

**PRA RANCANGAN PABRIK NATRIUM BIKARBONAT DARI  
NATRIUM KARBONAT DAN KARBON DIOKSIDA DENGAN  
KAPASITAS 115.000 TON/TAHUN**

**SKRIPSI**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**



**Disusun Oleh:**

**Sari Andira Tahir 4518044023**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS BOSOWA**

**MAKASSAR**

**2023**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PRA RANCANGAN PABRIK NATRIUM BIKARBONAT  
DARI NATRIUM KARBONAT DAN KARBON DIOKSIDA DENGAN  
KAPASITAS 115.000 TON/TAHUN**

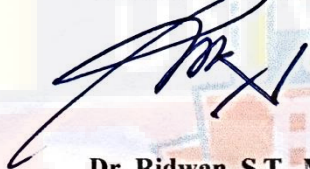
Disusun oleh :

Sari Andira Tahir (4518044023)

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Pada tanggal 20 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Ridwan, S.T., M.Si


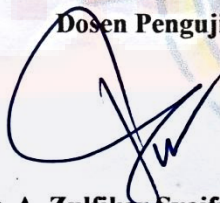
Al Gazali, S.T., M.T

NIDN.09-1012-7101

NIDN. 09-0506-7302

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II



Dr. Ir. A. Zulfikar Syaiful, S.T., M.T

M. Tang, S.T., M.Pkim

NIDN. 09-1802-6902

NIDN. 09-1302-7503

Makassar, 28 Februari 2023

**Ketua Program Studi Teknik Kimia**



Dr. Ir. A. Zulfikar Syaiful, S.T., M.T

NIDN. 09-1802-6902

**SURAT PERNYATAAN  
KEASLIAN DAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sari Andira Tahir

NIM : 4518044023

Program Studi : Teknik Kimia

Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Natrium Bikarbonat dari Natrium Karbonat dan Karbon Dioksida dengan Kapasitas 115.000 Ton/Tahun

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tugas akhir yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacuh dalam naskah dan disebut dalam daftar pustaka.
2. Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya tidak keberatan apabila Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa menyimpan, mengalihmediakan dan menginformasikan, mengelola dalam bentuk *database*, mendistribusikan dan menampilkan untuk kepentingan akademik.
3. Bersedia dan menjamin untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa dari semua tuntutan hukum yang timbul atau pelanggaran hak cipta dalam tugas akhir ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, 28 Februari 2023

Pembuat Pernyataan



Sari Andira Tahir

4518044023

## KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah subhana wa Ta'ala, kita memuji, meminta pertolongan dan memohon pengampunan kepadaNya, dan kita berlindung kepada Allah subhana wa Ta'ala dari keburukan diri dan kejahatan amal perbuatan kita. Kita bersaksi bahwa tidak ada ilah yang berhak di ibadahi dengan haq kecuali Allah subhaana wa Ta'ala, dan kita bersaksi bahwa muhammad shalallahu 'alaihi wa sallam itu rasulNya. Puji syukur tak henti-hentinya penulis panjatkan kepada Allah subhanallahu wa tatas segala karunia-Nya sehingga penyusunan tugas akhir yang berjudul "Pra Rancangan Pabrik Natrium Bikarbonat dari Natrium Karbonat dan Karbon Dioksida dengan Kapasitas 115.000 Ton/Tahun" dapat terselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Tidak dapat dipungkiri bahwa selama penyusunan tidak terlepas dari partisipasi beberapa pihak terkait yang telah mendukung penulis secara penuh. Maka dari itu, penulis merasa wajib menyampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada mereka secara khusus sebagai berikut :

1. Kedua orangtua tercinta, Ayahanda Muhammad Tahir dan Ibunda Siti Fatimah, orangtua hebat yang selalu mendidik penulis dengan sabar, senantiasa berusaha memberikan yang terbaik untuk penulis, dan doa tulus yang tak henti-hentinya mereka panjatkan untuk penulis. Segala ridho dan dukungan keduanya menjadi motivasi terbesar penulis hingga memperoleh gelar ini. Serta Terima kasih untuk keluarga besar penulis dari keduanya yang memberikan semangat dan doa untuk penulis dalam menyelesaikan studi dan meraih cita-cita.
2. Saudara penulis yakni kakakku tersayang Helnida Adriani Tahir, S.Pt yang menjadi salah satu teladan bagi penulis, selalu sabar memberikan arahan serta dukungan selama perkuliahan. Terima kasih untuk adik-adikku tersayang Astriani Tahir dan Nurwafiah Tahir telah memberikan dukungan terbaik untuk penulis dan juga kepada Kak Awaluddin Hasan, S.STP., M.A.P
3. Yayasan Aksa Mahmud terkhusus kepada Ibu Melinda Aksa yang telah memberikan beasiswa pembebasan biaya semester kepada penulis selama delapan semester.

4. Bapak Dr. Ir. A. Zulfikar Syaiful, S.T., M.T selaku Kaprodi Teknik Kimia Universitas Bosowa, beserta dosen-dosen pengajar, dan juga staf prodi Teknik Kimia Universitas Bosowa.
5. Bapak Dr. Ridwan, S.T., M.Si selaku Pembimbing 1 dan Bapak Al Gazali, S.T., M.T selaku Pembimbing 2 yang telah membimbing penulis dari awal hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Bapak Dr. Ir. A. Zulfikar Syaiful, S.T., M.T dan M.Tang, S.T., M.Pkim selaku penguji yang telah memberikan arahan dan saran dalam proses perbaikan tugas akhir ini.
7. Bapak Al Gazali, S.T., M.T dan Ibu Dr. Ir. Sri Firmiaty, MP, terima kasih atas segala ilmu, pengalaman, motivasi, dan nasihat yang selama ini diberikan untuk penulis.
8. Teman-temanku RM : Nur Rifkatul Hikmayani, S,T; Evelyn Stacy Pabeo, S.T; Nurul Salama, S.T; Desi Ramadani, S.T; Irpan Ramadhan, S.T; dan Aryawira Sese Tritama Calon S.T. Teman-teman setia yang kebersamaan penulis dalam suka dan duka selama menjalani masa perkuliahan hingga gelar ini bisa kita raih bersama. Selamat ber-ST juga dan see you on top guys.
9. Kakanda Maulana Ishaq, S.T, Ayunda Humahera Yanti, S.T, dan Ayunda Hariyani, S.T yang selalu siap mendengar keluh kesah penulis selama revisi tugas akhir dan senantiasa memberikan arahan dan bantuannya jika penulis merasa kesulitan.
10. Teman-teman seperjuangan Argon 18 dan Keluarga Besar Himatek FT-Unibos yang tidak dapat penulis masukkan namanya satu per satu. Terima kasih atas kebersamaan dan dukungan selama perkuliahan.
11. Keluarga Besar UKM Litimasi Universitas Bosowa, terima kasih karena menjadi ruang bagi penulis dalam berkarya dan berprestasi. Terkhusus penulis ucapkan terima kasih kepada Kakanda Renal, S.Pi; Sulthon Kharomaeni Romdhani, S.T; dan Muhammad Abith Nuary, S.TP atas segala bantuan, semangat, dan nasihat bagi penulis.
12. Teman-teman dan kakak Forum Studi Darul Ilmi dan LDK Al-Furqan Universitas Bosowa. Terima kasih atas segala kesabaran dan perhatian untuk penulis yang senantiasa mengingatkan tentang amar ma'ruf nahi mungkar.

13. Sahabat setia penulis, Nur Azizah Idris, S.E yang menjadi saksi di setiap kisah penulis, selalu siap mendengar cerita apapun dari penulis. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan penulis sejak 2013. Tetaplah kebersamai penulis hingga nanti.
14. Sahabat sholehahku yaitu Agustina Syarif, terima kasih atas nasihat, ajakan kebaikan, serta doa untuk penulis dalam menyelesaikan studi.
15. Sobat Receh penulis sejak MTs yaitu Nur Azizah Idris, S.E; Asruddin Machmud, S.T; Andi Indah Ayu Lestari, S.Kom; Nurul Rahmadani Askha, dan Arifah Amin. Terima kasih selalu memberikan semangat dan doa untuk penulis dalam menyelesaikan studi.
16. Teman-teman SMA yaitu Yusmarliana Usman, S.E; Nitya Kusumayanti, S.Farm; Andi Nurul Zakyah Parenrengi, S.Farm; A.Nurul Aulia Arsyad; Fitriani; dan Ba'id Aiziyah. Terima kasih atas segala dukungan dan senantiasa semangat untuk penulis.
17. Sobat Arsiku yaitu Santi Listiawati, S.Ars dan Adinda Fatimah Deatri Calon S.Ars. Sobat PKMku yaitu Mitra Mandasari, S.Pi. Sobat Psikologku yaitu Gifhany Umar. Terima kasih atas keramahan, setiap semangat dan doa untuk penulis selama penyusunan tugas akhir.
18. Teman-teman KKN Angkatan 52 Posko 2 Dusun Salessa yang tidak dapat penulis masukkan namanya satu per satu. Pertemanan yang tak kusangka bisa bertemu dengan orang-orang baik dari berbagai jurusan. Terima kasih atas kebersamaan dan pengalaman selama ber-KKN, menjadi salah satu kisah di masa akhir menjadi mahasiswa.
19. Semua pihak yang telah membantu dan memudahkan urusan penulis dari awal menempuh perkuliahan hingga dalam penyusunan tugas akhir.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Walaupun dengan keterbatasan yang ada dalam tugas akhir ini, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Makassar, 28 Februari 2023

Sari Andira Tahir

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
SURAT PERNYATAAN.....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
INTI SARI.....	xi
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik.....	1
1.2 Penentuan Kapasitas Produksi Pabrik .....	2
1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik.....	5
BAB II. URAIAN PROSES.....	7
2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku .....	7
2.2 Tahap Reaksi .....	7
2.3 Tahap Pemurnian.....	8
2.4 Diagram Alir Kualitatif.....	9
2.5 Diagram Alir Kuantitatif.....	10
BAB III. SPESIFIKASI BAHAN.....	11
3.1 Spesifikasi Bahan Baku .....	11
3.2 Spesifikasi Produk .....	12
BAB IV. NERACA MASSA .....	13
4.1 Neraca Massa Setiap Alat.....	13
4.2 Neraca Massa Total .....	16
BAB V. NERACA PANAS .....	18
5.1 Tangki Pelarutan.....	18
5.2 Compressor Gas $CO_2$ .....	18
5.3 Cooler .....	19
5.4 Reaktor.....	19
5.5 Rotary Drum Vacuum Filter.....	20
5.6 Rotary Dryer .....	20

5.7	<i>Heater</i> .....	20
<b>BAB VI. SPESIFIKASI ALAT</b> .....		21
6.1	Gudang Bahan Baku .....	21
6.2	Belt Conveyor I.....	21
6.3	Bucket Elevator I.....	22
6.4	Bin Natrium Karbonat .....	22
6.5	Belt Conveyor II .....	23
6.6	Tangki Pelarutan.....	23
6.7	Pompa Larutan Natrium Karbonat.....	24
6.8	Storage Gas Karbon Dioksida .....	25
6.9	Kompresor Gas CO <sub>2</sub> .....	25
6.10	Cooler .....	25
6.11	Reaktor.....	26
6.12	Tangki Produk Reaktor.....	27
6.13	Pompa Produk Reaktor .....	27
6.14	Rotary Drum Vacuum Filter.....	28
6.15	Tangki Filtrat .....	28
6.16	Screw Conveyor.....	29
6.17	Blower.....	29
6.18	Rotary Dryer .....	29
6.19	Air Heater .....	30
6.20	Air Filter .....	30
6.21	Belt Conveyor III.....	31
6.22	Bucket Elevator II.....	31
6.23	Bin Produk Natrium Bikarbonat.....	32
<b>BAB VII. UTILITAS</b> .....		33
7.1	Unit Penyediaan Steam.....	33
7.2	Unit Penyediaan Air .....	34
7.3	Unit Penyediaan Listrik .....	43
<b>BAB VIII. LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK</b> .....		48
8.1	Lokasi Pabrik.....	48
8.2	Tata Letak Pabrik.....	50



8.3	Tata Letak Alat Proses.....	53
<b>BAB IX. STRUKTUR ORGANISASI DAN MANAJEMEN PERUSAHAAN .</b>		<b>57</b>
9.1	Bentuk perusahaan.....	57
9.2	Struktur Organisasi perusahaan .....	58
9.3	Tugas dan Tanggungjawab .....	59
9.4	Status karyawan dan sistem upah .....	63
9.5	Sistem jam kerja .....	63
9.6	Fasilitas bagi karyawan.....	65
9.7	Pengelompokkan dan jumlah karyawan .....	65
<b>BAB X. ANALISIS EKONOMI .....</b>		<b>68</b>
10.1	Perkiraan Harga Alat .....	68
10.2	Total Capital Investment.....	69
10.3	Perkiraan Biaya Produksi .....	71
10.4	Total Penjualan .....	72
10.5	Perkiraan Laba Usaha .....	73
10.6	Analisa Kelayakan .....	73
<b>BAB XI. KESIMPULAN.....</b>		<b>76</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>77</b>
<b>LAMPIRAN A. NERACA MASSA.....</b>		<b>79</b>
<b>LAMPIRAN B. NERACA PANAS.....</b>		<b>90</b>
<b>LAMPIRAN C. SPESIFIKASI ALAT .....</b>		<b>119</b>
<b>LAMPIRAN D. UTILITAS .....</b>		<b>201</b>
<b>LAMPIRAN E. ANALISIS EKONOMI .....</b>		<b>265</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Data Impor Natrium Bikarbonat di Indonesia .....	2
Gambar 1. 2 Grafik Data Ekspor Natrium Bikarbonat di Indonesia.....	3
Gambar 1. 3 Lokasi Pabrik Natrium Bikarbonat .....	5
Gambar 2. 1 Diagram Alir Kualitatif Pabrik Natrium Bikarbonat.....	9
Gambar 2. 2 Diagram Alir Kuantitatif Pabrik Natrium Bikarbonat.....	10
Gambar 7. 1 Flowsheet Water Treatment Pabrik Natrium Bikarbonat.....	47
Gambar 8. 1 Tata Letak Pabrik .....	55
Gambar 8. 2 Tata Letak Alat Proses .....	56
Gambar 9. 1 Struktur Organisasi.....	67
Gambar 10. 1 Grafik BEP dan SDP Pabrik Natrium Bikarbonat dengan Kapasitas 115.000 Ton/Tahun.....	75

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Impor dan Ekspor Natrium Bikarbonat di Indonesia 2017-2021 ..	2
Tabel 1. 2 Pertumbuhan Rata-Rata Natrium Bikarbonat di Indonesia.....	3
Tabel 4. 1 Neraca Massa Tangki Pelarutan.....	13
Tabel 4. 2 Neraca Massa Reaktor .....	14
Tabel 4. 3 Neraca Massa Rotary Drum Vacuum Filter.....	14
Tabel 4. 4 Neraca Massa Rotary Dryer.....	15
Tabel 4. 5 Neraca Massa Total.....	16
Tabel 5. 1 Neraca Panas Tangki pelarutan.....	18
Tabel 5. 2 Neraca Panas Compressor Gas CO2.....	18
Tabel 5. 3 Neraca Panas Cooler .....	19
Tabel 5. 4 Neraca Panas Reaktor .....	19
Tabel 5. 5 Neraca Panas Rotary Drum Vacuum Filter.....	20
Tabel 5. 6 Neraca Panas Rotary Dryer.....	20
Tabel 5. 7 Neraca Panas Heater .....	20
Tabel 7. 1 Kebutuhan Steam .....	33
Tabel 7. 2 Kebutuhan Air Pendingin.....	34
Tabel 7. 3 Kebutuhan Air Proses .....	35
Tabel 7. 4 Kebutuhan Air Sanitasi .....	35
Tabel 7. 5 Spesifikasi Pompa Air.....	37
Tabel 7. 6 Kebutuhan Tenaga Listrik untuk Peralatan proses .....	43
Tabel 7. 7 Kebutuhan Tenaga Listrik untuk Peralatan Proses .....	44
Tabel 8. 1 Daftar Bangunan dan Luas Bangunan .....	54
Tabel 9. 1 Pengaturan Shift Kerja Karyawan.....	64
Tabel 9. 2 Jumlah karyawan dan Gaji Karyawan .....	66

## INTI SARI

Natrium Bikarbonat adalah senyawa kimia yang termasuk dalam kelompok garam dengan rumus kimia  $\text{NaHCO}_3$  yang sering ditemui di sektor industri farmasi, makanan, dan kosmetik. Berdasarkan data dari BPS (Badan Pusat Statistik Indonesia), kebutuhan Natrium Bikarbonat cukup tinggi yaitu rata-rata nilai impor natrium bikarbonat sebesar 106.618 ton/tahun dan rata-rata nilai ekspor natrium bikarbonat sebesar 54,87 ton/tahun. Pra Rancangan Pabrik Natrium Bikarbonat dengan kapasitas 115.000 ton/tahun yang direncanakan akan didirikan di Kawasan Industri JIPE, Gresik, Jawa Timur dengan luas tanah 16.776,2 m<sup>2</sup>. Pabrik tersebut menghasilkan produk 14.520,20 kg/jam yang beroperasi selama 330 hari efektif setiap tahun dan 24 jam/hari dengan jumlah tenaga kerja sebanyak 155 orang.

Proses pembuatan Natrium Bikarbonat atau *baking soda* dibuat dari Natrium Karbonat dan Karbon Dioksida yang melewati 3 tahap yaitu: (1) Persiapan Bahan Baku, (2) Proses pembentukan natrium bikarbonat dilakukan dengan mereaksikan larutan natrium karbonat jenuh dengan gas karbon dioksida, dan (3) Tahap pemurnian. Ditinjau dari segi ekonomi, pabrik tersebut membutuhkan Fixed Capital Rp 464.306.714.644 dan Working Capital Rp 103.179.269.921 Analisis ekonomi pabrik tersebut menunjukkan nilai ROI sebelum pajak sebesar 52,83% dan ROI sesudah pajak sebesar 34,34 %. Nilai POT sebelum pajak adalah 1,59 tahun dan POT sesudah pajak adalah 2,26 tahun. BEP sebesar 43,3% kapasitas produksi dan SDP sebesar 30,1% kapasitas produksi. Nilai DCF sebesar 30,34%. Berdasarkan data analisis ekonomi tersebut, maka pabrik Natrium Bikarbonat dari Natrium Karbonat dan Karbon Dioksida layak untuk dikaji lebih lanjut.

**Kata Kunci : Natrium Bikarbonat, Natrium Karbonat, Karbon Dioksida,  
Pra Rancangan**

## BAB I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Sektor industri adalah salah satu mesin penggerak utama (*prime mover*) pertumbuhan ekonomi nasional. Pembangunan dalam sektor industri dengan menerapkan prinsip-prinsip *sustainable development goals* atau tujuan pembangunan berkelanjutan. Prinsip-prinsip tersebut tentunya diharapkan dapat meningkatkan daya saing industri sampai tahap internasional. Kemajuan suatu negara dapat dilihat dari kualitas dan kuantitas industri yang ada dalam negara tersebut. Menteri Perindustrian, Airlangga Hartarto ([kemenperin.go.id](http://kemenperin.go.id), 2021) mengungkapkan bahwa industri kimia di Indonesia menjadi salah satu dari lima sektor manufaktur yang sedang mendapatkan prioritas pengembangan agar siap mengimplementasikan industri 4.0. Kondisi industri di Indonesia mulai dari industri pertambangan, manufaktur, konstruksi, kimia, dan lainnya saat ini masih bergantung pada impor. Indonesia masih banyak melakukan impor bahan baku maupun produk industri dari luar negeri. Salah satu contoh dalam industri kimia yaitu natrium bikarbonat.

Natrium bikarbonat atau natrium hidrogen karbonat adalah senyawa kimia yang termasuk dalam kelompok garam dengan rumus kimia  $\text{NaHCO}_3$  dan berat molekul 84 gr/mol. Natrium bikarbonat dikenal di pasaran dengan nama lain *baking soda*. Natrium bikarbonat dapat terurai menjadi natrium karbonat dan karbon dioksida melalui proses pemanasan. Senyawa ini mudah larut dalam air dan biasanya berupa kristal yang sering terdapat dalam bentuk serbuk. Bahan kimia ini digunakan di berbagai macam industri seperti makanan, farmasi, kosmetik, tekstil, dan pembersih.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Indonesia dari tahun 2017 hingga tahun 2021, rata-rata nilai impor natrium bikarbonat sebesar 106.618 ton/tahun dan rata-rata nilai ekspor natrium bikarbonat sebesar 54,87 ton/tahun. Dengan alasan tersebut, diperlukan adanya pembangunan pabrik natrium bikarbonat sebaagai upaya untuk meminimalisir kegiatan impor dan meningkatkan pendapatan negara dengan melakukan ekspor.

## 1.2 Penentuan Kapasitas Produksi Pabrik

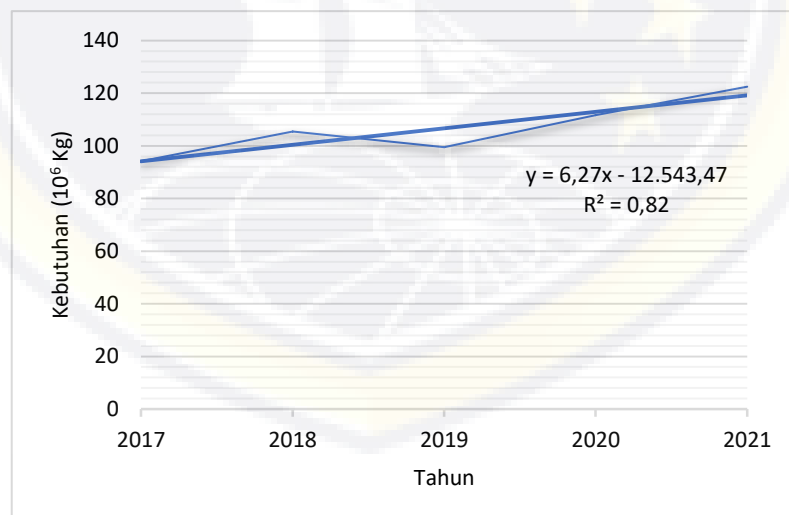
Kapasitas produksi adalah jumlah maksimum *output* yang dapat diproduksi atau dihasilkan dalam satuan waktu tertentu. Penentuan kapasitas pabrik akan berpengaruh pada aspek teknis dan ekonomis. Penentuan kapasitas produksi suatu pabrik disesuaikan dengan permintaan produk. Hal ini bertujuan agar dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri sehingga mengurangi impor. Berikut data lengkap ekspor dan impor natrium bikarbonat di Indonesia dari tahun 2017 hingga tahun 2021.

Tabel 1. 1 Data Impor dan Ekspor Natrium Bikarbonat di Indonesia 2017-2021

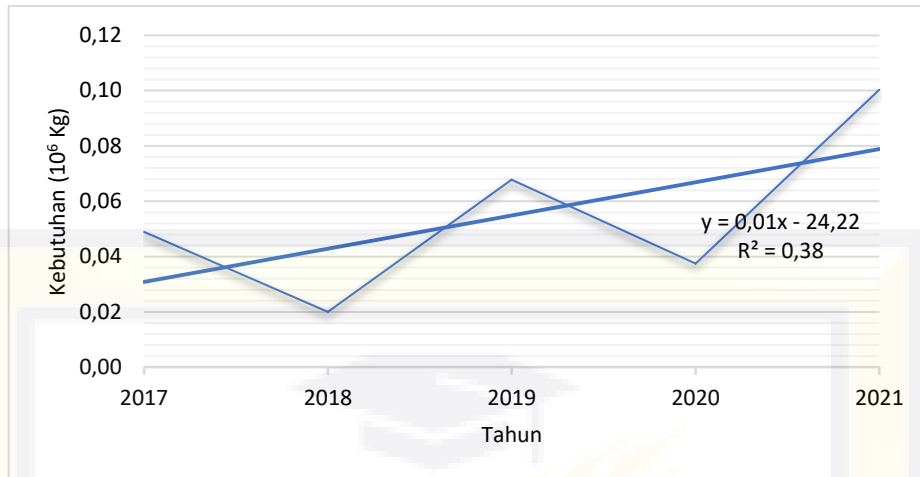
Tahun	Impor (Kg)	Ekspor (Kg)
2017	94.160.934,00	48.888,96
2018	105.430.352,00	19.977,60
2019	99.488.239,00	67.756,08
2020	111.609.077,00	37.435,00
2021	122.399.185,00	100.283,80
<b>Rata-Rata</b>	<b>106.617.557,40</b>	<b>54.868,29</b>

Sumber : Badan Pusat Statistik, 2022

Berikut grafik data ekspor dan impor di Indonesia tahun 2017-2021



Gambar 1. 1 Grafik Data Impor Natrium Bikarbonat di Indonesia



Gambar 1. 2 Grafik Data Ekspor Natrium Bikarbonat di Indonesia

Berdasarkan grafik data impor dan ekspor natrium bikarbonat tersebut didapatkan  $R < 0,9$  maka metode integrasi linear tidak dapat diterapkan dalam penentuan kapasitas pabrik natrium bikarbonat. Oleh karena itu digunakan metode pertumbuhan rata-rata per tahun untuk menentukan kapasitas pabrik natrium bikarbonat.

Tabel 1. 2 Pertumbuhan Rata-Rata Natrium Bikarbonat di Indonesia

Tahun	Impor (Kg)	Pertumbuhan Impor (%)	Ekspor (kg)	Pertumbuhan Ekspor (%)
2017	94.160.934,00	-	48.888,96	-
2018	105.430.352,00	0,12	19.977,60	-0,59
2019	99.488.239,00	-0,06	67.756,08	2,39
2020	111.609.077,00	0,12	37.435,00	-0,45
2021	122.399.185,00	0,10	100.283,80	1,68
<b>Rata-Rata</b>	<b>106.617.557,40</b>	<b>0,070</b>	<b>54.868,29</b>	<b>0,76</b>

Berdasarkan data pertumbuhan rata-rata per tahun impor natrium bikarbonat tersebut, dapat dihitung perkiraan nilai impor natrium bikarbonat di Indonesia Tahun 2027 sebagai berikut, menggunakan persamaan :

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

Keterangan :

M : Perkiraan impor/ekspor produk pada tahun 2027 (kg/tahun)

Po : Nilai impor/ekspor produk pada tahun 2021 (kg)

I : Rata-rata pertumbuhan impor/ekspor produk per tahun (%)

N : Selisih tahun (2027-2021) = 6 Tahun

Berdasarkan Tabel 1.2 diketahui pertumbuhan rata-rata  $i = 0,070$ .

$$\begin{aligned}M_I &= P_o (1 + i)^n \\&= 122.399.185 (1 + 0,070)^6 \\&= 122.399.185 (1,070)^6 \\&= 184.160.307,73 \text{ kg/tahun} \\&= 184.160,31 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 1.2 diketahui pertumbuhan rata-rata  $i = 0,76$ .

$$\begin{aligned}M_E &= P_o (1 + i)^n \\&= 100.283,80 (1 + 0,76)^6 \\&= 100.283,80 (1,76)^6 \\&= 2.959.369,78 \text{ kg/tahun} \\&= 2.959,37 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Maka kapasitas pabrik baru dapat dihitung :

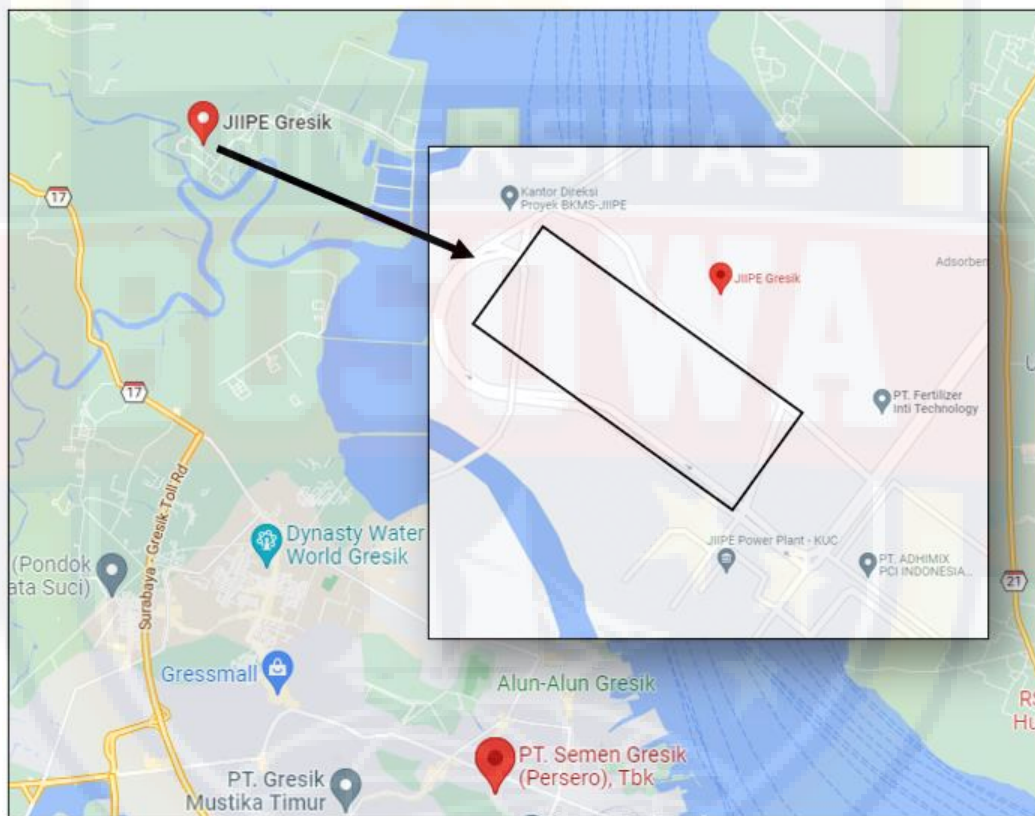
$$\begin{aligned}\text{Kapasitas Pabrik (M)} &= 60\% (M_I + M_E) \\&= 60\% (184.160,31 + 2.959,37) \\&= 112.271,81 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan didapatkan 112.271,81 ton/tahun. Berdasarkan hasil perhitungan dan beberapa aspek lainnya ditetapkan kapasitas pabrik Natrium Bikarbonat yang akan didirikan pada tahun 2027 sebesar 115.000 ton/tahun.



### 1.3 Pemilihan Lokasi Pabrik

Lokasi pabrik merupakan hal utama dalam merencanakan pendirian suatu pabrik. Pemilihan lokasi pabrik akan menentukan keberhasilan dan kelangsungan hidup perusahaan. Berbagai pertimbangan dalam menentukan lokasi pabrik meliputi kemudahan memperoleh bahan baku dan bahan pembantu, pasar penunjang, tenaga kerja, kondisi sosial dan ekonomi masyarakat, serta tersedianya ruang untuk perluasan pabrik. Oleh karena itu, berdasarkan hasil pertimbangan maka pabrik natrium bikarbonat akan didirikan di Kawasan Industri JIPE (Java Integrated Industrial and Port Estate) di Jalan Raya Manyar KM. 11 Manyarejo, Manyarsidorukun, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Timur.



Gambar 1. 3 Lokasi Pabrik Natrium Bikarbonat

Pemilihan lokasi di Kawasan industry JIPE (Java Integrated Industrial and Port Estate) didasarkan pada berbagai pertimbangan sebagai berikut:

#### 1.3.1 Sumber Bahan Baku

Bahan baku utama pabrik natrium bikarbonat adalah natrium karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ). Natrium karbonat didapatkan dengan mengimpor dari China karena pabrik natrium karbonat belum ada di Indonesia.

Selain itu, China adalah salah satu negara dengan produksi natrium karbonat yang tinggi yaitu 8.808.116,862 ton/tahun (Handoko, 2016). Ketersediaan Pelabuhan di Kawasan JIPE memudahkan dalam mengakses bahan baku. Adapun untuk karbon dioksida didapatkan dari PT. Semen Gresik yang memproduksi karbon dioksida dengan kapasitas 130.000 ton/tahun (Media Indonesia, 2018). Jarak sumber bahan baku karbon dioksida yang dekat dengan Kawasan JIPE dapat menghemat biaya transportasi.

### **1.3.2 Pemasaran**

Pemasaran adalah suatu faktor utama dalam mendirikan suatu pabrik. Keuntungan perusahaan didasarkan dari keberhasilan pemasaran. Kawasan JIPE (Java Integrated Industrial and Port Estate) dilengkapi dengan fasilitas pelabuhan yang memadai. Kemudahan akses pelabuhan akan sejalan dengan kegiatan pemasaran. Oleh karena itu, pendistribusian produk dapat menjangkau ke berbagai wilayah di dalam negeri maupun luar negeri.

### **1.3.3 Tenaga Kerja**

Kualitas dan kuantitas tenaga kerja dapat mempengaruhi pencapaian suatu perusahaan. Jumlah SDM berkualitas di Gresik maupun orang-orang yang banyak berdatangan dari berbagai daerah terbilang banyak. Pengangguran dari kalangan sarjana pun dapat diserap sehingga mengurangi jumlah pengangguran.

### **1.3.4 Utilitas**

Unit utilitas adalah unit penunjang pabrik yang meliputi ketersediaan air, listrik, dan steam. Berbagai kemudahan yang didapatkan di kawasan tersebut menunjang peningkatan efisiensi dan efektivitas pabrik natrium bikarbonat yang akan didirikan.

### **1.3.5 Kondisi daerah**

Gresik adalah daerah beriklim tropis dengan temperature  $28,5^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban udara rata-rata 75%. Tingkat curah hujan yang rendah menjadikan Gresik sebagai wilayah yang potensial untuk dijadikan sebagai lokasi industri. Kawasan JIPE berada di daerah dengan resiko bencana alam yang rendah seperti banjir, tanah longsor, dan gempa bumi (jiipe.com, 2022).

## BAB II. URAIAN PROSES

### 2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku pembuatan natrium bikarbonat adalah natrium karbonat dan karbon dioksida. Padatan natrium karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) yang disimpan pada gudang bahan baku ( $T = 30^\circ\text{C}$ ,  $P = 1 \text{ atm}$ ). Padatan tersebut dipindahkan ke *Bin* natrium karbonat dengan menggunakan *Belt Conveyor* dan *Bucket Elevator*. Selanjutnya diumpankan ke tangki pelarutan untuk membuat larutan natrium karbonat jenuh dengan cara melarutkannya di dalam air. Larutan natrium karbonat jenuh dipanaskan dengan *coil* pemanas yang ada di dalam tangki pelarutan. Pemanasan dilakukan hingga mencapai suhu  $40^\circ\text{C}$ . Kemudian larutan natrium karbonat jenuh diumpankan ke reaktor dengan bantuan pompa.

Gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang disimpan pada tangki bahan baku gas ( $T=30^\circ\text{C}$ ,  $P=9,87 \text{ atm}$ ). Gas karbon dioksida diumpankan ke reaktor. Sebelum masuk ke reaktor, gas karbon dioksida dialirkan dengan menggunakan *compressor*. Hal ini dilakukan untuk dinaikkan tekanannya hingga  $28,5 \text{ atm}$ . Selanjutnya gas karbon dioksida diturunkan temperaturnya hingga mencapai  $40^\circ\text{C}$  sebelum masuk ke dalam reaktor.

### 2.2 Tahap Reaksi

Proses pembentukan natrium bikarbonat dilakukan dengan mereaksikan larutan natrium karbonat jenuh dengan gas karbon dioksida. Reaksi tersebut berlangsung di dalam reaktor dengan tipe reaktor gelembung. Adapun kondisi reaktor dengan temperature isothermal  $40^\circ\text{C}$  dan tekanan  $28 \text{ atm}$ . Konversi produk yang dihasilkan dari reaktan sebanyak  $97\%$ . Berikut persamaan reaksi yang terjadi di dalam reaktor:



Larutan karbonat jenuh diumpankan ke dalam reaktor dari bagian atas reaktor. Adapun gas karbon dioksida dimasukkan dari bagian bawah reaktor melewati plat berlubang. Plat tersebut digunakan untuk menggelembungkan gas karbon dioksida ke dalam larutan natrium karbonat jenuh. Reaksi yang terjadi bersifat eksotermis. Oleh karena itu, dibutuhkan air sebagai pendingin yang dilewatkan pada jaket reaktor. Produk natrium bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ), air dan

reaktan natrium karbonat sisa reaksi dikeluarkan melalui bagian samping reaktor secara *overflow*. Gas karbon dioksida sisa reaksi dikeluarkan melalui bagian atas reaktor.

