ) air = 0,8007 cp = 0,8007 x 10⁻³ kg/ms = 0,0005 lb/ft.s

$$\begin{aligned}\text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{18207,4725 \text{ lb/jam}}{62,4280 \text{ lb/ft}^3} = 291,6555 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,0810 \text{ ft}^3/\text{S}\end{aligned}$$

A. Menghitung dimensi pipa

Diasumsikan aliran fluida turbulen, untuk menghitung diameter pipa digunakan gambar 14.2 pada Peter Timerhoust edisi 4 dengan data sebagai berikut :

Rate Volumetrik = 0,0810 ft³/s

Densitas air = 62,4280 lb/ft³

Maka didapat Di optimum : 2,1544 in

Standarisasi ID = 2,5 in Sch. 40 (Geankoplis, App.A-5 hal. 892)

Diperoleh :

- OD = 1,9000 in = 0,1583 ft
- ID = 1,6100 in = 0,1342 ft = 0,0409 m
- A = 0,0141 ft²

B. Menghitung laju aliran fluida (V)

$$V = \frac{\text{rate volumetrik (Q)}}{\text{luas area (A)}} = \frac{0,0810 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0141 \text{ ft}^2} = 5,7295 \text{ ft/s}$$

Cek jenis aliran fluida

$$\begin{aligned}N_{Re} &= \frac{D \cdot V \cdot \rho}{\mu} = \frac{(0,1342) \text{ ft} \times (5,7295) \text{ ft/s} \times (62,4280) \text{ lb/ft}^3}{0,0005 \text{ lb/ft.s}} \\ N_{Re} &= 89199,0249 > 2100\end{aligned}$$

Karena $N_{Re} > 2100$, jenis aliran fluida adalah turbulen. (Mc. cabe jilid II, hal. 47)

Ditentukan bahan pipa cast iron, $\varepsilon = (2,6 \times 10^{-4})$ m (Geankoplis 6th, hal 88)

Sehingga :

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{(2,6 \times 10^{-4}) \text{ m}}{0,0409 \text{ m}} = 0,0064$$

Dari Geankoplis 6th, gb. 2.10.3 hlm 88, didapat f (Fanning friction factor)

$$f = 0,0045$$

C. Menentukan panjang pipa :

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus dianggap = 50 m = 164,0400 ft

b. Digunakan 4 buah elbow 90o = 35 in (Foust, App (-2a))

$$L_e = 1 \times 35 \times 0,1342 = 1,5653 \text{ ft}$$

c. Digunakan 1 buah globe

$$Le = 1 \times 340 \times 0,1342 = 8,8014 \text{ ft}$$

d. Digunakan 1 buah gate valve = $\frac{L_c}{D} = 9$

$$Le = 9 \times 1 \times 0,1342 = 0,1006 \text{ ft}$$

Panjang ekuivalen (L_e) = (164,04 + 1,5653 + 3,8014 + 0,1006) = 169,5073 ft

Friction loss pada elbow 90° dan valve :

- Terdapat 1 buah elbow, $K_f = 0,8$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$H_f = 4 \times 0,8 \times \frac{5,7295^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 1,5305 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah globe valve, $K_f = 0,17$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 0,17 \times \frac{5,7295^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 0,0867 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Terdapat 1 buah gate valve, $K_f = 6$; $a = 1$ (Geankoplis 6th tabel 2.10.1, hal 93)

$$H_f = K_f \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$H_f = 1 \times 6 \times \frac{5,7295^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$H_f = 3,0609 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\sum H_f = (1,5305 + 0,0867 + 3,0609) = 4,6781 \text{ ft.lbf/lbm}$$

- Kontraksi losses pada tangki exit

$$h_c = 0,55 \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha} ; a = 1$$

$$h_c = \frac{0,55(1-0) \times (5,7295)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32,1740 \times 1 \text{ lbf.ft/lbm.s}^2}$$

$$= 0,2806 \text{ ft.lbf/lbm}$$

(Geankoplis, pers.2.10-16, hal.93)

- Expansi loss entrance tank

$$h_c = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g_c \cdot \alpha}; \alpha = 0,5 \quad (\text{Geankoplis, pers.2.10-15, hal.93})$$

$$h_c = \frac{(1-0)^2 \times (5,7295)^2 \text{ ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32.1740 \times 0,5 \text{ lbf} \cdot \text{ft}/\text{lbm} \cdot \text{s}^2}$$

$$= 0,5102 \text{ ft} \cdot \text{lbf}/\text{lbm}$$

- Kehilangan pada pipa lurus

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D_i} \times \frac{V^2}{2 \times \alpha \times g_c}$$

$$F_f = 4 \times 0,0045 \times \frac{169,5073}{0,1342} \times \frac{(5,7295)^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 11,6016 \text{ ft} \cdot \text{lbf}/\text{lbm}$$

Sehingga total friction loss yang terjadi pada sistem perpipaan adalah:

$$\Sigma F = (4,6781 + 0,2806 + 0,5102 + 11,6016) = 17,0705 \text{ ft} \cdot \text{lbf}/\text{lbm}$$

D. Menentukan tenaga penggerak pompa.

Berdasarkan persamaan kesetimbangan energi mekanik :

$$\frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times g_c} + \frac{\Delta z \cdot g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0 \quad (\text{Geankoplis 6}^{\text{th}}, \text{ pers. 2.7.28 hal.97})$$

Direncanakan :

- DP = 0 (karena P1 = P2 = 1 atm)
- DZ = 20 ft
- DV = 5,7295 ft/s (karena V1 = V2)
- $\alpha = 1$

Maka:

$$- W_s = \left[\frac{(5,7295)^2}{(2) \times (1) \times (32,1740)} \right] + \left[\frac{(32,1740) \times (20)}{32,1740} \right] + [7,4810]$$

$$- W_s = 37,5806 \text{ ft} \cdot \text{lbf}/\text{lbm}$$

$$\text{Tenaga penggerak : WHP} = \frac{(-W_s) \cdot Q \cdot \rho}{550}$$

$$\text{WHP} = \frac{(37,5806) \times (0,0810) \times (62,4280)}{550} = 0,3456 \text{ Hp}$$

$$\text{Kapasitas pompa} = \frac{(18207,4725 \text{ lb}/\text{Jam}) \times (7,4810 \text{ gal}/\text{ft}^3)}{(60 \text{ min}/\text{Jam}) \times (62,9297)}$$

$$= 36,0747 \text{ gpm}$$

η (effisiensi) pompa = 40% (Peter & Timmerhaus, fig. 14.37 hal 520)

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{\eta}$$

$$\text{BHP} = \frac{0,3456 \text{ Hp}}{0,4} = 0,8639 \text{ Hp}$$

η (effisiensi) motor = 80% (Peter & Timmerhaus, fig. 14.38 hal 521)

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta} = \frac{0,8639 \text{ Hp}}{0,8} = 1,0799 \text{ Hp} \approx 2 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Ke Bak Steam Kondesat :

- Bahan konstruksi : Cast iron
- Type : Centrifugal pump
- Kapasitas : 36,0747 gallon/menit
- Diameter dalam (ID) : 0,1342 ft
- Diameter luar (OD) : 0,1583 ft
- Daya pompa : 2 Hp
- Jumlah : 1 buah

8.3 Unit Penyediaan Listrik

Kebutuhan tenaga listrik pada Pra Rencana Pabrik Natrium Metasilikat ini direncanakan dan disediakan oleh PLN dan generator set. Tenaga listrik yang disediakan digunakan untuk menggerakkan motor, penerangan, instrumentasi dan lainnya.

Kebutuhan listrik terbagi menjadi :

- a. Peralatan proses produksi
- b. Penerangan pabrik
- c. Listrik untuk penerangan

8.3.1 Peralatan proses preddoi

Pemakaian listrik untuk peralatan proses produksi dapat dilihat dalam tabel D.3.1.1

yaitu :

Tabel D.3.1.1. Pemakaian listrik untuk peralatan proses produksi

No.	Kode	Nama alat	Days (Hp)	Jumlah	Total Daya (Hp)
1	J-112a	Screw conveyor	3	1	3
2	J-1 13a	Bucket elevator	2	1	2
3	C-114	Hammer Mill	4	1	4
4	J-1 12b	Screw conveyor	3	1	3
5	J-1 12c	Screw conveyor	3	1	3
6	J-1 13b	Bucket elevator	2	1	2
7	J-110	Auger	2	1	2
8	Q-210	Furnace	5978,3960	1	5978,3960
9	C-221	Hammer Mill	7	1	7
10	J-222	Bucket elevator	2	1	2
11	M-230	Tangki Pelarut	6	1	6
12	L-231	Pompa	1	1	1
13	L-311	Pompa	1	1	1
14	B-320	Spray Dryer	2	1	2
15	J-322	Screw conveyor	3	1	3
16	G-324	Blower Spray Dryer	93	1	93
17	J-328	Belt conveyor	1	1	1
TOTAL					6113,3960

8.3.2 Daerah pengolahan air (Unit Utilitas)

Pemakaian listrik untuk daerah pengolahan air (water treatment) dapat dilihat pada tabel D.3.2.1 :

Tabel D.3.2.1. Pemakaian listrik pada daerah pengolahan air

No.	Kode	Nama alat	Days (HP)	Jumlah	Total Days (HP)
1	L-412	Pompa Air Sungai	3	1	3
2	L-414	Pompa Bak Sedimentasi	2	1	2

3	L-416	Pompa Skimmer	3	1	3
4	H-410	Tangki Clarifier	4	1	4
5	L-421	Pompa ke Kation & Anion Exchanger	4	1	4
6	L-423	Pompa ke Bak Steam Kondensat	1	1	1
7	L-432	Pompa ke Deaerator	1	1	1
8	L-435	Pompa ke Boiler	1	1	1
9	L-424	Pompa ke Bak Air Pendingin	2	1	2
10	L-426	Pompa Air Pendingin ke Peralatan	1	1	1
11	P-427	Cooling Tower	1	1	1
12	L-441	Pompa ke Bak Klorinasi	1	1	1
13	L-442	Pompa ke Bak Air Sanitasi	1	1	1
14	L-428	Pompa Air Proses ke Peralatan	2	1	2
TOTAL					27

Jadi kebutuhan listrik untuk proses dan unit utilitas adalah:

$$= 6140,3960 \text{ Hp} \times 0,7457 \text{ Hp/kW}$$

$$= 4578,8933 \text{ kW}$$

8.3.3 Listrik untuk penerangan

Pemakaian listrik untuk penerangan dapat diperoleh dengan mengetahui luas bangunan dan areal lahan yang dipergunakan, dengan menggunakan rumus:

$$L = \frac{A \cdot F}{U \cdot D} \quad (\text{Perry 3}^{\text{rd}} \text{ ed., hal 1758})$$

dimana:

- L = lumen outlet

- A = luas daerah

- F = foot candle (Perry 3rd ed., tbl. 13 hal 1755)

- U = koefisien utilitas = 0,8 (Perry 3rd ed., tbl. 16 hal 1758)

- D = efisiensi penerangan rata-rata = 0,75 (Perry 3rd ed., tbl. 16 hal 1758)

Tabel D.3.2.1. Pemakaian listrik untuk penerangan

No.	Bangunan	Luas		Candle ft	Lumen
		m ²	ft ²		
1	Parkir tamu	90	295,272	10	4921,2
2	Pos keamanan	40	131,232	5	1093,6
3	Parkir pegawai	90	295,272	5	2460,6
4	Musholla	50	164,04	10	2734

5	Taman	1200	3936,96	5	32808
6	Aula	900	2952,72	5	24606
7	Poliklinik	50	164,04	5	1367
8	Perkantoran dan tatausaha	500	1640,4	5	13670
9	Garasi	100	328,08	5	2734
10	Ruang kepala pabrik	80	262,464	10	4374,4
11	Toilet	142	465,874	10	7764,56
12	Bengkel	150	492,12	10	8202
13	Perpustakaan	75	246,06	10	4101
14	Ruang proses produksi	2400	7873,92	10	131232
15	Areal Tangki bahan bakar	225	738,18	10	12303
16	Laboratorium	150	492,12	20	16404
17	Gudang bahan baku	120	393,696	10	6561,6
18	Gudang produk samping	190	623,352	10	10389,2
19	Ruang genset	225	738,18	10	12303
20	Gudang produk	128	419,942	5	3499,52
21	Pemadam api kebakaran	100	328,08	5	2734
22	Areal waste treatment	900	2952,72	5	24606
23	Areal water treatment	1200	3936,96	10	65616
24	Perluasan pabrik	5600	18372,5	10	306208
25	Ruang kontrol	50	164,04	10	2734
26	Kantin	40	131,232	5	1093,6
27	Halaman dan jalan	4655	15272,1	10	254535,4
JUMLAH		19450	63811,6	215	961055,68

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan listrik untuk penerangan} &= \frac{\left(\frac{\text{Lumen}}{0,8 \times 0,75}\right)}{12000} \\ &= \frac{\left(\frac{961055,68}{0,8 \times 0,75}\right)}{12000} \end{aligned}$$

8.3.1 Kebutuhan Listrik untuk lain-lain

Kebutuhan listrik untuk keperluan seperti peralatan kantor, lemari es, Ac dan lain-lain, ditetapkan 10 kW

8.3.2 Total kebutuhan listrik

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan listrik} &= (4578,8933 + 133,4800 + 10) \text{ kW} \\ &= 4722,3733 \text{ kW} \end{aligned}$$

Ditetapkan faktor keamanan : 10%

$$\text{Kebutuhan listrik total} = 4722,3733 + 472,2373 = 5194,6106 \text{ kW}$$

Direncanakan pemenuhan kebutuhan listrik berasal dari PLN 100% dan unit generator digunakan sebagai emergensi jika suplai listrik dari PLN mati.

$$\text{Kapasitas generator} = 5194,6106 \text{ kW}$$

Effisiensi : 80%

$$\text{Kapasitas total generator} = \frac{2504,0475}{0,8} = 6493,2632 \text{ kW}$$

Spesifikasi Generator :

- Type : AC generator 3 phase
- Kapasitas : 6493,2632 kW, 380/220 Volt –
- Frekuensi : 50/60 Hz
- Jumlah : 2 buah (1 cadangan)

8.4 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Unit bahan bakar bertugas menyediakan bahan bakar untuk keperluan bahan bakar untuk keperluan utilitas.