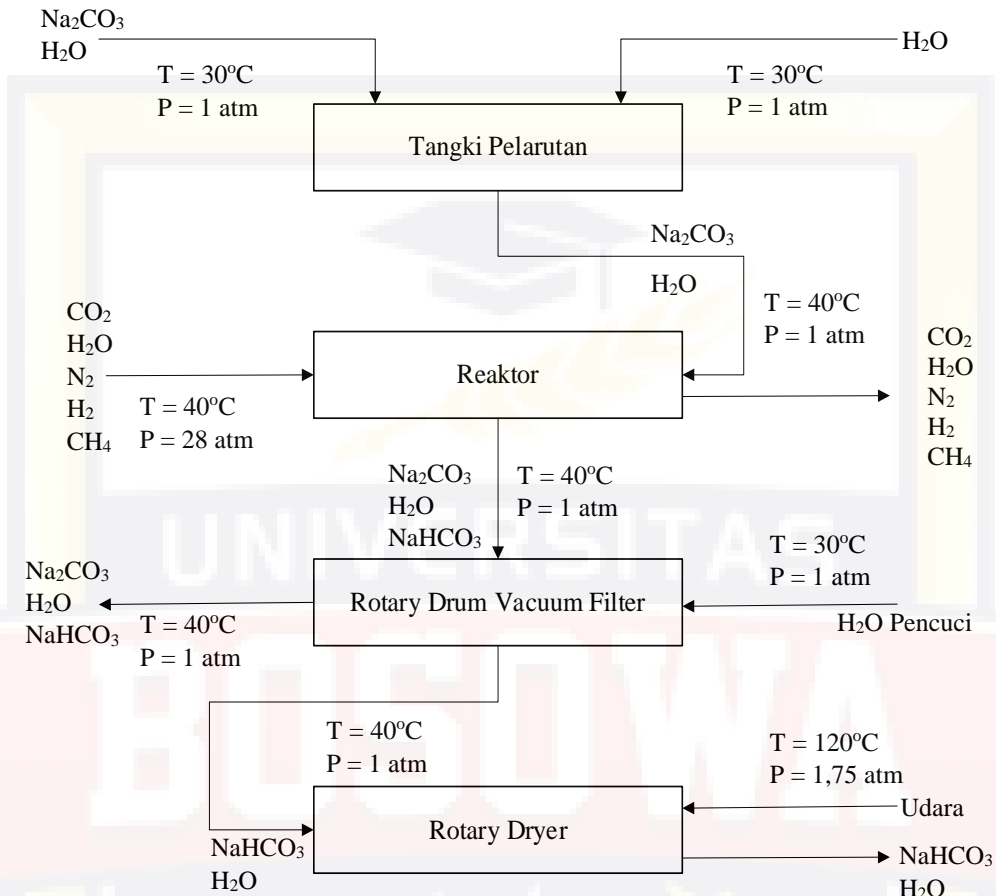
### 2.3 Tahap Pemurnian

$\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$  yang keluar dari reaktor melewati *expansion valve*. *Expansion valve* bertujuan untuk menurunkan tekanan cairan produk reaktor dan ditampung sementara pada tangki produk reaktor. Selanjutnya produk natrium bikarbonat dialirkan ke *Rotary Drum Vacuum Filter* dengan bantuan pompa. Hasil dari RDVF adalah produk natrium bikarbonat berupa *cake* dengan kadar air  $\pm 8\%$ . Produk tersebut kemudian dialirkan ke *rotary dryer* dengan menggunakan konveyor berupa *screw conveyor* dan hasil buangan cairan akan ditampung pada tangki *filtrat*.

Pengeringan dilakukan dengan metode pengeringan langsung. Pengeringan langsung yaitu pengeringan dengan udara panas dikontakkan langsung pada padatan basah natrium bikarbonat. Medium pengering digunakan udara panas dengan temperature  $120^\circ\text{C}$  yang sebelumnya dipanaskan pada *heater* udara. Hasil akhir pengeringan didapatkan produk natrium bikarbonat berupa serbuk/powder dengan kemurnian 99,9% (0,1%  $\text{H}_2\text{O}$ ). Produk natrium bikarbonat keluar dari *rotary dryer* dengan bantuan *belt conveyor* dan *bucket elevator*. Kemudian produk tersebut dipindahkan ke *bin* produk untuk dikemas.

## 2.4 Diagram Alir Kualitatif

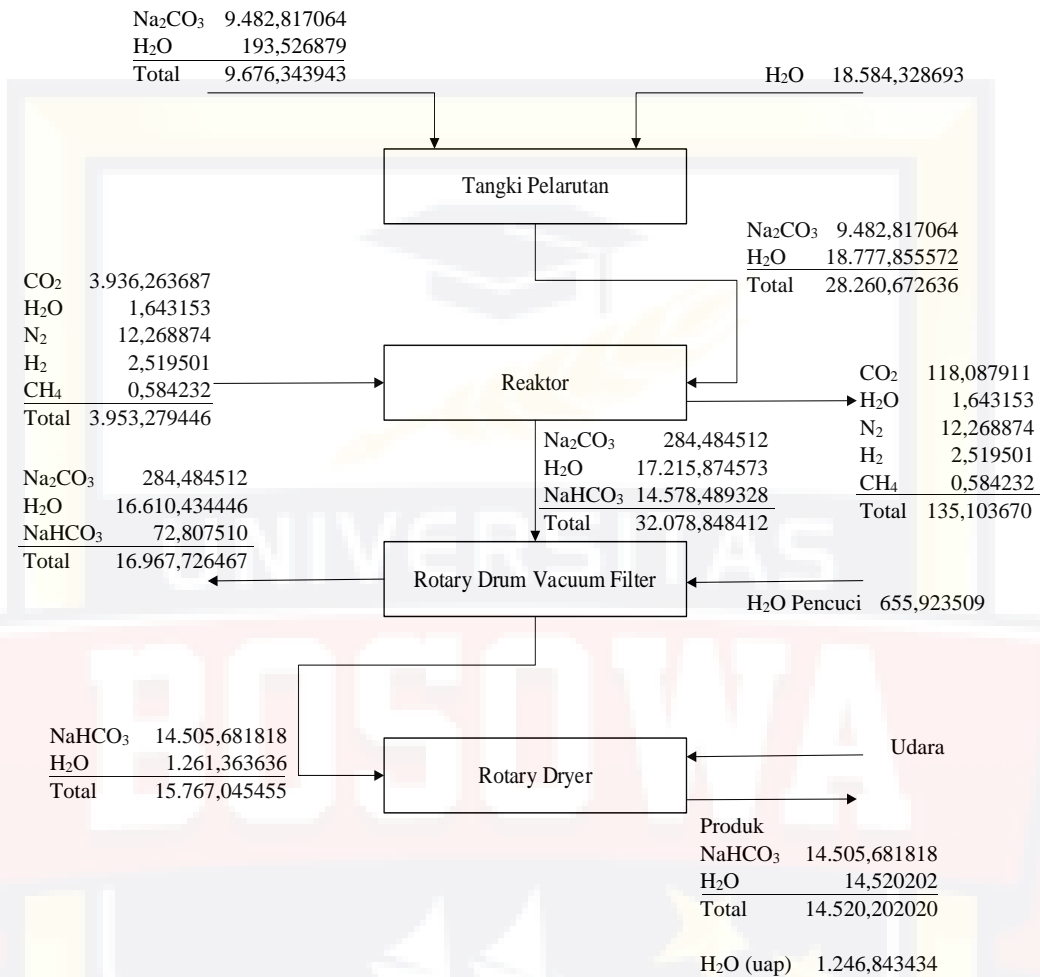
Diagram alir kualitatif dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 Diagram Alir Kualitatif Pabrik Natrium Bikarbonat

## 2.5 Diagram Alir Kuantitatif

Diagram alir kuantitatif dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 Diagram Alir Kuantitatif Pabrik Natrium Bikarbonat

## BAB III. SPESIFIKASI BAHAN

### 3.1 Spesifikasi Bahan Baku

#### 3.1.1 Natrium karbonat

Natrium karbonat merupakan serbuk berwarna putih dengan rumus molekul  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Kemurnian  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  yang digunakan sebagai bahan baku adalah 98% berat (2%  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Berikut sifat-sifat natrium karbonat :

Bentuk	= Serbuk
Warna	= Putih
Bau	= Tak Berbau
Rumus Molekul	= $\text{Na}_2\text{CO}_3$
Berat Molekul	= 106 gr/mol
Titik Lebur	= $854^\circ\text{C}$
Titik Didih	= $300^\circ\text{C}$ pada 1.013 hPa
Kelarutan ( $0^\circ\text{C}$ )	= 7,1 g/100 g $\text{H}_2\text{O}$
Kelarutan ( $100^\circ\text{C}$ )	= 485 g/100 g $\text{H}_2\text{O}$
Densitas ( $200^\circ\text{C}$ )	= $2,533 \text{ g/cm}^3$
Kelarutan dalam air	= 212,5 g/L pada $20^\circ\text{C}$

Sumber : PT. Smart Lab Indonesia, 2019

#### 3.1.2 Karbon dioksida

Karbon dioksida adalah gas yang tidak berwarna (*colorless gas*). Kemurnian gas  $\text{CO}_2$  yang digunakan sebagai bahan baku adalah 98%.

Sifat-sifat karbon dioksida sebagai berikut.

Bentuk	= Gas
Bau	= Tidak Berbau
Warna	= Tidak Berwarna
Rumus Molekil	= $\text{CO}_2$
Berat Molekul	= 44 gr/mol
Titik Didih	= $-56,57^\circ\text{C}$
Tekanan uap	= 830 psig

Tekanan kritis	= 73 atm
Kelarutan	= air, hidrokarbon, dan pelarut organik

Sumber : PT Molindo Inti Gas, 2021

### 3.1.3 Air

Rumus Molekul	= H <sub>2</sub> O
Berat Molekul	= 18 gr/mol
Warna	= Tidak Berwarna
Bentuk	= Cair (pada suhu kamar)
Spesifik Gravity	= 1 gr/cm <sup>3</sup>
Titik Leleh	= 0°C
Titik Didih	= 100°C
Temperatur Kritis	= 374,1°C
Tekanan Kritis	= 218,3 atm
Kelarutan	= Alkohol 95%

Sumber : LabChem, 2020

### 3.2 Spesifikasi Produk

Produk yang dihasilkan dari bahan baku tersebut adalah natrium bikarbonat. natrium bikarbonat adalah serbuk berwarna putih dengan rumus molekul NaHCO<sub>3</sub>. Kemurnian produk padatan NaHCO<sub>3</sub> yang dihasilkan adalah 99,9% berat (0,1% H<sub>2</sub>O).

Sifat-sifat natrium bikarbonat sebagai berikut.

Rumus Molekul	= NaHCO <sub>3</sub>
Berat Molekul	= 84 gr/mol
Warna	= Putih
Bentuk	= Serbuk atau <i>Powder</i>
Bau	= Tak Berbau
Spesifik Gravity	= 2,519 gr/cm <sup>3</sup>
Titik Leleh	= 270°C
Titik Didih	= 1390°C
Kelarutan dalam air	= 6.9 g/ 100 ml

Sumber : LabChem, 2019



## BAB IV. NERACA MASSA

Kapasitas = 115.000 ton/tahun

Satuan = kg/jam

Waktu Operasi = 330 hari/tahun

Rate Produksi = 14.520,202020 kg/jam

Berdasarkan perhitungan basis 100 kg/jam, didapatkan berat produk sebesar 150,058763. Maka dari itu, faktor pengali dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Faktor Pengali} &= \frac{\text{Rate Produksi}}{\text{Berat produk}} \\ &= \frac{14.520,202020 \text{ kg/jam}}{150,058763 \text{ kg/jam}} \\ &= 96,763439\end{aligned}$$

### 4.1 Neraca Massa Setiap Alat

#### 4.1.1 Tangki Pelarutan

Tabel 4. 1 Neraca Massa Tangki Pelarutan

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
	1	2	3
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9.482,817064	-	9.482,817064
H <sub>2</sub> O	193,526879	18.584,328693	18.777,855572
Total	<b>9.676,343943</b>	<b>18.584,328693</b>	<b>28.260,672636</b>
	<b>28.260,672636</b>		

#### 4.1.2 Reaktor

Tabel 4. 2 Neraca Massa Reaktor

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
	3	4	5	6
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9.482,817064	-	-	284,484512
H <sub>2</sub> O	18.777,855572	1,643153	1,643153	17.215,874573
CO <sub>2</sub>	-	3.936,263687	118,087911	-
N <sub>2</sub>	-	12,268874	12,268874	-
H <sub>2</sub>	-	2,519501	2,519501	-
CH <sub>4</sub>	-	0,584232	0,584232	-
NaHCO <sub>3</sub>	-	-	-	14.578,489328
<b>Total</b>	<b>28.260,672636</b>	<b>3.953,279446</b>	<b>135,103670</b>	<b>32.078,848412</b>
	<b>32.213,952083</b>		<b>32.213,952083</b>	

#### 4.1.3 Rotary Drum Vacuum Filter

Tabel 4. 3 Neraca Massa Rotary Drum Vacuum Filter

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
	6	7	8	9
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	284,484512	-	284,484512	-
H <sub>2</sub> O	17.215,874573	655,923509	16.610,434446	1.261,363636
NaHCO <sub>3</sub>	14.578,489328	-	72,807510	14.505,681818
<b>Total</b>	<b>32.078,848412</b>	<b>655,923509</b>	<b>16.967,726467</b>	<b>15.767,045455</b>
	<b>32.734,771922</b>		<b>32.734,771922</b>	

#### 4.1.4 Rotary Dryer

Tabel 4. 4 Neraca Massa Rotary Dryer

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)	
	9	10	11	12
NaHCO <sub>3</sub>	14.505,681818		-	14.505,681818
H <sub>2</sub> O	1.261,363636		1.246,843434	14,520202
Udara		58.382,905897	58.382,905897	
<b>Total</b>	<b>15.767,045455</b>	<b>58.382,905897</b>	<b>59.629,749331</b>	<b>14.520,202020</b>
	<b>74.149,951352</b>		<b>74.149,951352</b>	



## 4.2 Neraca Massa Total

Tabel 4. 5 Neraca Massa Total

Komponen	Laju Alir Massa (kg/jam)					
	1	2	3	4	5	6
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9.482,817064		9.482,817064			284,484512
H <sub>2</sub> O	193,526879	18.584,328693	18.777,855572	1,643153	1,643153	17.215,874573
CO <sub>2</sub>				3.936,263687	118,087911	
N <sub>2</sub>				12,268874	12,268874	
H <sub>2</sub>				2,519501	2,519501	
CH <sub>4</sub>				0,584232	0,584232	
NaHCO <sub>3</sub>						14.578,489328
Udara						
<b>Total</b>	<b>9.676,343943</b>	<b>18.584,328693</b>	<b>28.260,672636</b>	<b>3.953,279446</b>	<b>135,103670</b>	<b>32.078,848412</b>

Komponen	Laju Alir Massa (kg/jam)					
	7	8	9	10	11	12
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		284,484512				
H <sub>2</sub> O	655,923509	16.610,434446	1.261,363636		1.246,843434	14,520202
CO <sub>2</sub>						
N <sub>2</sub>						
H <sub>2</sub>						
CH <sub>4</sub>						
NaHCO <sub>3</sub>		72,807510	14.505,681818			14.505,681818
Udara				58.382,905897	58.382,905897	
<b>Total</b>	<b>655,923509</b>	<b>16.967,726467</b>	<b>15.767,045455</b>	<b>58.382,905897</b>	<b>59.629,749331</b>	<b>14.520,202020</b>

## BAB V. NERACA PANAS

### 5.1 Tangki Pelarutan

Tabel 5. 1 Neraca Panas Tangki pelarutan

Komponen	Masuk (kkal)	Keluar (kkal)
Q Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (s)	12.925,079658	38.775,238974
Q H <sub>2</sub> O (s)	968,116172	93.936,024649
Q H <sub>2</sub> O (l)	92.967,908476	
Q Pelarutan		498.295,198549
Q Steam	524.145,357865	
<b>Total</b>	<b>631.006,462172</b>	<b>631.006,462172</b>

### 5.2 Compressor Gas CO<sub>2</sub>

Tabel 5. 2 Neraca Panas Compressor Gas CO<sub>2</sub>

Komponen	Masuk (kkal)	Keluar (kkal)
Q CO <sub>2</sub> (g)	3.996,992451	75.243,974469
Q H <sub>2</sub> O (g)	3,733589	67,656323
Q N <sub>2</sub> (g)	15,200363	274,360700
Q H <sub>2</sub> (g)	43,435441	782,604146
Q CH <sub>4</sub> (g)	1,551121	29,793202
Q Kompresi	72.337,475875	
<b>Total</b>	<b>76.398,388841</b>	<b>76.398,388841</b>

### 5.3 Cooler

Tabel 5. 3 Neraca Panas Cooler

Komponen	Masuk (kkal)	Keluar (kkal)
Q CO <sub>2</sub> (g)	75.243,974469	12.058,188049
Q H <sub>2</sub> O (g)	67,656323	11,208770
Q N <sub>2</sub> (g)	274,360700	45,612461
Q H <sub>2</sub> (g)	782,604146	130,319756
Q CH <sub>4</sub> (g)	29,793202	4,689592
Panas yang diserap		64.148,370214
<b>Total</b>	<b>76.398,388841</b>	<b>76.398,388841</b>

### 5.4 Reaktor

Tabel 5. 4 Neraca Panas Reaktor

Komponen	Masuk (kkal)	Keluar (kkal)
Q H <sub>2</sub> O (l)	93.936,024649	86.122,231157
Q CO <sub>2</sub> (g)	12.058,188049	361,745641
Q H <sub>2</sub> O (g)	11,208770	11,208770
Q N <sub>2</sub> (g)	45,612461	45,612461
Q H <sub>2</sub> (g)	130,319756	130,319756
Q CH <sub>4</sub> (g)	4,689592	4,689592
Q Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (l)	38.775,238974	1.163,257169
Q NaHCO <sub>3</sub> (l)		73.038,231532
Q reaksi		-1.258.349,248461
Panas yang diserap		1.242.433,234634
<b>Total</b>	<b>144.961,282250</b>	<b>144.961,282250</b>

## 5.5 Rotary Drum Vacuum Filter

Tabel 5. 5 Neraca Panas Rotary Drum Vacuum Filter

Komponen	Masuk (kkal)	Keluar (kkal)
Q Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (l)	1.163,257169	
Q NaHCO <sub>3</sub> (s)	73.038,231532	34.737,136733
Q H <sub>2</sub> O (s)	86.122,231157	9.043,774208
Q H <sub>2</sub> O pencuci	3.281,250445	
Q Filtrat		119.824,059362
<b>Total</b>	<b>163.604,970303</b>	<b>163.604,970303</b>

## 5.6 Rotary Dryer

Tabel 5. 6 Neraca Panas Rotary Dryer

Komponen	Masuk (kkal)	Keluar (kkal)
Q udara	2.011.243,117407	1.957.835,321278
Q bahan	43.780,910942	97.188,707071
<b>Total</b>	<b>2.055.024,028349</b>	<b>2.055.024,028349</b>

## 5.7 Heater

Tabel 5. 7 Neraca Panas Heater

Komponen	Masuk (kkal)	keluar (kkal)
Q udara	702.882,196253	2.011.243,117407
Q pemanas	1.308.360,921155	
<b>Total</b>	<b>2.011.243,117407</b>	<b>2.011.243,117407</b>



## BAB VI. SPESIFIKASI ALAT

### 6.1 Gudang Bahan Baku

Kode	: F-101
Fungsi	: Tempat menyimpan bahan baku natrium karbonat
Type	: Bulk storage warehouse
Volume	: 122.920 ft <sup>3</sup>
Panjang	: 68,95 ft
Lebar	: 51,7 ft
Tinggi total	: 43,89 ft
Jumlah	: 1 buah

### 6.2 Belt Conveyor I

Kode	: J-101
Fungsi	: Memindahkan bahan baku Natrium Karbonat dari gudang (F-101) ke bucket elevator I (J-102)
Type	: Throughed belt
Panjang	: 30 ft
Lebar	: 14 in
Kemiringan	: 10°
Kecepatan	: 54,82 ft/menit
Power	: 2 Hp
Jumlah	: 1 buah

### 6.3 Bucket Elevator I

Kode : J-102

Fungsi : Memindahkan bahan baku Natrium Karbonat dari Belt

Conveyor I (J-101) menuju bin Natrium Karbonat (F-102)

Type : Centrifugal discharge-spaced bucket

Ukuran : 6 x 4 x 4 ½ in

Jarak bucket : 12 in

Kecepatan : 225 ft/menit

Tinggi : 95 ft

Power motor : 4 Hp

Jumlah : 1 buah

### 6.4 Bin Natrium Karbonat

Kode : F-102

Fungsi : Menampung sementara bahan baku Natrium Karbonat sebelum diumpankan ke tangki pelarutan (F-103)

Type : silinder vertical terbuka dengan tutup bawah *conis*.

Temperatur : 30°C

Tekanan : 1 atm

Volume : 72.744,48668 ft<sup>3</sup>

Diameter : 38,17 ft

Tinggi total : 76,33 ft

Jumlah : 1 buah

## 6.5 Belt Conveyor II

Kode : J-103

Fungsi : Memindahkan bahan baku Natrium Karbonat dari bin Natrium Karbonat (F-102) ke tangki pelarutan (F-103)

Type : Throughed belt

Panjang : 15 ft

Lebar : 14 in

Kemiringan : 20°

Kecepatan : 47,12 ft/menit

Power : 2 Hp

Jumlah : 1 buah

## 6.6 Tangki Pelarutan

Kode : F-103

Fungsi : membuat larutan jenuh natrium karbonat sebelum masuk ke reaktor (R-101)

Type : silinder vertikal terbuka dengan tutup bawah dishead dilengkapi pengaduk dan coil pemanas.

Temperatur : 40°C

Tekanan : 1 atm

Volume : 1.161,893636 ft<sup>3</sup>

Diameter : 9,95 ft

Tinggi : 14,93 ft

Tebal *Shell* : 1/4 in

Tebal *Dishead* : 3/8 in

Jumlah : 1 buah

### Spesifikasi Pengaduk

Tipe : *six plate blade*

Tinggi baffle : 13,81 ft

Power pengaduk: 133 Hp

Power motor : 167 Hp

Spesifikasi Coil Pemanas

*Clean Overall Coef.* : 474,50 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F

*Coef. Overall Design* : 321,81 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F

$\Delta T$  : 207 °F

Jumlah lilitan coil : 6 lilitan

Tinggi lilitan coil : 0,59 ft

Tinggi coil : 6,05 ft

### 6.7 Pompa Larutan Natrium Karbonat

Kode : L-101

Fungsi : Mengalirkan larutan natrium karbonat dari tangki pelarutan (F-103) ke Reaktor (R-101)

Jenis : *Commercial Steel*

Type : *Centrifugal pump*

Diameter : 0,3355 ft

Laju alir volumetrik: 0,183 ft<sup>3</sup>/detik

*Head losses* : 18,434 ft.lbf/lbm

Power motor : 1,5 Hp

Jumlah : 1 buah

## 6.8 Storage Gas Karbon Dioksida

Kode : F-104

Fungsi : Tempat menampung bahan baku gas CO<sub>2</sub> untuk kebutuhan 1 bulan proses

Type : *Spherical tank* (tangki berbentuk bola)

Bahan : *High Alloy 5A-167*

Suhu : 30°C

Tekanan : 9,87 atm

Volume tangki : 977.408,4601ft<sup>3</sup>

Diameter : 97,744 ft

Tebal *Shell* : 4 in

Jumlah : 2 buah

## 6.9 Kompresor Gas CO<sub>2</sub>

Kode : G-101

Fungsi : Menaikkan tekanan gas CO<sub>2</sub> sebelum diumpankan ke reaktor (R-101)

Type : *single adiabatic centrifugal compressor*

Power motor : 102 Hp

## 6.10 Cooler

Kode : E-101

Fungsi : Menurunkan suhu gas CO<sub>2</sub> keluar *compressor* (G-101) sebelum masuk reaktor (R-101)

Type : *shell and tube*

ΔT : 60 °F

Jumlah Tube : 152 buah

*Clean Overall Coef. (Uc)* : 18,72 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F

*Coef. Overall Design (U<sub>D</sub> koreksi)* : 17,89 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F

*Heating Surface (A)* : 237,198 ft<sup>2</sup>

*Dirt Factor (Rd)* : 0,0025 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F

Jumlah : 1 buah

### 6.11 Reaktor

Kode : R-101

Fungsi : mereaksikan larutan karbonat jenuh dengan gas karbon dioksida  
membentuk natrium bikarbonat

Type : reaktor gelembung berbentuk silinder vertical dengan plat  
berlubang

Temperatur : 40°C

Tekanan : 28 atm

Volume : 2.940.794,099 cm<sup>3</sup>

Waktu tinggal : 9,45 menit

Diameter : 113,945 cm

Tinggi : 307,5278 cm

Tebal shell : 1 in

Tebal tutup : 1 in

Spesifikasi Perforated Plate

Diameter lubang : 4 cm

Diameter gelembung : 1,067 cm

Diameter plate : 93,945 cm

Kecepatan gelembung: 24,765 cm/s

Jumlah : 1000 buah

Spesifikasi jaket pendingin

Volume : 114,80671 ft<sup>3</sup>

Tinggi : 0,943 ft

*Clean Overall Coef. (U<sub>c</sub>)* : 57,19 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F

*Coef. Overall Design (U<sub>D</sub> koreksi)* : 48,81 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F

*Heating Surface (A)* : 9.619,178 ft<sup>2</sup>

### 6.12 Tangki Produk Reaktor

Kode : F-105

Fungsi : menampung sementara produk reaktor sebelum dialirkan ke

*Rotary Drum Vacuum Filter (H-101)*

Type : silinder vertikal terbuka dengan tutup bawah dishead.

Bahan : *Carbon Steel 5A-283 Grade C*

Volume : 854,12208 ft<sup>3</sup>

Diameter : 8,985 ft

Tinggi : 13,4775 ft

Tebal Shell : 1/4 in

Tebal dishead : 5/16 in

Tekanan design: 17,64 Psi

Jumlah : 1 buah

### 6.13 Pompa Produk Reaktor

Kode : L-102

Fungsi : Mengalirkan produk reaktor ke RDVF (H-101)

Jenis : *Commercial Steel*

Type : *Centrifugal pump*

Diameter : 4,5 in

Laju alir volumetrik: 0,208 ft<sup>3</sup>/detik

*Head losses* : 32,82 ft.lbf/lbm

Power motor : 12 Hp

Jumlah : 1 buah

#### **6.14 Rotary Drum Vacuum Filter**

Kode : H-101

Fungsi : memisahkan produk NaHCO<sub>3</sub> dari campuran larutan

Type : *vacuum filter*

Diameter drum : 2,5 ft

Lebar drum : 1,25 ft

Power motor : 6 Hp

Jumlah : 1 buah

#### **6.15 Tangki Filtrat**

Kode : F-106

Fungsi : menampung produk filtrat yang keluar dari RDVF (H-101) sebelum dialirkan ke pengolahan limbah.

Type : silinder vertikal terbuka dengan tutup bawah dishead

Bahan : *Carbon Steel 5A-283 Grade C*

Volume : 16.397,23335 ft<sup>3</sup>

Diameter : 24,059 ft

Tinggi : 36,09 ft

Tebal Shell : 1/2 in

Tebal dishead : 5/8 in

Jumlah : 1 buah



### 6.16 Screw Conveyor

Kode : J-104

Fungsi : memindahkan padatan (cake) yang keluar dari RDVF (H-101) menuju *rotary dryer* (H-102).

Type : horizontal

Diameter : 12 in

Panjang : 30 ft

Kapasitas : 4,847 ft<sup>3</sup>/menit

Power motor : 8 Hp

Jumlah : 1 buah

### 6.17 Blower

Kode : BL-101

Fungsi : mengalirkan udara pengering yang akan melewati air heater (E-102) sebelum menuju *rotary dryer* (H-102)

Type : *forward-curved blade fans*

Power motor : 278 Hp

Jumlah : 1 buah

### 6.18 Rotary Dryer

Kode : H-102

Fungsi : mengeringkan produk natrium bikarbonat (NaHCO<sub>3</sub>) dengan menggunakan udara panas

Type : *direct head*

Diameter : 14,78 ft

Panjang : 148,36 ft

Kecepatan : 2 rpm

Power motor : 243 Hp

Jumlah : 1 buah

### 6.19 Air Heater

Kode : E-102

Fungsi : menaikkan temperature udara pengering sebelum masuk *rotary dryer* (H-102).

Type : *shell and tube*

$\Delta T$  LTMD : 117°F

Jumlah Tube : 70 buah

*Clean Overall Coef.* ( $h_o$ ) : 5,14 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F

*Coef. Overall Design* ( $U_D$  koreksi) : 5,00 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F

*Heating Surface* (A) : 220,09 ft<sup>2</sup>

*Dirt Factor* (Rd) : 0,0053 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F

### 6.20 Air Filter

Kode : X-101

Fungsi : menyaring udara pengering dari debu/kotoran lainnya di area peralatan

Type : *high efficiency particulate air* (HEPA)

Kapasitas : 1.000 ft<sup>3</sup>/menit

Ukuran : 24x24 in

Jumlah : 5 buah

### 6.21 Belt Conveyor III

Kode	: J-105
Fungsi	: Memindahkan produk $\text{NaHCO}_3$ ke <i>Bucket Elevator</i> II (J-106)
Type	: Throughed belt
Panjang	: 25 ft
Lebar	: 48 in
Kemiringan	: $30^\circ$
Kecepatan	: 99,82 ft/menit
Power	: 5 Hp
Jumlah	: 1 buah

### 6.22 Bucket Elevator II

Kode	: J-106
Fungsi	: Memindahkan produk Natrium Bikarbonat dari belt conveyor II (J-105) menuju bin produk akhir (F-107)
Type	: <i>Centrifugal discharge-spaced bucket</i>
Ukuran	: 10 x 6 x 6 ¼ in
Jarak bucket	: 16 in
Kecepatan	: 225 ft/menit
Tinggi	: 105 ft
Power motor	: 12 Hp
Jumlah	: 1 buah

### 6.23 Bin Produk Natrium Bikarbonat

Kode : F-107

Fungsi : Menampung produk natrium bikarbonat sebelum dikemas.

Type : silinder vertical terbuka dengan tutup bawah *conis*

Bahan : *Carbon steel 5A-283 Grade C*

Temperatur : 40°C

Tekanan : 1 atm

Volume : 184.427,62422 ft<sup>3</sup>

Diameter : 52,04 ft

Tinggi : 104,088 ft

Tebal shell : 3/4 in

Tebal conis : 1 in

Tebal tutup atas : 3/4 in

Jumlah : 1 buah

## BAB VII. UTILITAS

Utilitas merupakan unit yang berfungsi untuk menyediakan bahan-bahan penunjang yang mendukung kelancaran pada sistem produksi pabrik. Unit ini sangat berpengaruh dalam kelancaran produksi dari awal hingga akhir proses. Oleh karena itu, segala sarana dan prasarana harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menjamin kelangsungan operasi. Adapun unit-unit yang ada di utilitas pada pabrik pembuatan natrium bikarbonat terdiri dari :

1. Unit penyediaan steam
2. Unit penyediaan dan pengolahan air
3. Unit penyediaan listrik

### 7.1 Unit Penyediaan Steam

Penyediaan steam untuk pabrik natrium bikarbonat dihasilkan dari *boiler*. Air untuk pompa umpan *boiler* terlebih dahulu diolah untuk memenuhi syarat sebagai air *broiler*, sehingga pembentukan kerak dan korosi dapat dihindari.

Tabel 7. 1 Kebutuhan Steam

No	Nama Peralatan	Jumlah Steam (Kg/Jam)
1	Tangki Pelarutan	1.038,528547
2	Heater Udara	2.592,353717
<b>Total</b>		<b>3.630,882265</b>

Direncanakan steam yang digunakan *saturated steam* (uap jenuh)

$$P = 4,9 \text{ kgf/cm}^2$$

$$T = 150^\circ\text{C}$$

Faktor keamanan 10%

$$\text{Jumlah steam dari boiler} = 3.993,970491 \text{ kg/jam} = 8.797,291831 \text{ lb/jam}$$

#### **Kebutuhan Air umpan boiler**

$$\text{Air umpan yang dibutuhkan} = 4.268,656138 \text{ kg/jam} = 9.402,326 \text{ lb/jam}$$

Berikut spesifikasi alat yang digunakan sesuai kebutuhan :

Kode : E-001  
 Nama alat : Boiler  
 Fungsi : menghasilkan *steam*  
 Type : *water tube*  
 Panjang tube : 8 ft  
 Jenis bahan bakar : *diesel oil*  
 Kebutuhan bahan bakar : 24,81 L/jam  
 Efisiensi pembakaran : 85%  
 Power boiler : 239 Hp  
 Jumlah alat : 1 buah

## 7.2 Unit Penyediaan Air

Berdasarkan perhitungan neraca panas dan neraca massa dapat diketahui kebutuhan air pabrik sebagai berikut :

### Kebutuhan Air pendingin

Tabel 7. 2 Kebutuhan Air Pendingin

No	Nama Peralatan	Kebutuhan (kg/Jam)
1	Cooler	9.164,0529
2	Reaktor	177.490,4621
<b>Total</b>		<b>186.654,5150</b>

Air bekas pendingin keluar dari peralatan pendingin perlu disirkulasi untuk menghemat pemakaian air. Asumsi bahwa terjadi kehilangan 20% dari total kebutuhan air.

Air yang disirkulasi = 149.323,612 kg/jam

Air yang diperlukan = 37.330,9030 kg/jam

### Kebutuhan Air umpan *boiler*

Kebutuhan air umpan *boiler* = 4.268,656138 kg/jam

Kebutuhan steam = 3.630,882265 kg/jam

Kebutuhan tersebut disirkulasi dengan asumsi terjadi kehilangan 20% sebelum disirkulasi dari total kondensat steam.

Kondensat steam yang disirkulasi = 2.904,705812 kg/jam

Air umpan boiler yang diperlukan = 1.363,950327 kg/jam

### **Kebutuhan Air proses**

Tabel 7. 3 Kebutuhan Air Proses

No	Nama Peralatan	Kebutuhan (kg/Jam)
1	Tangki pelarutan	18.584,32869
2	Rotary Drum Vacuum Filter	655,9235095
<b>Total</b>		<b>19.240,2522</b>

### **Kebutuhan Air sanitasi**

Tabel 7. 4 Kebutuhan Air Sanitasi

No	Jenis Kebutuhan	Kebutuhan (kg/Jam)
1	Keperluan kantor	387,5
2	Poliklinik	25
3	Laboratorium	75
4	Tempat ibadah	5
<b>Total</b>		<b>492,5</b>

Faktor keamanan 20%, sehingga total kebutuhan air sanitasi = 591 kg/jam.

### **Total kebutuhan air pabrik**

Air pendingin = 37.330,9030 kg/jam

Air umpan boiler = 1.363,95033 kg/jam

Air proses = 19.240,2522 kg/jam

Air sanitasi = 591 kg/jam

Total = 58.526,1055 kg/jam

Untuk menjamin kelangsungan penyediaan air, maka dibangun fasilitas tempat pengolahan air sungai. Pengolahan air pada pabrik terdiri dari tiga tahap, yaitu :

1. Screening
2. Sedimentasi
3. Klarifikasi
4. Filterisasi
5. Demineralisasi

Berikut penjelasan dari masing-masing tahap pengolahan air :

### ***Screening***

Sebelum mengalami proses pengolahan, air dari sungai harus mengalami pembersihan awal agar proses selanjutnya dapat berlangsung dengan lancar. Air sungai dilewatkan screen (penyaringan awal) berfungsi untuk menahan kotoran yang berukuran besar lalu dialirkan ke bak air sungai sebagai bak pengendapan.