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan bahan bakar untuk boiler} &= 9,4196 \text{ kg/jam} = 20,7665 \text{ lb/jam} \\ &= 498,3970 \text{ lb/hari} \end{aligned}$$

Tangki Bahan Bakar

- Fungsi : Untuk menyimpan bahan bakar yang digunakan
- Type : Fixed roof
- Bahan : Carbon steel SA 240 Grade M Type 316
- Kondisi : P = 14,7 psia
T = 30°C

Dasar Perhitungan

$$\text{Massa BBM} = 9,4196 \text{ kg/jam} = 20,7665 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas BBM} = 5,5 \text{ lb/ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik} &= \frac{\text{Massa BBM}}{\rho} = \frac{20,7665 \text{ lb/jam}}{5,5000 \text{ lb/ft}^3} = 3,7757 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,1069 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,0010 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\text{Waktu penyimpanan} = 144 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume BBM} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{waktu penyimpanan} \\ &= 3,7757 \times 144 \\ &= 543,7058 \text{ ft}^3 = 15,3961 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid = 80% volume tangki, sehingga:

$$\text{Volume tangki} = \frac{543,7058}{80\%} = 679,6323 \text{ ft}^3$$

Mencari diameter tangki:

$$L_s = 1,5 \text{ di}$$

$$\text{Volume tangki} = \frac{\pi \cdot di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi}{4} di^2 L_s$$

$$679,6323 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot di^3}{24 \cdot \text{tg } 30^\circ} + \frac{\pi}{4} di^2 (1,5 \text{ di})$$

$$679,6323 \text{ ft}^3 = 1,2530 \text{ di}^3$$

$$di = 8,1552 \text{ ft} = 97,8628 \text{ in}$$

Menentukan tekanan design (Pi):

$$\begin{aligned} \text{Tinggi bahan bakar dalam shell} &= \frac{\text{volume bahan dalam shell}}{\frac{\pi}{4} di^2} \\ &= \frac{543,7058}{52,2087} = 10,4141 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\text{Tekanan hidrostatik (Ph)} = \frac{\rho(H-1)}{144} = \frac{5,5000 \text{ lb/ft}^3 (10,4141-1)}{144} = 0,3596 \text{ psi}$$

$$\text{Tekanan design (Pi)} = 0,3596 + 14,7 = 15,0596 \text{ psia}$$

$$= 15,0596 - 14,7 = 0,3596 \text{ psig}$$

Menentukan tebal silinder (ts):

Bahan : Carbon steel SA 240 Grade M Type 316

f allowble : 18750 psi

(Brownell and Young, hal. 254)

Faktor korosi (C) : 1/16 in

Type pengelasan : double welded butt joint (E = 0,8)

Tekanan design (Pi) = 0,3572 psig

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

$$ts = \frac{(0,3596)(97,8628)}{2((18750)(0,8) - (0,6)(0,3572))} + \frac{1}{16}$$

$$ts = \frac{35,1881}{29999,5685} \text{ in} + \frac{1}{16}$$

$$ts = 0,0637$$

$$ts = \frac{1,0188}{16} \approx \frac{3}{16} \text{ in} \approx 0,1875 \text{ in}$$

(Brownell and Young, tabel 5-7 hal. 90)

Standarisasi do :

$$do = di + 2 \cdot ts$$

$$do = 97,8628 \text{ in} + 2(0,1875) \text{ in}$$

$$do = 98,2378 \text{ in} \approx 108 \text{ in}$$

(Brownell and Young, tabel 5-7 hal. 90)

Menentukan harga di baru :

$$di = 108 - 2 \cdot ts$$

$$di = 108 - 2(0,1875)$$

$$di = 107,6250 \text{ in} = 8,9688 \text{ ft}$$

Cek hubungan Ls detigan di

$$\text{Volume tangki} = \frac{\pi \cdot d_i^3}{24 \cdot \tan 30^\circ} + \frac{\pi}{4} d_i^2 L_s$$

$$679,6323 \text{ ft}^3 = 54,4962 \text{ ft}^3 + 63,1442 L_s$$

$$L_s = 9,9001 \text{ ft}$$

$$\frac{L_s}{d_i} = \frac{9,9001}{8,9688} = 1,1038$$

Menentukan tebal tutup atas berbentuk conis

$$tha = \frac{P_i \cdot d_i}{2(f \cdot E - 0,6 \cdot P_i) \cos 30^\circ} + C$$

$$tha = \frac{(0,3596)(107,6250)}{2((18750)(0,8) - (0,6)(0,3596)) \cos 30^\circ} + \frac{1}{16}$$

$$tha = \frac{38,6983}{25979,6263} \text{ in} + \frac{1}{16}$$

$$t_{ha}=0,0640$$

$$t_{ha}=\frac{1,0238}{16} \text{ in } \frac{3}{16} \text{ in} \approx 0,1875 \text{ in}$$

(Brownell and Young, tabel 5-7 hal. 90)

Menentukan tinggi storage :

$$\text{Tinggi shell} = L_s = 9,9001 \text{ ft} = 118,8016 \text{ in}$$

Tinggi tutup bawah berbentuk conis :

$$h = \frac{1/2 \cdot d_i}{\text{tg } 1/2\alpha} = \frac{1/2(6,9688)}{\text{tg } 30^\circ}$$

$$h = 2,5891 \text{ ft} = 31,0696 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= \text{tinggi shell} + \text{tinggi tutup bawah} \\ &= (118,8016 + 31,0696) = 149,8712 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi Tangki Bahan Bakar :

Type : Fixed roof

Bahan konstruksi : Stainless Steel SA-240 Grade M Type 316

Tinggi (H) : 226,2391 in

Diameter (D) : 84 in

Jumlah : 1 buah

APPENDIKS E

PERHITUNGAN ANALISA EKONOMI

A. Metode Penafsiran Harga

Penafsiran harga peralatan setiap tahun mengalami perubahan sesuai dengan kondisi perekonomian yang ada. Untuk penafsiran harga peralatan, diperlukan indeks yang dapat dipergunakan untuk mengkonveksi harga peralatan pada masa lalu, sehingga diperoleh harga saat ini, digunakan persamaan :

$$C_x = C_k \times \frac{I_x}{I_k} \quad (\text{Peters and Timmerhaus, hal. 164})$$

Dimana :

C_x = Tafsiran harga saat ini

C_k = Tafsiran harga alat pada tahun k

I_x = Indeks harga saat ini

I_k = Indeks harga tahun k

Sedangkan untuk menaksir harga alat yang sama dengan kapasitas yang berbeda digunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_A = V_B \left(\frac{C_A}{C_B} \right)^n \quad (\text{Peter and Timmerhaus, hal. 169})$$

Dimana :

V_A = Harga alat A

V_B = Harga alat B

C_A = Kapasitas alat A

C_B = Kapasitas alat B

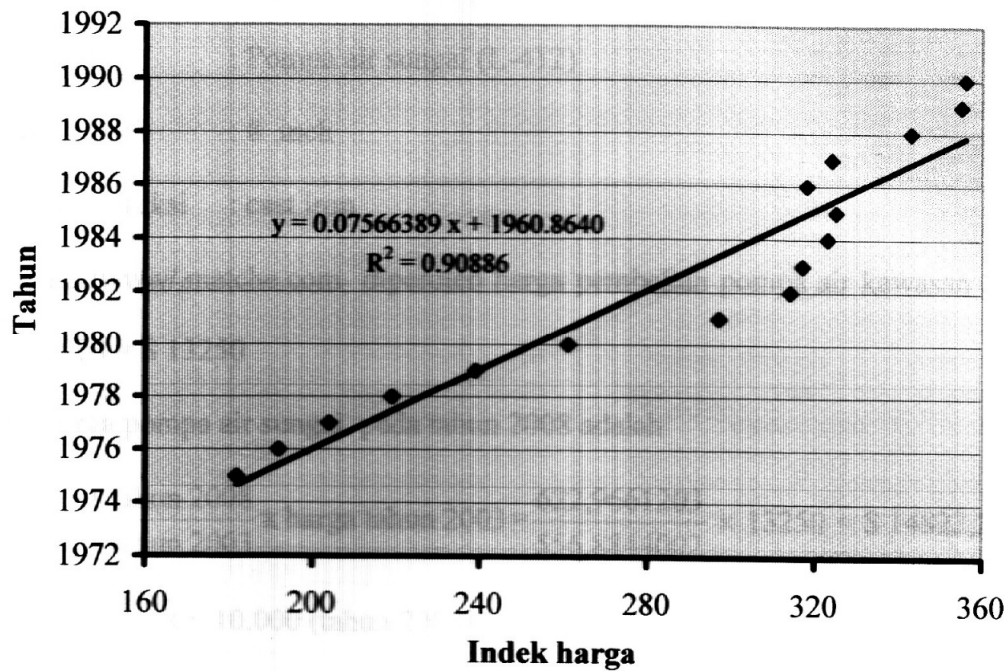
n = Eksponen harga alat (Peter and Timmerhaus, hal. 170)

Harga alat dalam pra rencana pabrik Natrium Metasilikat didasarkan pada harga alat yang terdapat pada Peter & Timmerhaus.

Tabel E.1. Indeks Harga Alat Pada Tahun Sebelum Evaluasi

No.	Tahun (y)	Indeks (x)	x^2	x.y
1	1975	182	33124	359450
2	1976	192	36864	379392
3	1977	204	41616	403308
4	1978	219	47961	433182
5	1979	239	57121	472981
6	1980	261	68121	516780
7	1981	297	88209	588357
8	1982	314	98596	622348
9	1983	317	100489	628611
10	1984	323	104329	640532
11	1985	325	105625	645125
12	1986	318	101124	631548
13	1987	324	104976	643788
14	1988	343	117649	681884
15	1989	355	126025	706095
16	1990	356	126736	708440
Jumlah		4569	1358.565	9062121

Sumber : Peter and Timmerhaus hal 163 tabel 3



Grafik E.1. Hubungan antara tahun dengan indeks harga

Dari grafik, didapat persamaan :

$$y = 1960,8640 + 0,07566389 x$$

Indeks harga pada tahun 2008:

$$2003 = 1960,8640 + 0,07566389 x$$

$$x = 556,8844002$$

$$2008 = 1960,8640 + 0,07566389 x$$

$$x = 622,9661203$$

B. Harga Peralatan

Dengan menggunakan rumus-rumus pada metode penafsiran harga, didapatkan harga peralatan proses seperti terlihat pada tabel E.2 (Tabel harga peralatan proses) dan tabel E.3 (Tabel harga peralatan utilitas).

Contoh perhitungan harga alat :

Nama alat : Pompa air sungai (L-412)

Diameter pipa : 8 inch

Bahan konstruksi : cast iron

Dari <http://www.matche.com> diperoleh harga pembelian pompa air kawasan pada tahun 2003 = \$ 13250

Maka harga pompa air sungai pada tahun 2008 adalah :

$$= \frac{\text{indeks tahun 2008}}{\text{indeks tahun 2003}} \times \text{harga tahun 2003} = \frac{622,9661203}{556,8844002} \times 13250 = \$ 14822,2882$$

Asumsi : \$ 1 = Rp. 10.000 (tahun 2008)

Tabel E.2. Harga Peralatan Proses

No.	Nama Peralatan	Kode	Harga/Unit (\$)		Jumlah (Unit)	Harga Total (\$)
			2003	2008		
1	Open Storage SiO ₂	F-111a	14800	165562,1629	1	165562,1629
2	Screw Conveyor	J-112a	8500	9508,6377	1	9508,6377
3	Bucket Elevator	J-113a	13500	15101,9541	1	15101,9541
4	Hammer Mill	C-114	40000	44746,5305	1	44746,5305
5	Screw Conveyor	R-110	8500	9508,6377	1	9508,6377
6	Bin SiO ₂	F-115a	14800	16556,2163	1	16556,2163
7	Storage Na ₂ CO ₃	F-111b	175000	195766,0710	1	195766,0710
8	Screwconveyor	J-112c	8500	9508,6377	1	9508,6377
9	Bucket Elevator	J-113b	13500	15101,9541	1	15101,9541
10	Bin Na ₂ CO ₃	F-115b	17500	19576,6071	1	19576,6071
11	Auger	J-110	55000	61526,4795	1	61526,4795
12	Electric Furnace	Q-210	348000	389294,8156	1	389294,8156
13	Chillconveyor	J-220	125000	139832,9079	1	139832,9079
14	Hammer Mill	C-221	40000	44746,5305	1	44746,5305
15	Bucket Elevator	J-222	13500	15101,9541	1	15101,9541
16	Tangki Pelanrt	M-230	163600	183013,3098	1	183013,3098
17	Pompa	L-231	11500	12864,6275	1	12864,6275
18	Settling Tank	H-310	55000	61526,4795	1	61526,4795
19	Pompa	L-311	11500	12864,6275	1	12864,6275
20	Spray Dryer	B-320	90900	101686,4906	1	101686,4906
21	Cyclone	H-321	17400	19464,7408	1	19464,7408
22	Screw Conveyor	J-322	8500	9508,6377	1	9508,6377

23	Burner Spray Dryer	Q-323	110800	123947,8896	1	123947,8896
24	Blower	G-324	44600	49892,3815	1	49892,3815
25	Filter Udara	H-325	11600	12976,4939	40	519059,7541
26	Bin Na ₂ SiO ₃	F-326	18500	20695,2704	1	20695,2704
27	Packing	P-327	101200	113209,7222	1	113208,7222
28	Belt Conveyor	J-328	10900	12193,4296	1	12193,4296
29	Storage Na ₂ SiO ₃	F-329	185000	206952,7037	1	206952,7037
JUMLAH				2092235,9010	68	2598319,1612

Tabel E.3. Harga Peralatan Utilitas

No.	Nama Peralatan	Kode	Harga/Unit (\$)		Jumlah (Unit)	Harga Total (\$)
			2003	2008		
1	Tangki clarifier	H-410	95600	106944,2080	1	106944,2080
2	Filter air sungai	H-411	1600	1789,8612	1	1789,8612
3	Pompa air sungai	L-412	13250	14822,2882	1	14822,2882
4	Bak sedimentasi	F-413	29500	33000,5663	1	33000,5663
5	Pompa bak sedimentasi	L-414	13250	14822,2882	1	14822,2882
6	Bak skimmer	F-415	30250	33839,5637	1	33839,5637
7	Pompa skimmer	L-416	13250	14822,2882	1	14822,2882
8	Tangki sand filter	H-417	23750	26568,2525	1	26568,2525
9	Bak air bersih	F-418	29500	33000,5663	1	33000,5663
10	Kation exchanger	D-420A	148750	163045,1706	1	163045,1706
11	Anion exchanger	D-420B	146000	163324,8364	1	163324,8364
12	Pompa ke kation & anion exchanger	L-421	13000	14542,6224	1	14542,6224
13	Bak air lunak	F-422	27350	30595,4402	1	30595,4402
14	Pompa ke bak steamm kondensat	L-423	11500	12864,6275	1	12864,6275
15	Pompa ke bak air	L-424	12500	13983,2908	1	13983,2908