### ***Sedimentasi***

Setelah air disaring pada tahap *screening*, air masih terdapat partikel-partikel padatan kecil. Air ditampung dalam bak sedimentasi untuk mengendapkan partikel-partikel padatan yang tidak terlarut.

### ***Klarifikasi***

Air dari bak penampung awal dialirkan ke dalam *clarifier* untuk melewati proses klarifikasi. Klarifikasi merupakan proses penghilangan kekeruhan di dalam air. Pada proses pengolahan air tahap klarifikasi terdiri dari koagulasi dan flokulasi. Koagulasi adalah proses pengolahan air/limbah cair dengan cara menstabilasi partikel-partikel koloid untuk memfasilitasi pertumbuhan partikel selama flokulasi. Flokulasi adalah proses pengolahan air dengan cara mengadakan kontak diantara partikel-partikel koloid yang telah mengalami destabilisasi sehingga ukuran partikel-partikel tersebut bertambah menjadi partikel-partikel yang lebih besar. Pada tahap klarifikasi,  $Al_2(SO_4)_3$  digunakan sebagai koagulan. Setelah pencampuran yang disertai pengadukan maka akan terbentuk flok-flok yang akan mengendap ke dasar *clarifier* karena pengaruh gaya gravitasi, sedangkan air jernih akan keluar melimpah (*overflow*) yang selanjutnya akan masuk ke tangki utilitas.

### ***Filterisasi***

Tahap filterisasi dilakukan dengan menyediakan bak sand filter. Fungsi daripada sand filter (filter pasir) adalah untuk menghilangkan kekeruhan pada air dan membersihkan air dari partikel yang tidak larut sehingga air menjadi lebih jernih.

### ***Demineralisasi***

Air untuk umpan boiler dan pendingin pada reaktor harus murni dan bebas dari garam-garam terlarut yang terdapat didalamnya. Untuk itu perlu dilakukan proses demineralisasi. Alat demineralisasi terdiri atas penukar kation (*cation exchanger*) dan penukar anion (*anion exchange*).



Berikut spesifikasi alat pada unit pengolahan air :

### 7.2.1 Pompa Air

Tabel 7. 5 Spesifikasi Pompa Air

Kode	Kapasitas (g/m)	OD (in)	ID (in)	Hp	Jenis Bahan	Jumlah
L-001	257,437567	6,625	6,065	13,5	Carbon steel	1
L-002	257,437567	8,625	7,981	17	Carbon steel	1
L-003	257,437567	6,625	6,065	9,5	Carbon steel	1
L-004	839,809794	10,75	10,02	27	Carbon steel	1
L-005	18,7764492	2,38	1,939	3	Carbon steel	1
L-006	821,033344	10,75	10,02	19,5	Carbon steel	1
L-007	656,826676	8,625	7,981	18,5	Carbon steel	1
L-008	2,59961944	2,38	1,939	1,0	Carbon steel	1
L-009	84,6316984	4,5	4,026	2,5	Carbon steel	1

### 7.2.2 Bak Air Sungai

Kode : B-001

Fungsi : menampung air baku dari sungai dan sebagai tempat sedimentasi awal sebelum dialirkan ke Clarifier (F-001)

Type : bak persegi Panjang

Kapasitas : 780 m<sup>3</sup>

Panjang : 12,76 m

Lebar : 6,38 m

Tinggi : 9,56 m

Bahan konstruksi : beton

Jumlah : 1 buah

### 7.2.3 Clarifier

Kode : F-001

Fungsi : mengendapkan zat padat tersuspensi dalam air sebelum dialirkan ke bak sand filter (B-002)

Type : *gravity clarifier*

Kapasitas : 65 m<sup>3</sup>

Diameter : 2,9 m

Tinggi : 10 m

Jumlah : 1 buah

Power pengaduk : 28,5 Hp

Kebutuhan flokulan : 0,88 kg/jam

Bahan konstruksi : carbon steel

### 7.2.4 Bak sand filter

Kode : B-002

Fungsi : menyaring partikel dalam air yang tidak terendapkan dari Clarifier F-001) sebelum dialirkan ke Tangki Ion Exchanger (F-002-K dan F-002-A) dan ke Bak Air Sanitasi (B-009) dan Bak Air Proses (B-008)

Type : *gravity sand filter*

Jumlah : 1 buah  
Tinggi pasir halus : 1 m  
Tinggi pasir kasar : 1 m  
Tinggi kerikil : 1,5 m  
Ukuran tangki : 8,35 m × 8,35 m  
Bahan konstruksi : beton

#### 7.2.5 Bak air bersih

Kode : B-003  
Fungsi : menampung air bersih untuk kebutuhan air demineral, air sanitasi, dan air proses  
Type : bak persegi Panjang

Kapasitas : 520 m<sup>3</sup>  
Panjang : 11 m  
Lebar : 5,6 m  
Tinggi : 8,4 m  
Bahan konstruksi : beton  
Jumlah : 1 buah

#### 7.2.6 Tangki Ion exchanger

##### Kation

Kode : F-002-K  
Fungsi : menghilangkan kation dalam air dengan resin asam  
Type : *fixed bed ion exchanger*  
Diameter : 3,93 m  
Tinggi bed : 3,93 m

Tinggi tangki : 5,89 m  
Jumlah : 1 buah  
Jensi resin : *green sand* (Fe silikat)

Bahan konstruksi : carbon steel

Kapasitas penyerapan : 0,5 grek/L

#### **Anion**

Kode : F-002-A

Fungsi : menghilangkan anion dalam air dengan resin basa

Type : *fixed bed ion exchanger*

Diameter : 3,89 m

Tinggi bed : 3,89 m

Tinggi tangki : 5,83 m

Jumlah : 1 buah

Jensi resin : *acrylic based*

Bahan konstruksi : carbon steel

Kapasitas penyerapan : 0,5 grek/L

#### **7.2.7 Bak air demineral**

Kode : B-004

Fungsi : menampung air yang keluar dari ion exchanger menuju Bak Air Umpan Boiler (B-005) dan Bak Air Pendingin (B-006)

Type : bak persegi panjang

Kapasitas : 1.697 m<sup>3</sup>

Panjang : 16,5 m

Lebar : 8,27 m

Tinggi : 12,4 m

Bahan konstruksi : beton

Jumlah : 1 buah

#### **7.2.8 Bak air umpan boiler**

Kode : B-005

Fungsi : menampung air untuk kebutuhan air umpan boiler (E-001)

Type : bak persegi panjang

Kapasitas : 38 m<sup>3</sup>

Panjang : 4,7 m

Lebar : 2,3 m

Tinggi : 3,5 m

Bahan konstruksi : beton

Jumlah : 1 buah

#### **7.2.9 Bak air pendingin**

Kode : B-006

Fungsi : menampung air pendingin tambahan dan air bekas pendingin yang disirkulasi setelah melewati *cooling tower* (C-001)

Type : bak persegi Panjang

Kapasitas : 1.660 m<sup>3</sup>

Panjang : 16,42 m

Lebar : 8,21 m

Tinggi : 12,31 m

Bahan konstruksi : beton

Jumlah : 1 buah

#### **7.2.10 Bak air sanitasi**

Kode : B-007

Fungsi : menampung air keperluan karyawan, kantor, laboratorium, dan pencucian peralatan

Type : bak persegi Panjang

Kapasitas : 5,25 m<sup>3</sup>

Panjang : 2,4 m

Lebar : 1,2 m

Tinggi : 1,8 m

Jumlah : 1 buah

Bahan konstruksi : beton

#### **7.2.11 Bak Air Proses**

Kode : B-008

Fungsi : menampung air untuk tangki pelarutan (F-103) dan Rotary Drum Vacuum Filter (H-101)

Type : bak persegi Panjang

Kapasitas : 171 m<sup>3</sup>

Panjang : 7,70 m

Lebar : 3,85 m

Tinggi : 5,77 m

Bahan konstruksi : beton

Jumlah : 1 buah

### 7.2.12 Cooling tower

Kode : C-001

Fungsi : menurunkan air bekas pendingin sebelum disirkulasi

Type : *induced draft cooling tower*

Kapasitas : 657,32 gpm

Suhu air masuk : 37°C

Suhu air keluar : 30°C

Power motor : 16,5 Hp

Jumlah : 1 buah

## 7.3 Unit Penyediaan Listrik

Kebutuhan listrik untuk pabrik natrium bikarbonat diperoleh dari PLN. Namun untuk menghindari adanya gangguan listrik yang terjadi dari PLN maka disediakan generator set. Berikut perkiraan kebutuhan tenaga listrik :

### Kebutuhan tenaga listrik untuk peralatan proses

Tabel 7. 6 Kebutuhan Tenaga Listrik untuk Peralatan proses

Nama Peralatan	Jumlah	Daya (Hp)
Belt Conveyor I	1	2
Bucket Elevator I	1	4
Belt Conveyor II	1	2
Tangki Pelarutan	1	167
Pompa Larutan Natrium Karbonat	1	1,5

<b>Nama Peralatan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Daya (Hp)</b>
Kompresor Gas CO <sub>2</sub>	1	102
Pompa Produk Reaktor	1	2
Rotary Drum Vacuum Filter	1	6
Screw Conveyor	1	8
Blower	1	278
Rotary Dryer	1	243
Belt Conveyor III	1	5
Bucket Elevator II	1	12
<b>Total</b>		<b>832,5</b>
<b>Total kebutuhan listrik untuk peralatan proses = 620,2125 Kw</b>		

#### **Kebutuhan tenaga listrik untuk peralatan utilitas**

Tabel 7. 7 Kebutuhan Tenaga Listrik untuk Peralatan Proses

<b>Nama Peralatan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Daya (Hp)</b>
Boiler	1	239
Pompa Air Sungai	1	13,5
Pompa Clarifier	1	17
Pompa Air Bersih	1	9,5
Pompa Air Demineral	1	27
Pompa Air Umpan Boiler	1	3
Pompa Air Pendingin	1	19,5
Pompa Air Proses	1	2,5
Pompa Resirkulasi Air	1	18,5
Pompa Air Sanitasi	1	1
Clarifier	1	28,5
Cooling Tower	1	16,5
<b>Total</b>		<b>395,5</b>
<b>Total kebutuhan listrik untuk peralatan utilitas = 294,6475 kW</b>		

#### **Kebutuhan tenaga listrik untuk pabrikasi**



Kebutuhan tenaga listrik untuk pabrikasi adalah jumlah kebutuhan tenaga listrik peralatan proses dan peralatan utilitas. Berdasarkan perhitungan, diperoleh kebutuhan tenaga listrik untuk pabrikasi sebesar 914,860 kW.

#### **Kebutuhan tenaga listrik untuk peralatan kontrol**

Diasumsikan kebutuhan listrik peralatan kontrol sebesar 20%. Maka, kebutuhan tenaga listrik untuk peralatan control sebesar 182,972 kW.

#### **Kebutuhan tenaga listrik untuk penerangan**

Diketahui range kebutuhan listrik pabrikasi untuk penerangan sebesar 7%-25%. Asumsi kebutuhan listrik sebanyak 25%. Maka, kebutuhan listrik untuk penerangan sebesar 228,715 kW.

#### **Kebutuhan tenaga listrik untuk bengkel dan lain-lain**

Diasumsikan kebutuhan tenaga listrik untuk bengkel dan lain-lain sebesar 15%. Maka, kebutuhan listrik untuk bengkel dan lain-lain sebesar 137,229 kW.

#### **Total kebutuhan tenaga listrik pabrik**

Pabrikasi	= 914,86 kW
Alat kontrol	= 182,972 kW
Penerangan	= 228,715 kW
Bengkel dan lain-lain	= 137,229 kW
Total	= 1.544,83 kW

Berikut spesifikasi alat pada unit penyediaan listrik :

##### **7.3.1. Generator**

Kode alat	: GT-001
Type	: AC Generator
Power	: 3.000 Kva
Tegangan	: 220/380 Volt
Power faktor	: 0,85
Fase	: 3

Jumlah : 1 buah

Kebutuhan bahan bakar : 11.133,67 L/tahun

### 7.3.2. Tangki Bahan Bakar

Kode : F-003

Fungsi : menampung bahan bakar diesel oil untuk kebutuhan boiler dan generator bila terjadi pemadaman listrik dari PLN

Type : silinder vertikal, tutup atas dishead dan tutup bawah plat dasar.

Kapasitas : 780,682 ft<sup>3</sup>

Diameter : 8,72 ft

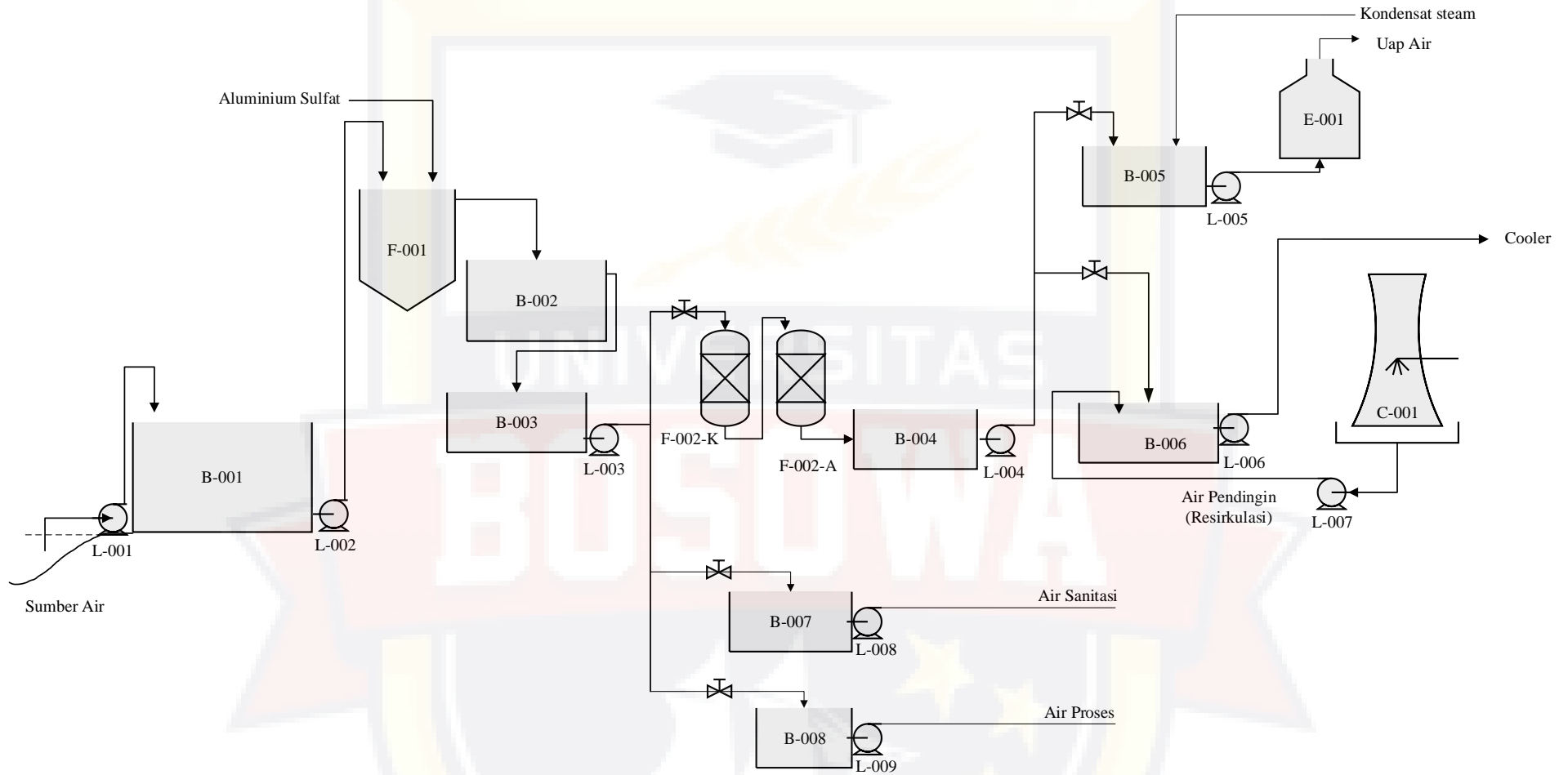
Tinggi : 13,08 ft

Bahan konstruksi : carbon steel

Jumlah : 1 buah

**BUSOWA**

## FLOWSHEET WATER TREATMENT PABRIK NATRIUM BIKARBONAT



KETERANGAN			
KODE	NAMA ALAT	KODE	NAMA ALAT
L	POMPA AIR	B-004	BAK AIR DEMINERAL
B-001	BAK AIR SUNGAI	B-005	BAK AIR UMPAN BOILER
F-001	CLARIFIER	E-001	BOILER
B-002	BAK SAND FILTER	B-006	BAK AIR PENDINGIN
B-003	BAK AIR BERSIH	C-001	COOLING TOWER
F-002-K	TANGKI KATION EXCHANGER	B-007	BAK AIR SANITASI
F-002-A	TANGKI ANION EXCHANGER	B-008	BAK AIR PROSES

Gambar 7. 1 Flowsheet Water Treatment Pabrik Natrium Bikarbonat

## **BAB VIII. LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK**

### **8.1 Lokasi Pabrik**

Lokasi pabrik merupakan masalah yang sangat penting. Sehubungan dengan jalannya proses pabrik yang akan didirikan. Hal ini disebabkan karena lokasi suatu pabrik yang baik akan mempengaruhi investasi awal, kemudahan memperoleh tenaga kerja, penyediaan fasilitas angkutan dan lain – lain. Penentuan lokasi suatu pabrik diperlukan suatu perencanaan yang matang mencakup berbagai faktor, hal ini dilakukan demi kelangsungan kegiatan pabrik pada masa-masa yang akan datang. Adapun faktor-faktor tersebut adalah :

#### **8.1.1 Penyediaan Bahan Baku**

Lokasi bahan baku harus dekat dengan pabrik sehingga dapat mempermudah penyediaannya dan mengurangi biaya transportasi. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penyediaannya adalah jarak lokasi bahan baku dengan pabrik, kapasitas sumber bahan baku serta jangkauan waktu penyediaan bahan baku.

Bahan baku pembuatan Natrium bikarbonat berupa Natrium karbonat dan gas karbon dioksida. Bahan baku Natrium Karbonat ini didapatkan secara import dari China dengan kapasitas produksi 8.808.116,862 ton/tahun dan Karbon dioksida dari PT. Semen Gresik dengan kapasitas 130.000 ton/tahun.

#### **8.1.2 Distribusi hasil produksi**

Pendistribusian hasil produksi harus memperhatikan beberapa faktor penting sebagai berikut :

- a. Jarak lokasi pabrik ke konsumen.
- b. Sistem pendistribusian yang digunakan.
- c. Persaingan masa kini dan masa yang akan datang.

Kawasan JIPE (Java Integrated Industrial and Port Estate) dilengkapi dengan fasilitas pelabuhan yang memadai. Kemudahan akses pelabuhan akan sejalan dengan kegiatan pemasaran. Oleh karena itu, pendistribusian produk dapat menjangkau ke berbagai wilayah di dalam negeri maupun luar negeri.

### **8.1.3 Penyediaan Utilitas**

Penyediaan tenaga dan bahan bakar ini perlu diperhatikan berbagai faktor :

- a. Sumber listrik dan berbagai macam bahan bakar lainnya.
- b. Cadangan tenaga dan bahan bakar pada masa yang akan datang.
- c. Biaya yang diperlukan untuk penyediaannya.

Berbagai kemudahan yang didapatkan di kawasan JIPE seperti sumber listrik, bahan bakar, sumber air, dan lainnya sangat menunjang untuk peningkatan efisiensi dan efektivitas pabrik natrium bikarbonat yang akan didirikan.

### **8.1.4 Iklim dan kondisi alam**

Iklim dan kondisi alam pada daerah pabrik sangat berpengaruh besar terhadap kelangsungan operasi pabrik. Adapun faktor-faktor yang berpengaruh :

- a. Arah dan kecepatan angin.
- b. Keadaan alam lingkungan yang akan berpengaruh terhadap biaya konstruksi dan rencana perluasan pada masa yang akan datang.
- c. Perlu diteliti apakah daerah tersebut daerah rawan gempa.

Gresik adalah daerah beriklim tropis dengan temperature 28,5°C dan kelembaban udara rata-rata 75%. Tingkat curah hujan yang rendah menjadikan Gresik sebagai wilayah yang potensial untuk dijadikan sebagai lokasi industri.

### **8.1.5 Penyediaan sarana pengolahan limbah**

Penanganan masalah limbah yang dihasilkan oleh pabrik, diperlukan suatu penanganan khusus sehingga nantinya tidak akan mengganggu terhadap lingkungan sekitarnya. Pabrik ini hanya menghasilkan filtrat lalu didifusikan ke tangki penampungan sebelum dialirkan ke pihak pengolahan limbah.

### **8.1.6 Penyediaan tenaga kerja**

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penyediaan tenaga kerja, yaitu:

- a. Tingkat pendidikan serta keahlian tenaga kerja di daerah tersebut.
- b. Tingkat pendapatan tenaga kerja di daerah tersebut.
- c. Banyaknya tenaga kerja yang akan dipekerjakan sesuai dengan yang diinginkan.

Jumlah SDM berkualitas di Gresik maupun orang-orang yang banyak berdatangan dari berbagai daerah terbilang banyak. Pengangguran dari kalangan sarjana pun dapat diserap sehingga mengurangi jumlah pengangguran

### **8.1.7 Peraturan pemerintah dan undang-undang**

Berikut beberapa peraturan pemerintah dan undang-undang yang harus diperhatikan :

- a. Masalah perizinan
- b. Masalah perpajakan
- c. Masalah tenaga kerja
- d. Masalah pengolahan air limbah.

### **8.1.8 Transportasi**

Sarana transportasi merupakan sarana penting untuk mendukung segala kegiatan ke luar maupun ke dalam perusahaan. Oleh sebab itu, lokasi perusahaan harus mempunyai letak yang sangat strategis. Sarana transportasi seperti angkutan laut dan darat telah tersedia sehingga memudahkan pengangkutan bahan baku dan pemasaran hasil-hasil produk.

## **8.2 Tata Letak Pabrik**

Perencanaan tata letak bangunan serta alat-alat pabrik di dalam suatu pabrik harus direncanakan secara matang dan terpadu. Hal ini bertujuan agar pengoperasian serta hubungan antara alat-alat pabrik satu sama lainnya dapat dijalankan dengan baik dan para pekerja dapat bekerja dengan lebih cepat. Selain itu, berperan dalam menjaga keselamatan kerja para karyawan. Tata letak bagian-bagian dalam suatu pabrik harus dibuat dengan memperhatikan jalannya aliran dari tiap bahan dan aktivitas dari para pekerja yang ada. Adapun beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penyusunan tata letak pabrik Natrium Bikarbonat ini adalah sebagai berikut :

### **Faktor Ekonomis**

Usaha untuk meminimalisir biaya konstruksi ditempuh dengan cara menempatkan peralatan sedemikian rupa, sehingga ukuran alat transportasi yang dibutuhkan sependek mungkin. Pada pabrik natrium bikarbonat menggunakan conveyor sebagai transportasi bahan fase padat dan pipa sebagai transportasi bahan fase liquid dan gas.

### **Faktor Kemudahan Operasi**

Tata letak alat-alat yang membutuhkan perhatian operator harus diletakkan dekat dengan ruang kontrol. Alat-alat tersebut antara lain : *valve*, *sample point* dan peralatan instrumentasi. Alat-alat ini diletakkan pada posisi yang tepat dan cukup mudah dijangkau. Selain itu ada ruang yang cukup disekitar peralatan untuk mempermudah pekerjaan operator.

### **Faktor Kemudahan Pemeliharaan**

Pemeliharaan alat sangat perlu diperhatikan karena dapat berpengaruh besar terhadap proses produksi. Oleh karena itu, diperlukan suatu pengawasan serta perawatan yang intensif sehingga peralatan yang ada dapat berjalan dengan baik dan peralatan tersebut dapat digunakan pada jangka waktu yang lama.

### **Faktor Keamanan**

Perlindungan dan pencegahan terhadap bahaya ledakan, kebakaran atau kebocoran dari peralatan dalam suatu industri perlu diperhatikan. Oleh sebab itu, pendirian sebuah gedung perlu dirancang dengan dinding yang terbuat dari bahan tahan ledak untuk mengisolasi peralatan yang berbahaya. Penyediaan alat-alat untuk perlindungan dan pencegahan seperti alat pemadam kebakaran dan tangga darurat perlu ditempatkan dalam suatu bangunan proses. Hal ini mempermudah para pekerja untuk menyelamatkan diri bila terjadi kecelakaan kerja.

Tata letak pabrik Natrium Bikarbonat ini pada dasarnya direncanakan dengan memperhatikan hal-hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.1 Tata Letak Pabrik. Oleh karena itu, penempatan letak bangunan serta alat-alat proses dalam kawasan pabrik tersebut direncanakan sebagai berikut :

#### **8.2.1 Daerah penyimpanan**

Daerah penyimpanan digunakan tempat penyimpanan bahan baku dan produk. Penyimpanan bahan baku dan produk dalam pabrik ini dilakukan dalam tangki-tangki yang terletak di lingkungan terbuka dan diletakkan di daerah yang mudah dijangkau truk kontainer. Daerah penyimpanan bahan baku dan bahan pembantu lain selama proses pabrik terletak di bagian utara daerah proses. Adapun untuk daerah penyimpanan produk terletak di bagian selatan daerah proses. Hal ini untuk memudahkan transportasi baik bahan menuju daerah proses dan produk dari daerah proses.

### **8.2.2 Daerah proses**

Tata letak alat proses di daerah proses dapat dilihat pada Gambar 8.2 Tata Letak Alat Proses. Penyusunan alat proses berdasarkan alur prosesnya mulai dari tahap persiapan bahan baku, tahap reaksi, dan tahap pemurnian. Penyusunan alat tersebut disesuaikan dengan letak daerah bahan baku dan daerah produk. Alat untuk persiapan bahan baku terletak berdekatan dengan daerah bahan baku dan alat untuk pemurnian produk dibuat berdekatan dengan daerah produk.

### **8.2.3 Daerah kerja unit Perbaikan dan Pemeliharaan**

Daerah kerja unit perbaikan dan pemeliharaan adalah lokasi untuk melakukan kegiatan perbaikan dan pemeliharaan peralatan, yang terdiri dari bengkel teknik dan gudang teknik. Gudang teknik diletakkan di dalam daerah proses untuk mempermudah usaha perbaikan dan pemeliharaan. Sebaliknya bengkel teknik diletakkan di luar daerah proses karena aktivitas di dalam bengkel yang dapat berakibat fatal.

### **8.2.4 Laboratorium**

Penempatan laboratorium harus berada dekat dengan tempat penyimpanan bahan baku dan tempat hasil produk sehingga dapat mempercepat proses analisa bahan baku dan produk.

### **8.2.5 Daerah Utilitas**

Utilitas merupakan lokasi dari alat-alat penunjang produksi seperti generator, boiler, dan *water treatment*. Daerah ini diletakkan tidak jauh dari daerah proses agar biaya perpipaan ke daerah proses menjadi ekonomis, Akan tetapi, jarak utilitas ini dengan daerah proses juga diatur agar tidak terlalu dekat.

### **8.2.6 Kantor**

Kantor merupakan pusat kegiatan administrasi pabrik baik untuk urusan-urusan daerah dalam maupun luar. Bangunan kantor adalah bangunan dimana jumlah orang yang bekerja di dalamnya berjumlah relatif banyak. Kantor diletakkan di bagian depan untuk memudahkan akses karyawan maupun tamu yang berkaitan dengan masalah administrasi, pemasaran, dan lain-lain.



### **8.2.7 Fasilitas Umum**

Fasilitas umum diletakkan sedemikian rupa untuk mempermudah aktivitas para karyawan. Fasilitas umum terdiri dari kantin, tempat ibadah, toilet, poliklinik, tempat parkir, perpustakaan, taman, pos keamanan, dan lain-lain. Pos keamanan dibangun di jalur masuk dan jalur keluar pabrik untuk mengawasi pihak yang terlibat dalam kegiatan di dalam pabrik. Taman dibuat untuk penyegaran atau relaksasi sebagai ruang terbuka hijau di lingkungan pabrik. Kantin, koperasi, perpustakaan, dan masjid dibangun berdekatan dengan kantor. Poliklinik diletakkan di antara daerah proses dan kantor untuk memudahkan akses karyawan terkait masalah kesehatan. Tempat parkir dibuat dua bagian yaitu parkir angkutan dan parkir karyawan/tamu.

### **8.2.8 Daerah Pengembangan**

Suatu pabrik memiliki daerah pengembangan untuk keperluan perluasan daerah pabrik pada masa yang akan datang. Lokasi daerah ini harus dekat dengan daerah proses, dan penyediaan lokasi ini akan memberikan keuntungan bagi perusahaan karena biaya untuk pembelian tanah pada masa yang akan datang tidak akan membebani perusahaan karena harga tanah semakin lama akan mengalami kenaikan. Daerah pengembangan atau area perluasan di pabrik ini sekitar 1.800 m<sup>2</sup>.

### **8.3 Tata Letak Alat Proses**

Tata letak alat proses yang baik dan benar dalam suatu daerah proses dapat memberikan suatu operasi yang efisien dan konstruksi yang ekonomis. Penempatan letak alat-alat pabrik harus dilakukan dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- a. Alat-alat proses ditempatkan sesuai dengan urutan proses.

Penyusunan alat proses pada pabrik natrium bikarbonat berdasarkan alur prosesnya mulai dari tahap persiapan bahan baku, tahap reaksi, dan tahap pemurnian.

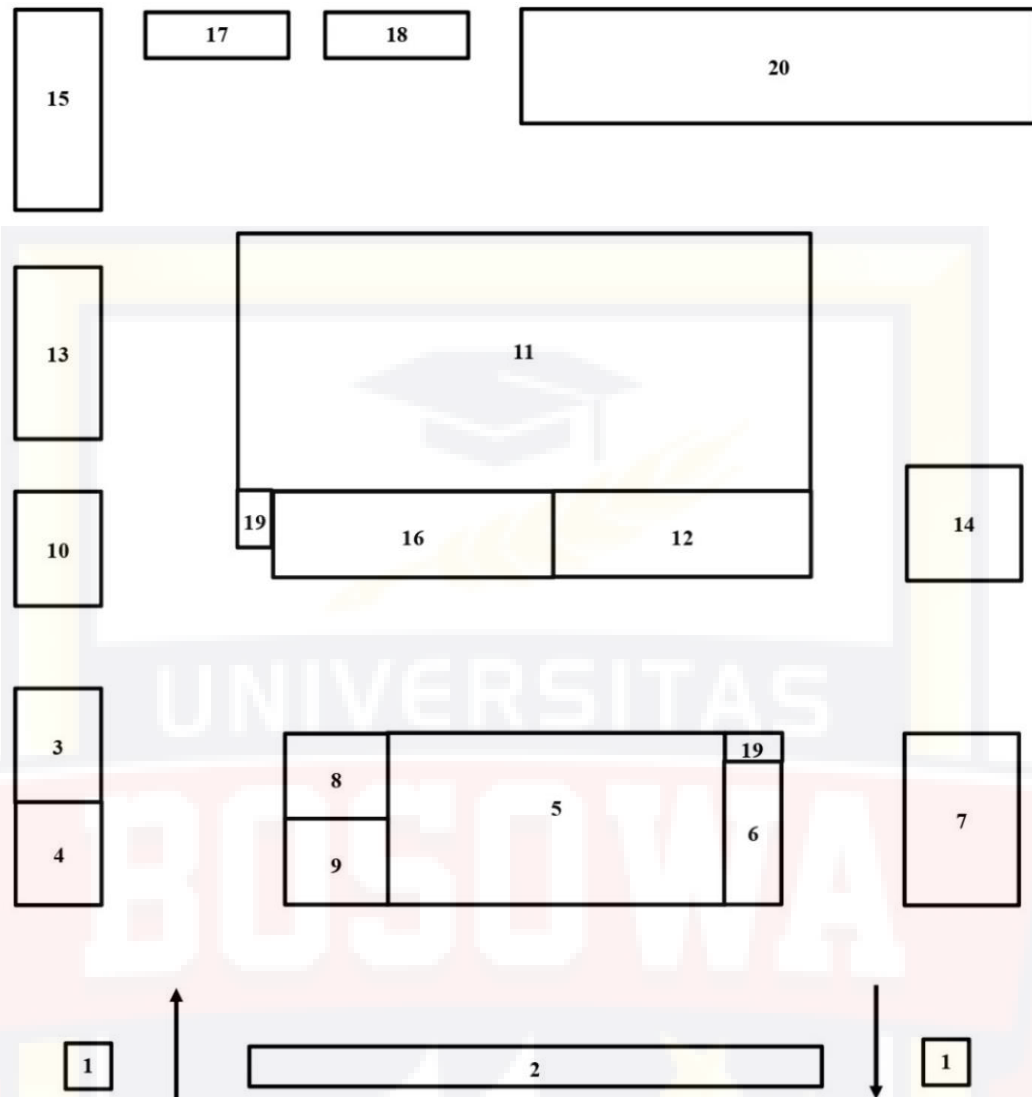
- b. Penempatan alat untuk mempermudah pengawasan.

Pada pabrik natrium bikarbonat terdapat ruangan yang cukup untuk pergerakan pekerja dan pemindahan barang-barang.

Adapun perincian tata letak pabrik, luas tanah dan bangunan, serta tata letak alat proses sebagai berikut:

Tabel 8. 1 Daftar Bangunan dan Luas Bangunan

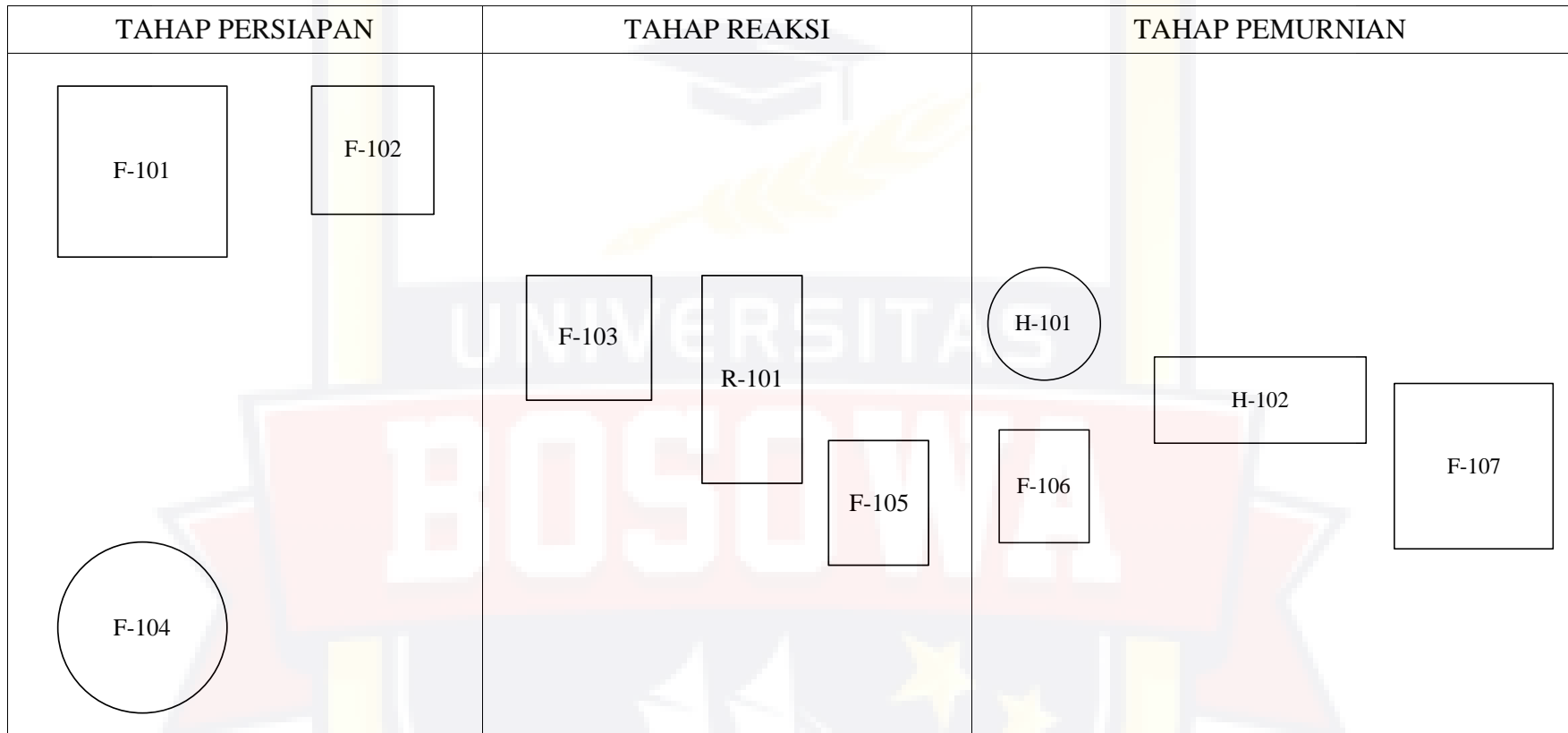
No	Nama bangunan	Jumlah	Luas (m <sup>2</sup> )	Total luas (m <sup>2</sup> )
1	Pos Keamanan	2	64	128
2	Taman	1	700	700
3	Parkir Angkutan	1	300	300
4	Parkir Karyawan dan Tamu	1	270	270
5	Kantor	1	1800	1800
6	Perpustakaan	1	250	250
7	Masjid	1	600	600
8	Kantin	1	270	270
9	Koperasi	1	270	270
10	Poliklinik	1	400	400
11	Daerah Proses	1	4500	4500
12	Laboratorium	1	675	675
13	Daerah Bahan Baku	1	450	450
14	Daerah Produk	1	400	400
15	Daerah Utilitas	1	525	525
16	Ruang Kontrol	1	750	750
17	Bengkel	1	200	200
18	Gudang Peralatan	1	200	200
19	Toilet	2	50	100
20	Area Perluasan	1	1800	1800
<b>Total (m<sup>2</sup>)</b>				<b>14588</b>
<b>Total luas pabrik, Asumsi Jalan 15%</b>				<b>16.776,2</b>



Gambar 8. 1 Tata Letak Pabrik

Keterangan :

Kode	Lokasi	Kode	Lokasi
1	Pos keamanan	12	Laboratorium
2	Taman	13	Daerah bahan baku
3	Parkir Angkutan	14	Daerah produk
4	Parkir Karyawan dan Tamu	15	Daerah utilitas
5	Kantor	16	Ruang kontrol
6	Perpustakaan	17	Bengkel
7	Masjid	18	Gudang peralatan
8	Kantin	19	Toilet
9	Koperasi	20	Area perluasan
10	Poliklinik	↑↓	Jalan masuk dan keluar
11	Daerah proses		



Kode	Nama Alat	Kode	Nama Alat	Kode	Nama Alat
F-101	Gudang Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	R-101	Reaktor	H-102	Rotary Dryer
F-102	Bin Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	F-105	Tangki Produk	F-107	Bin produk
F-103	Tangki Pelarutan	H-102	Rotary Drum Vacuum Filter		
F-104	Storage gas CO <sub>2</sub>	F-106	Tangki Filtrat		

Gambar 8. 2 Tata Letak Alat Proses

## **BAB IX. STRUKTUR ORGANISASI DAN MANAJEMEN PERUSAHAAN**

Setiap perusahaan memiliki suatu organisasi yang berfungsi untuk menjalankan segala aktivitas perusahaan serta memiliki bentuk dan suatu hubungan yang bersifat dinamis bagi masyarakat dan lingkungan. Organisasi perusahaan bersifat dinamis, berarti bahwa perusahaan "mampu mempertahankan jalannya perusahaan, hubungan dengan masyarakat dan lingkungan serta dapat menyesuaikan terhadap perubahan yang terjadi sehingga hambatan-hambatan yang timbul dalam perusahaan dapat diatasi. Perwujudan suatu pengelolaan perusahaan agar mencapai saran secara efektif dan hasil produksi yang besar, maka harus dapat diperhitungkan elemen dasar yang diperlukan dalam suatu perusahaan sebagai alat pelaksanaannya.

### **9.1 Bentuk perusahaan**

Pabrik Natrium Bikarbonat yang direncanakan berdiri di Gresik, Jawa Timur dengan kapasitas 115.000 ton/tahun ini berupa suatu perusahaan yang berbentuk Perseroan Terbatas (PT). PT merupakan bentuk perusahaan yang mendapatkan modal dari penjualan sahamnya dan tiap pemegang saham mengambil bagian sebanyak satu saham atau lebih. Saham adalah surat berharga yang dikeluarkan perusahaan atau PT tersebut. Orang yang memiliki saham berarti telah menyeter modal ke perusahaan dan ikut pula memiliki perusahaan, Pemilihan bentuk perusahaan ini didasarkan pada pertimbangan sebagai berikut :

- a. Mudah mendapatkan modal yaitu dengan menjual saham perusahaan
- b. Tanggung jawab pemegang saham terbatas sehingga kelancaran produksi hanya dipegang oleh pimpinan perusahaan
- c. Pemilik dan pengurus perusahaan terpisah satu sama lain. Pemilik perusahaan adalah pemegang saham dan pengurus perusahaan adalah direksi beserta staf yang diawasi oleh dewan komisaris
- d. Kelangsungan hidup perusahaan lebih terjamin karena tidak berpengaruh dengan berhentinya pemegang saham, direksi beserta stafnya dan karyawan perusahaan
- e. Efisiensi manajemen, para pemegang saham duduk dalam dewan komisaris dan dewan komisaris dapat memilih dewan direksi seperti direktur utama

- f. Lapangan usaha lebih luas, suatu PT dapat menarik modal yang sangat besar dari masyarakat sehingga dengan modal ini PT dapat memperluas usahanya.

Adapun ciri-ciri perusahaan bentuk Perseroan Terbatas (PT) sebagai berikut :

- a. Perusahaan didirikan dengan akta dari notaris berdasarkan kitab UU hukum dagang
- b. Besarnya modal ditentukan dalam akta pendirian dan terdiri dari saham-saham
- c. Pemilik perusahaan adalah para pemegang saham
- d. Perusahaan dipimpin oleh direksi yang dipilih para pemegang saham
- e. Pembinaan personalia sepenuhnya diserahkan kepada direksi dengan memperhatikan hukum – hukum perburuhan.

## **9.2 Struktur Organisasi perusahaan**

Salah satu fungsi manajemen dalam perusahaan adalah fungsi pengorganisasian yang mengatur pembagian tugas, kewajiban serta tanggung jawab antar pegawai. Kegiatan-kegiatan tersebut dikoordinir menggunakan sistem organisasi garis. Struktur organisasi garis adalah struktur organisasi yang melukiskan wewenang garis para pejabat dalam suatu organisasi terhadap pejabat – pejabat dibawahnya dengan suatu otoritas. struktur organisasi dari suatu perusahaan dapat bermacam – macam sesuai dengan bentuk dan kebutuhan dari masing – masing perusahaan. Sistem ini mempunyai keuntungan antara lain :

- a. Biasanya digunakan untuk organisasi yang cukup besar dengan produksi terus menerus.
- b. Terdapat kesatuan pimpinan dan perintah, sehingga disiplin kerja lebih baik.
- c. Masing-masing kepala bagian/manager secara langsung bertanggung jawab atas aktivitas yang dilakukan untuk mencapai tujuan.
- d. Pimpinan tertinggi pabrik dipegang oleh seorang direktur yang bertanggung jawab kepada dewan komisaris.
- e. Anggota dewan komisaris merupakan wakil dan pemegang saham dan dilengkapi dengan staf ahli yang bertugas memberikan nasehat dan saran kepada direktur.

Adapun jenjang kepemimpinan dalam perusahaan ini sebagai berikut :

- a. Pemegang saham
- b. Direktur Utama
- c. Direktur
- d. Kepala Bagian
- e. Kepala Seksi
- f. Karyawan dan Operator

Tanggung jawab, tugas dan wewenang dari masing – masing jenjang kepemimpinan tentu saja berbeda – beda. Tanggung jawab, tugas serta wewenang tertinggi terletak pada puncak pimpinan yaitu dewan komisaris. Sedangkan kekuasaan tertinggi berada pada rapat umum pemegang saham. Struktur organisasi perusahaan dapat dilihat pada Gambar 9.I

### **9.3 Tugas dan Tanggungjawab**

#### **9.3.1 Rapat Umum Pemegang Saham**

Rapat umum pemegang saham merupakan pemegang kekuasaan tertinggi dalam perusahaan. Pemegang saham adalah beberapa orang yang mengumpulkan modal untuk pendirian pabrik dengan cara membeli saham dari perusahaan tersebut. Tugas dan wewenang pemegang saham :

- a. Melakukan rapat untuk memilih, menentukan dan memberhentikan dewan komisaris.
- b. Meminta pertanggungjawaban dewan komisaris
- c. Mengangkat dan memberhentikan direktur utama
- d. Mengesahkan hasil – hasil usaha, neraca dan perhitungan laba rugi tahunan dari perusahaan.

#### **9.3.2 Dewan Komisaris**

Dewan komisaris sebagai wakil dari pemegang saham dan semua keputusan dipegang dan ditentukan oleh rapat persero, biasanya yang terjadi Ketua Dewan komisaris adalah ketua dari pemegang saham dan dipilih dari rapat umum pemegang saham.

Tugas dan wewenang :

- a. Menentukan, mengangkat dan memberhentikan direktur utama

- b. Menentukan dan menyepakati keputusan direksi tentang kebijakan umum, target laba perusahaan, alokasi sumber – sumber dana dan pengarahannya
- c. Mengawasi tugas direksi
- d. Menyetujui atau menolak rencana – rencana yang diajukan oleh direktur utama

### **9.3.3 Direktur Utama**

Direktur utama merupakan pimpinan tertinggi dalam perusahaan dan bertanggung jawab terhadap maju mundurnya perusahaan. Direktur utama bertanggung jawab pada dewan komisaris atas segala tindakan dan kebijaksanaan yang telah diambil sebagai pimpinan perusahaan. Direktur utama dibantu oleh seorang sekretaris.

Tugas dan wewenang :

- a. Menjaga kestabilan manajemen perusahaan dan membuat kelangsungan hubungan yang baik antara pemilik saham, pimpinan dan karyawan
- b. Mengelola, menyetujui dan mengendalikan pengeluaran untuk investasi dan pemanfaatan sebagai modal.
- c. Mengkoordinasi kerja sama antara setiap elemen yang ada di perusahaan

Direktur utama membawahi :

#### 1) Direktur Teknik dan Produksi

Tugas dari direktur teknik dan produksi adalah memimpin pelaksanaan kegiatan pabrik yang berhubungan dengan bidang produksi dan operasi, teknik, pengembangan, pemeliharaan peralatan, pengaduan dan laboratorium.

#### 2) Direktur umum dan administrasi

Tugas direktur umum dan administrasi adalah bertanggung jawab terhadap masalah – masalah yang berhubungan dengan administrasi, personalia, keuangan, pemasaran, humas, keamanan dan keselamatan kerja.

### **9.3.4 Sekretaris**



Tugas sekretaris adalah membantu pimpinan dalam melakukan tugas – tugas harian, baik yang rutin maupun yang khusus. Setiap direktur akan memiliki sekretaris untuk membantu dalam mengatur jadwal dan lain-lain.

### **9.3.5 Kepala Bagian**

Kepala bagian bertugas untuk mengkoordinir, mengatur dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan dalam lingkungan bagiannya sesuai dengan garis – garis yang telah diberikan oleh pimpinan perusahaan. Berikut kepala bagian dari tiap bidang:

1) Bidang Teknik dan Produksi

a. Kepala bagian produksi

Tugas kepala bagian produksi adalah bertanggung jawab ke direktur teknik dan produksi, mengatur dan merencanakan pelaksanaan produksi.

b. Kepala bagian Teknik

Tugas kepala bagian teknik adalah bertanggung jawab atas pemeliharaan dan perbaikan alat-alat dibagian produksi dan unit penunjangnya.

c. Kepala bagian Penelitian dan Pengembangan

Tugas kepala bagian penelitian dan pengembangan adalah mengadakan proyek penelitian dan pengembangan untuk menunjang produksi pabrik, serta mengawasi kegiatan laboratorium dan pengolahan data serta pengendalian mutu.

2) Bidang Umum dan Administrasi

a. Kepala bagian Umum

Tugas kepala bagian umum adalah bertanggung jawab terhadap kegiatan yang berhubungan dengan tata usaha, personalia dan rumah tangga perusahaan.

b. Kepala bagian Pengembangan SDM

Tugas kepala bagian PSDM adalah

c. Kepala bagian Keuangan dan Pemasaran

Tugas kepala bagian keuangan dan pemasaran adalah bertanggung jawab kepada direktur umum dan administrasi mengenai pengeluaran dan pemasukan yang berkaitan tentang keuangan, pembelian, serta pemasaran.

### **9.3.6 Kepala Seksi**

Kepala seksi adalah pelaksanaan pekerjaan dalam lingkungan bagiannya sesuai dengan rencana yang telah diatur oleh para kepala bagian masing-masing. Setiap kepala seksi bertanggung jawab terhadap kepala bagian masing-masing.

- 1) Bagian produksi
  - a. Kepala seksi Proses
  - b. Kepala seksi Quality Control
  - c. Kepala seksi utilitas
- 2) Bagian Teknik
  - a. Kepala seksi perawatan alat
  - b. Kepala seksi bengkel
- 3) Bagian Penelitian dan Pengembangan
  - a. Kepala seksi laboratorium
  - b. Kepala seksi Pengembangan
- 4) Bagian Umum
  - a. Kepala seksi humas
  - b. Kepala seksi logistic
  - c. Kepala seksi transportasi
  - d. Kepala seksi keamanan
- 5) Bagian Pengembangan SDM
  - a. Kepala seksi personalia
  - b. Kepala seksi K3
  - c. Kepala seksi Pendidikan dan pelatihan
- 6) Bagian Keuangan dan Pemasaran
  - a. Kepala seksi keuangan
  - b. Kepala seksi pembelian
  - c. Kepala seksi pemasaran

## **9.4 Status karyawan dan sistem upah**

Status karyawan tergantung dari tingkat pendidikan, kedudukan dan tanggung jawab serta keahlian/pengalaman. Status karyawan dapat digolongkan sebagai berikut:

### **9.4.1 Karyawan Tetap**

Karyawan tetap adalah karyawan yang dapat diangkat sebagai karyawan tetap perusahaan berdasarkan surat keputusan Direktur. Pembayaran upah didasarkan atas upah bulanan dan mendapat hak penuh atas tunjangan-tunjangan dan jaminan sosial yang diberikan perusahaan.

### **9.4.2 Karyawan Harian**

Karyawan harian adalah karyawan yang masih menjalani masa kerja percobaan paling lama tiga bulan. Diterima atas pengajuan kepala yang membawahinya. Pembayaran upah berdasarkan atas upah bulanan, tetapi belum mendapatkan hak penuh atas tunjangan-tunjangan dan jaminan sosial yang diberikan perusahaan.

### **9.4.3 Karyawan Tidak Tetap**

Karyawan tidak tetap adalah karyawan yang bekerja secara harian atau borongan, seperti buruh, pengangkat barang, buruh bangunan dan lain-lain yang bekerja pada saat-saat tertentu, mereka bekerja berdasarkan nota persetujuan kepala yang membawahinya atas permintaan kepala bagian yang memerlukan. Perincian besar gaji karyawan pabrik diberikan disesuaikan dengan Keputusan Gubernur Jawa Timur Nomor 188/803/KPTS/013/2021 tentang upah minimum Kabupaten/Kota di Daerah Provinsi Jawa Timur Tahun 2022.

## **9.5 Sistem jam kerja**

Pabrik direncanakan beroperasi 330 hari dalam setahun dan selama 24 jam tiap harinya. Pembagian jadwal kerja karyawan menjadi 2, yaitu karyawan non shift dan karyawan shift.

### **9.5.1 Karyawan non shift**

Karyawan non shift merupakan karyawan yang bekerja di bagian kantor seperti direktur, kepala-kepala bagian, dan kepala-kepala seksi. Bekerja selama 6 hari dalam 1 minggu dan bekerja penuh selama 1 tahun (UU Nomor 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja). Ketentuan jam kerja adalah sebagai berikut :

Hari Senin - Sabtu : pukul 08.00 s/d 16.00

Waktu istirahat :

Selain hari jumat : pukul 12.00 s/d 13.00

Hari Jumat : pukul 11.30 s/d 13.00

Hari Minggu dan hari besar lainnya libur.

### 9.5.2 Karyawan Shift

Karyawan shift merupakan karyawan yang bekerja di bagian produksi atau mengatur bagian – bagian tertentu dari pabrik yang mempunyai hubungan dengan keamanan dan kelancaran produksi. Karyawan shift termasuk operator produksi, sebagian dari bagian teknik, bagian gudang, bagian keamanan dan bagian – bagian yang harus selalu siaga untuk menjaga keselamatan kerja dan keamanan pabrik. Sehari bekerja selama 24 jam yang terbagi dalam 3 shift.

Shift 1 (pagi) : pukul 08.00 s/d 16.00

Shift II (Sore) : pukul 16.00 s d 24.00

Shift III (malam) : pukul 24.00 s/d 08.00

Karyawan shift dibagi dalam 4 regu, dalam sehari produksi 3 regu bekerja dan 1 regu istirahat dan dikenakan secara bergantian. Tiap regu akan mendapatkan giliran 3 hari kerja dan 1 hari libur tiap – tiap shift dan masuk lagi untuk shift berikutnya.

Jadwal kerja masing-masing regu ditabelkan sebagai contoh :

Tabel 9. 1 Pengaturan Shift Kerja Karyawan

Hari ke-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Shift I	A	A	A	B	B	B	C	C	C	D
Shift II	B	B	B	C	C	C	D	D	D	A
Shift III	C	C	C	D	D	D	A	A	A	B
Libur	D	D	D	A	A	A	B	B	B	C

Keterangan :

A = Kelompok kerja pertama

B = Kelompok kerja kedua

C = Kelompok kerja ketiga

D = Kelompok kerja keempat

## **9.6 Fasilitas bagi karyawan**

Karyawan pabrik selain mendapat gaji tetap juga menerima tunjangan sosial dan juga penyegaran rohani melalui kajian-kajian agama yang diberikan oleh perusahaan agar kesejahteraan para karyawan baik lahiriah maupun batiniah dapat benar-benar terjamin. Tunjangan sosial ini merupakan jaminan yang diterima pihak karyawan diluar kesalahan jaminan sosial yang diberikan oleh perusahaan pada karyawan antara lain :

### **9.6.1 Jaminan kesehatan**

Jaminan kesehatan ini sangat penting bagi kelangsungan kerja bagi karyawan oleh karena itu di dalam lingkungan perusahaan didirikan poliklinik yang dilengkapi dengan para medis dan alat-alat yang memadai. Adanya poliklinik uni ditujukan untuk menanggulangi kecelakaan baik yang ringan maupun yang gawat darurat pada saat mengalami kecelakaan kerja. Perusahaan juga menyediakan rumah sakit yang ditunjuk oleh perusahaan untuk keperluan perusahaan bagi karyawan sekeluarga.

### **9.6.2 Jaminan asuransi**

Seluruh karyawan akan diasuransikan oleh perusahaan sesuai yang ditetapkan pemerintah.

### **9.6.3 Fasilitas lainnya**

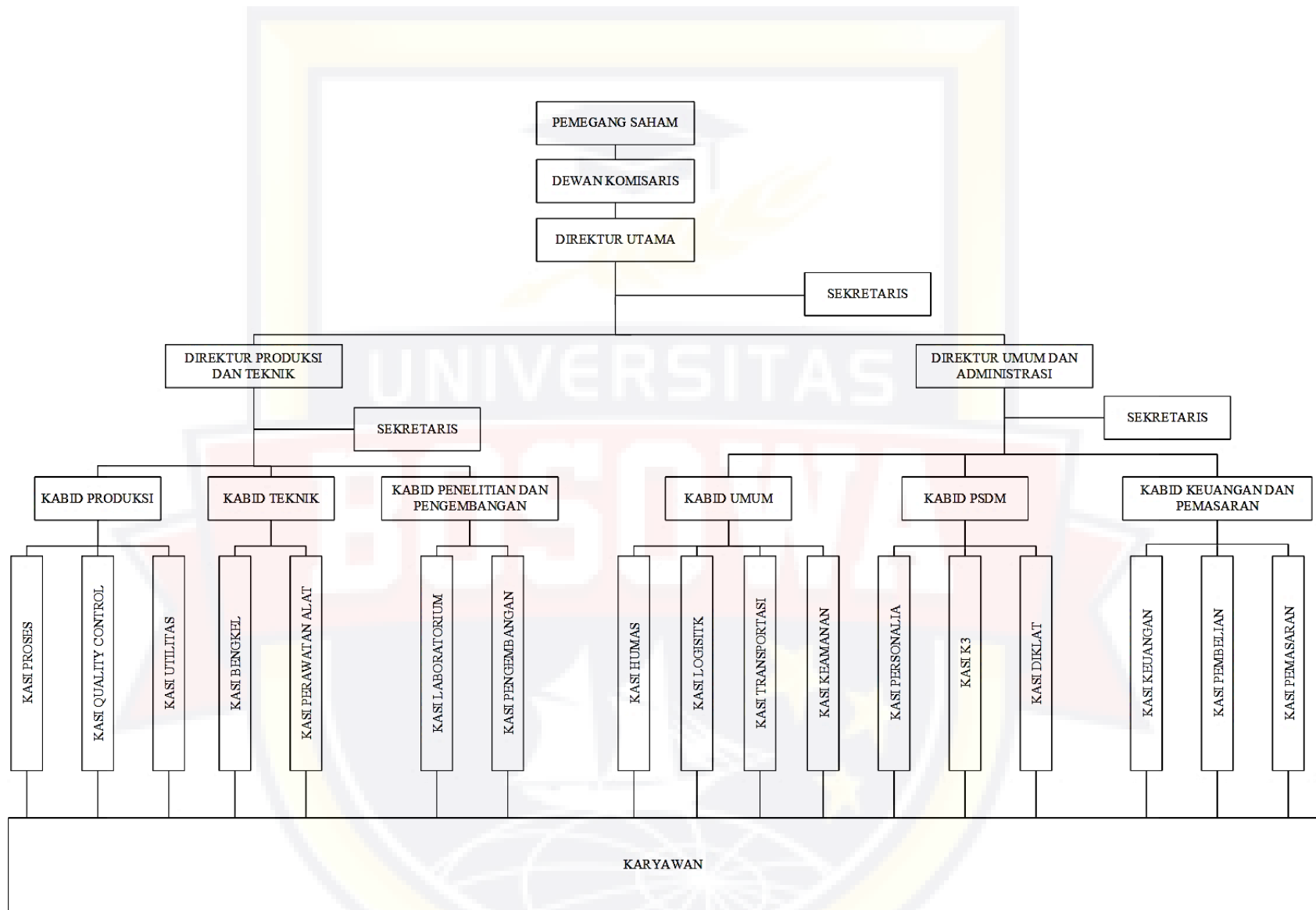
Perusahaan akan menyediakan perumahan bagi karyawan yang dilengkapi dengan sarana rekreasi, sarana ibadah, sekolah bagi anak-anak karyawan

## **9.7 Pengelompokkan dan jumlah karyawan**

Pengelompokkan dan jumlah Karyawan Pengelompokkan karyawan ini disesuaikan dengan struktur organisasi perusahaan, pengelompokkan ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 9. 2 Jumlah karyawan dan Gaji Karyawan

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan (Rp)	Total Gaji/Bulan (Rp)
1	Direktur Utama	1	28.000.000	28.000.000
2	Wakil Direktur	2	20.000.000	40.000.000
3	Sekretaris	3	10.000.000	30.000.000
4	Kepala Bagian	6	8.000.000	48.000.000
5	Kepala Seksi	17	7.000.000	119.000.000
6	Karyawan Shift			
	Produksi	24	5.300.000	127.200.000
	Qc	6	5.300.000	31.800.000
	Utilitas	6	5.300.000	31.800.000
	Bengkel	6	5.300.000	31.800.000
	Perawatan Alat	6	5.300.000	31.800.000
	Laboratorium	12	5.300.000	63.600.000
	Pengembangan	3	5.300.000	15.900.000
	Transportasi	6	5.300.000	31.800.000
	Keamanan	6	5.300.000	31.800.000
	K3	3	5.300.000	15.900.000
7	Karyawan Non-Shift			
	Produksi	4	4.500.000	18.000.000
	Qc	2	4.500.000	9.000.000
	Utilitas	2	4.500.000	9.000.000
	Bengkel	2	4.500.000	9.000.000
	Perawatan Alat	2	4.500.000	9.000.000
	Laboratorium	2	4.500.000	9.000.000
	Pengembangan	2	4.500.000	9.000.000
	Humas	4	4.500.000	18.000.000
	Logistic	4	4.500.000	18.000.000
	Transportasi	2	4.500.000	9.000.000
	Keamanan	2	4.500.000	9.000.000
	Personalia	2	4.500.000	9.000.000
	K3	2	4.500.000	9.000.000
	Pendidikan dan Pelatihan	2	4.500.000	9.000.000
	Keuangan	2	4.500.000	9.000.000
	Pembelian	3	4.500.000	13.500.000
	Pemasaran	3	4.500.000	13.500.000
8	Dokter	2	6.500.000	13.000.000
9	Perawat	4	4.500.000	18.000.000
	Total	155		898.400.000
	<b>Total per tahun</b>			<b>10.780.800.000</b>



Gambar 9. 1 Struktur Organisasi

## BAB X. ANALISIS EKONOMI

Kelayakan suatu pabrik selain mempertimbangkan faktor teknis juga harus ditinjau dari segi ekonomis. Faktor-faktor yang perlu untuk ditinjau antara lain laju pengembalian modal (*rate of return*), lama pengembalian modal (*pay out time*), dan titik impas (*Break event point*). Untuk meninjau faktor-faktor tersebut, perlu adanya penaksiran terhadap beberapa faktor :

1. Penaksiran modal industri (*total capital investment*) yang terdiri dari :
  - a. Modal tetap (*fixed capital investment*)
  - b. Modal kerja (*working capital investment*)
2. Penentuan biaya produksi total (*production cost*) yang terdiri dari :
  - a. Biaya pembuatan (*manufacturing cost*)
  - b. Biaya pengeluaran umum (*general expenses*)
3. Analisa untung rugi (*profitability analisis*) jika pabrik tersebut didirikan.

### 10.1 Perkiraan Harga Alat

#### Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi	: 115.000 ton/tahun
Satu tahun operasi	: 330 hari
Tahun beroperasi	: 2027
Asumsi Kurs Dollar 2027	: Rp. 16.378,14
Luas Pabrik	: 16.776,20 m <sup>2</sup>
Harga Tanah	: 2.000.000 /m <sup>2</sup> ( <a href="https://www.priceza.co.id">https://www.priceza.co.id</a> , 2022)

Pabrik natrium bikarbonat direncanakan akan didirikan pada tahun 2027 (x). Perkiraan harga alat berdasarkan harga alat pada tahun 2014 (y). perhitungan penafsiran harga peralatan tersebut diperlukan indeks harga yang dapat digunakan untuk mengkonversi harga peralatan pada masa lalu, sehingga diperoleh harga peralatan pada saat ini.

Penentuan harga alat pada tahun 2027, dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Ex = Ey \left( \frac{Nx}{Ny} \right)$$



Keterangan :

$E_x$  : harga alat pada tahun x

$E_y$  : harga alat pada tahun y

$N_x$  : indeks harga pada tahun x

$N_y$  : indeks harga pada tahun y

Kenaikan indeks tiap tahun merupakan fungsi linear sehingga tahun dan indeks harga pada tahun yang ditentukan merupakan persamaan garis lurus.

Penaksiran harga peralatan yang sama dengan kapasitas yang berbeda digunakan sebagai berikut :

$$V_A = V_B \left( \frac{C_A}{C_B} \right)^n$$

Keterangan :

$V_A$  : harga alat A

$V_B$  : harga alat B

$C_A$  : kapasitas A

$C_B$  : kapasitas B

$n$  : eksponen harga alat (0,6)

## 10.2 Total Capital Investment

Total capital investment adalah jumlah modal yang harus dikeluarkan agar sebuah pabrik baru dapat terwujud dan siap untuk beroperasi. Secara garis besar total capital investment terdiri dari :

- a. Fixed Capital Investment (FCI) yaitu jumlah modal yang harus dikeluarkan untuk pembelian dan pemasangan seluruh mesin dan peralatan. Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai Fixed Capital Investment sebesar Rp. 464.306.714.644. Berikut rincian dari modal tetap terdiri dari :

### *Direct Cost*

*Direct cost* adalah berupa biaya untuk bahan dan buruh yang aktif dalam pembangunan pabrik, diperkirakan sebesar 70-85% dari Fixed Capital Investment.

1. Pengadaan Alat merupakan biaya pembelian alat baik alat proses maupun alat pendukung lainnya. Apabila alat yang dibeli adalah barang import, biasanya akan terkena biaya tambahan seperti biaya pengangkutan, asuransi, pajak, dan gudang.
2. Biaya pemasangan alat (instalasi), merupakan biaya yang dibutuhkan untuk pemasangan alat-alat proses maupun alat pendukung di lokasi pabrik.
3. Biaya pemipaan (piping), merupakan biaya yang dikeluarkan untuk pembelian maupun pemasangan pipa pada alat-alat proses maupun alat pendukung di lokasi pabrik.
4. Biaya instrumentasi dan alat kontrol, merupakan biaya yang digunakan untuk melengkapi sistem proses maupun utilitas dengan suatu sistem pengendalian. Sistem pengendalian disini termasuk pembelian dan pemasangan instrumentasi dan alat-alat kontrol sesuai dengan kebutuhan.
5. Biaya instalasi listrik, merupakan biaya yang dipakai untuk pengadaan sarana pendukung dalam pendistribusian tenaga listrik. Biaya instalansi disini belum termasuk dengan alat penyedia listrik.
6. Biaya bangunan dan sarana, merupakan biaya yang diperlukan untuk mendirikan bangunan-bangunan di dalam lingkungan pabrik. Biaya bangunan dan sarana ini disesuaikan dengan kondisi daerah tempat didirikannya pabrik.
7. Biaya tanah dan perataan tanah, adalah biaya untuk pembelian tanah, perbaikan kondisi tanah (perataan), dan pembuatan jalan ke areal pabrik.

Dari hasil perhitungan didapatkan *direct cost* Rp. 317.053.441.395.

#### *Indirect Cost*

*Indirect Cost* berupa biaya yang tidak berhubungan langsung dengan bahan dan buruh yang aktif dalam pembangunan pabrik dengan perkiraan sebesar 15 – 30% dari Fixed Capital Investment.

1. *Engineering and construction cost* merupakan biaya untuk keperluan *design engineering, field supervisor, temporary construction* dan *inspection*.
2. *Contractor's* adalah biaya yang dipakai untuk membayar kontraktor pembangun pabrik.

3. *Contingency* merupakan biaya kompensasi terhadap pengeluaran yang tak terduga, perubahan proses meskipun kecil, perubahan harga dan kesalahan estimasi.

Dari hasil perhitungan didapatkan *indirect cost* Rp. 147.253.273.249.

b. Working Capital Investment (WCI) yaitu modal yang harus dikeluarkan setelah pabrik berdiri. Modal yang dimaksudkan untuk pembiayaan pabrik pada awal masa operasi. Untuk mempermudah menghitung jumlah working capital biasanya didasarkan pada Total Capital Investment yang besarnya antara 10 – 20%. Dari perhitungan didapatkan sebesar Rp. 103.179.269.921.

Adapun nilai Total Capital Investment didapatkan dari jumlah Fixed Capital Investment dan Working Capital Investment sebesar Rp. 515.896.349.605

### **10.3 Perkiraan Biaya Produksi**

Ongkos produksi ada yang berhubungan langsung dengan produksi dan ada juga yang tidak berhubungan langsung dengan produksi, tetapi dengan komponen lain-lainnya, misalnya: administrasi, pemasaran, pengembangan dan lainnya. Secara umum ongkos produksi dapat dibagi menjadi dua, yaitu: Manufacturing cost dan General expenses.

#### *a. Manufacturing cost*

Manufacturing cost, adalah biaya yang harus dikeluarkan untuk mengolah bahan baku menjadi bahan jadi, yang terdiri dari: *direct production cost*, *fixed charges* dan *plant over-head cost*.

#### *Direct Production Cost*

Direct Production Cost adalah biaya produksi yang berhubungan langsung dengan pengolahan bahan baku menjadi bahan jadi.

1. Biaya bahan baku dan penunjangnya
2. Biaya buruh pabrik langsung
3. Biaya pengawasan langsung dari perburuhan
4. Biaya utilitas
5. Biaya pemeliharaan dan perbaikan
6. Persediaan bahan atau operating supplies,
7. Biaya laboratorium
8. Biaya Patent dan Rotalities,

### *Fixed Charges*

Biaya fixed charges atau biaya yang dikeluarkan walaupun pabrik tidak memproduksi, yang termasuk dalam fixed charges adalah:

1. Biaya Depresiasi, yaitu biaya yang dikeluarkan akibat adanya penurunan nilai (value) harga peralatan, karena: umur alat, kemajuan teknologi, sehingga alat tersebut menjadi kalah bersaing dengan alat lain, dan faktor lain sehingga alat tersebut diberhentikan operasinya.
2. Biaya pajak local yang berkaitan dengan pajak kekayaan
3. Biaya asuransi pabrik

### *Plant Over-Head Cost*

Plant Over-head Cost atau biaya lebih yang dikeluarkan pabrik diluar perencanaan atau 5 – 15% dari total production cost atau 50% dari total gaji, pemeliharaan, dan pengawasan.

### *b. General expenses*

General expenses, yang terdiri dari pengeluaran: administrasi, distribusi dan penjualan, penelitian dan pengembangan, dan ongkos yang berhubungan dengan keuangan atau financing, yang termasuk dalam General expenses adalah:

1. Biaya administrasi, yaitu biaya yang dikeluarkan untuk gaji direksi, karyawan gudang, pelayanan kantor dan komunikasi.
2. Ongkos distribusi dan penjualan, termasuk untuk kantor, penjualan, salesman, pengepakan dan adpertensi.
3. Research and development
4. Financing yaitu hutang piutang dan bunga bank.