	pendingin					
16	Bak air pendingin	F-425	48250	53975,5024	1	53975,5024
17	Pompa air pendingin ke peralatan	L-426	13000	14542,6224	1	14542,6224
18	Cooling tower	P-427	52750	59009,4871	1	59009,4871
19	Pompa air proses ke peralatan	L-428	12500	13983,2908	1	13983,2908
20	Boiler	Q-430	102500	114662,9845	1	114662,9845
21	Bak steam kondensat	F-431	32500	36356,5561	1	36356,5561
22	Pompa ke deaerator	L-432	12000	13423,9592	1	13423,9592
23	Deaerator	D-433	81500	91171,0559	1	91171,0559
24	Bak boiler feed water	F-434	36500	40831,2091	1	40831,2091
25	Pompa ke boiler	L-435	12500	13983,2908	1	13983,2908
26	Filter udara	H-436	10350	11578,1648	1	11578,1648
27	Blower udara	G-437	13800	15437,5530	1	15437,5530
28	Storage fuel oil	F-438	115375	129065,7740	1	129065,7740
29	Pompa fuel oil	L-439	11250	12584,9617	1	12584,9617
30	Bak klorinasi	F-440	30150	33727,6974	1	33727,6974
31	Pompa ke bak klorinasi	L-441	11500	12864,6275	1	12864,6275
32	Pompa ke bak air sanitasi	L-442	11500	12864,6275	1	12864,6275
33	Bak air sanitasi	F-443	30000	33559,8979	1	33559,8979
34	Generator listrik		257000	287496,4586	2	574992,9172
JUMLAH				1679085,5913	35	1966582,0499

$$\begin{aligned}
\text{Harga peralatan total} &= \text{Harga Peralatan Proses} + \text{Harga peralatan utilitas} \\
&= \$ 2.598.319,1612 + \$ 1.966.582,0499 \\
&= \$ 4.564.901,2111
\end{aligned}$$

Dengan faktor keamanan (*safety factor*) sebesar 20%, maka :

$$= \$ 912.980,2422$$

$$\begin{aligned}
\text{Harga peralatan total} &= \$ 4.559.307,8948 + 912.980,2422 \\
&= \mathbf{\$ 5.477.881,4533}
\end{aligned}$$

C. Biaya Bahan baku

1. Natrium Karbonat (Na_2CO_3)

$$\text{Kebutuhan bahan} = 5719,9479 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Harga/Kg} = \$ 1,7$$

Biaya pembelian bahan baku per tahun :

$$= \$ 1,7 /\text{kg} \times 5719,9479 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 330 \text{ hari/tahun}$$

$$= \$ 77.013.378,5256$$

2. Pasir Silika (SiO_2)

$$\text{Kebutuhan bahan} = 5719,9479 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Harga/Kg} = \$ 0,5$$

Biaya pembelian bahan baku per tahun :

$$= \$ 0,5 /\text{kg} \times 5719,9479 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 330 \text{ hari/tahun}$$

$$= \$ 22.650.993,6840$$

Total Biaya Bahan Baku = \$ 99.664372,2096

D. Perhitungan Biaya Utilitas

1. Listrik

$$\text{Kebutuhan listrik /hari} = 124670,6539 \text{ KWH/hari}$$

$$\text{Harga listrik/KWH} = \$ 0,06$$

$$\text{Biaya kebutuhan listrik} = 124670,6539 \text{ KWH/hari} \times 330 \text{ hari/tahun} \times \$ 0,06$$

$$= \$ 2.468.478,9479$$

2. Bahan bakar boiler

$$\text{Kebutuhan bahan bakar/hari} = 256,6059 \text{ L/hari}$$

$$\text{Harga bahan bakar /L} = \$ 0,5$$

$$\begin{aligned}\text{Biaya kebutuhan bahan bakar} &= 256,6059 \text{ L/hari} \times 330 \text{ hari/th} \times \$ 1,5 \\ &= \$ 42.339,9800\end{aligned}$$

3. Bahan bakar spray dryer

$$\text{Kebutuhan bahan bakar} = 25.061,4461 \text{ L/hari}$$

$$\text{Harga bahan bakar /L} = \$ 0,5$$

$$\begin{aligned}\text{Biaya kebutuhan bahan bakar} &= 25.061,4461 \text{ L/hari} \times 330 \text{ hari/th} \times \$ 1,5 \\ &= \$ 4.135.138,6056\end{aligned}$$

4. Air

$$\text{Kebutuhan air sungai} = 24852,8733 \text{ kg/jam}$$

$$\rho \text{ air} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume air sungai} = 24,9607 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Harga air sungai /m}^3 = \$ 0,03$$

$$\begin{aligned}\text{Biaya pemakaian air sungai} &= 24,9607 \text{ m}^3/\text{jam} \times \$ 0,03/\text{m}^3 \times 24 \text{ jam/hari} \\ &\quad \times 330 \text{ hari/ tahun} \\ &= \$ 5.930,6632\end{aligned}$$

5. Alum

$$\text{Kebutuhan alum} = 14,3152 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Harga alum/kg} = \$ 0,18$$

$$\begin{aligned}\text{Biaya pemakaian alum} &= 14,3152 \text{ kg/jam} \times \$ 0,18 \times 24 \text{ jam/hari} \times 330 \text{ hari/tahun} \\ &= \$ 20.407,7159\end{aligned}$$

6. Resin

$$\text{Kebutuhan resin ram} = 12,4311 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Harga resin/kg} = \$ 0,5$$

$$\begin{aligned}\text{Biaya kebutuhan resin} &= 12,4311 \text{ kg/jam} \times \$ 0,5 \times 24 \text{ jam/hari} \times 330 \text{ hari/tahun} \\ &= \$ 49.227,0367\end{aligned}$$

Total Maya Utilitas

$$= \$ (2.468.478,9479 + 42.339,9800 + 4.135.138,6056 + 5.930,6632 + 20.407,7159 + 49.227,0367)$$

$$= \$ 6.721.522,9493$$

E. Harga Tanah dan Bangunan

Luas tanah = 30.000 m²

Luas bangunan pabrik = 19.450 m²

Harga tanah per m² = \$ 50

Harga bangunan per m² = \$ 100

Harga tanah dan bangunan total

= (30.000 m² × \$ 50) + (14.032 m² × \$ 100)

= \$ 1.500.000 + \$ 1.945.000

= **\$ 3.445.000**

F. Gaji Pegawai

Tabel E.4. Daftar Gaji Pegawai

No.	Jabatan (Tugas)	Jumlah	Gaji/Bulan (\$)	Total (\$)
1	Direktur Utama	1	1500	1500
2	Direktur Produksi	1	1000	1000
3	Direktur Administrasi Dan Keuangan	1	1000	1000
4	Sekretaris	3	125	375
5	Kepala Litbang (R&D)	1	600	600
6	Staff Litbang (R&D)	2	300	600
		3	200	600
		4	125	600
7	Kepala Dept. Qc	1	500	500
8	Kepala Dept. Produksi	1	500	500
9	Kepala Dept. Teknik	1	500	500
10	Kepala Dept. Pemasaran	1	500	500
11	Kepala Dept. Keuangan Dan Akuntansi	1	500	500
12	Kepala Dept. Sdm	1	500	500
13	Kepala Dept. Umum	1	500	500
14	Kepala Divisi Produksi	1	200	200
15	Karyawan Divisi Produksi	6	150	900