Total production cost dapat dihitung dengan menjumlahkan total manufacturing cost dan general expenses. Dari perhitungan didapatkan total production cost sebesar Rp. 1.310.761.231.723,52

## **10.4 Total Penjualan**

Hasil penjualan produk sebagai berikut :

$$= 14.520,20 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 330 \text{ hari/tahun} \times \text{Rp } 14.000,- /\text{kg}$$

$$= \text{Rp } 1.610.000.000.000,00$$

## 10.5 Perkiraan Laba Usaha

Dari hasil perhitungan diperoleh rata-rata laba sebagai berikut :

Rata-rata laba sebelum pajak = Rp 245.309.643.033,69

Rata-rata laba sesudah pajak = Rp 159.451.267.971,90

## 10.6 Analisa Kelayakan

Beberapa cara yang digunakan untuk menyatakan kelayakan ekonomi antara lain adalah *Percent Profit on Sales (POS)*, *Percent Return On Investment (ROI)*, *Pay Out Time (POT)*, *Net Present Value (NPV)*, *Interest Rate of Return (IRR)*, *Break Even Point (BEP)*, dan *Shut Down Point (SDP)*

### ***Percent Profit on Sales (POS)***

*Percent profit on sales* merupakan salah satu metode untuk menyatakan tingkat keuntungan dari produk yang dijual. Dari hasil perhitungan diperoleh sebagai berikut :

POS sebelum pajak = 15,24 %

POS setelah pajak = 9,90 %

### ***Percent Return On Investment (ROI)***

*Return on investment* adalah tingkat keuntungan yang dapat dihasilkan dari tingkat investasi yang dikeluarkan. Dari hasil perhitungan diperoleh sebagai berikut :

ROI sebelum pajak = 52,83 %

ROI setelah pajak = 34,34 %

### ***Pay Out Time (POT)***

*Pay out time* adalah waktu pengembalian modal yang dihasilkan berdasarkan keuntungan yang dicapai. Perhitungan ini diperlukan untuk mengetahui berapa lama investasi yang telah dilakukan akan kembali. Dari hasil perhitungan diperoleh sebagai berikut :

POT sebelum pajak = 1,59 tahun

POT setelah pajak = 2,26 tahun

### ***Interest Rate of Return (IRR)***

Interest rate of return (IRR) berdasarkan discounted cash flow adalah suatu tingkat bunga tertentu dimana seluruh penerimaan akan tetap menutup seluruh jumlah pengeluaran modal. Cara yang dilakukan adalah dengan trial  $i$ , yaitu laju bunga. Nilai  $i$  yang didapatkan sudah dianggap benar apabila *present value* sama dengan total investasi.

Nilai sekarang dari arus kas pada suku bunga = Rp 609.919.311.193,80

Investasi awal = Rp 609.952.881.790,38

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai  $i$  sebesar 30,34% /tahun. Harga  $i$  yang diperoleh lebih besar dari harga  $i$  untuk pinjaman modal pada bank. Hal ini menunjukkan bahwa pabrik layak untuk didirikan dengan kondisi tingkat bunga bank sebesar 8,2% /tahun.

### ***Break Even Point***

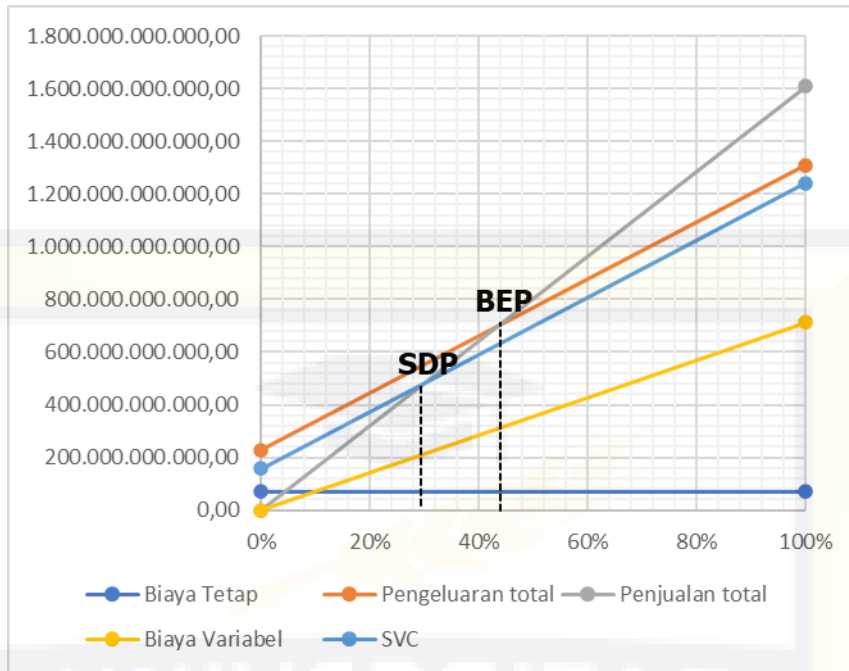
*Break event point* adalah titik yang menunjukkan pada tingkat berapa biaya dan penghasilan jumlahnya sama. BEP dapat menentukan tingkat berapa harga jual dan jumlah unit yang dijual secara minimum dan berapa serta unit penjualan yang harus dicapai agar mendapatk keuntungan. Range nilai BEP masih diijinkan berkisar 40 -60%

$$\text{BEP} = 43\%$$

### ***Shut Down Point***

*Shut Down Point* adalah suatu titik atau saat penentuan aktivitas produksi dihentikan. Penyebabnya antara lain *variable cost* yang terlalu tinggi, atau karena keputusan manajemen akibat tidak ekonomisnya suatu aktivitas produksi (tidak menghasilkan keuntungan. Pabrik layak didirikan apabila Persentase SDP lebih kecil dari Persentase BEP.

$$\text{SDP} = 30\%$$



Gambar 10. 1 Grafik BEP dan SDP Pabrik Natrium Bikarbonat dengan Kapasitas 115.000 Ton/Tahun



## BAB XI. KESIMPULAN

1. Pabrik Natrium Bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) dengan kapasitas produksi 1150.000 ton/tahun direncanakan didirikan di Kawasan Kawasan Industri JIPE (Java Integrated Industrial and Port Estate) dengan luas tanah 16.776,2 m<sup>2</sup> . Pabrik tersebut menghasilkan produk 14.520,20 kg/jam yang beroperasi selama 330 hari efektif setiap tahun dan 24 jam/hari dengan jumlah tenaga kerja sebanyak 155 orang.
2. Ditinjau dari segi ekonomi, pabrik Natrium Bikarbonat tersebut membutuhkan Fixed Capital Rp 464.306.714.644 dan Working Capital Rp 103.179.269.921 Analisis ekonomi pabrik tersebut menunjukkan nilai ROI sebelum pajak sebesar 52,83% dan ROI sesudah pajak sebesar 34,34 %. Nilai POT sebelum pajak adalah 1,59 tahun dan POT sesudah pajak adalah 2,26 tahun. BEP sebesar 43,3% kapasitas produksi dan SDP sebesar 30,1% kapasitas produksi. Nilai Discounted Cash Flow didapatkan sebesar 30,34%. Berdasarkan data analisis ekonomi tersebut, maka pabrik Natrium Bikarbonat dari Natrium Karbonat dan CO<sub>2</sub> layak untuk dikaji lebih lanjut



## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2022. Statistik Perdagangan Luar Negeri Ekspor Menurut HS tahun 2017-2021. URL : <https://www.bps.go.id>. Diakses tanggal 21 April 2022.
- Badan Pusat Statistik. 2022. Statistik Perdagangan Luar Negeri Impor Menurut HS tahun 2017-2021. URL : <https://www.bps.go.id>. Diakses tanggal 21 April 2022.
- Brown, G.G. 1961. “*Unit Operation*”, Modern Asia Edition, Charles E. Tuttle Co., Tokyo.
- Brownell, L. E., Young, E. H., 1959. “*Process Equipment Design*”. John Wiley and Sons Inc, New York.
- Coulson and Richardson’s. 1993. “*Chemical Engineering*”, Volume 6 (Design), 2<sup>nd</sup> edition, Pergamon Press, New York.
- Faith Keyes and Clark, 1975, " *Industrial Chemical*", 4,h Edition, Jonh Wiley and Sons Inc., New York.
- Handoko, Okta Tri. 2016. Prarancangan Pabrik Sodium Hidrogen Karbonat dari Sodium Karbonat, Karbon Dioksida dan Air dengan Kapasitas 30.000 Ton/Tahun. *Skripsi*. Fakultas Teknik Universitas Lampung, Kota Bandar Lampung.
- Jiipe.com. 2022. Kawasan Industri JIPE. *Artikel & Berita*. URL : <https://www.jiipe.com>. Diakses tanggal 30 April 2022.
- Kemenperin.go.id. 2021. Sektor Industri Kimia, Farmasi, dan Tekstil Siap Terapkan Industri 4.0. URL : <https://kemenperin.go.id/artikel/22442/Sektor-Industri-Kimia,-Farmasi,-dan-Tekstil-Siap-Terapkan-Industri-4.0>. Diakses tanggal 1 April 2022.
- Kern, D. Q. 1950. “*Process Heat Transfer*”, International Student Edition, McGRAW-HILL Kogusha Ltd., Tokyo.
- LabChem. 2020. Water Safety Data Sheet. URL : <https://www.labchem.com/tools/msds/msds/LC26750.pdf>. Diakses tanggal 15 April 2022.
- LabChem. 2019. Sodium Bicarbonate Safety Data Sheet. URL : <https://www.labchem.com/tools/msds/msds/LC26750.pdf>. Diakses tanggal 15 April 2022.

Mc. Cabe, W.L. and Smith, J.C. 1999. “*Unit Operation of Chemical Engineering*”, 4<sup>th</sup> edition, Mc. Graw Hill Book, Inc, New York.

Media Indonesia. 2018. Semen Indonesia Tekan Emisi CO2 dengan pemanfaatan panas gas buang. URL : <https://mediaindonesia.com/ekonomi/147088/semen-indonesia-tekan-emisi-co2-dengan-pemanfaatan-panas-gas-buang>. Diakses tanggal 5 April 2022.

Metcalf & Eddy. 1991. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, Third Edition, McGraw-Hill, New York.

Perry, R.H., and Green, D.W. 1984. *Perry’s Chemical Engineering Handbook*, 6 ed. McGraw-Hill Book Company Inc. Singapore.

Perry, R. H., Chilton, C.H., 1997, “*Chemical Engineer Hand Book*”, 7th edition, McGRAW-HILL, Tokyo.

Peter S. and Timmerhause. 1991. “*Plant Design and Economic for Chemical Engineering*”, 4 th edition, McGraw-Hill, Singapore.

PT. Smart Lab Indonesia. 2019. Lembar Data Keselamatan Bahan Sodium Karbonat Menurut peraturan (UE) no.1907/2006. URL : [https://smartlab.co.id/assets/pdf/MSDS\\_SODIUM\\_CARBOONATE\\_\(INDO\).pdf](https://smartlab.co.id/assets/pdf/MSDS_SODIUM_CARBOONATE_(INDO).pdf). Diakses tanggal 15 April 2022.

PT Molindo Inti Gas. 2021. Lembar Data Keselamatan Bahan Karbon Dioksida. URL : <https://e-katalog.lkpp.go.id>. Diakses tanggal 15 April 2022.

United Nations of Educational, Scientific, and Cultural Organization. 2002. The UN Committee on Economic, Social and Cultural Rights adopted its general comment No. 15 on the right to water stating.. URL : [www.unesco.org](http://www.unesco.org). Diakses tanggal 1 Desember 2022.

Walas, M. S., 1988, “*Chemical Process Equipment*”, Butterworth Publisher, Bston

## LAMPIRAN A. NERACA MASSA

Basis operasi = 1 jam

Basis = 100 kg/jam

Kapasitas Produksi = 115.000 ton/tahun

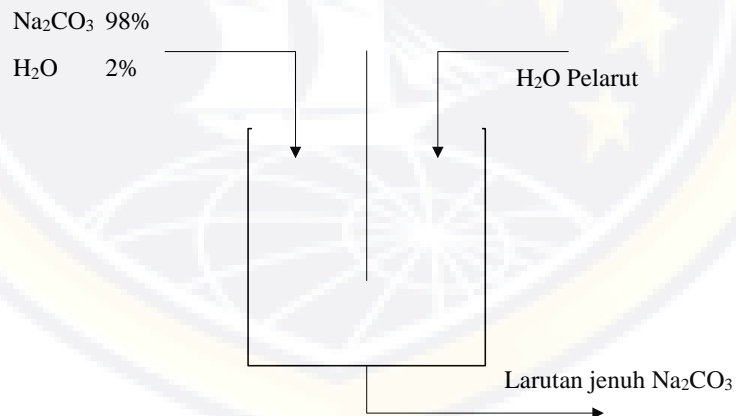
Waktu Operasi = 330 hari/tahun

$$\begin{aligned}\text{Rate Produksi} &= 115.000 \text{ ton/tahun} \times \frac{1 \text{ Tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ Hari}}{24 \text{ Jam}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ Ton}} \\ &= 14.520,202020 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan basis 100 kg/jam, didapatkan berat produk sebesar 150,058763. Maka dari itu, faktor pengali dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Faktor Pengali} &= \frac{\text{Rate Produksi}}{\text{Berat produk}} \\ &= \frac{14.520,202020 \text{ kg/jam}}{150,058763 \text{ kg/jam}} \\ &= 96,763439\end{aligned}$$

### A. Tangki Pelarutan



Komposisi bahan baku Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> standar (padatan)

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 98% berat

H<sub>2</sub>O = 2% berat

Basis perhitungan = 100 kg umpan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

Komposisi bahan baku yang masuk tangki pelarutan

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 98% x 100 kg = 98 kg x 96,763439 = 9.482,817064 kg

H<sub>2</sub>O = 2% x 100 kg = 2 kg x 96,763439 = 193,526879 kg

Diketahui larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> =  $\frac{50,5 \text{ kg}}{100 \text{ H}_2\text{O}}$  (pada T = 30°C)  
(Perry's edisi 6 tabel 3-120, halaman 3-99)

H<sub>2</sub>O pelarut yang dibutuhkan =  $\frac{100 \text{ kg H}_2\text{O}}{50,5 \text{ kg Na}_2\text{CO}_3}$  x 98 kg Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>  
= 194,095406 kg x 96,763439  
= 13.062,856050

H<sub>2</sub>O pelarut yang masuk tangki pelarutan

= H<sub>2</sub>O pelarut yang dibutuhkan - H<sub>2</sub>O dalam Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

= 194,095406 kg - 2 kg

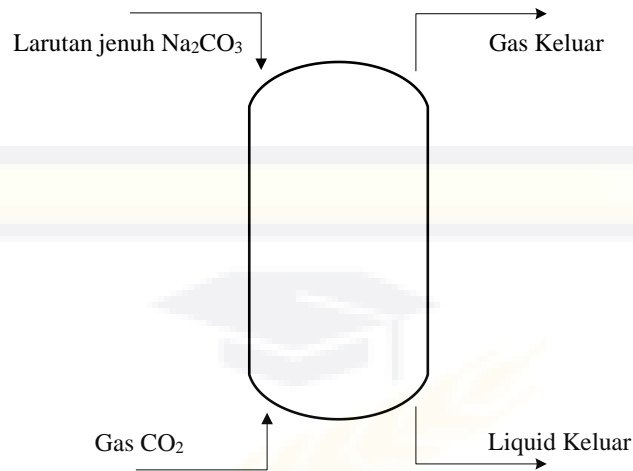
= 192,095406 kg x 96,763439

= 18.584,328693

Neraca massa total tangki pelarutan

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)
	1	2	3
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9.482,817064	-	9.482,817064
H <sub>2</sub> O	193,526879	18.584,328693	18.777,855572
Total	<b>9.676,343943</b>	<b>18.584,328693</b>	<b>28.260,672636</b>
	<b>28.260,672636</b>		

## B. Reaktor



Kondisi operator reaktor (*Faith & Keyes halaman 654-655*)

Tekanan = 28 atm

Temperatur = 40°C

Konveksi reaksi = 97%

Fase reaksi = Gas-cair

Komposisi bahan baku

Larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> jenuh

Gas CO<sub>2</sub> : gas buangan PT. Semen Gresik

CO<sub>2</sub> = 98%

H<sub>2</sub>O = 0,10%

N<sub>2</sub> = 0,48%

H<sub>2</sub> = 1,38%

CH<sub>4</sub> = 0,04%

Diketahui

Komposisi gas larutan jenuh masuk reaktor dari tangki pelarutan

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 98 kg x 96,763439 = 9.482,817064 kg

H<sub>2</sub>O = 194,095406 kg x 96,763439 = 18.777,855572 kg

Reaksi pada reaktor



Berat Molekul

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 = 106 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 18 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{CO}_2 = 44 \text{ kg/kmol}$$

$$\text{NaHCO}_3 = 84 \text{ kg/kmol}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol Na}_2\text{CO}_3 \text{ mula-mula} &= \frac{\text{berat}}{\text{Mr}} \\ &= \frac{98 \text{ kg}}{106 \text{ kg/kmol}} \\ &= 0,924528 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol Na}_2\text{CO}_3 \text{ bereaksi} &= \frac{97}{100} \times \text{mol Na}_2\text{CO}_3 \text{ mula-mula} \\ &= 0,97 \times 0,924528 \text{ kmol} \\ &= 0,896792 \text{ kmol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Na}_2\text{CO}_3 \text{ bereaksi} &= \text{mol Na}_2\text{CO}_3 \text{ bereaksi} \times \text{berat molekul} \\ &= 0,896792 \text{ kmol} \times 106 \text{ kg/kmol} \\ &= 95,06 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ sisa} &= \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ mula-mula} - \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ bereaksi} \\ &= 98 \text{ kg} - 95,06 \text{ kg} \\ &= 2,94 \text{ kg} \times 96,763439 \\ &= 284,484512 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} \text{ bereaksi} &= \frac{\text{Koefisien H}_2\text{O}}{\text{Koefisien Na}_2\text{CO}_3} \times \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ bereaksi} \times \text{BM H}_2\text{O} \\ &= \frac{1}{1} \times 0,896792 \text{ kmol} \times 18 \text{ kg/kmol} \\ &= 16,142264 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{H}_2\text{O sisa} &= \text{H}_2\text{O mula-mula} - \text{H}_2\text{O bereaksi} \\
 &= 194,095406 \text{ kg} - 16,142264 \text{ kg} \\
 &= 177,917142 \text{ kg} \times 96,763439 \\
 &= 17.215,874573 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2 \text{ bereaksi} &= \frac{\text{Koefisien CO}_2}{\text{Koefisien Na}_2\text{CO}_3} \times \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ bereaksi} \times \text{BM CO}_2 \\
 &= \frac{1}{1} \times 0,896792 \text{ kmol} \times 44 \text{ kg/kmol} \\
 &= 39,458868 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NaHCO}_3 \text{ terbentuk} &= \frac{\text{Koefisien NaHCO}_2}{\text{Koefisien Na}_2\text{CO}_3} \times \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ bereaksi} \times \text{BM} \\
 &= \frac{2}{1} \times 0,896792 \text{ kmol} \times 84 \text{ kg/kmol} \\
 &= 150,661132 \text{ kg} \times 96,763439 \\
 &= 14.578,489328 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Gas CO<sub>2</sub> masuk reaktor (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> : CO<sub>2</sub> = 1 : 1)

$$\begin{aligned}
 \text{Mol CO}_2 \text{ mula-mula} &= \frac{\text{Koefisien CO}_2}{\text{Koefisien Na}_2\text{CO}_3} \times \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ mula-mula} \\
 &= \frac{1}{1} \times 0,924528 \text{ kmol} \\
 &= 0,924528 \text{ kmol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2 \text{ mula-mula} &= \text{mol CO}_2 \text{ mula-mula} \times \text{BM CO}_2 \\
 &= 0,924528 \text{ kmol} \times 44 \text{ kg/kmol} \\
 &= 40,679245 \text{ kg} \times 96,763439 \\
 &= 3.936,263687 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{CO}_2 \text{ sisa} &= \text{CO}_2 \text{ mula-mula} - \text{CO}_2 \text{ bereaksi} \\
&= 40,679245 \text{ kg} - 39,458868 \text{ kg} \\
&= 1,220377 \text{ kg} \times 96,763439 \\
&= 118,087911 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Komposisi gas CO<sub>2</sub> masuk reaktor (BM H<sub>2</sub>O = 18 kg/kmol, N<sub>2</sub> = 28 kg/kmol, H<sub>2</sub> = 2 kg/kmol, CH<sub>4</sub> = 16 kg/kmol)

$$\text{CO}_2 = 40,679245 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
\text{H}_2\text{O} &= (\text{Perbandingan H}_2\text{O dan CO}_2) \times \text{mol CO}_2 \text{ mula-mula} \times \text{BM} \\
&= \frac{0,1}{98} \times 0,924528 \text{ kmol} \times 18 \text{ kg/kmol} \\
&= 0,016981 \text{ kg} \times 96,763439 \\
&= 1,643153 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{N}_2 &= (\text{Perbandingan N dan CO}_2) \times \text{mol CO}_2 \text{ mula-mula} \times \text{BM} \\
&= \frac{0,48}{98} \times 0,924528 \text{ kmol} \times 28 \text{ kg/kmol} \\
&= 0,126792 \text{ kg} \times 96,763439 \\
&= 12,268874 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{H}_2 &= (\text{Perbandingan H}_2 \text{ dan CO}_2) \times \text{mol CO}_2 \text{ mula-mula} \times \text{BM} \\
&= \frac{1,38}{98} \times 0,924528 \text{ kmol} \times 2 \text{ kg/kmol} \\
&= 0,026038 \text{ kg} \times 96,763439 \\
&= 2,519501 \text{ kg}
\end{aligned}$$

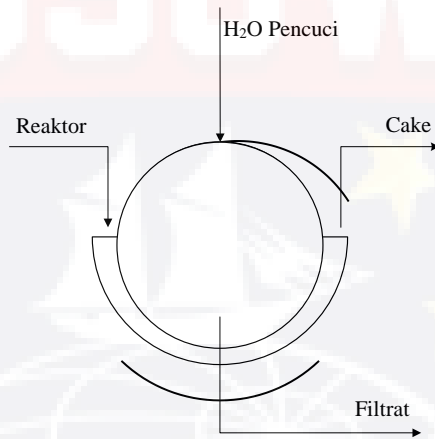
$$\begin{aligned}
\text{CH}_4 &= (\text{Perbandingan CH}_4 \text{ dan CO}_2) \times \text{mol CO}_2 \text{ mula-mula} \times \text{BM} \\
&= \frac{0,04}{98} \times 0,924528 \text{ kmol} \times 16 \text{ kg/kmol} \\
&= 0,006038 \text{ kg} \times 96,763439 \\
&= 0,584232 \text{ kg}
\end{aligned}$$



Neraca massa total reaktor

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
	3	4	5	6
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9.482,817064	-	-	284,484512
H <sub>2</sub> O	18.777,855572	1,643153	1,643153	17.215,874573
CO <sub>2</sub>	-	3.936,263687	118,087911	-
N <sub>2</sub>	-	12,268874	12,268874	-
H <sub>2</sub>	-	2,519501	2,519501	-
CH <sub>4</sub>	-	0,584232	0,584232	-
NaHCO <sub>3</sub>	-	-	-	14.578,489328
<b>Total</b>	<b>28.260,672636</b>	<b>3.953,279446</b>	<b>135,103670</b>	<b>32.078,848412</b>
	<b>32.213,952083</b>		<b>32.213,952083</b>	

### C. Rotary Drum Vacuum Filter



Umpan masuk pada RDVF berasal dari keluaran reaktor berupa larutan

Komponen	Massa (Kg)	x Faktor Pengali
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2,94	284,484512
H <sub>2</sub> O	177,917142	17.215,874573
NaHCO <sub>3</sub>	150,661132	14.578,489328
<b>Total</b>	<b>331,518274</b>	<b>32.078,848412</b>

±8% berat H<sub>2</sub>O terikat dalam cake basah NaHCO<sub>3</sub> (Faith & Keyes, Halaman 655)

$$\begin{aligned}\text{H}_2\text{O pencuci yang dibutuhkan} &= \frac{100 \text{ kg H}_2\text{O}}{50,5 \text{ kg Na}_2\text{CO}_3} \times \text{berat Na}_2\text{CO}_3 \text{ dalam cake} \\ &= 1,980198 \times 2,94 \text{ kg} \\ &= 5,821782 \text{ kg}\end{aligned}$$

H<sub>2</sub>O pencuci digunakan sebanyak 20%

$$\begin{aligned}\text{H}_2\text{O pencuci yang dibutuhkan} &= (20\% \times 5,821782 \text{ kg}) \times 5,821782 \text{ kg} \\ &= 1,164356 \times 5,821782 \text{ kg} \\ &= 6,778630 \text{ kg} \times 96,763439 \\ &= 655,923509 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{NaHCO}_3 \text{ larut (filtrat)} &= \frac{11,1 \text{ kg NaHCO}_3}{100 \text{ kg H}_2\text{O}} \times \text{berat H}_2\text{O Pencuci} \\ &= 0,111000 \times 6,778630 \text{ kg} \\ &= 0,752428 \text{ kg} \times 96,763439 \\ &= 72,807510 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{NaHCO}_3 \text{ keluar (cake)} &= \text{NaHCO}_3 \text{ masuk} - \text{NaHCO}_3 \text{ larut} \\ &= 150,661132 \text{ kg} - 0,752428 \text{ kg} \\ &= 149,908704 \text{ kg} \times 96,763439 \\ &= 14.505,681818 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{H}_2\text{O keluar (cake)} &= \frac{8\%}{92\%} \times \text{berat NaHCO}_3 \text{ cake} \\ &= \frac{8}{92} \times 149,908704 \text{ kg} \\ &= 13,035539 \text{ kg} \times 96,763439 \\ &= 1.261,363636 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{H}_2\text{O keluar (filtrat)} &= (\text{H}_2\text{O masuk} + \text{H}_2\text{O pencuci}) - \text{H}_2\text{O dalam cake} \\ &= (177,917142 \text{ kg} + 6,778630 \text{ kg}) - 13,035539 \text{ kg} \\ &= 171,660232 \text{ kg} \times 96,763439 \\ &= 16.610,434446 \text{ kg}\end{aligned}$$

Neraca massa total RDVF

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
	6	7	8	9
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	284,484512	-	284,484512	-
H <sub>2</sub> O	17.215,874573	655,923509	16.610,434446	1.261,363636
NaHCO <sub>3</sub>	14.578,489328	-	72,807510	14.505,681818
Total	32.078,848412	655,923509	16.967,726467	15.767,045455
	32.734,771922		32.734,771922	

D. Rotary Dryer



Umpan masuk pada *Rotary Dryer* berasal dari keluaran RDVF berupa padatan

Komponen	Massa (Kg)	x Faktor Pengali
H <sub>2</sub> O	13,035539	1.261,363636
NaHCO <sub>3</sub>	149,908704	14.505,681818
<b>Total</b>	<b>162,944244</b>	<b>15.767,045455</b>

Produk NaHCO<sub>3</sub> yang didapatkan

$$\text{NaHCO}_3 = 99,9\%$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0,1\%$$

$$\text{H}_2\text{O dalam NaHCO}_3 = \frac{0,1}{99,9} \times \text{berat NaHCO}_3$$

$$= \frac{0,1}{99,9} \times 149,908704 \text{ kg}$$

$$= 0,150059 \text{ kg} \times 96,763439$$

$$= 14,520202 \text{ kg}$$

$$\text{H}_2\text{O keluar (uap)} = \text{H}_2\text{O masuk} - \text{H}_2\text{O dalam NaHCO}_3$$

$$= 13,035539 \text{ kg} - 0,150059 \text{ kg}$$

$$= 12,885481 \text{ kg} \times 96,763439$$

$$= 1.246,843434 \text{ kg}$$

Neraca massa total *Rotary Dryer*

Komponen	Masuk (kg)		Keluar (kg)	
	9	10	11	12
NaHCO <sub>3</sub>	14.505,681818		-	14.505,681818
H <sub>2</sub> O	1.261,363636		1.246,843434	14,520202
Udara		58.382,905897	58.382,905897	
Total	15.767,045455	58.382,905897	59.629,749331	14.520,202020
	74.149,951352		74.149,951352	

### Neraca Massa Total

Komponen	Masuk (kg)	Komponen	Keluar (kg)
<b>Umpan segar</b>		<b>Reaktor (Gas)</b>	
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9.482,817064	CO <sub>2</sub>	118,087911
H <sub>2</sub> O	193,526879	H <sub>2</sub> O	1,643153
		N <sub>2</sub>	12,268874
<b>Total</b>	<b>9.676,343943</b>	H <sub>2</sub>	2,519501
		CH <sub>4</sub>	0,584232
		<b>Total</b>	<b>135,103670</b>
<b>Gas</b>		<b>RDVF (Filtrat)</b>	
CO <sub>2</sub>	3.936,263687	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	284,484512
H <sub>2</sub> O	1,643153	H <sub>2</sub> O	16.610,434446
N <sub>2</sub>	8,534869	NaHCO <sub>3</sub>	72,807510
H <sub>2</sub>	1,752696	<b>Total</b>	<b>16.967,726467</b>
CH <sub>4</sub>	0,406422		
<b>Total</b>	<b>3.953,279446</b>	<b>Rotary Dryer</b>	
H <sub>2</sub> O Pelarut	18.584,328693	H <sub>2</sub> O Uap	1.246,843434
H <sub>2</sub> O Pencuci	655,923509	<b>Produk</b>	
		NaHCO <sub>3</sub>	14.505,681818
		H <sub>2</sub> O	14,520202
		<b>Total</b>	<b>14.520,202020</b>
<b>Total</b>	<b>32.869,875592</b>	<b>Total</b>	<b>32.869,875592</b>

## LAMPIRAN B. NERACA PANAS

Basis operasi = 1 jam

Suhu standar = 25°C

Diketahui data untuk perhitungan neraca panas :

1. Data entalpi pembentukan ( $\Delta H^{\circ}f$  25°C)

Komponen	$\Delta H^{\circ}f$ 25°C (kkal/kmol)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	-275130
H <sub>2</sub> O	-68317
CO <sub>2</sub>	-94052
NaHCO <sub>3</sub>	-226000

Sumber : Perry's edisi 6

2. Data kapasitas panas (Cp)

a. Fase gas

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \text{ (kkal/kmol.K)}$$

Komponen	a	b	c	d	BM
CO <sub>2</sub>	5,14	0,0154	-0,00000994	0,00000000242	44
H <sub>2</sub> O	8,1	-0,00072	0,00000363	-0,00000000116	18
N <sub>2</sub>	7,07	-0,00132	0,00000331	-0,00000000126	28
H <sub>2</sub>	6,88	-0,000022	0,00000021	0,00000000013	2
CH <sub>4</sub>	5,04	0,00932	0,00000887	-0,00000000537	16

Sumber : Yaws, 1999

b. Fase liquid

Komponen	BM	Cp (kkal/kg°C)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	106	0,2726
NaHCO <sub>3</sub>	84	0,3340

Sumber : table 3-208 Perry's edisi 6

Cp H<sub>2</sub>O liquid :

$$= 0,6741 + 2,825 \times 10^{-3}T - 8,371 \times 10^{-6} T^2 + 8,601 \times 10^{-9} T^3 \text{ (kkal/kmol.K)}$$

Sumber : Yaws, 1999

3. Data panas pelarutan (*heat of solution*) (Hg)

Komponen	$\Delta H^{\circ}f$ 25°C (kkal/kmol)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	5570
NaHCO <sub>3</sub>	-4100

A. Tangki Pelarutan

Fungsi : untuk membuat larutan jenuh natrium karbonat

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 98%

H<sub>2</sub>O 2%

T = 30°C

Steam

T = 150°C

H<sub>2</sub>O Pelarut

T = 30°C

Steam

T = 150°C

Larutan jenuh Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

T = 40°C

1. Panas padatan natrium karbonat masuk tangki pelarutan (Q<sub>1</sub>)

$$Q_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = m \cdot C_p \, dT$$

$$= 9.482,817064 \text{ kg} \cdot 0,2726 \text{ kkal/kg}^{\circ}\text{C} \cdot (30-25) ^{\circ}\text{C}$$

$$= 12.925,079658 \text{ kkal}$$

$$Q_{H_2O} = m \cdot C_p \, dT$$

$$= 193,526879 \text{ kg} \int_{298K}^{303K} [(0,6741 + 2,825 \times 10^{-3}T - 8,371 \times 10^{-6} T^2 + 8,601 \times 10^{-9} T^3)] \, dt \text{ kkal/kg.K}$$

$$= \frac{193,526879}{\text{kg}}$$

$$\left[ \left( 0,671 (303-298) + \frac{2,825 \times 10^{-3}}{2} (303^2 - 298^2) - \frac{8,371 \times 10^{-6}}{3} (303^3 - 298^3) + \frac{8,601 \times 10^{-9}}{4} (303^4 - 298^4) \right) \right]$$

kkal/kg

$$= 968,116172 \text{ kkal}$$

Maka,  $Q_1 = Q_{Na_2CO_3} + Q_{H_2O}$

$$= 12.925,079658 \text{ kkal} + 968,116172 \text{ kkal}$$

$$= 13.893,195831 \text{ kkal}$$

2. Panas  $H_2O$  pelarut masuk tangki pelarutan ( $Q_2$ )

$$Q_{H_2O} = m \cdot C_p \, dT$$

$$= 18.584,328693 \text{ kg} \int_{298K}^{303K} [(0,6741 + 2,825 \times 10^{-3}T - 8,371 \times 10^{-6} T^2 + 8,601 \times 10^{-9} T^3)] \, dt \text{ kkal/kg.K}$$

$$= \frac{18.584,328693}{\text{kg}}$$

$$\left[ \left( 0,671 (303-298) + \frac{2,825 \times 10^{-3}}{2} (303^2 - 298^2) - \frac{8,371 \times 10^{-6}}{3} (303^3 - 298^3) + \frac{8,601 \times 10^{-9}}{4} (303^4 - 298^4) \right) \right]$$

kkal/kg

$$= 92.967,908476 \text{ kkal}$$

3. Panas pelarutan  $Na_2CO_3$  ( $Q_3$ )

$$Q_3 = n \times \Delta H_g$$

Keterangan =

$$n = \text{kg mol } Na_2CO_3 \text{ terlarut}$$



$$\Delta H_g = \text{entalpi pembentukan Na}_2\text{CO}_3 \text{ (kkal/kmol)} = 5570 \text{ kkal/kmol}$$

$$\text{Maka, } Q_3 = n \times \Delta H_g$$

$$= \frac{9.482,817064 \text{ kg}}{106 \text{ kg/kmol}} \times 5570 \text{ kkal/kmol}$$

$$= 498.295,198549 \text{ kkal}$$

4. Panas larutan natrium karbonat keluar tangki pelarutan ( $Q_4$ )

$$Q_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = m \cdot C_p \cdot dT$$

$$= 9.482,817064 \text{ kg} \cdot 0,2726 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \cdot (40-25)^\circ\text{C}$$

$$= 38.775,238974 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = m \cdot C_p \cdot dT$$

$$= 18.777,855572 \text{ kg} \int_{298\text{K}}^{313\text{K}} [(0,6741 + 2,825 \times 10^{-3}T - 8,371 \times 10^{-6}T^2 + 8,601 \times 10^{-9}T^3)] dt \text{ kkal/kg.K}$$

$$= 18.777,855572 \text{ kg}$$

$$\left[ \left( 0,671 (313-298) + \frac{2,825 \times 10^{-3}}{2} (313^2-298^2) - \frac{8,371 \times 10^{-6}}{3} (313^3-298^3) + \frac{8,601 \times 10^{-9}}{4} (313^4-298^4) \right) \right]$$

$$\text{kkal/kg}$$

$$= 93.936,024649 \text{ kkal}$$

$$\text{Maka, } Q_4 = Q_{\text{Na}_2\text{CO}_3} + Q_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$= 38.775,238974 \text{ kkal} + 93.936,024649 \text{ kkal}$$

$$= 132.711,263623 \text{ kkal}$$

5. Panas yang dibutuhkan pada tangki pelarutan ( $Q_5$ )

Neraca panas ;

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}}$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_5 = Q_3 + Q_4$$

$$Q_5 = (Q_3 + Q_4) - (Q_1 + Q_2)$$

$$= (498.295,1986 + 132.711,2636) - (13.893,1958 + 92.967,9085) \text{ kkal}$$

$$= 524.145,357865 \text{ kkal}$$

Sebagai pemanas pada tangki pelarutan digunakan uap jenuh (*saturated steam*)

pada kondisi  $T = 150^\circ\text{C}$  dan  $P = 4,9 \text{ KGf/cm}^2$

$\lambda_{\text{steam}} = 504,7 \text{ kkal/kg}$  (sumber : Appendix III table A.III.2 Stoichiometry)

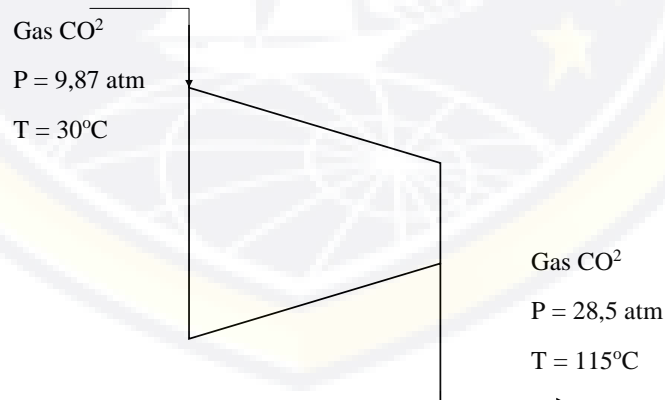
$$\text{Jumlah steam yang dibutuhkan (m)} = \frac{Q_5}{\lambda_{\text{steam}}}$$

$$= \frac{524.145,357865 \text{ kkal}}{504,7 \text{ kkal/kg}}$$

$$= 1.038,528547 \text{ kg}$$

## B. Compressor Gas CO<sub>2</sub>

Fungsi : Menaikkan tekanan gas CO<sub>2</sub> sebelum diumpankan ke reaktor



Data-data yang diketahui

Tekanan gas masuk  $P_1 = 10 \text{ Bar (9,87 atm)}$  = kondisi penyimpanan gas CO<sub>2</sub>

Tekanan gas keluar  $P_2 = 28,5 \text{ atm}$

Suhu gas masuk  $T_1 = 30^\circ\text{C}$  (303K)

### Perhitungan Suhu gas keluar $T_2$

Berat molekul gas BM = 44 kg/kmol

Jumlah gas masuk, m = 3.953,279446 kg/jam = 1,098133 kg/s

Rasio spesifik gas (n) = 1,304

Penentuan jumlah *stage compressor* (Rc) =  $\frac{P_2}{P_1} = \frac{28,5 \text{ atm}}{9,87 \text{ atm}} = 2,887538 \text{ atm}$

Ditetapkan *single adiabatic centrifugal compressor*,

Suhu gas keluar compressor ( $T_2$ ) =  $T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}$

$$\begin{aligned} T_2 &= 303 \left(\frac{28,5 \text{ atm}}{9,87 \text{ atm}}\right)^{\frac{1,304-1}{1,304}} \\ &= 387,976 \text{ K} \\ &= 114,976^\circ\text{C} = 115^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Tenaga yang dibutuhkan *compressor* ( $R = 8,341 \text{ kJ/mol}\cdot\text{K}$ )

$$-W_s = \left(\frac{n}{n-1}\right) \times \frac{R \times T_1}{\text{BM}} \times \left[ \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \text{ (Pers. 3.31 hal 83, Coulson)}$$

Keterangan:

$W_s$  = Power politropik kompresor (kJ/kg)

$Z$  = Faktor kompresibilitas (0,767)

$R$  = Konstanta gas ideal (8,314 kJ/kmol-K).

$T_{in}$  = Suhu gas masuk kompresor (K) (303 K)

$M$  = Berat molekul gas, (kg/kmol) BM HCl = 44 kg/kmol

$P_{in}$  = Tekanan gas masuk (atm)

$P_{out}$  = Tekanan gas keluar (atm)

Sehingga,

$$-W_s = \left( \frac{1,304}{1,304-1} \right) \times \frac{8,314 \times 303}{44} \times \left[ \left( \frac{28,5}{9,87} \right)^{\frac{1,304-1}{1,304}} - 1 \right]$$

$$= 52,78 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Efisiensi compressor } \eta = 85\%$$

$$\text{Power compressor } P = \frac{-W_s \times m}{\eta}$$

$$= \frac{52,78 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 1,098133 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{85\%}$$

$$= 68,19 \text{ kW}$$

$$= 91,44 \text{ Hp}$$

$$\text{Brake Horse Power (BHP), } \eta = 90\%$$

$$\text{BHP} = \frac{P}{\eta} = \frac{91,44 \text{ Hp}}{90\%} = 101,6 \text{ Hp}$$

$$\text{Maka, power motor} = 102 \text{ Hp}$$

Neraca panas *compressor*

1. Panas sensible gas masuk *compressor* ( $Q_1$ )

$$Q_{CO_2} = n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{3.936,263687 \text{ kg}}{44 \text{ kg/kmol}} \int_{298K}^{303K} [(5,41 + 15,4 \times 10^{-3}T - 9,94 \times 10^{-6} T^2 +$$

$$2,42 \times 10^{-9} T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

=

$$\frac{3.936,263687 \text{ kg}}{44 \text{ kg/kmol}} \left[ \left( 5,41 (303-298) + \frac{15,4 \times 10^{-3}}{2} (303^2-298^2) - \frac{9,94 \times 10^{-6}}{3} (303^3-298^3) + \frac{2,42 \times 10^{-9}}{4} (303^4-298^4) \right) \right]$$

kkal/kmol

$$= 3.996,992451 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{1,643153 \text{ kg}}{18 \text{ kg/kmol}} \int_{298\text{K}}^{303\text{K}} [(8,10 - 0,72 \times 10^{-3}T + 3,63 \times 10^{-6} T^2 - 1,16 \times$$

$$10^{-9} T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

=

$$\frac{1,643153 \text{ kg}}{18 \text{ kg/kmol}} \left[ \left( 8,10 (303-298) - \frac{0,72 \times 10^{-3}}{2} (303^2-298^2) + \frac{3,63 \times 10^{-6}}{3} (303^3-298^3) - \frac{1,16 \times 10^{-9}}{4} (303^4-298^4) \right) \right]$$

kkal/kmol

$$= 3,733589208 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{N}_2} = n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{12,268874 \text{ kg}}{28 \text{ kg/kmol}} \int_{298\text{K}}^{303\text{K}} [(7,07 - 1,32 \times 10^{-3}T + 3,31 \times 10^{-6} T^2 - 1,26 \times 10^{-9}$$

$$T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

=

$$\frac{12,268874 \text{ kg}}{28 \text{ kg/kmol}} \left[ \left( 7,07 (303-298) - \frac{1,32 \times 10^{-3}}{2} (303^2-298^2) + \frac{3,31 \times 10^{-6}}{3} (303^3-298^3) - \frac{1,26 \times 10^{-9}}{4} (303^4-298^4) \right) \right]$$

kkal/kmol

$$= 15,20036343 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{H}_2} = n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{2,519501 \text{ kg}}{2 \text{ kg/kmol}} \int_{298\text{K}}^{303\text{K}} [(6,88 - 0,022 \times 10^{-3} T + 0,21 \times 10^{-6} T^2 + 0,13 \times 10^{-9}$$

$$T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{2,519501 \text{ kg}}{2 \text{ kg/kmol}}$$

$$\left[ \left( 6,88 (303-298) - \frac{0,022 \times 10^{-3}}{2} (303^2 - 298^2) + \frac{0,21 \times 10^{-6}}{3} (303^3 - 298^3) + \frac{0,13 \times 10^{-9}}{4} (303^4 - 298^4) \right) \right]$$

$$\text{kkal/kmol}$$

$$= 43,43544122 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{CH}_4} = n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{0,584232 \text{ kg}}{16 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} \int_{298\text{K}}^{303\text{K}} [(5,04 + 9,32 \times 10^{-3} T + 8,87 \times 10^{-6} T^2 - 5,37$$

$$\times 10^{-9} T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{0,584232 \text{ kg}}{16 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} \left[ \left( 5,04 (303 - 298) + \frac{9,32 \times 10^{-3}}{2} (303^2 - 298^2) + \right. \right.$$

$$\left. \left. \frac{8,87 \times 10^{-6}}{3} (303^3 - 298^3) - \frac{5,37 \times 10^{-9}}{4} (303^4 - 298^4) \right) \right] \text{ kkal/kmol}$$

$$= 1,551120755 \text{ kkal}$$

$$\text{Maka, } Q_1 = Q_{\text{CO}_2} + Q_{\text{H}_2\text{O}} + Q_{\text{N}_2} + Q_{\text{H}_2} + Q_{\text{CH}_4}$$

$$= 3,996,99245 + 3,73359 + 15,20036 + 43,43544 + 1,55112$$

$$= 4.060,912966 \text{ kkal}$$

2. Panas sensible keluar *compressor* ( $Q_2$ )

$$Q_{\text{CO}_2} = n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{3.936,263687 \text{ kg}}{44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} \int_{298\text{K}}^{388\text{K}} [(5,41 + 15,4 \times 10^{-3}T - 9,94 \times 10^{-6}T^2 +$$

$$2,42 \times 10^{-9} T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{3.936,263687 \text{ kg}}{44 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} \left[ \left( 5,41 (388 - 298) + \frac{15,4 \times 10^{-3}}{2} (388^2 - 298^2) - \right. \right.$$

$$\left. \frac{9,94 \times 10^{-6}}{3} (388^3 - 298^3) + \frac{2,42 \times 10^{-9}}{4} (388^4 - 298^4) \right) \Big] \text{ kkal/kmol}$$

$$= 75.243,97447 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{1,643153 \text{ kg}}{18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} \int_{298\text{K}}^{388\text{K}} [(8,10 - 0,72 \times 10^{-3}T + 3,63 \times 10^{-6}T^2 - 1,16$$

$$\times 10^{-9} T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{1,643153 \text{ kg}}{18 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} \left[ \left( 8,10 (388 - 298) - \frac{0,72 \times 10^{-3}}{2} (388^2 - 298^2) + \right. \right.$$

$$\left. \frac{3,63 \times 10^{-6}}{3} (388^3 - 298^3) - \frac{1,16 \times 10^{-9}}{4} (388^4 - 298^4) \right) \Big] \text{ kkal/kmol}$$

$$= 67,65632321 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{N}_2} = n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{12,268874 \text{ kg}}{28 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} \int_{298\text{K}}^{388\text{K}} [(7,07 - 1,32 \times 10^{-3}T + 3,31 \times 10^{-6}T^2 -$$

$$1,26 \times 10^{-9} T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{12,268874 \text{ kg}}{28 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}} \left[ \left( 7,07 (388 - 298) - \frac{1,32 \times 10^{-3}}{2} (388^2 - 298^2) + \right. \right.$$

$$\left. \left. \frac{3,31 \times 10^{-6}}{3} (388^3 - 298^3) - \frac{1,26 \times 10^{-9}}{4} (388^4 - 298^4) \right) \right] \text{ kkal/kmol}$$

$$= 274,3606998 \text{ kkal}$$

Q H<sub>2</sub>

$$= n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{2,519501 \text{ kg}}{2 \text{ kg/kmol}} \int_{298\text{K}}^{388\text{K}} [(6,88 - 0,022 \times 10^{-3}T + 0,21 \times 10^{-6}T^2 + 0,13$$

$$\times 10^{-9}T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{2,519501 \text{ kg}}{2 \text{ kg/kmol}}$$

$$\left[ \left( 6,88 (388-298) - \frac{0,022 \times 10^{-3}}{2} (388^2-298^2) + \frac{0,21 \times 10^{-6}}{3} (388^3-298^3) + \frac{0,13 \times 10^{-9}}{4} (388^4-298^4) \right) \right]$$

$$\text{ kkal/kmol}$$

$$= 782,6041463 \text{ kkal}$$

Q CH<sub>4</sub>

$$= n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{0,584232 \text{ kg}}{16 \text{ kg/kmol}} \int_{298\text{K}}^{388\text{K}} [(5,04 + 9,32 \times 10^{-3}T + 8,87 \times 10^{-6}T^2 - 5,37 \times$$

$$10^{-9}T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{0,584232 \text{ kg}}{16 \text{ kg/kmol}}$$

$$\left[ \left( 5,04 (388-298) + \frac{9,32 \times 10^{-3}}{2} (388^2-298^2) + \frac{8,87 \times 10^{-6}}{3} (388^3-298^3) - \frac{5,37 \times 10^{-9}}{4} (388^4-298^4) \right) \right]$$

$$\text{ kkal/kmol}$$

$$= 29,79320239 \text{ kkal}$$

Maka, Q<sub>2</sub>

$$= Q \text{ CO}_2 + Q \text{ H}_2\text{O} + Q \text{ N}_2 + Q \text{ H}_2 + Q \text{ CH}_4$$

$$= 75.243,97447 + 67,65632 + 274,3607 + 782,60415 + 29,793202$$



$$= 76.398,38884 \text{ kkal}$$

3. Panas kompresi gas ( $Q_3$ )

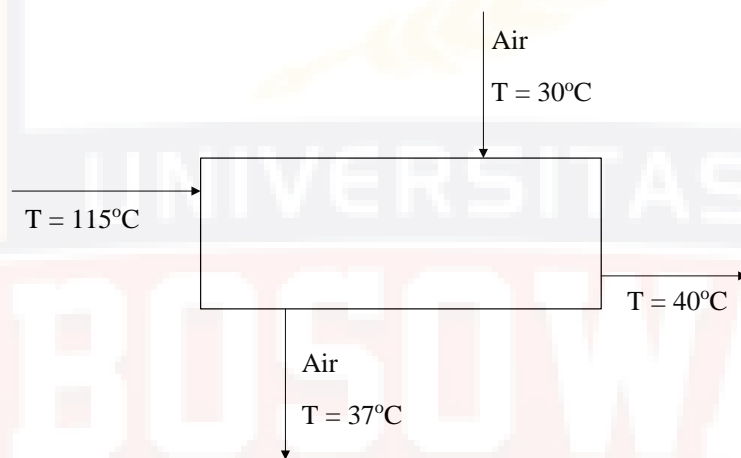
$$Q_3 = Q_2 - Q_1$$

$$= 76.398,38884 - 4.060,912966$$

$$= 72.337,47588 \text{ kkal}$$

### C. Cooler

Fungsi : Menurunkan suhu gas  $\text{CO}_2$  keluar *compressor* menuju reaktor



1. Panas sensible masuk *cooler* ( $Q_1$ ) = panas sensible keluar *compressor*

$$Q_1 = 76.398,38884 \text{ kkal}$$

2. Panas sensible gas keluar *cooler* ( $Q_2$ )

$$Q_{\text{CO}_2} = n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{3.936,263687 \text{ kg}}{44 \text{ kg/kmol}} \int_{298\text{K}}^{313\text{K}} [(5,41 + 15,4 \times 10^{-3}T - 9,94 \times 10^{-6} T^2 +$$

$$2,42 \times 10^{-9} T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{3.936,263687 \text{ kg}}{44 \text{ kg/kmol}}$$

$$\left[ \left( 5,41 (313-298) + \frac{15,4 \times 10^{-3}}{2} (313^2-298^2) - \frac{9,94 \times 10^{-6}}{3} (313^3-298^3) + \frac{2,42 \times 10^{-9}}{4} (313^4-298^4) \right) \right]$$

kkal/kmol

$$= 12.058,18805 \text{ kkal}$$

Q H<sub>2</sub>O

$$= n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{1,643153 \text{ kg}}{18 \text{ kg/kmol}} \int_{298\text{K}}^{313\text{K}} [(8,10 - 0,72 \times 10^{-3}T + 3,63 \times 10^{-6} T^2 - 1,16 \times$$

$$10^{-9} T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{1,643153 \text{ kg}}{18 \text{ kg/kmol}}$$

$$\left[ \left( 8,10 (313-298) - \frac{0,72 \times 10^{-3}}{2} (313^2-298^2) + \frac{3,63 \times 10^{-6}}{3} (313^3-298^3) - \frac{1,16 \times 10^{-9}}{4} (313^4-298^4) \right) \right]$$

kkal/kmol

$$= 11,20876996 \text{ kkal}$$

Q N<sub>2</sub>

$$= n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{12,268874 \text{ kg}}{28 \text{ kg/kmol}} \int_{298\text{K}}^{313\text{K}} [(7,07 - 1,32 \times 10^{-3}T + 3,31 \times 10^{-6} T^2 - 1,26 \times$$

$$10^{-9} T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{12,268874 \text{ kg}}{28 \text{ kg/kmol}}$$

$$\left[ \left( 7,07 (313-298) - \frac{1,32 \times 10^{-3}}{2} (313^2-298^2) + \frac{3,31 \times 10^{-6}}{3} (313^3-298^3) - \frac{1,26 \times 10^{-9}}{4} (313^4-298^4) \right) \right]$$

kkal/kmol

$$= 45,61246059 \text{ kkal}$$

Q H<sub>2</sub>

$$= n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{2,519501 \text{ kg}}{2 \text{ kg/kmol}} \int_{298\text{K}}^{313\text{K}} [(6,88 - 0,022 \times 10^{-3}T + 0,21 \times 10^{-6} T^2 + 0,13 \times$$

$$10^{-9} T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{2,519501 \text{ kg}}{2 \text{ kg/kmol}}$$

$$\left[ \left( 6,88 (313-298) - \frac{0,022 \times 10^{-3}}{2} (313^2-298^2) + \frac{0,21 \times 10^{-6}}{3} (313^3-298^3) + \frac{0,13 \times 10^{-9}}{4} (313^4-298^4) \right) \right]$$

kkal/kmol

$$= 130,3197555 \text{ kkal}$$

Q CH<sub>4</sub>

$$= n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{0,584232 \text{ kg}}{16 \text{ kg/kmol}} \int_{298\text{K}}^{313\text{K}} [(5,04 + 9,32 \times 10^{-3}T + 8,87 \times 10^{-6} T^2 - 5,37 \times$$

$$10^{-9} T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{0,584232 \text{ kg}}{16 \text{ kg/kmol}}$$

$$\left[ \left( 5,04 (313-298) + \frac{9,32 \times 10^{-3}}{2} (313^2-298^2) + \frac{8,87 \times 10^{-6}}{3} (313^3-298^3) - \frac{5,37 \times 10^{-9}}{4} (313^4-298^4) \right) \right]$$

kkal/kmol

$$= 4,689591788 \text{ kkal}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } Q_2 &= Q_{\text{CO}_2} + Q_{\text{H}_2\text{O}} + Q_{\text{N}_2} + Q_{\text{H}_2} + Q_{\text{CH}_4} \\
 &= 12.058,18805 + 11,20877 + 45,61246 + 130,31976 + 4,68959 \\
 &= 12.250,018627 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

3. Panas yang diserap pendingin ( $Q_3$ )

$$\begin{aligned}
 Q_3 &= Q_1 - Q_2 \\
 &= 76.398,38884 \text{ kkal} - 12.250,018627 \text{ kkal} \\
 &= 64.148,370214 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

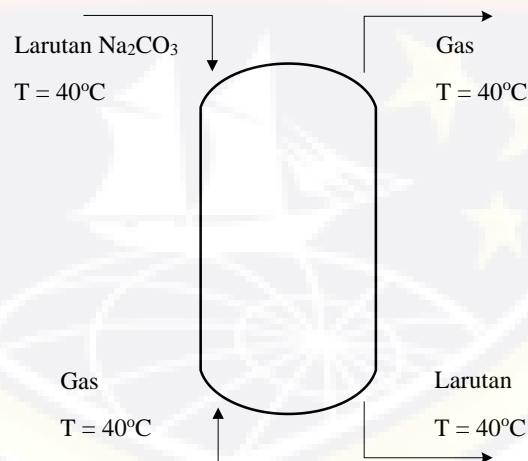
Sebagai pendingin digunakan air, suhu air masuk ( $t_1 = 30^\circ\text{C}$  dan  $t_2 = 37^\circ\text{C}$ )

Jumlah air pendingin yang dibutuhkan ( $C_p \text{H}_2\text{O} = 1 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$ ):

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{Q_3}{C_p(t_2 - t_1)} \\
 &= \frac{64.148,370214 \text{ kkal}}{1 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}}^\circ\text{C} (37^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})} \\
 &= 9.164,052888 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

#### D. Reaktor

Fungsi : tempat berlangsung reaksi pembuatan  $\text{NaHCO}_3$



1. Panas sensible reaktan masuk reaktor ( $Q_{\text{reaktan}}$ )

a. Panas larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ( $Q_L$ ) = panas keluar tangki pelarutan

$$Q_L = 132.711,263623 \text{ kkal}$$

b. Panas gas  $\text{CO}_2$  ( $Q_G$ ) = panas keluar cooler

$$Q_G = 12.250,01863 \text{ kkal}$$

Maka,

$$Q_{\text{reaktan}} = Q_L + Q_G$$

$$= 132.711,263623 \text{ kkal} + 12.250,01863 \text{ kkal}$$

$$= 144.961,282250 \text{ kkal}$$

2. Panas reaksi (Q reaksi)

Reaksi dalam reaktor :



Entalpi reaksi standar pada suhu 25°C (298K)

$$\Delta H^{\circ}R_{25^{\circ}\text{C}} = \Delta H^{\circ}f_{\text{produk}} - \Delta H^{\circ}f_{\text{reaktan}}$$

$$= (2 \Delta H^{\circ}f_{\text{NaHCO}_3}) - (\Delta H^{\circ}f_{\text{Na}_2\text{CO}_3} + \Delta H^{\circ}f_{\text{H}_2\text{O}} + \Delta H^{\circ}f_{\text{CO}_2})$$

$$= 2(-226.000) - (-275.130 + (-68.317) + (-94.052))$$

$$= -14501 \text{ kkal/kmol}$$

$$Q_{\text{reaksi}} = n_{\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ bereaksi}} \times \Delta H^{\circ}R_{25^{\circ}\text{C}}$$

$$= 0,97 \times 0,896792 \text{ kmol} \times 96,763439 \times (-14501 \text{ kkal/kmol})$$

$$= -1.258.349,248461 \text{ kkal}$$

3. Panas sensible produk keluar reaktor (Q produk)

a. Panas sensible gas (Q<sub>G</sub>)

$$Q_{\text{CO}_2} = n \cdot C_p \cdot dT$$

$$= \frac{118,087911 \text{ kg}}{44 \text{ kg/kmol}} \int_{298\text{K}}^{313\text{K}} [(5,41 + 15,4 \times 10^{-3}T - 9,94 \times 10^{-6}T^2 +$$

$$2,42 \times 10^{-9}T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{118,087911 \text{ kg}}{44 \text{ kg/kmol}}$$

$$\left[ \left( 5,41 (313-298) + \frac{15,4 \times 10^{-3}}{2} (313^2 - 298^2) - \frac{9,94 \times 10^{-6}}{3} (313^3 - 298^3) + \frac{2,42 \times 10^{-9}}{4} (313^4 - 298^4) \right) \right]$$

$$\text{kkal/kmol}$$

$$= 361,745641 \text{ kkal}$$

$$Q_{H_2O} = n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{1,643153 \text{ kg}}{18 \text{ kg/kmol}} \int_{298K}^{313K} [(8,10 - 0,72 \times 10^{-3}T + 3,63 \times 10^{-6}T^2 - 1,16 \times$$

$$10^{-9}T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{1,643153 \text{ kg}}{18 \text{ kg/kmol}}$$

$$\left[ \left( 8,10 (313-298) - \frac{0,72 \times 10^{-3}}{2} (313^2 - 298^2) + \frac{3,63 \times 10^{-6}}{3} (313^3 - 298^3) - \frac{1,16 \times 10^{-9}}{4} (313^4 - 298^4) \right) \right]$$

$$\text{kkal/kmol}$$

$$= 11,20876996 \text{ kkal}$$

$$Q_{N_2} = n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{12,268874 \text{ kg}}{28 \text{ kg/kmol}} \int_{298K}^{313K} [(7,07 - 1,32 \times 10^{-3}T + 3,31 \times 10^{-6}T^2 - 1,26$$

$$\times 10^{-9}T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{12,268874 \text{ kg}}{28 \text{ kg/kmol}}$$

$$\left[ \left( 7,07 (313-298) - \frac{1,32 \times 10^{-3}}{2} (313^2 - 298^2) + \frac{3,31 \times 10^{-6}}{3} (313^3 - 298^3) - \frac{1,26 \times 10^{-9}}{4} (313^4 - 298^4) \right) \right]$$

$$\text{kkal/kmol}$$

$$= 45,61246059 \text{ kkal}$$

$$Q_{H_2} = n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{2,519501 \text{ kg}}{2 \text{ kg/kmol}} \int_{298K}^{313K} [(6,88 - 0,022 \times 10^{-3}T + 0,21 \times 10^{-6} T^2 + 0,13$$

$$\times 10^{-9} T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{2,519501 \text{ kg}}{2 \text{ kg/kmol}}$$

$$\left[ \left( 6,88 (313-298) - \frac{0,022 \times 10^{-3}}{2} (313^2 - 298^2) + \frac{0,21 \times 10^{-6}}{3} (313^3 - 298^3) + \frac{0,13 \times 10^{-9}}{4} (313^4 - 298^4) \right) \right]$$

kkal/kmol

$$= 130,3197555 \text{ kkal}$$

$$Q_{CH_4} = n \cdot C_p dT$$

$$= \frac{0,584232 \text{ kg}}{16 \text{ kg/kmol}} \int_{298K}^{313K} [(5,04 + 9,32 \times 10^{-3}T + 8,87 \times 10^{-6} T^2 - 5,37 \times$$

$$10^{-9} T^3)] dt \text{ kkal/kmol.K}$$

$$= \frac{0,584232 \text{ kg}}{16 \text{ kg/kmol}}$$

$$\left[ \left( 5,04 (313-298) + \frac{9,32 \times 10^{-3}}{2} (313^2 - 298^2) + \frac{8,87 \times 10^{-6}}{3} (313^3 - 298^3) - \frac{5,37 \times 10^{-9}}{4} (313^4 - 298^4) \right) \right]$$

kkal/kmol

$$= 4,689591788 \text{ kkal}$$

$$\text{Maka, } Q_G = Q_{CO_2} + Q_{H_2O} + Q_{N_2} + Q_{H_2} + Q_{CH_4}$$

$$= 361,745641 + 11,20877 + 45,612461 + 130,3198 + 4,689592$$

$$= 553,576219 \text{ kkal}$$

b. Panas sensible *liquid* ( $Q_L$ )

$$Q \text{ Na}_2\text{CO}_3 = m \cdot C_p \, dT$$

$$= 284,484512 \text{ kg} \cdot 0,2726 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \cdot (40-25)^\circ\text{C}$$

$$= 1.163,257169 \text{ kkal}$$

$$Q \text{ NaHCO}_3 = m \cdot C_p \, dT$$

$$= 14.578,489328 \text{ kg} \cdot 0,3340 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \cdot (40-25)^\circ\text{C}$$

$$= 73.038,23153 \text{ kkal}$$

$$Q \text{ H}_2\text{O} = m \cdot C_p \, dT$$

$$= 17.215,874573 \text{ kg} \int_{298\text{K}}^{303\text{K}} [(0,6741 + 2,825 \times 10^{-3}T - 8,371 \times 10^{-6}$$

$$T^2 + 8,601 \times 10^{-9} T^3)] \, dt \text{ kkal/kg.K}$$

$$= 17.215,874573 \text{ kg}$$

$$\left[ \left( 0,671 (303-298) + \frac{2,825 \times 10^{-3}}{2} (303^2 - 298^2) - \frac{8,371 \times 10^{-6}}{3} (303^3 - 298^3) + \frac{8,601 \times 10^{-9}}{4} (303^4 - 298^4) \right) \right]$$

$$\text{kkal/kg}$$

$$= 86.122,23116 \text{ kkal}$$

$$\text{Maka, } Q_L = Q \text{ Na}_2\text{CO}_3 + Q \text{ NaHCO}_3 + Q \text{ H}_2\text{O}$$

$$= 1.163,257169 \text{ kkal} + 73.038,23153 \text{ kkal} + 86.122,23116 \text{ kkal}$$

$$= 160.323,719858 \text{ kkal}$$

$$Q \text{ Produk} = Q_G + Q_L$$

$$= 553,576219 \text{ kkal} + 160.323,719858 \text{ kkal}$$

$$= 160.877,296077 \text{ kkal}$$

4. Panas yang dilepaskan atau diserap pendingin ( $Q$  pendingin)



$$Q \text{ masuk} = Q \text{ keluar}$$

$$Q \text{ reaktan} = Q \text{ reaksi} + Q \text{ produk} + Q \text{ pendingin}$$

$$Q \text{ pendingin} = Q \text{ reaktan} - Q \text{ reaksi} - Q \text{ produk}$$

$$= 144.961,282250 - (-1.258.349,248461) - 160.877,296077 \text{ kkal}$$

$$= 1.242.433,234634 \text{ kkal}$$

Sebagai pendingin digunakan air, suhu air masuk ( $t_1 = 30^\circ\text{C}$  dan  $t_2 = 37^\circ\text{C}$ )

Jumlah air pendingin yang dibutuhkan ( $C_p \text{ H}_2\text{O} = 1 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$ ) :

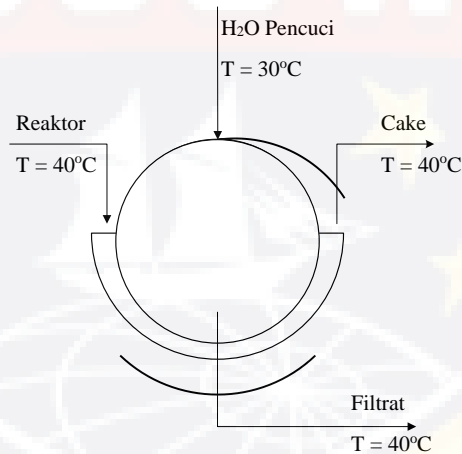
$$m = \frac{Q \text{ pendingin}}{C_p(t_2 - t_1)}$$

$$= \frac{1.242.433,234634 \text{ kkal}}{1 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}}^\circ\text{C} (37^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}$$

$$= 177.490,4621 \text{ kg}$$

### E. Rotary Drum Vacuum Filter

Fungsi : Memisahkan produk  $\text{NaHCO}_3$  dari campuran larutan



1. Panas larutan masuk RDVF ( $Q_a$ ) = Panas produk larutan keluar reaktor

$$Q_a = 160.323,7199 \text{ kkal}$$

2. Panas  $\text{H}_2\text{O}$  pencuci masuk RDVF ( $Q_b$ )

$$Q_b = m \cdot C_p \cdot dT$$

$$= 655,9235095 \text{ kg} \int_{298\text{K}}^{303\text{K}} [(0,6741 + 2,825 \times 10^{-3}T - 8,371 \times 10^{-6}T^2$$

$$+ 8,601 \times 10^{-9} T^3] dt \text{ kkal/kg.K}$$

$$= 456,294615 \text{ kg}$$

$$\left[ \left( 0,671 (303-298) + \frac{2,825 \times 10^{-3}}{2} (303^2 - 298^2) - \frac{8,371 \times 10^{-6}}{3} (303^3 - 298^3) + \frac{8,601 \times 10^{-9}}{4} (303^4 - 298^4) \right) \right]$$

kkal/kg

$$= 3.281,250445 \text{ kkal}$$

Maka total panas masuk RDVF ( $Q_1$ )

$$Q_1 = Q_a + Q_b$$

$$= 160.323,7199 \text{ kkal} + 3.281,250445 \text{ kkal}$$

$$= 163.604,97030 \text{ kkal}$$

3. Panas keluar RDVF ( $Q_2$ )

Neraca panas

$$Q \text{ masuk} = Q \text{ keluar}$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$Q_2 = Q \text{ cake} + Q \text{ filtrat} = Q_1 = 163.604,9703032 \text{ kkal}$$

Panas komponen cake dari filtrat ditentukan dengan metode *trial & error* terhadap nilai T. Berdasarkan metode tersebut, didapatkan nilai T sebagai berikut :

$$T = 32,1653231023^\circ\text{C} = 305,1653231 \text{ K}$$

Nilai panas masing-masing komponen dapat dilihat pada table berikut:

Panas komponen filtrat (Q filtrat)		Panas komponen cake (Q cake)	
Q Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	555,674231	Q NaHCO <sub>3</sub>	34.737,136733
Q NaHCO <sub>3</sub>	174,244236	Q H <sub>2</sub> O	9.043,774208
Q H <sub>2</sub> O	119.094,140894		

Q filtrat	119.824,059362	Q cake	43.780,910942
<b>Q Produk = 163.604,970303 kkal = Q<sub>2</sub></b>			

### F. Rotary Dryer

Fungsi : mengeringkan produk NaHCO<sub>3</sub> yang berasal dari RDVF dan menggunakan udara panas



Prinsip operasi pengeringan adalah udara panas dialirkan berlawanan arah dan berkontak langsung. Berikut perhitungan udara kering :

Komposisi bahan masuk *dryer*

Komponen	Massa (kg)	Fraksi berat
NaHCO <sub>3</sub>	14.505,681818	0,92
H <sub>2</sub> O	1.261,363636	0,08
<b>Total (S<sub>1</sub>)</b>	<b>15.767,045455</b>	<b>1</b>

Kandungan H<sub>2</sub>O dalam bahan masuk basis kering (X<sub>1</sub>)

$$X_1 = \frac{\text{Fraksi H}_2\text{O}}{1 - \text{Fraksi H}_2\text{O}} = \frac{0,08}{1 - 0,08} = 0,086957 \text{ kg H}_2\text{O/ bahan kering}$$

Komposisi produk keluar *dryer*

Komponen	Massa (kg)	Fraksi berat
NaHCO <sub>3</sub>	14.505,681818	0,999
H <sub>2</sub> O	14,520202	0,001
<b>Total (S<sub>2</sub>)</b>	<b>14.520,202020</b>	<b>1</b>

Kandungan H<sub>2</sub>O dalam produk keluar basis kering (X<sub>2</sub>)

$$X_2 = \frac{\text{Fraksi H}_2\text{O}}{1 - \text{Fraksi H}_2\text{O}} = \frac{0,001}{1 - 0,001} = 0,001001 \text{ kg H}_2\text{O/ bahan kering}$$

Kondisi udara pengering yang digunakan :

Suhu udara masuk *dryer* (t<sub>G2</sub>) = 120°C = 248°F

Kelembaban udara (Y<sub>2</sub>) = 0,020 kg H<sub>2</sub>O/ kg udara

% kelembaban = 75%

*Wet bulb temperature* (tw) dihitung dengan pers. 8-30 Badger & Banchemo hal.384

$$W_w - W_s = \left( \frac{hG}{KG. MG. P} \right) \left( \frac{1}{\lambda_w} \right) (t_G - tw)$$

Keterangan

$$\left( \frac{hG}{KG. MG. P} \right) = 0,26 \text{ (Untuk system udara-air, table 8-1 Badger \& Banchemo hal.}$$

384)

W<sub>w</sub> = kelembaban udara pada tw = 0,052 Ib H<sub>2</sub>O/Ib udara

λ<sub>w</sub> = panas laten penguapan air pada tw = 1.029,5956 Btu/Ib

t<sub>G</sub> = temperature udara pengering masuk *dryer*

Nilai tw dari persamaan tersebut dihitung dengan metode *trial & error*.