		36	100	3600
16	Kepala Divisi Bahan Baku	1	200	200
17	Karyawan Divisi Bahan Baku	2	100	200
		8	75	600
18	Kepala Divisi Utilitas	1	200	200
19	Karyawan Divisi Utilitas	3	150	450
		7	80	560
20	Kepala Divisi Bengkel & Perawatan	1	200	200
21	Karyawan Divisi Bengkel & Perawatan	10	100	1000
22	Kepala Divisi Jaminan Mutu	1	200	200
23	Karyawan Divisi Jaminan Mutu	2	100	200
		5	75	375
24	Kepala Divisi Pengendalian Proses	1	200	200
25	Karyawan Divisi Pengendalian Proses	5	100	500
26	Kepala Divisi Kesehatan	1	200	200
27	Karyawan Kesehatan	3	100	300
28	Kepala Divisi Ketenagakerjaan	1	200	200
29	Karyawan Ketenagakerjaan	3	100	300
30	Kepala Divisi Pembelian	1	200	200
31	Karyawan Divisi Pembelian	2	100	200
32	Kepala Divisi Penjualan	1	200	200
33	Karyawan Divisi Penjualan	2	100	200
34	Kepala Divisi Promosi Dan Periklanan	1	200	200
35	Karyawan Divisi Periklanan	3	100	300
36	Kepala Divisi Research Marketing	1	200	200
37	Karyawan Research Marketing	3	100	300
38	Kepala Divisi Keuangan	1	200	200
39	Karyawan Divisi Keuangan	3	100	300
40	Kepala Divisi Akuntansi	1	200	200
41	Karyawan Divisi Akuntansi	3	100	300
42	Kepala Divisi Humas	1	200	200

43	Karyawan Divisi Humas	3	100	300
44	Kepala Divisi Personalia	1	200	200
45	Karyawan Divisi Personalia	3	100	300
46	Kepala Divisi Administrasi	1	200	200
47	Karyawan Divisi Administrasi	3	100	300
48	Kepala Divisi Transportasi	1	200	200
49	Karyawan Divisi Transportasi	2	100	200
		5	75	375
50	Kepala Divisi Keamanan Dan Keselamatan	1	200	200
51	Karyawan Keamanan Dan Keselamatan	10	100	1000
52	Kepala Divisi Kebersihan	1	85	85
53	Staff Kebersihan	10	65	650
Jumlah				\$ 27370

$$\begin{aligned} \text{Total gaji pegawai per tahun} &= \$ 27.370/\text{bulan} \times 12 \text{ bulan/tahun} \\ &= \$ 328.440/\text{tahun} \end{aligned}$$

G. Pengemasan

Pengemasan dilakukan tiap 25 kg dengan menggunakan kantong plastik.

Harga kantong plastik = \$ 0,1/buah

(Timmerhaus hal. 541)

Kapasitas = 6313,1313 kg/jam = 50.000.000 kg/tahun

$$\text{Jumlah kemasan/tahun} = \frac{50.000.000 \frac{\text{kg}}{\text{tahun}}}{25 \text{ kg}} = 2.000.000 \text{ buah kantong plastik}$$

Biaya pengemasan = \$ 0,1 × 2.000.000 = \$ 200.000

H. Perhitungan harga produk

Produksi Natrium Metasilikat = 6313,1313 kg/jam

Harga/Kg = \$ 3,1

Penjualan Natrium Metasilikat

$$= 6313,1313 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 330 \text{ hari/th} \times \$ 3,1/\text{kg}$$

= \$ 155.000.000

I. Penentuan Total Capital Investment (TCI)

A. Modal Langsung (DC)

Harga Peralatan	E	\$ 5.477.881,45
Instalasi Peralatan	50%.E	2.738.940,73
Instrumentasi dan kontrol	15%.E	821.682,22
Perpipaan	30%.E	1.643.364,44
Listrik		2.468.478,95
Bangunan		1.945.000,00
Tanah		1.500.000,00
Fasilitas pelayanan	40%.E	2.191.152,58
Pengembangan lahan	5%.E	273.894,07
Total Direct Cost (DC)		\$ 19.060.394,44

B. Modal Tak Langsung (IC)

Engineering & Supervisi	30%.(DC)	5.718.118,33
Konstruksi	40%.(DC)	7.624.157,77
Biaya tak terduga	10%.(FCI)	0,10 FCI
Total Indirect Cost (IC)		\$ 13.342.276,11 + 0,10 FCI

C. Fix Capital Investment (FCI)

$$\text{FCI} = \text{DC} + \text{IC}$$

$$\text{FCI} = \$ 19.060.394,44 + \$ 13.342.276,11 + 0,10 \text{ FCI}$$

$$0,90 \text{ FCI} = \$ 32.402.670,54$$

$$\text{FCI} = \mathbf{\$ 36.002.967,27}$$

$$\text{Maka IC} = \$ 13.342.276,11 + 0,10 \text{ FCI}$$

$$= \$ 13.342.276,11 + 0,10 (\$ 36.002.967,27)$$

$$= \mathbf{\$ 16.942.572,83}$$

D. Modal Kerja (WC)

$$\text{WC} = 15\% \times \text{TO}$$

$$\text{WC} = 15\% \times \$ 42.356.432,08$$

$$\text{WC} = \mathbf{\$ 6.353.464,81}$$

E. Total Capital Investment (TCI)

$$\text{TCI} = \text{WC} + \text{FCI}$$

$$\text{TCI} = 0,15 \text{ TCI} + \$ 36.002.967,27$$

$$0,85 \text{ TCI} = \$ 36.002.967,27$$

$$\text{TCI} = \$ 42.356.432,08$$

F. Modal Perusahaan

$$\text{Modal sendiri} = 60\% \text{ TCI} = \$ 25.413.859,25$$

$$\text{Modal pinjaman} = 40\% \text{ TCI} = \$ 16.942.572,83$$

$$\text{Total Modal Perusahaan} = \$ 42.356.432,01$$

J. Penentuan Total Product Cost (TPC)

1. Biaya Pembuatan (Manufacture/COM)

1.1. Biaya Produksi Langsung (Direct Production Cost IDPC)

Bahan baku untuk 1 tahun		99.664372.21
Gaji karyawan untuk 1 tahun		329.440.00
Utilitas untuk 1 tahun		6.721.522,95
Pengemasan untuk 1 tahun		200.040,00
Pemeliharaan & perawatan	6%.FCI	2.160.178,04
Laboratorium	10%.Gaji	32.844,00
Patent & Royalti	2%.TPC	0,02 TPC
Supervisi	15%.Gaji	49.266,00
Total DPC		\$ 109.156.623,19 + 0,02 TPC

1.2. Biaya Tetap (Fixed Production Cost/FPC)

Depresiasi alat & bangunan	13% FCI	4.680.385,74
Pajak kekayaan	2% FCI	720.059,35
Asuransi	1% FCI	360.029,67
Bunga Bank	20% Modal Pinjaman	3.388.514,57
Total FPC		\$ 9.148.989,33

1.3. Biaya Overhead

$$\begin{aligned}\text{Biaya Overhead} &= 50\% (\text{gaji karyawan} + \text{supervisi} + \text{pemeliharaan} \& \\ &\quad \text{perawatan}) \\ &= 50\% (\$ 328.440,00 + \$ 49.266,00 + \$ 2.160.178,04) \\ &= \mathbf{\$ 1.268.942,02}\end{aligned}$$

Total Biaya Pembuatan (Manufacture/COM)

$$\begin{aligned}\text{COM} &= \text{DPC} + \text{FPC} + \text{Plant overhead} \\ &= \$ 109.156.623,19 + 0,02 \text{ TPC} + \$ 9.148.989,33 + \$ 1.268.942,02 \\ &= \mathbf{\$ 119.574.554,54 + 0,02 \text{ TPC}}\end{aligned}$$