Berdasarkan metode tersebut didapatkan tw = 122°F

Maka,

$$W_w - W_s = \left( \frac{hG}{KG \cdot MG \cdot P} \right) \left( \frac{1}{\lambda_w} \right) (t_G - t_w)$$

$$0,052 - 0,020 = 0,26 \times \left( \frac{1}{1.029,5956} \right) (248 - 122)$$

$$0,032 = 0,03182$$

$$0,032 \approx 0,032$$

Temperatur udara pengering keluar *Rotary Dryer* ( $t_{G1}$ ),

Nt (Number transfer unit) = 1,5 – 2,5 (Mc. Cabe Halaman 275)

Asumsi Nt = 1,5

$$Nt = \ln \frac{t_{G2} - t_{w1}}{t_{G1} - t_{w2}} \text{ (system udara-air, } t_{w1} = t_{w2} = t_w)$$

Maka,

$$Nt = \ln \frac{t_{G2} - t_{w1}}{t_{G1} - t_{w2}}$$

$$1,5 = \ln \frac{248 - 122}{t_{G1} - 122}$$

$$t_{G1} = 150,114400^\circ\text{F}$$

$$= 65,6^\circ\text{C}$$

Entalpi udara pengering masuk *dryer* ( $H_{G2}$ )

$$H_{G2} = C_S (t_{G2} - t_0) + \lambda_2 \cdot Y_2 \text{ (tryball, table 7-1 hal. 234)}$$

Keterangan

$C_s$  = kapasitas panas udara (kkal/kg°C)

$$= 0,24 + 0,45 \cdot Y_2$$

$t_{G2}$  = suhu udara pengering masuk *dryer* = 120°C

$\lambda_2$  = entalpi penguapan air pada 120°C = 539,7089 kkal/kg

$Y_2$  = kelembaban udara pengering = 0,02 kg H<sub>2</sub>O/ kg udara

Maka

$$H_{G2} = C_s (t_{G2} - t_0) + \lambda_2 \cdot Y_2$$

$$= (0,24 + 0,45 \cdot Y_2) (120 - 25) + 539,7089 (0,02)$$

$$= 34,449178 \text{ kkal/kg}$$

Entalpi udara keluar *dryer* ( $H_{G1}$ )

$$H_{G1} = C_s (t_{G1} - t_0) + \lambda_1 \cdot Y_1$$

$$= (0,24 + 0,45 \cdot Y_1) (65,5 - 25) + 576,8751 \cdot Y_1$$

$$= 9,748587 + 595,1537 Y_1 \text{ kkal/kg}$$

Entalpi umpan masuk *dryer* ( $H_{G1}$ ),  $dT = 40 - 25 = 15^\circ\text{C}$

Komponen	Fraksi berat (X)	Cp (Kkal/kg°C)	x Cp dT (kkal/kg)
NaHCO <sub>3</sub>	0,92	0,334	4,609200
H <sub>2</sub> O	0,08	1,0012	1,201440
<b>Total</b>			<b>5,810640</b>

Entalpi umpan keluar *dryer* ( $H_{G2}$ ),  $dT = 45 - 25 = 20^\circ\text{C}$

Komponen	Fraksi berat (X)	Cp (Kkal/kg°C)	x Cp dT (kkal/kg)
NaHCO <sub>3</sub>	0,999	0,334	6,673320
H <sub>2</sub> O	0,001	1,0012	0,020024
<b>Total</b>			<b>6,693344</b>

Neraca kadar air (*moisture balance*)

$$Ss \cdot x_1 + Gs \cdot Y_2 = Ss \cdot x_2 + Gs \cdot Y_1$$

$$Ss (x_1 - x_2) = Gs (Y_1 - Y_2)$$

Keterangan

$Ss$  = berat bahan  $\text{NaHCO}_3$  masuk *dryer* = 14.505,68182 kg

$x_1$  = 0,0869 kg  $\text{H}_2\text{O}$ / kg bahan

$x_2$  = 0,001 kg  $\text{H}_2\text{O}$ / kg bahan

$Gs$  = berat udara pengering

$Y_1$  = kelembaban udara keluar

$Y_2$  = kelembaban udara masuk = 0,02 kg  $\text{H}_2\text{O}$ /kg udara

Maka,

$$\begin{aligned} Ss (x_1 - x_2) &= Gs (Y_1 - Y_2) \\ 14.505,68182 (0,0869 - 0,001) &= Gs (Y_1 - 0,020) \\ 1.246,038068 &= Gs \cdot Y_1 - 0,020 Gs \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

Neraca panas *rotary dryer* :

$$S_1 H_{G1} + Gs \cdot H_{G2} = S_2 H_{G2} + Gs \cdot H_{G1}$$

$$S_1 H_{G1} - S_2 H_{G2} = Gs \cdot (H_{G1} - H_{G2})$$

$$(15.767,0455 \times 5,811) - (14.520,20 \times 6,693) = Gs [(9,749 + 595,154 Y_1) - 34,449]$$

$$-5.572,082071 = Gs (595,1537 Y_1 - 24,7005913)$$

$$-5.572,082071 = 595,1537 Gs \cdot Y_1 - 24,7005913 Gs$$

$$-9,36242532 = Gs \cdot Y_1 - 0,041502878 \dots\dots\dots(2)$$

Berdasarkan hasil eliminasi pers.(1) dan (2) didapatkan nilai  $Gs = 58.382,9059$  kg

Substitusi nilai  $Gs$  ke persamaan (1)

$$1.246,038068 = Gs \cdot Y_1 - 0,020 Gs \dots\dots\dots(1)$$

$$1.246,038068 = Gs (Y_1 - 0,020)$$

$$1.246,038068 = 58.382,9059 (Y_1 - 0,020)$$

$$1.246,038068 = 58.382,9059 Y_1 - 1.167,658118$$

$$2.413,696186 = 58.382,9059 Y_1$$

$$0,041342515 = Y_1$$

$$Y_1 = 0,041342515 \text{ kg H}_2\text{O/kg udara}$$

Jadi, jumlah udara pengering yang dibutuhkan ( $G_s$ ) = 58.382,9059 kg dan kelembaban udara keluar ( $T_1$ ) = 0,041342515 kg H<sub>2</sub>O/kg udara

1. Panas bahan masuk *rotary dryer* ( $Q_1$ ) = Panas bahan (cake) keluar RDVF

$$Q_1 = 43.780,91094 \text{ kkal}$$

2. Panas udara pengering masuk *rotary dryer* ( $Q_2$ )

$$Q_2 = G_s \times \Delta H_{G2}$$

$$= 58.382,9059 \text{ kg} \times 34,449178 \text{ kkal/kg}$$

$$= 2.011.243,117 \text{ kkal}$$

3. Panas bahan keluar *rotary dryer* ( $Q_3$ )

$$Q_3 = S_2 \times \Delta H_{G2}$$

$$= 14.520,202020 \text{ kg} \times 6,693344 \text{ kkal/kg}$$

$$= 97.188,70707 \text{ kkal}$$

4. Panas udara pengering + uap H<sub>2</sub>O keluar *rotary dryer* ( $Q_4$ )

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$$

$$Q_4 = (Q_1 + Q_2) - Q_3$$

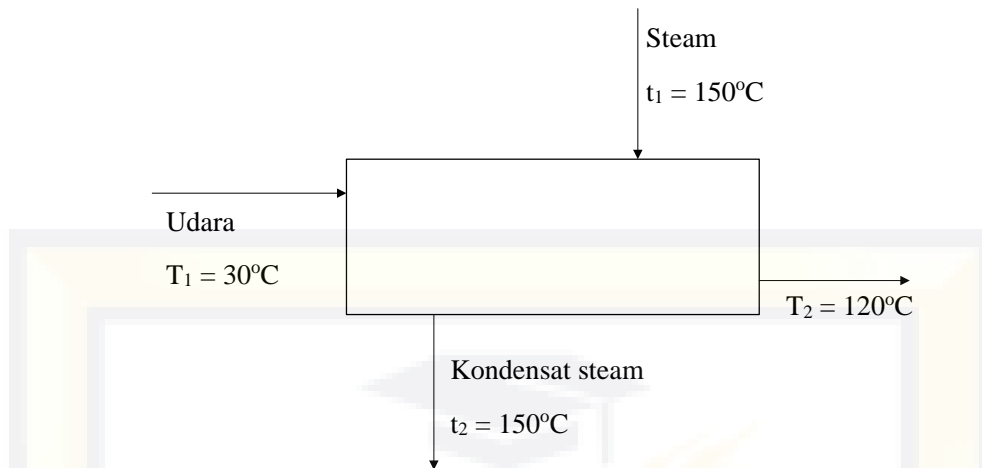
$$= (43.780,91094 + 2.011.243,117) - (97.188,70707) \text{ kkal}$$

$$= 1.957.835,321 \text{ kkal}$$

### G. Heater

Fungsi : menaikkan suhu udara pengering sebelum dialirkan *rotary dryer*





1. Panas udara pengering masuk *heater* ( $Q_1$ )

$$Q = m \cdot \Delta H_G$$

Keterangan

$m$  = massa udara pengering = 58.382,9059 kg

$\Delta H_G$  = entalpi udara pengering =  $C_S (t_{G1} - t_0) + \lambda_0 \cdot Y_1$

$C_S$  = kapasitas panas udara (kkal/kg°C) =  $0,24 + 0,45 \cdot Y_1$

$t_{G1}$  = suhu udara masuk *heater* =  $30^\circ\text{C}$

$\lambda_2$  = 539,7089 kkal/kg

$Y_1$  = kelembaban udara pengering = 0,02 kg  $\text{H}_2\text{O}$ / kg udara

Maka,  $\Delta H_G = C_S (t_{G1} - t_0) + \lambda_0 \cdot Y_1$

$$= (0,24 + 0,45 \cdot 0,02) (30 - 25) + 539,7089 \times 0,02$$

$$= 12,039178 \text{ kkal/kg}$$

Sehingga  $Q_1 = m \cdot \Delta H_G$

$$= 58.382,9059 \text{ kg} \times 12,039178 \text{ kkal/kg}$$

$$= 702.882,1963 \text{ kkal}$$

2. Panas udara keluar *heater* ( $Q_2$ ) = panas udara pengering masuk *dryer*

$$Q_2 = 2.011.243,117 \text{ kkal}$$

3. Panas yang dibutuhkan dari pemanas ( $Q_3$ )

$$Q_3 = Q_2 - Q_1$$

$$= 2.011.243,117 \text{ kkal} - 702.882,1963 \text{ kkal}$$

$$= 1.308.360,921 \text{ kkal}$$

Sebagai pemanas dibutuhkan uap jenuh ( $T = 150^\circ\text{C}$  dan  $P = 4,9 \text{ kgf/cm}^3$ )

Diketahui  $\lambda_{steam} = H_g - H_f$

$$= 656,1 \text{ kkal/kg} - 151,4 \text{ kkal/kg}$$

$$= 504,7 \text{ kkal/kg}$$

Jumlah steam yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} m_s &= \frac{Q_3}{\lambda_{steam}} \\ &= \frac{1.308.360,921 \text{ kkal}}{504,7 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}}} \\ &= 2.592,353717 \text{ kg} \end{aligned}$$

## LAMPIRAN C. SPESIFIKASI ALAT

### A. GUDANG BAHAN BAKU NATRIUM KARBONAT

Kode : F-101

Fungsi : Tempat menyimpan bahan baku natrium karbonat

Type : Bulk storage warehouse

Komposisi laju alir massa bahan :

Komponen	Laju (Kg/Jam)	Xi, Fraksi Berat	$\rho$ , gr/cm <sup>3</sup>
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9.482,817064	0,98	2,53
H <sub>2</sub> O	193,526879	0,02	1,00
<b>Total</b>	<b>9.676,343943</b>	<b>1,00</b>	

Densitas campuran

$$\begin{aligned}\rho &= \sum x_i \cdot \rho_i \\ &= (0,98 \times 2,533) + (0,02 \times 1) \\ &= 2,482340 + 0,02 \\ &= 2,502340 \text{ gr/cm}^3 \times 62,43 \frac{\text{lb/ft}^3}{\text{gr/cm}^3} \\ &= 156,221086 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

Laju alir massa

$$\begin{aligned}m &= 9.676,343943 \text{ kg/jam} \times \frac{1 \text{ lb}}{0,454 \text{ kg}} \\ &= 21.336,338394 \text{ lb/jam}\end{aligned}$$

**Volume bahan yang ditampung**

$$\begin{aligned}V &= \frac{m \times t}{\rho} \quad (t = \text{waktu penyimpanan 1 bulan} = 720 \text{ jam}) \\ &= \frac{21.336,338394 \text{ lb/Jam} \times 720 \text{ Jam}}{156,221086 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 98.336,044239 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

Faktor keamanan 80%

$$\text{Volume Bahan} = 80\% \times \text{Volume Gudang}$$

$$\text{Volume Gudang} = \frac{\text{Volume Bahan}}{80\%}$$

$$= \frac{98.336,044239}{80\%}$$

$$= 122.920,055298 \text{ ft}^3$$

### Dimensi Gudang

$$V = p \times l \times t$$

$$= 2x \cdot 1,5x \cdot x$$

$$= 3x^3$$

$$x = \left(\frac{V}{3}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= \left(\frac{122.920,055298}{3}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 34,474700 \text{ ft}$$

$$= 10,507376 \text{ m}$$

### Dimensi gudang

$$\text{Panjang (p)} = 2x = 2 \times 34,474700 \text{ ft} = 68,949400 \text{ ft} = 21,014752 \text{ m}$$

$$\text{Lebas (l)} = 1,5x = 1,5 \times 34,474700 \text{ ft} = 51,712050 \text{ ft} = 15,761064 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (t)} = x = 34,474700 \text{ ft} = 10,507376 \text{ m}$$

Dasar lantai bangunan dari cor besi bertulang dengan tinggi 30 cm di atas permukaan tanah. Suhu atap gudang 20°C.

$$\text{Maka, tinggi atap, } h = \frac{1}{2} \text{ lebar} \times \tan 20^\circ$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 51,712050 \times 0,363970$$

$$= 9,410824 \text{ ft}$$

$$= 2,868279 \text{ m}$$

Sehingga tinggi total gudang bahan baku :

$$= t + h$$

$$= (34,474700 + 9,410824) \text{ ft}$$

$$= 43,885524 \text{ ft} = 13,375655 \text{ m}$$

## B. BELT CONVEYOR I

Kode : J-101

Fungsi : Memindahkan bahan baku Natrium Karbonat dari gudang ke bucket elevator I (J-102)

Type : Throughed belt

Kapasitas : 28,26067264 ton/jam

Densitas : 156,2210862 lb/ft<sup>3</sup>

Data dari Stanley M. Walas, Tabel 5.5 *Belt Conveyor Data* hal. 74 untuk kapasitas 33 ton/jam, ditetapkan ukuran belt :

Panjang belt = 30 ft

Lebar belt = 14 in

Kemiringan = 10°

Densitas sumber = 100 lb/ft<sup>3</sup>

Kecepatan sumber = 100 ft/menit

Maka untuk belt didesain :

$$v_{\text{belt}} = \frac{\text{kapasitas}}{\text{kapasitas sumber}} \times \frac{\text{densitas sumber}}{\text{densitas}} \times \text{kecepatan sumber}$$

$$v_{\text{belt}} = \frac{28,26067264 \text{ ton/jam}}{33 \text{ ton/jam}} \times \frac{100 \text{ lb/ft}^3}{156,2210862 \text{ lb/ft}^3} \times 100 \text{ ft/menit}$$

$$= 54,81872135 \text{ ft/menit}$$

Power yang diperlukan menggunakan persamaan George Grange Brown Hal. 57

$$H_p = \frac{F(L+L_o)(T+0,03 W \cdot s)+T \cdot \Delta Z}{990}$$

Keterangan :

F = faktor friksi (0,05 untuk *plaim bearing*)

L = Panjang belt (ft)

Lo = 100 ft untuk *plaim bearing*

s = kecepatan belt (ft/menit)

$\Delta Z$  = Kenaikan elevasi (ft)

w = berat belt conveyor (Tabel *Approximate Weights of Conveyors* Hal.58)

= 14 in x 1 lb/in.ft = 14 lb/ft

T = kapasitas angkut (ton/jam)

Sehingga,

$$H_p = \frac{0,05 (30 \text{ ft} + 100 \text{ ft}) \left( 28,26 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} + \left( 0,03 \left( 14 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} \right) \cdot 54,82 \frac{\text{ft}}{\text{menit}} \right) + 28,26 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \cdot 0 \text{ ft} \right)}{990}$$

$$= 0,34 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor ( $\eta$ ) = 20%, maka power motor dapat dihitung :

$$H_p = \frac{H_p \text{ Required}}{\eta}$$

$$= 1,68 \text{ Hp}$$

∴ Power motor standar 2 Hp

### C. BUCKET ELEVATOR I

Kode : J-102

Fungsi : Memindahkan bahan baku Natrium Karbonat dari belt conveyor I (J-101) menuju bin Natrium Karbonat (F-102)

Type : *Centrifugal discharge-spaced bucket*

Kapasitas : 28,26067264 ton/jam

Data dari Perry's Edisi 7 Tabel 21-8 Spesifikasi bucket elevator type Centrifugal discharge didapatkan :

Ukuran bucket : 6 x 4 x 4 ½ in

Jarak bucket : 12 in

Kapasitas maksimum : 14 ton/jam

Kecepatan bucket : 225 ft/menit

Tenaga tambahan per ft: 0,02 Hp/ft

Power : 1,0 Hp

Direncanakan sudut elevasi 90° dan diketahui tinggi elevator = tinggi tangki pelarutan + bin Natrium Karbonat diambil = 95 ft. Maka,

$$\text{Jarak yang ditempuh bucket} = \frac{\text{Tinggi elevator}}{\sin \alpha}$$

$$= \frac{95 \text{ ft}}{\sin 90} = 95 \text{ ft}$$

Power yang ditambahkan = power tambahan per ft x jarak

$$= 0,02 \text{ Hp/ft} \times 95 \text{ ft}$$

$$= 1,9 \text{ Hp}$$

Power yang dibutuhkan = 1 Hp + 1,84 Hp

$$= 2,9 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor ( $\eta$ )= 80%, maka power motor dapat dihitung :

$$\text{Hp} = \frac{\text{Hp Required}}{\eta}$$

$$= 3,625 \text{ Hp}$$

∴ Power motor standar 4 Hp

#### **D. BIN NATRIUM KARBONAT**

Kode : F-102

Fungsi : Menampung sementara bahan baku Natrium Karbonat sebelum diumpankan ke tangki pelarutan (F-103)

Type : silinder vertikal terbuka dengan tutup bawah *conis*.

Data-data yang diketahui :

Laju alir massa

$$m = 28.260,672636 \text{ kg/jam} \times \frac{1 \text{ lb}}{0,454 \text{ kg}}$$
$$= 62.248,17761 \text{ lb/jam}$$

Densitas

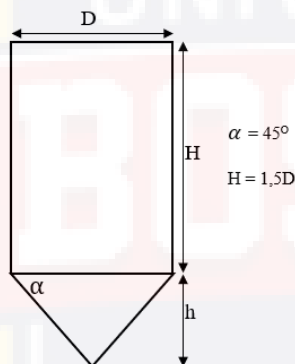
$$\rho = 2,533 \text{ gr/cm}^3 \times 62,43 \text{ lb/ft}^3/\text{gr/cm}^3$$
$$= 158,13519 \text{ lb/ft}^3$$

Temperatur (T) = 30°C

Tekanan (P) = 1 atm = 14,696 Psi

Waktu tinggal, t = 7 hari proses = 168 jam

**Sketsa Bin**



**Volume Bin**

Volume bahan untuk 7 hari persediaan

$$V = \frac{m \times t}{\rho} = \frac{62.248,17761 \text{ lb/jam} \times 168 \text{ jam}}{158,13519 \text{ ft}^3} = 66.131,35153 \text{ ft}^3$$

Faktor keamanan = 10%. Maka volume bin total,  $V_t = 72.744,48668 \text{ ft}^3$

**Dimensi Bin**

Volume bin total = Volume silinder + volume coins

$$\text{Volume silinder} = \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times H$$
$$= 1,1775 D^3$$

$$\text{Volume coins} = \frac{\pi}{4} D^2 \times h \quad \rightarrow h = \frac{1}{2} D \times \text{tg } 45 = \frac{1}{2} D$$
$$= 0,1308 D^3$$



$$\begin{aligned} \text{Volume Bin, } V_t &= 1,1775 D^3 + 0,1308 D^3 \\ &= 1,3083 D^3 \end{aligned}$$

Maka, dapat diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Diameter, } D &= \left( \frac{V_t}{1,3083} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left( \frac{72.744,48668}{1,3083} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 55.600,88154^{1/3} \\ &= 38,17 \text{ ft} \quad = 11,63 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Silinder, } H &= 1,5 \times D \\ &= 1,5 \times 38,17 \text{ ft} \\ &= 57,25 \text{ ft} \quad = 17,45 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi conis, } h &= \frac{1}{2} D \\ &= \frac{1}{2} \times 38,17 \text{ ft} \\ &= 19,08 \text{ ft} \quad = 5,82 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi total, } H_t &= H + h \\ &= 57,25 \text{ ft} + 19,08 \text{ ft} \\ &= 76,33 \text{ ft} \quad = 23,27 \text{ m} \end{aligned}$$

### Tebal Shell

$$t_s = \frac{P \times r}{f \times E - 0,6 \times P} + C$$

Rumus tebal shell dari Brownell & young hal.254

Keterangan ;

P = tekanan desain (Psi)

r = jari-jari tangki (in) = 229 in

f = tegangan yang diizinkan (Psi)

C = faktor korosi = 0,125 in

E = efisiensi pengelasan = 80%

Bahan konstruksi carbon steel SA-283 Grade C, f = 12.650 Psi

Faktor keamanan desain = 20%, P desain = 17,64 Psi

$$\begin{aligned}
 t_s &= \frac{17,64 \times 229}{12.650 \times 0,8 - 0,6 \times 17,64} + 0,125 \\
 &= 0,525 \text{ in} \\
 &= 1,33 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tebal plat standar yang digunakan =  $\frac{5}{8}$  in = 1,5875 cm

### Tebal Conis

$$t = \frac{P \times d}{2 \cos \alpha (f \times E - 0,6 \times P)} + C$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{17,64 \times 458}{2 \cos 45^\circ (12.650 \times 0,8 - 0,6 \times 17,64)} + 0,125 \\
 &= 0,69 \text{ in} \\
 &= 1,75 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tebal plat standar yang digunakan =  $\frac{6}{8}$  in = 1,905 cm

### E. BELT CONVEYOR II

Kode : J-103

Fungsi : Memindahkan bahan baku Natrium Karbonat dari bin Natrium Karbonat (F-102) ke tangki pelarutan (F-103)

Type : Throughed belt

Kapasitas : 28,26067264 ton/jam

Densitas : 156,2210862 lb/ft<sup>3</sup>

Data dari Stanley M. Walas, Tabel 5.5 *Belt Conveyor Data* hal. 74 untuk kapasitas 38,40 ton/jam, ditetapkan ukuran belt :

Panjang belt = 15 ft

Lebar belt = 14 in

Kemiringan = 20°

Densitas sumber = 100 lb/ft<sup>3</sup>

Kecepatan sumber = 100 ft/menit

Maka untuk belt didesain :

$$v \text{ belt} = \frac{\text{kapasitas}}{\text{kapasitas sumber}} \times \frac{\text{densitas sumber}}{\text{densitas}} \times \text{kecepatan sumber}$$

$$v \text{ belt} = \frac{28,26067264 \text{ ton/jam}}{38,40 \text{ ton/jam}} \times \frac{100 \text{ lb/ft}^3}{156,2210862 \text{ lb/ft}^3} \times 100 \text{ ft/menit}$$

$$= 47,12 \text{ ft/menit}$$

Power yang diperlukan menggunakan persamaan George Grange Brown Hal. 57

$$Hp = \frac{F(L+Lo)(T+0,03 W \cdot s)+T \cdot \Delta Z}{990}$$

Keterangan :

F = faktor friksi (0,05 untuk *plaim bearing*)

L = Panjang belt (ft)

Lo = 100 ft untuk *plaim bearing*

s = kecepatan belt (ft/menit)

$\Delta Z$  = Kenaikan elevasi (ft)

w = berat belt conveyor (Tabel Aproximate Weights of Conveyors Hal. 58)

$$= 14 \text{ in} \times 1 \text{ lb/in.ft} = 14 \text{ lb/ft}$$

T = kapasitas angkut (ton/jam)

Sehingga,

$$Hp = \frac{0,05 (15 \text{ ft} + 100 \text{ ft}) \left( 28,26 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} + (0,03 \left( 14 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} \right) \cdot 47,12 \frac{\text{ft}}{\text{menit}} \right) + 28,26 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \cdot 0 \text{ ft}}{990}$$

$$= 0,3 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor ( $\eta$ )= 20%, maka power motor dapat dihitung :

$$Hp = \frac{Hp \text{ Required}}{\eta}$$

$$= 1,4 \text{ Hp}$$

∴ Power motor standar 2 Hp

## F. TANGKI PELARUTAN

Kode : F-103

Fungsi : membuat larutan jenuh natrium karbonat sebelum masuk ke reaktor (R-101)

Type : silinder vertikal tertutup dengan tutup bawah dishead dilengkapi pengaduk dan coil pemanas.

Data-data yang diketahui :

Komposisi bahan masuk tangki pelarutan :

Komponen	Laju (Kg/Jam)	Xi, Fraksi Berat	$\rho$ , gr/cm <sup>3</sup>
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9.482,817064	0,3355	2,53
H <sub>2</sub> O	18.777,85557	0,6645	1,00
<b>Total</b>	<b>28.260,67264</b>	<b>1,0000</b>	

Densitas campuran :

$$\begin{aligned}\rho &= \sum x_i \cdot \rho_i \\ &= (0,3355 \times 2,533) + (0,6645 \times 1) \\ &= 1,514 \text{ gr/cm}^3 \times 62,43 \text{ lb/ft}^3/\text{gr/cm}^3 \\ &= 94,54 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

Temperatur operasi,  $T = 40^\circ\text{C} = 104 \text{ F}$

Tekanan operasi,  $P = 1 \text{ atm} = 14,969 \text{ Psi}$

Waktu tinggal,  $t = 1,5 \text{ jam}$

Rate massa bahan,  $m = 28.260,67264 \text{ kg/jam}$

$m = 62.248,17761 \text{ lb/jam}$

### Volume tangki (Vt)

Volume bahan dalam tangki,

$$V = \frac{m \times t}{\rho} = \frac{62.248,17761 \text{ lb/jam} \times 1,5 \text{ jam}}{94,54 \text{ lb/ft}^3} = 987,6095902 \text{ ft}^3$$

Faktor keamanan = 85%. Maka volume bin total,

$$V_t = 1.161,893636 \text{ ft}^3 = 32,90085333 \text{ m}^3$$

### Dimensi Tangki

$$H = 1,5 D$$

Volume tangki = Volume silinder + volume dishead

$$\begin{aligned} \text{Volume silinder} &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times H \\ &= 1,1775 D^3 \end{aligned}$$

Volume dishead =  $0,000049D^3/12 \rightarrow$  Brownell & young hal.88

Maka,

$$\begin{aligned} V_t &= 1,1775 D^3 + 0,000049D^3/12 \\ &= 1,1775 D^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \left( \frac{V_t}{1,1775} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left( \frac{1.161,893636}{1,1775} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 9,95 \text{ ft} = 3,03 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= 1,5 \times D \\ &= 1,5 \times 9,95 \text{ ft} \\ &= 14,93 \text{ ft} \\ &= 4,55 \text{ m} \end{aligned}$$

Tinggi cairan dalam tangki, hL

$$\begin{aligned} hL &= \frac{4 \times V}{\pi \times D^2} \\ &= \frac{4 \times 987,6095902}{\pi \times 9,95^2} \\ &= 12,69 \text{ ft} = 3,87 \text{ m} \end{aligned}$$

### Tebal Shell

$$t_s = \frac{P \times r}{f \times E - 0,6 \times P} + C$$

Rumus tebal shell dari Brownell & young hal.254

Keterangan ;

P = tekanan desain (Psi)

r = jari-jari tangki (in) = 59,73 in

f = tegangan yang diizinkan (Psi)

C = faktor korosi = 0,125 in

E = efisiensi pengelasan = 80%

Bahan konstruksi carbon steel SA-283 Grade C, f = 12.650 Psi

Faktor keamanan desain = 20%, P desain = 17,64 Psi

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{17,64 \times 59,73}{12.650 \times 0,8 - 0,6 \times 17,64} + 0,125 \\ &= 0,23 \text{ in} \\ &= 0,58 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tebal plat standar yang digunakan =  $\frac{1}{4}$  in = 0,635 cm

### Tebal Dishead

$$t = \frac{0,885 P \times r_c}{f \times E - 0,1 \times P} + C \quad \rightarrow r_c = \text{crown radius}$$

Rumus tebal dari Brownell & young hal.258

$$\begin{aligned} r_c &= \text{ID Shell} + 2 t_s \\ &= (9,95 \text{ ft} \times 12 \text{ in/ft}) + 2 (0,25) \\ &= 119,97 \text{ in} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} t_d &= \frac{0,885 (17,64) \times 119,97}{12.650 \times 0,8 - 0,1 \times 17,64} + 0,125 \\ &= 0,31 \text{ in} \end{aligned}$$

Tebal plat standar yang digunakan =  $\frac{3}{8}$  in = 0,9525 cm

## Perhitungan Pengaduk

### a. Tipe Pengaduk

Jenis *six plate blade* turbin dengan jumlah impeller sebanyak 1 buah.

Konfigurasi pengaduk :

$$Dt/Di = 3$$

$$Zi/Di = 1,3$$

$$\text{Baffle} = 4 \text{ buah}$$

$$w/Di = 0,10$$

$$L/Di = 0,25$$

$$J/Di = 0,20$$

$$Dt = 12,45 \text{ ft} = 149,4 \text{ in}$$

Keterangan,

$Dt$  = diameter dalam tangki

$Di$  = diameter pengaduk

$Zi$  = tinggi pengaduk dari dasar tangki

$w$  = lebar baffle

$L$  = panjang sudu (blade)

$J$  = lebar sudu (blade)

Maka,

$$Di = 49,8 \text{ in} = 1,26492 \text{ m}$$

$$Zi = 64,74 \text{ in} = 1,644396 \text{ m}$$

$$w = 4,98 \text{ in} = 0,126492 \text{ m}$$

$$L = 12,45 \text{ in} = 0,31623 \text{ m}$$

$$J = 9,96 \text{ in} = 0,252984 \text{ m}$$

Tinggi baffle = tinggi cairan dalam tangki ( $hL$ ) + tinggi rumah kosong silinder

Tinggi ruang kosong silinder = tinggi silinder – tinggi cairan

$$= 14,93 - 12,69$$

$$= 2,24 \text{ ft}$$

Tinggi baffle =  $hL + (\frac{1}{2} \times \text{tinggi ruang kosong})$

$$= 12,69 + (\frac{1}{2} \times 2,24 \text{ ft})$$

$$= 13,81 \text{ ft}$$

b. Power Pengaduk

$$\text{Bilangan Reynold, } NRe = \frac{Di^2 \times N \times \rho}{\eta}$$

Keterangan :

$$N = \text{putaran pengaduk} = 90 \text{ rpm} = 1,5 \text{ rps}$$

$$Di = \text{diameter pengaduk} = 49,8 \text{ in} = 4,15 \text{ ft}$$

$$\rho = \text{densitas larutan} = 94,54 \text{ lb/ft}^3$$

$$\eta = \text{viskositas larutan} = 1,6805 \times 10^{-3} \text{ lb/ft.s}$$

Maka,

$$NRe = \frac{(49,8)^2 \times 1,5 \times 94,54}{0,0016805}$$

$$= 209.287.856,4$$

$$\text{Power number } \Phi = 6$$

Sehingga power pengaduk :

$$P = \frac{\Phi \times n^3 \times Di^5 \times \rho}{gc} \quad \rightarrow gc = 32,174$$

$$= \frac{6 \times 1,5^3 \times 4,15^5 \times 94,54}{32,174}$$

$$= 73.247,54204 \text{ ft.lbf/s} \times \frac{1 \text{ Hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}}$$

$$= 133,2 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor ( $\eta$ )= 80%, maka power motor dapat dihitung :

$$Hp = \frac{Hp \text{ Required}}{\eta}$$

$$= 166,47 \text{ Hp}$$

∴ Power motor standar 167 Hp



### Perhitungan Coil Pemanas

Coil pemanas ditempatkan pada bagian dalam tangki. Koefisien perpindahan panas dari coil ke cairan untuk tangki berpengaduk dihitung dengan persamaan dari D.Q.Kern hal. 722. Koefisien perpindahan panas bagian luar :

$$\frac{h_o \times D_t}{K} = 0,87 \left( \frac{D_i^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{C \cdot \mu}{K} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$$

Keterangan :

$h_o$  = koefisien perpindahan panas bagian luar (Btu/jam/ft<sup>2</sup>. °F)

$D_t$  = diameter tangki bagian dalam (ft)

$N$  = Kecepatan putaran pengaduk (rps)

$K$  = Konduktifitas panas larutan (Btu/jam/ft<sup>2</sup>)

$\rho$  = densitas campuran (lb/ft<sup>3</sup>)

$C$  = kapasitas panas campuran (Btu/lb.°F)

$\mu$  = viskositas campuran (lb/ft.s)

$D_i$  = diameter impeller pengaduk (ft)

Diketahui :

$D_t$  = 12,45 ft

$D_i$  = 4,15 ft

$K$  = 0,365 Btu/jam.ft<sup>2</sup>

$\mu$  = 1,6805 x 10<sup>-3</sup> lb/ft.s = 6,0498 lb/ft.jam

$C$  = 0,7563 Btu/lb.°F

$N$  = 1,5 rps

$\rho$  = 94,54 lb/ft<sup>3</sup>

Maka,

$$\begin{aligned} h_o &= 0,87 \left( \frac{K}{D_t} \right) \left( \frac{D_i^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{C \cdot \mu}{K} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \\ &= 0,87 \left( \frac{0,365}{12,45} \right) \left( \frac{4,15^2 \cdot 1,5 \cdot 94,54}{6,0498} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{0,7563 \cdot 6,0498}{0,365} \right)^{\frac{1}{3}} \end{aligned}$$

$$= 760,23 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

Koefisien perpindahan panas bagian dalam (hio)

D.Q Kern dari *Tabel 10 Heat Exchanger and Condensor Tube Data* Hal. 843

Pipa coil dipilih dengan spesifikasi berikut :

$$\text{Diameter luar, OD} = \frac{3}{4} \text{ in}$$

$$\text{Tebal tube, BWG} = 16$$

$$\text{Diameter dalam, ID} = 0,62 \text{ in} = 0,0517 \text{ ft}$$

$$\text{Flow area per tube, a't} = 0,302 \text{ in}^2$$

$$\text{Surface per lin ft, ao} = 0,1963 \text{ ft}^2$$

Untuk steam terkondensasi dipilih  $h_i = 1500 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$

$$h_{io} = h_i \times \frac{ID}{OD}$$

$$= 1500 \times \frac{0,62}{0,75}$$

$$= 1240 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

$$h_{io \text{ coil}} = \left( h_{io} + 3,5 \left( \frac{D_c}{D_h} \right) \right) \rightarrow D_c = ID = 0,0517 \text{ ft}$$

$$D_h = 80\% \times D_t = 9,96 \text{ ft}$$

$$= \left( 1240 + 3,5 \left( \frac{0,0517}{9,96} \right) \right)$$

$$= 1.262,513387 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

Koefisien perpindahan panas keseluruhan bersih, UC :

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

$$= \frac{1.262,51 \times 760,23}{1.262,51 + 760,23}$$

$$= 474,50 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

Koefisien perpindahan panas keseluruhan desain, UD :

$$\frac{1}{UD} = \frac{1}{UC} + R_d \rightarrow R_d = 0,001$$

$$= \frac{1}{474,50} + 0,001$$

$$= 0,003107464$$

$$UD = \frac{1}{0,003107464}$$

$$= 321,805861 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

Aliran suhu tangki pengaduk :

$$t_1 = 30^\circ\text{C} = 303^\circ\text{K} = 86^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 40^\circ\text{C} = 313^\circ\text{K} = 104^\circ\text{F}$$

$$T_1 = 150^\circ\text{C} = 423^\circ\text{K} = 302^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 150^\circ\text{C} = 423^\circ\text{K} = 302^\circ\text{F}$$

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)}$$

$$= 206,9^\circ\text{F} = 207^\circ\text{F}$$

Beban panas tangki larutan :

$$Q = 524.145,3579 \text{ kkal/jam} = 2.079.941,896 \text{ Btu/jam}$$

Luas permukaan perpindahan panas

$$A = \frac{Q}{UD \times \Delta T}$$

$$= \frac{2.079.941,896}{321,805861 \times 207}$$

$$= 31,22 \text{ ft}^2$$

Luas permukaan coil perlilitan

$$A_c = \pi \times D_h \times a_o$$

$$= 3,14 \times 9,96 \times 0,1963$$

$$= 6,14 \text{ ft}^2 = 0,57 \text{ m}^2$$

Jumlah lilitan coil

$$N_c = \frac{A}{A_c}$$

$$= \frac{31,22}{6,14}$$

$$= 5,09 = 6 \text{ lilitan}$$

Tinggi lilitan

$$H_c = (N_c \times OD \text{ coil}) + (N_c - 1) (\text{spasi coil})$$

$$= (6 \times 0,75) + (6 - 1) (0,75)$$

$$= 7,125 \text{ in}$$

$$= 0,59 \text{ ft}$$

$$= 18,0975 \text{ cm}$$

Coil ditempatkan di tengah-tengah larutan. Maka, tinggi coil dari dasar tangki :

$$T_c = \frac{\text{Tinggi larutan-tinggi coil}}{2}$$

$$= \frac{12,69 - 0,59375}{2}$$

$$= 6,05 \text{ ft}$$

$$= 1,84 \text{ m}$$

#### **G. POMPA LARUTAN NATRIUM KARBONAT**

Kode : L-101

Fungsi : Mengalirkan larutan natrium karbonat dari tangki pelarutan (F-103)  
ke reaktor (R-101)