2. Biaya Umum (General Expenses)

Administrasi	2%TPC	0,02 TPC
Distribusi & pemasaran	3%TPC	0,03 TPC
Litbang (R & D)	5%TPC	0,05 TPC
Financing (Bunga)	10%TCI	\$ 4.235.b43,21
Total GE		\$ 4.235.643,21 + 0,10 TPC

$$\begin{aligned}\text{TPC} &= \text{COM} + \text{GE} \\ \text{TPC} &= \$ 119.574.554,54 + 0,02 \text{ TPC} + \$ 4.235.643,21 + 0,10 \text{ TPC} \\ \text{TPC} &= \$ 123.810.197,75 + 0,12 \text{ TPC} \\ 0,88 \text{ TPC} &= \$ 123.810.197,75 \\ \text{TPC} &= \mathbf{\$ 140.693.406,53} \\ \text{Maka DPC} &= \$ 109.156.623,19 + 0,02 \text{ TPC} \\ &= \$ 109.156.623,19 + 0,02 (\$ 140.693.406,53) \\ &= \mathbf{\$ 111.970.491,33} \\ \text{GE} &= \$ 4.235.643,21 + 0,10 \text{ TPC} \\ &= \$ 4.235.643,21 + 0,10 (\$ 140.693.406,53) \\ &= \mathbf{\$ 18304.983,86}\end{aligned}$$

K. Analisa Profitabilitas

1. Laba Perusahaan

Laba perusahaan, yaitu keuntungan yang diperoleh dari penjualan produk.

Total penjualan per tahun = **\$ 155.000.000,00**

$$\begin{aligned}
\text{Laba kotor} &= \text{Harga Jual} - \text{Biaya Produksi} \\
&= \$ 155.000.000,00 - \$ 140.693.406,53 \\
&= \mathbf{\$ 14.306.593,47} \\
\text{Pajak penghasilan} &= 35\% \text{ dari laba kotor} \\
&= (0,35 \times \$ 14.306.593,47) \\
&= \mathbf{\$ 5.007.307,71} \\
\text{Laba bersih} &= \text{laba kotor} \times (1 - \% \text{ pajak}) \\
&= \$ 14.306.593,47 \times (1 - 0,35) \\
&= \mathbf{\$ 9.299.285,75}
\end{aligned}$$

Cash Flow (C_A)

Cash Flow adalah aliran kas untuk mengetahui kas perusahaan setiap akhir tahun.

Nilai penerimaan Cash Flow sebelum pajak (C_A):

$$\begin{aligned}
C_A &= \text{Laba kotor} + \text{Depresiasi alat} \\
&= \$ 14.306.593,47 + \$ 4.680.385,74 \\
&= \mathbf{\$18.986.979,21}
\end{aligned}$$

2. Laju Pengembalian Modal (ROI)

ROI adalah pernyataan umum yang digunakan untuk menunjukkan laba tahunan sebagai usaha untuk mengembalikan modal.

ROI sebelum pajak

$$\begin{aligned}
ROI_{BT} &= \frac{\text{Laba kotor}}{\text{Modal tetap}} \times 100 \% \\
&= \frac{\$14.306.593,47}{\$ 36.002.967,27} \times 100\% \\
&= \mathbf{39,74\%}
\end{aligned}$$

ROI setelah pajak

$$\begin{aligned}
ROI_{AT} &= \frac{\text{Laba bersih}}{\text{Modal tetap}} \times 100 \% \\
&= \frac{\$ 9.299.285,75}{\$ 36.002.967,27} \times 100\% \\
&= \mathbf{25,83\%}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dari modal investasi (TCl)} &= \frac{25,83}{100} \times 42.356.432,08 \\ &= \$ 10.940.336,18 \end{aligned}$$

Layak didirikan karena > dari bunga bank (20%)

3. Lama Pengembalian Modal (POT)

POT adalah masa tahunan pengembalian modal investasi dari laba yang dihitung dikurangi penyusutan atau waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal investasi:

POT sebelum pajak

$$\begin{aligned} \text{POT}_{\text{BT}} &= \frac{\text{Modal tetap}}{\text{Cash flow sebelum pajak}} \times 1 \text{ tahun} \\ &= \frac{\$ 36.002.967,27}{\$ 18.986.979,21} \times 1 \text{ tahun} = 1,90 \text{ tahun} \end{aligned}$$

POT setelah pajak

$$\begin{aligned} \text{POT}_{\text{AT}} &= \frac{\text{Modal tetap}}{\text{Cash flow sebelum pajak}} \times 1 \text{ tahun} \\ &= \frac{\$ 36.002.967,27}{\$ 13.979.671,50} \times 1 \text{ tahun} = 2,58 \text{ tahun} \end{aligned}$$

4. Break Event Point (BEP)

BEP adalah titik dimana jika, a 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 Tetap (FC = FPC)

$$\text{FC} = \$ 9.148.989,33$$

b. Biaya Variabel (VC)

$$1. \text{ Bahan Baku per tahun} = \$ 99.664.372,21$$

$$2. \text{ Biaya Utilitas per tahun} = \$ 6.721.522,95$$

$$3. \text{ Biaya Pengemasan per tahun} = \$ 200.000,00$$

$$\text{Total Biaya Variabel (VC)} = \$ 106.585.895,16 \quad ,$$

c. Biaya Semi Variabel (SVC)

1. Biaya Umum (GE)	= \$ 18304.983,86
2. Biaya Overhead	= \$ 1.268.942,02
3. Biaya Laboratorium	= \$ 32_844,00
4. Gaji Karyawan Langsung	= \$ 328.440,00
5. Supervisi	= \$ 49.266,00
6. Perawatan dan Pemeliharaan	= \$ 2.160.178,04
7. Royalti	= \$ 2.813.868,13

Total Biaya Semi Variabel (SVC) = \$ **24.958.522,05**

d. Harga Penjualan (S)

S = \$ 155000000.00

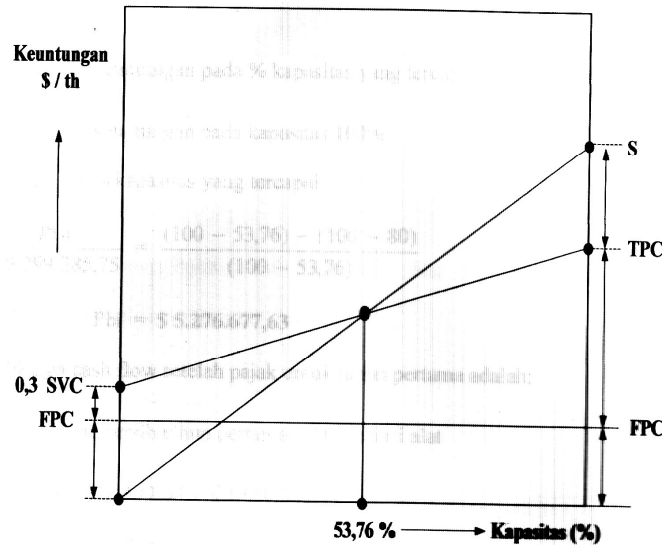
Maka,

$$\text{BEP} = \frac{\text{FC} + (0,3 \text{ SVC})}{\text{S} - 0,7 \text{ SVC} - \text{VC}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \frac{\$9.148.989,33 + (0,3 \times \$ 24.958.522,05)}{\$ 155.000.000,00 - (0,7 \times \$24.958.522,05) - \$106.585.895,16} \times 100\% \\ &= \mathbf{53,76\%} \end{aligned}$$

Titik BEP terjadi path kapasitas = 0.5376×50.000 ton/tahun

= **26882.4467 ton/tahun**



Nilai BEP untuk Pabrik Natrium Metasilikat berada diantara nilai 40-60%, atau sesuai untuk industri kimia. Sehingga nilai BEP diatas memadai.

Jika Kapasitas Pabrik Tidak Tercapai :

Jika karena adanya gangguan mesin atau gangguan pada pemasaran produk yang mengakibatkan kapasitas pabrik tidak tercapai penuh (100%) sesuai rencana maka keuntungan akan menurun. Besarnya penurunan ini tidak proporsional terhadap penurunan prosentase kapasitas. Karena besarnya biaya tetap tidak mengalami penurunan.

Untuk produksi tahun pertama kapasitas pabrik 80 % dari kapasitas yang sesungguhnya, sehingga keuntungan adalah:

$$\frac{PB_i}{PB} = \frac{(100 - BEP) - (100 - \% \text{ kapasitas})}{(100 - BEP)}$$

dimana:

PB_i = keuntungan pada % kapasitas yang tercapai (dibawah 100%)

PB = keuntungan pada kapasitas 100%

% kap = % kapasitas yang tercapai.

$$\frac{PB_i}{\$ 9.299.285,75} = \frac{(100 - 53,76) - (100 - 80)}{(100 - 53,76)}$$

$$PB_i = \$ 5.276.677,63$$

Sehingga cash flow setelah pajak untuk tahun pertama adalah:

$$\begin{aligned}
C_A &= \text{Laba bersih tahun pertama} + \text{Depresiasi alat} \\
&= \$ 5.276.677,63 + \$ 4.680.385,74 \\
&= \mathbf{\$ 9.957.063,37}
\end{aligned}$$

Untuk produksi tahun kedua kapasitas pabrik 90 % dari kapasitas yang sesungguhnya, sehingga keuntungan adalah :

$$\frac{PB_i}{PB} = \frac{(100 - BEP) - (100 - \% \text{ kapasitas})}{(100 - BEP)}$$

dimana:

PBi = keuntungan pada % kapasitas yang tercapai (dibawah 100%)

PB = keuntungan pada kapasitas 100%

% kap = % kapasitas yang tercapai

$$\frac{PB_i}{\$ 9.299.285,75} = \frac{(100 - 53,76) - (100 - 90)}{(100 - 53,76)}$$

$$PB_i = \mathbf{\$ 7.287.981,69}$$

Sehingga cash flow setelah pajak untuk tahun kedua adalah:

$$\begin{aligned}
C_A &= \text{Laba bersih tahun kedua} + \text{Depresiasi alat} \\
&= \$ 7.287.981,69 + \$ 4.680.385,74 \\
&= \mathbf{\$ 11.968.367,44}
\end{aligned}$$

5. Shut Down Point (SDP)

Shut Down Point adalah suatu titik yang merupakan kapasitas minimal pabrik masih boleh beroperasi.

$$\begin{aligned}
SDP &= \frac{0,3 VC}{S - 0,7 SVC - VC} \times 100\% \\
&= \frac{3 \times \$ 24.958.522,05}{\$155.000.000,00 - (0,7 \times \$ 24.958.522,05) - \$ 106.585.895,16} \times 100\% \\
&= \mathbf{24,20\%}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Titik Shut Down Point terjadi pada kapasitas} &= 0,2420 \times 50000 \text{ ton/tahun} \\
&= \mathbf{12.098,90 \text{ ton/tahun}}
\end{aligned}$$

6. Net Present Value (NPV)

Metode ini digunakan untuk menghitung selisih dari nilai penerimaan kas bersih sekarang dengan nilai investasi sekarang.

Ditetapkan bunga bank sebesar 20%

Langkah-langkah menghitung NPV :

a. Menghitung C_{A_0} (tahun ke - 0) untuk masa konstruksi 2 tahun

$$\begin{aligned} C_{A-2} &= 40\% \times FCI \times (1 + i)^2 \\ &= 40\% \times \$ 36.002.967,27 \times (1 + 0.2)^2 \\ &= \mathbf{\$ 20.737.709,15} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{A-1} &= 60\% \times FCI \times (1 + i)^1 \\ &= 60\% \times \$ 36.002.967,27 \times (1 + 0.2)^1 \\ &= \mathbf{\$ 25.922.136,43} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{A_0} &= -(C_{A-1} + C_{A-2}) \\ &= -(\$ 25922136.43 + \$ 20737709.15) \\ &= \mathbf{- \$ 46.659.845,58} \end{aligned}$$

b. Menghitung NPV tiap 1 atm

$$NPV = C_A \times Fd$$

dimana :

C_A = cash flow setelah pajak

Fd = faktor diskon = $\frac{1}{(1+i)^n}$

i = tingkat bunga bank

n = tahun ke-n

Tabel E.5. Cash Flow untuk NPV selama 10 tahun

Tahun ke-n	Cash Flow	Fd (I=0.20)	NPV
0	-46.659.845,58	1,0000	-46.659.845,58
1	9.957.063,37	0,8333	8.297.552,81
2	11.968.367,44	0,6944	8.311.366,27
3	11.968.367,44	0,5787	6.926.138,56
4	11.968.367,44	0,4823	5.771.782,14
5	11.968.367,44	0,4019	4.809.818,45
6	11.968.367,44	0,3349	4.008.182,04
7	11.968.367,44	0,2791	3.340.151,70
8	11.968.367,44	0,2326	2.783.459,75
9	11.968.367,44	0,1938	2319549,79

10	11.968.367,44	0,1615	1.932.958,16
Nilai Sisa	0,00	0,1615	0,00
WCI	6.353.464,81	0,1615	1.026.120,04
JUMLAH			2.867.234,13

Karena harga NPV = (+) maka Pabrik Natrium Metasilikat layak untuk didirikan.

7. Internal Rate Of Return (IRR)

Tabel E.6. Cash Flow untuk IRR

Tahun ke-n	C _A	Fd (I = 0.20)	NPV 1	Fd (I = 0.25)	NPV 2
0	-46.659.845,58	1,0000	-46.659.845,58	1,0000	-46.659.845,58
1	9.957.063,37	0,8333	8.297.552,81	0,8000	7.965.650,70
2	11.968.367,44	0,6944	8.311.366,27	0,64000	7.659.755,16
3	11.968.367,44	0,5787	6.926.138,56	0,5120	6.127.804,13
4	11.968.367,44	0,4823	5.771.782,14	0,4096	4.902.243,30
5	11.968.367,44	0,4019	4.809.818,45	0,3277	3.921.794,64
6	11.968.367,44	0,3349	4.008.182,04	0,2621	3.137.435,71
7	11.968.367,44	0,2791	3.340.151,70	0,2097	2.509.948, 57
8	11.968.367,44	0,2326	2.783.459,75	0,1678	2.007.958,86
9	11.968.367,44	0,1938	2319549,79	0,1342	1.606.367,09
10	11.968.367,44	0,1615	1.932.958,16	0,1074	1.285.093,67
Nilai Sisa	0,00	0,1615	0,00	0,1074	0,00
WCI	6.353.464,81	0,1615	1.026.120,04	0,1074	682.198,09
JUMLAH			2.867.234,13		-4.853.595,67

$$\begin{aligned}
 \text{IRR} &= i_1 + \frac{\text{NPV}_1}{\text{NPV}_1 - \text{NPV}_2} + (i_2 - i_1) \\
 &= 20\% + \frac{\$ 2.867.234,13}{\$ 2.867.234,13 - (-\$ 4.853.595,67)} \times (25\% - 20\%) \\
 &= \mathbf{21,86\%}
 \end{aligned}$$

Karena harga IRR lebih besar dari bunga bank (12%), maka Pabrik Natrium Metasilikat layak untuk didirikan.