Type : Sentrifugal

Data-data yang diketahui :

Laju alir massa, (m) = 28260,67264 kg/jam

= 62.314,78316 lb/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 94,54 lb/ft<sup>3</sup>

Viskositas ( $\mu$ ) = 1,6805 x 10<sup>-3</sup> lb/ft.s

Laju alir volumetrik bahan (Q)

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{62.314,78316}{94,54} \\ &= 659,1108883 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,183086358 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Diameter optimum pipa, Di

Berdasarkan Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, asumsi turbulen flow dapat dilihat Persamaan 15 hal. 496,  $NRe > 2100$

$$\begin{aligned} Di &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\ &= 3,9 \times 0,18^{0,45} \times 94,54^{0,13} \\ &= 3,28 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari data Appendix D Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, Tabel 13 *steel pipe dimensions*, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Nps &= 4 \text{ in} \\ \text{Schedule} &= 40 \\ ID &= 4,026 \text{ in} = 0,3355 \text{ ft} \\ OD &= 4,5 \text{ in} = 0,375 \text{ ft} \\ A &= 12,7 \text{ in}^2 = 0,08819 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Uji bilangan Reynold

$$NRe = \frac{V \times D}{\nu}$$

Keterangan

V = kecepatan aliran

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,183}{0,0882} = 2,074 \text{ ft/s}$$

v = viskositas kinematik

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,0016805 \frac{lb}{ft \cdot s}}{94,5437 \frac{lb}{ft^3}} = 0,00001777 \text{ ft}^2/\text{s}$$

D = diameter

Maka,

$$NRe = \frac{2,074 \frac{ft}{s} \times 0,3355 \text{ ft}}{0,00001777 \text{ ft}^2/\text{s}} = 39.141,4509$$

Asumsi aliran turbulen memenuhi  $NRe > 2100$

Direncanakan sistem pemompaan terdiri dari :

- Pipa lurus = Panjang (l) = 30 m = 98,43 ft
- 4 buah elbow  $90^\circ$  = 32
- 1 buah gate valve full open = 7
- Tinggi pemompaan, Z = 5 m = 16,405 ft

Panjang ekuivalen pipa

$$\text{Elbow } 90^\circ \rightarrow 4 \times 32 \times 0,3355 \text{ ft} = 42,944 \text{ ft}$$

$$\text{Gate valve full open} \rightarrow 1 \times 7 \times 0,3355 \text{ ft} = 2,3485 \text{ ft}$$

$$\text{Total Le} = 45,2925 \text{ ft}$$

Panjang pipa total, dapat dihitung :

$$\sum L = L + Le = 98,43 \text{ ft} + 45,30 \text{ ft} = 143,73 \text{ ft} = 43,8045 \text{ m}$$

Gesekan karena aliran melalui pipa dan semua alat kelengkapan

$$\sum F = \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D}$$

→ *Relative roughnes for commercial steel,*

$$\varepsilon = 0,00015 \text{ ft}$$

Mencari nilai  $\varepsilon/D$  Untuk menentukan  $f$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00044709 \text{ dan } NRe = 39.141,4509, \text{ maka nilai } f = 0,0017$$

$$\begin{aligned}\sum F &= \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \\ &= \frac{2(0,0017) \times 43,8045 \times (2,074)^2}{32,17 \times 0,3355} \\ &= 1,947 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

### Energi Mekanik Pipa

Persamaan bernouly untuk fluida *incompressible isothermal*

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2 gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + F + WF = 0$$

Diketahui :

$$\frac{\Delta P}{\rho} = 0 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\begin{aligned}\frac{\Delta v^2}{2 gc} &= \frac{(v_2 - v_1)^2}{2 gc} \\ &= \frac{(2,074 - 0)^2}{2 (32,17)} \\ &= 0,0668 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta Z \frac{g}{gc} &= 16,4 \times \frac{32,2}{32,174} \\ &= 16,42029841 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}-WF &= (0 + 0,0668 + 16,42 + 1,947) \text{ ft.lbf/lbm} \\ &= 18,434 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

Tenaga Pompa (WHP)

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \frac{-WF \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{18,434 \times 0,18 \times 94,54}{550} \\ &= 0,6 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Efisiensi ( $\eta$ )= 64%, maka tenaga pompa dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \frac{\text{WHP Required}}{64\%} \\ &= 1 \text{ Hp} \end{aligned}$$

∴ Power pompa standar 1 Hp

Tenaga motor (BHP)

Efisiensi ( $\eta$ )= 84%, maka tenaga motor dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= \frac{\text{WHP}}{84\%} \\ &= 1,2 \text{ Hp} \end{aligned}$$

∴ Power motor standar 1,5 Hp

## H. STORAGE GAS KARBON DIOKSIDA

Kode : F-104

Fungsi : Tempat menampung bahan baku gas CO<sub>2</sub> untuk kebutuhan 1 bulan proses

Type : *Spherical tank* (tangki berbentuk bola)

Kondisi penyimpanan bahan :

Suhu = 30°C = 546°R

Tekanan = 9,87 atm = 145,089 Psi



Kondisi gas CO<sub>2</sub> :

Komponen	Laju (Kg/Jam)	BM	Kmol/jam	Fraksi mol
H <sub>2</sub> O	1,643152745	18	0,091286264	0,0010
CO <sub>2</sub>	3.936,263687	44	89,46053834	0,9800
N <sub>2</sub>	12,26887383	28	0,438174065	0,0048
H <sub>2</sub>	2,519500876	2	1,259750438	0,0138
CH <sub>4</sub>	0,584232087	16	0,036514505	0,0004
<b>Total</b>	<b>3.953,279446</b>		<b>91,28626361</b>	<b>1</b>

Berat molekul campuran gas :

$$BM = \sum \text{Fraksi mol} \times BM$$

$$= (0,001 \times 18) + (0,98 \times 44) + (0,0048 \times 28) + (0,0138 \times 2) + (0,0004 \times 16)$$

$$= 43,3064 \text{ kg/kmol}$$

$$= 95,45 \text{ lb/lbmol}$$

Densitas campuran

$$\rho = \frac{BM}{V \text{ gas ideal}} \times \frac{T_2}{T_1} \times \frac{P_2}{P_1}$$

Keterangan :

BM = Berat molekul rata-rata

V gas ideal = 22,4 L/mol = 359 ft<sup>3</sup>/lbmol

( T = 0°C(492°R), P = 1 atm (14,7 Psi))

T<sub>2</sub> = 30°C = 546°R

P<sub>2</sub> = 9,87 atm = 145,089 Psi

Maka,

$$\rho = \frac{95,45}{359} \times \frac{546}{492} \times \frac{145,089}{14,696}$$

$$= 2,912 \text{ lb/ft}^3$$

### Perhitungan volume tangki

$$\begin{aligned} \text{Laju alir massa, } m &= 3.953,279446 \text{ kg/jam} \times \frac{1 \text{ lb}}{0,454 \text{ kg}} \\ &= 8.716,981179 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Waktu persediaan, } t = 1 \text{ bulan} = 720 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{m \times t}{\rho} \quad (t = \text{waktu penyimpanan 1 bulan} = 720 \text{ jam}) \\ &= \frac{8.716,981179 \frac{\text{lb}}{\text{jam}} \times 720 \text{ Jam}}{2,912 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} \\ &= 977.408,4601 \text{ft}^3 = 27.676,86422 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume maksimum untuk *spherical tank* adalah  $15000 \text{ m}^3$ . Oleh karena itu, dibutuhkan 2 buah tangki, dengan volume tiap tangki dapat dihitung :

$$V_t = \frac{V}{S} = \frac{27.676.86422}{2} = 13.838,43211 \text{ m}^3 = 488.704,23 \text{ ft}^3$$

### Perhitungan dimensi tangki

$$\text{Volume tangki, } V_t = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$\begin{aligned} \text{Jari-jari tangki, } r &= \left( \frac{3 \times V_t}{4 \times \pi} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left( \frac{3 \times 488.704,23}{4 \times 3,14} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 116.728,7174^{1/3} \\ &= 48,872 \text{ ft} = 14,895 \text{ m} = 586,463 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter tangki, } d &= 2 \times r \\ &= 97,744 \text{ ft} = 29,791 \text{ m} = 1.172,926 \text{ in} \end{aligned}$$

## Perhitungan tebal shell

Bahan konstruksi yang digunakan *high alloy steel SA-167*

$$t_s = \frac{P \times d}{4 \times f \times E - 0,4 \times P} + C$$

Keterangan ;

P = tekanan desain (Psi)

$$= 20\%(9,87) + 9,87 \text{ atm}$$

$$= 11,844 \text{ atm} = 174,06 \text{ Psi}$$

d = diameter tangki (in) = 29,791 in

f = tegangan yang diizinkan (Psi) untuk *high alloy steel SA-167* = 18750 Psi

C = faktor korosi = 0,125 in

E = efisiensi pengelasan tipe *double welded but joint* = 80%

Maka, tebal shell didapatkan

$$t_s = \frac{174,06 \times 29,791}{4 \times 18750 \times 80\% - 0,4 \times 174,06} + 0,125$$
$$= 3,5316 \text{ in}$$

Tebal plat standar yang digunakan = 4 in = 10,16 cm

## I. KOMPRESSOR GAS CO<sub>2</sub>

Kode : G-101

Fungsi : Menaikkan tekanan gas CO<sub>2</sub> sebelum diumpankan ke reaktor  
(R-101)

Type : *single adiabatic centrifugal compressor*

Data-data yang diketahui

Tekanan gas masuk P<sub>1</sub> = 10 Bar (9,87 atm) = kondisi penyimpanan gas CO<sub>2</sub>

Tekanan gas keluar P<sub>2</sub> = 28,5 atm

Suhu gas masuk  $T_1 = 30^\circ\text{C}$  (303K)

### Perhitungan Suhu gas keluar $T_2$

Berat molekul gas BM = 44 kg/kmol

Jumlah gas masuk,  $m = 3.953,279446$  kg/jam = 1,098133 kg/s

Rasio spesifik gas (n) = 1,304

Penentuan jumlah *stage compressor* (Rc) =  $\frac{P_2}{P_1} = \frac{28,5 \text{ atm}}{9,87 \text{ atm}} = 2,887538$  atm

Ditetapkan *single adiabatic centrifugal compressor*,

Suhu gas keluar compressor ( $T_2$ ) =  $T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$

$$\begin{aligned} T_2 &= 303 \left( \frac{28,5 \text{ atm}}{9,87 \text{ atm}} \right)^{\frac{1,304-1}{1,304}} \\ &= 387,976 \text{ K} \\ &= 114,976^\circ\text{C} = 115^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Tenaga yang dibutuhkan *compressor* ( $R = 8,341$  kJ/mol.K)

$$-W_s = \left( \frac{n}{n-1} \right) \times \frac{R \times T_1}{\text{BM}} \times \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \text{ (Pers. 3.31 hal 83, Coulson)}$$

Keterangan:

$W_s$  = Power politropik kompresor (kJ/kg)

$Z$  = Faktor kompresibilitas (0,767)

$R$  = Konstanta gas ideal (8,314 kJ/kmol-K).

$T_{in}$  = Suhu gas masuk kompresor (K) (303 K)

$M$  = Berat molekul gas, (kg/kmol) BM HCl = 44 kg/kmol

$P_{in}$  = Tekanan gas masuk (atm)

$P_{out}$  = Tekanan gas keluar (atm)

Sehingga,



$$-W_s = \left( \frac{1,304}{1,304-1} \right) \times \frac{8,314 \times 303}{44} \times \left[ \left( \frac{28,5}{9,87} \right)^{\frac{1,304-1}{1,304}} - 1 \right]$$

$$= 52,78 \text{ kJ/kg}$$

Efisiensi *compressor*  $\eta = 85\%$

$$\text{Power compressor } P = \frac{-W_s \times m}{\eta}$$

$$= \frac{52,78 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 1,098133 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{85\%}$$

$$= 68,19 \text{ kW}$$

$$= 91,44 \text{ Hp}$$

*Brake Horse Power* (BHP),  $\eta = 90\%$

$$\text{BHP} = \frac{P}{\eta} = \frac{91,44 \text{ Hp}}{90\%} = 101,6 \text{ Hp}$$

Maka, *power motor* = 102 Hp

## J. COOLER

Kode : E-101

Fungsi : Menurunkan suhu gas CO<sub>2</sub> keluar *compressor* (G-101) sebelum masuk reaktor (R-101)

Type : *shell and tube*

Diketahui kondisi suhu :

$$t_1 = 30^\circ\text{C} = 303 \text{ K} = 86 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 37^\circ\text{C} = 310 \text{ K} = 98,6 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_1 = 115^\circ\text{C} = 388 \text{ K} = 239 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 40^\circ\text{C} = 313 \text{ K} = 104 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)}$$

$$= 59,587^\circ\text{F} = 60^\circ\text{F}$$

Diketahui perhitungan pada neraca panas :

$$\text{Beban panas cooler (Q)} = 64.148,37021 \text{ kkal/jam} = 254.412,4363 \text{ Btu/jam}$$

$$\text{Rate fluida panas} = 3.953,279446 \text{ kg/jam} = 8.716,981179 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Rate fluida dingin} = 9.164,052888 \text{ kg/jam} = 20.206,73662 \text{ lb/jam}$$

Suhu kalori

$$T_c = \frac{T_1 + T_2}{2} = 171,5^\circ\text{F}$$

$$t_c = \frac{t_1 + t_2}{2} = 92,3^\circ\text{F}$$

Trial UD

Data dari D.Q. Kern pada Tabel 8 *Approximate Overall Design Coefficients* Hal. 840

Untuk kondisi cooler :

*Hot fluid* = *gasses*

*Cold fluid* = *water*

Didapatkan kisaran UD = 2 -50, ditetapkan UD = 18 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F

$$\text{Luas penampang, A} = \frac{Q}{\text{UD} \times \text{LMTD}}$$

$$= \frac{254.412,4363}{18 \times 59,6}$$

$$= 237,198 \text{ ft}^2 \text{ (A} > 200 \text{ ft, digunakan shell and tube)}$$

D.Q Kern dari Tabel 10 *Heat Exchanger and Condensor Tube Data* Hal. 843

Pipa coil dipilih dengan spesifikasi berikut :

Diameter luar, OD = 1 in

Tebal tube, BWG = 16

Diameter dalam, ID = 0,62 in = 0,0517 ft

*Flow area per tube, a't* = 0,302 in<sup>2</sup>

*Surface per lin ft, ao* = 0,1963 ft<sup>2</sup>

Panjang, L = 8 ft

Maka,

$$\begin{aligned} \text{Jumlah tube, } N_t &= \frac{A}{a_o \times L} \\ &= \frac{237,198}{0,1963 \times 8} \end{aligned}$$

$$= 151,04$$

$$N_{ts} = 152 \text{ buah}$$

$$\text{UD koreksi} = \frac{N_t \times UD}{N_{ts}}$$

$$= \frac{151,04 \times 18}{152}$$

$$= 17,89 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F (UD Memenuhi)}$$



## Tube-Shell Layouts

D.Q Kern dari *Tabel 9 Tube-Sheet Layout (Tube Counts) Square Pitch* Hal. 841

### Bagian Shell

$$ID_s = 21 \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$DE = 0,99 \text{ in} = 0,0825 \text{ ft}$$

$$B = 0,2 \times ID_s = 4,25 \text{ in}$$

$$C'' = Pt - OD = 0,25 \text{ in}$$

### Bagian Tube

$$OD = 1 \text{ in}$$

$$BWG = 16$$

$$ID_t = 0,62 \text{ in} = 0,052 \text{ ft}$$

$$a_o = 0,1963 \text{ ft}^2$$

$$a_t = 0,302 \text{ in}^2$$

$$\text{pitch} = 1 \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$L = n = 8 \text{ ft}$$

$$\text{Pass} = 1\text{-P}$$

## Evaluasi Perpindahan Panas (Rd)

### Bagian Shell (Panas)

Luas penampang,  $A_s$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{ID \times C \times B}{144 \times Pt} \\ &= \frac{21,25 \times 0,25 \times 4,25}{144 \times 1,25} \\ &= 0,125 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Laju alir massa

$$\begin{aligned} G_s &= \frac{m}{A_s} \\ &= \frac{8.716,981179}{0,125} \\ &= 69.494,54892 \text{ lb/jam.ft} \end{aligned}$$

Bilangan Reynold

$$NRe = \frac{De \times Gs}{\mu} \rightarrow \mu = 0,2057 \text{ (Kern, Figure. 14)}$$

$$= \frac{0,0825 \times 69.494,54892}{0,2057}$$

$$= 27.872,14529$$

Heat transfer factor,

$$jH = 115$$

$$C = 0,585 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$$k = 0,0785 \text{ Btu/hr.ft}^2$$

Koefisien ho

$$\begin{aligned} ho &= jH \times \frac{k}{De} \left( \frac{C \times \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 115 \times \frac{0,0785}{0,0825} \left( \frac{0,585 \times 0,2057}{0,0785} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 126,1693 \end{aligned}$$

**Bagian Tube (Dingin)**

Luas penampang, At

$$\begin{aligned} At &= \frac{Nt \times at}{144 \times n} \\ &= \frac{152 \times 0,302}{144 \times 8} \\ &= 0,0398 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Laju alir massa

$$\begin{aligned} Gt &= \frac{m}{At} \\ &= \frac{20.206,73662}{0,0398} \\ &= 507.105,2759 \text{ lb/jam.ft} \end{aligned}$$

Bilangan Reynold

$$\begin{aligned} NRe &= \frac{IDt \times Gt}{\mu} \rightarrow \mu = 1,936 \text{ (Kern, Figure. 14)} \\ &= \frac{0,052 \times 507.105,2759}{1,936} \\ &= 13.533,28474 \end{aligned}$$

Heat transfer factor,

$$\begin{aligned} jH &= 115 \\ C &= 0,585 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F} \\ k &= 0,0785 \text{ Btu/hr.ft}^2 \end{aligned}$$

Koefisien hi

$$\begin{aligned} hi &= jH \times \frac{k}{IDt} \left( \frac{C \times \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 115 \times \frac{0,0785}{0,052} \left( \frac{0,585 \times 1,936}{0,0785} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 425,3576 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} hio &= hi \times \frac{ID}{OD} \\ &= 267,463 \times \frac{0,052}{1} \\ &= 21,977 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Koefisien perpindahan panas keseluruhan bersih, UC :

$$\begin{aligned}
 UC &= \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \\
 &= \frac{21,977 \times 126,1693}{21,977 + 126,1693} \\
 &= 18,71665 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

Faktor pengotor (Rd)

$$\begin{aligned}
 \text{Rd yang dihitung} &= \frac{UC - UD \text{ Koreksi}}{UC \times UD \text{ Koreksi}} \\
 &= \frac{18,72 - 17,88}{18,72 \times 17,88} \\
 &= 0,0025
 \end{aligned}$$

Rd yang diperlukan 0,001, sehingga Rd yang dihitung  $\geq$  Rd yang diperlukan

## K. REAKTOR

Kode : R-101

Fungsi : mereaksikan larutan karbonat jenuh dengan gas karbon dioksida membentuk natrium bikarbonat

Type : reaktor gelembung berbentuk silinder vertical dengan plat berlubang.

Komposisi larutan jenuh  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  masuk reaktor

Komponen	kg/jam	kmol/jam	Fraksi berat	Fraksi mol	$\rho_i$	BM
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	9.482,81706	89,46053834	0,3355	0,079	2,533	106
$\text{H}_2\text{O}$	18.777,8556	10.43,214198	0,6645	0,921	1	18
<b>Total</b>	<b>28.260,6726</b>	<b>11.32,674737</b>	<b>1</b>			

Komponen gas CO<sub>2</sub> masuk reaktor

Komponen	kg/jam	kmol/jam	Fraksi mol	BM
H <sub>2</sub> O	1,64315275	0,091286264	0,001	18
CO <sub>2</sub>	3.936,26369	89,46053834	0,98	44
N <sub>2</sub>	12,2688738	0,438174065	0,0048	28
H <sub>2</sub>	2,51950088	1,259750438	0,0138	2
CH <sub>4</sub>	0,58423209	0,036514505	0,0004	16
<b>Total</b>	<b>3.953,27945</b>	<b>91,28626361</b>	<b>1,000</b>	

Kondisi operasi

Temperatur operasi,  $T = 40^{\circ}\text{C} = 104^{\circ}\text{F}$

Tekanan operasi,  $P = 28 \text{ atm} = 411,5 \text{ Psi}$

Rate massa bahan,  $m = 32.213,95208 \text{ kg/jam}$

$m = 71.031,76434 \text{ lb/jam}$

Densitas campuran Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

$$\begin{aligned} \rho L &= \sum x_i \cdot \rho_i \\ &= (0,3355 \times 2,533) + (0,6645 \times 1) \\ &= 1,514 \text{ gr/cm}^3 \times 1000 \text{ kg/m}^3/\text{gr/cm}^3 \\ &= 1514,3 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Laju alir volumetric

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{28.260,67264}{1514,3} \\ &= 18,66135726 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Konsentrasi larutan jenuh Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> mula-mula

$$\begin{aligned} \text{CBo} &= \frac{89,4605}{18,66} \\ &= 4,794 \text{ kmol/m}^3 = 0,00479 \text{ mol/cm}^3 \end{aligned}$$

Gas CO<sub>2</sub> didistribusikan ke reaktor dengan *perforated plate* pada dasar reaktor.

Diameter reaktor dapat dihitung dari diameter *perforated plate* yang digunakan.

$$\text{BM larutan jenuh Na}_2\text{CO}_3 = \sum X_i \times \text{BM}_i$$

$$= (0,79 \times 106) + (0,921 \times 18)$$

$$= 24,95 \text{ gr/mol}$$

Tegangan permukaan larutan dapat dihitung :

$$\sigma^{\frac{1}{4}} = P (\rho_L - \rho_G) \quad \rightarrow P = \text{Parachor} = 49$$

$$\rho_L = \frac{\rho \text{ larutan}}{\text{BM larutan}}$$

$$= \frac{1,51439}{24,95}$$

$$= 0,0607 \text{ mol/cm}^3$$

$$\rho_G = \frac{\rho \text{ gas CO}_2}{\text{BM gas CO}_2}$$

$$= \frac{0,0481}{44}$$

$$= 0,0011 \text{ mol/cm}^3$$

Maka,

$$\sigma^{\frac{1}{4}} = P (\rho_L - \rho_G)$$

$$= 49 (0,0607 - 0,0011)$$

$$= 2,92055 \text{ mol/cm}^3$$

$$\sigma = 72,7544 \text{ dyne/cm}^3$$

### **Perancangan *Perforated Plate***

Digunakan *perforated plate* dengan susunan *triangular pitch*

Diameter lubang,  $d_o = 4 \text{ cm}$

Jumlah lubang,  $N = 1000 \text{ buah}$

Kecepatan volume kritis tiap lubang orifice,  $Q_{GC}$

$$Q_{GC} = \left( \frac{20 (\sigma \times d_o)^5}{G (\rho_L - \rho_G)^2 \times \rho_L} \right)^{\frac{1}{6}}$$

$$= \left( \frac{20 (72,7544 \times 4)^5}{981 (1,51439 - 0,0481)^2 \times 1,51439} \right)^{\frac{1}{6}}$$

$$= 48,534 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Kecepatan volume tiap lubang orifice,  $Q_{GO}$

$$Q_{GO} = \frac{Q_G}{N} \quad \rightarrow \quad Q_G = \text{total laju alir massa gas} \times \rho_G \times \frac{1000}{3600}$$

$$= 52,82 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 52.820,2 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$= \frac{52.820,2}{1000}$$

$$= 52,8202 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Diameter gelembung saat lepas lubang orifice,  $dB$  :

$$dB = \left[ \frac{6 \times d_o \times \sigma}{g \times \Delta \rho} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \rightarrow \quad \Delta \rho = \rho_L - \rho_G = 1,4662 \text{ gr/cm}^3$$

$$= \left[ \frac{6 \times 4 \times 72,7544}{981 \times 1,4662} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$= 1,067 \text{ cm} = 10,67 \text{ mm}$$

Kecepatan gelembung bergerak ke atas

$$v_t = \left[ \frac{2\sigma}{dB \times \rho_L} + \frac{g \times dB}{2} \right]^{0,5}$$

$$= \left[ \frac{2(72,7544)}{1,067 \times 1,51439} + \frac{981 \times 1,067}{2} \right]^{0,5}$$

$$= 24,765 \text{ cm/s}$$

Uji bilangan Reynold, NRe

Pengujian NRe untuk menghindari adanya jet gelembung. Jet gelembung terjadi bila  $NRe = 10.000 - 50.000$

$$NRe = \frac{\rho_L \times v_t \times d_B}{\mu_L} \rightarrow \mu_L = 0,014 \text{ gr/cm.s}$$

$$= \frac{1,51439 \times 24,765 \times 1,067}{0,014}$$

$$= 2.857,6642$$

Oleh karena  $NRe < 10.000$  maka pemisalan diameter *orifice* = 5 cm dan jumlah lubang = 1000 buah dinyatakan memenuhi dan dapat diterima.

Koefisien perpindahan massa gas  $CO_2$ ,  $K_{AL}$

$$K_{AL} = \frac{D_{AL}}{d_B} \times 0,42 \left[ \frac{3 \times d_B \times g(\rho_L - \rho_G)}{D_{AL} \rho_L} \right]^{\frac{1}{3}} \left[ \frac{\mu_L}{D_{AL} \rho_L} \right]^{\frac{1}{6}}$$

Keterangan :

$D_{AL}$  = difusivitas gas  $CO_2$  dalam larutan =  $6 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$

Maka,

$$K_{AL} = \frac{6 \times 10^{-5}}{1,067} \times 0,42 \left[ \frac{3 \times 1,067 \times 981(1,4662)}{6 \times 10^{-5} \times 1,51439} \right]^{\frac{1}{3}} \left[ \frac{0,014}{6 \times 10^{-5} \times 1,51439} \right]^{\frac{1}{6}}$$
$$= 0,0202 \text{ s}$$

**Perhitungan Volume Reaktor**

$$V = \frac{V(C_{BO} - C_B)}{K_{AL} \times C_{Ai} \left[ 1 + \frac{D_{BL} \times C_{BO}}{D_{AL} \times C_{Ai}} \right]}$$

Keterangan :

$V$  = rate volumetric larutan masuk reaktor =  $51.83,71035 \text{ cm}^3/\text{s}$

$C_{BO}$  = konsentrasi mula-mula larutan  $Na_2CO_3$  =  $0,00479 \text{ mol/cm}^3$



$$\begin{aligned}
 C_B &= \text{konsentrasi larutan Na}_2\text{CO}_3 \text{ setelah terjadi reaksi} \\
 &= C_{B0}(1-X_A) \rightarrow X_A = \text{konversi reaksi} = 0,97 \\
 &= 0,00479(1-0,97) = 0,000144 \text{ mol/cm}^3
 \end{aligned}$$

$C_{Ai}$  = konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  pada bidang batas antara gas dan cairan

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{tekanan parsial gas}}{\text{Konstanta Herry}} = \frac{\text{fraksi mol} \times P \text{ operasi}}{\text{Konstanta Herry}} \\
 &= \frac{0,98 \times 28,5 \text{ atm}}{57,47 \frac{\text{m}^3 \text{ atm}}{\text{kmol}}} = 0,486 \text{ kmol/m}^3 = 0,000486 \text{ mol/cm}^3
 \end{aligned}$$

$$D_{AL} = \text{difusivitas gas CO}_2 \text{ dalam larutan} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$D_{BL} = \text{difusivitas Na}_2\text{CO}_3 \text{ dalam larutan} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$K_{AL} = \text{Koefisien perpindahan massa} = 0,0202 \text{ s}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{51.83,71035(0,00479-0,000144)}{0,0202 \times 0,000486 \left[ 1 + \frac{7 \cdot 10^{-6} \times 0,00479}{6 \cdot 10^{-5} \times 0,000486} \right]} \\
 &= 2.450.661,749 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

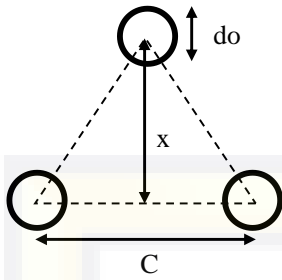
Faktor keamanan 20%, volume reaktor :

$$V = 2.940.794,099 \text{ cm}^3$$

### Perhitungan Waktu Tinggal

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{1}{s} \\
 &= \frac{C_{B0} \times V}{F_{AO}} \\
 &= \frac{0,00479 \times 2.940.794,099}{89.460,5} \\
 &= 0,158 \text{ Jam} \\
 &= 9,45 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

## Perhitungan Diameter Reaktor dan Tinggi Reaktor



$$\begin{aligned} \text{Jarak antara 2 pusat orifice, } C &= 2 \times d_o \\ &= 2 \times 4 \text{ cm} = 8 \text{ cm} \end{aligned}$$

Setiap luas segitiga mewakili setenah luas satu lubang *orifice*

$$\text{Luas } \triangle X = \frac{1}{2} (\sin 60^\circ) C = 3,464 \text{ cm}^2$$

Maka luas 1 lubang *orifice*,

$$A_{\text{orifice}} = 6,928 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas plate, } LP = A_{\text{orifice}} \times N = 6.928 \text{ cm}^2$$

Diameter *perforated plate*,

$$\begin{aligned} DP &= \left[ \frac{LP}{\frac{1}{4} \times \pi} \right]^{\frac{1}{2}} = \left[ \frac{6.928}{\frac{1}{4} \times 3,14} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= 93,945 \text{ cm} = 36,986 \text{ in} \end{aligned}$$

Ditetapkan jarak antara dinding reaktor dengan *perforated plate* = 10 cm

Maka, diameter reaktor,

$$\begin{aligned} DR &= DP + 10 \text{ cm} \\ &= 113,945 \text{ cm} = 44,860 \text{ in} \end{aligned}$$

Untuk tutup atas dan tutup bawah reaktor dirancang dengan tipe *ellipsoidal*

$$\begin{aligned} V_{\text{tutup}} &= \frac{\pi}{24} \times DR^2 \\ &= 193.556,9197 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Volume silinder reaktor

$$\begin{aligned}V_s &= V_R - (2 \times V \text{ tutup}) \\ &= 2.553.680,259 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

Tinggi silinder

$$\begin{aligned}H &= \frac{V_s}{\frac{1}{4}\pi \times D^2 R} \\ &= 250,555 \text{ cm} \\ &= 98,644 \text{ in}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tinggi tutup reaktor} &= \frac{1}{2} \text{ jari-jari reaktor} \rightarrow \text{jari-jari reaktor} = 56,973 \text{ cm} \\ &= 22,43 \text{ in} \\ &= 28,4864 \text{ cm}\end{aligned}$$

Tinggi total reaktor

$$\begin{aligned}HR &= H + (2 \times T \text{ tutup}) \\ &= 307,5278 \text{ cm} \quad = 3,075 \text{ m}\end{aligned}$$

### Perhitungan Tebal Shell

Bahan konstruksi yang digunakan *high alloy steel SA-167 Grade 10*

$$ts = \frac{P \times r}{f \times E - 0,6 \times P} + C$$

Keterangan ;

$$\begin{aligned}P &= \text{tekanan desain (Psi)} \\ &= 20\% (28,5) + 28,5 \text{ atm} \\ &= 33,6 \text{ atm} \quad = 493,7856 \text{ Psi}\end{aligned}$$

$$r = \text{jari-jari (in)} = 22,43 \text{ in}$$

$$f = \text{tegangan yang diizinkan (Psi) untuk } high \text{ alloy steel SA-167} = 18750 \text{ Psi}$$

$$C = \text{faktor korosi} = 0,125 \text{ in}$$

$$E = \text{efisiensi pengelasan tipe } double \text{ welded but joint} = 80\%$$

Maka,

$$\begin{aligned}t_s &= \frac{493,7856 \times 22,43}{18.750 \times 80\% - 0,6 \times 493,7856} + 0.125 \\&= 0,878 \text{ in} \\&= 2,231 \text{ cm}\end{aligned}$$

Tebal plat standar 1 in (2,54 cm)

### Perhitungan Tebal Tutup Reaktor

Bahan konstruksi yang digunakan *high alloy steel SA-167 Grade 10*

$$t_r = \frac{P \times d}{2f \times E - 0,2 \times P} + C$$

Keterangan ;

P = tekanan desain (Psi)

$$= 20\%(28,5) + 28,5 \text{ atm}$$

$$= 33,6 \text{ atm} = 493,7856 \text{ Psi}$$

d = diameter (in) = 44,86 in

f = tegangan yang diizinkan (Psi)

untuk *high alloy steel SA-167* = 18750 Psi

C = faktor korosi = 0,125 in

E = efisiensi pengelasan tipe *double welded but joint* = 80%

Maka,

$$\begin{aligned}t_r &= \frac{493,7856 \times 44,86}{2(18.750) \times 80\% - 0,2 \times 493,7856} + 0.125 \\&= 0,866 \text{ in} \\&= 2,199 \text{ cm}\end{aligned}$$

Tebal plat standar 1 in (2,54 cm)

### Perancangan Jaket Pendingin

Data yang diketahui :

Rate massa pendingin, m = 177.490,4621 kg/jam

$$= 390.948,1544 \text{ lb/jam}$$

Densitas air pendingin,  $\rho$  = 1 gr/cm<sup>3</sup>

$$= 62,43 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Waktu tinggal, } t = 1 \text{ menit} = 0,0167 \text{ jam}$$

Maka,

Volume air pendingin dalam jaket

$$\begin{aligned} V &= \frac{m \times t}{\rho} \\ &= \frac{390.948,1544 \times 0,0167}{62,43} \\ &= 104,3697 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Faktor keamanan 10%, maka volume jaket

$$V_j = 114,80671 \text{ ft}^3$$

Diameter dalam shell jaket, IDj

$$V_j = \frac{1}{4} \pi (ID_j^2 - OD_g^2) H_j$$

Keterangan :

ODg = diameter luar shell reaktor

$$= DR + 2 (ts) = 44,86 + 2(1) = 46,86 \text{ in} = 3,91 \text{ ft}$$

Hj = tinggi shell jaket (tinggi larutan dalam tangki)

Tinggi larutan dalam tangki

$$hL = \frac{4 \times V}{\pi \times DR^2} = 240,447 \text{ cm} = 94,664 \text{ in} = 7,89 \text{ ft}$$

ditetapkan Hj = 8 ft, maka IDj

$$\begin{aligned} ID_j^2 - OD_g^2 &= \frac{4 \times V_j}{\pi \times H_j} \\ &= \frac{4 \times 114,80671}{\pi \times 8} \end{aligned}$$

$$= 18,28$$

$$ID_j^2 = 18,28 + (3,91)^2$$

$$= 33,531 \text{ ft}^2$$

$$\text{IDj} = 5,791 \text{ ft}$$

$$= 69,4867 \text{ in}$$

Tinggi jaket pendingin

$$t_j = \frac{\text{IDj} - \text{ODg}}{2}$$

$$= \frac{5,791 - 3,91}{2}$$

$$= 0,943 \text{ ft}$$

$$= 11,313 \text{ in} \rightarrow \text{standar yang digunakan } 11 \frac{1}{2} \text{ in}$$

### Perhitungan Perpindahan Panas

Data yang diketahui

$$\text{Beban panas reaktor, } Q \text{ pendingin} = 1.242.433,235 \text{ kkal/jam}$$

$$= 4.930.290,614 \text{ Btu/Jam}$$

$$\text{Suhu air pendingin masuk, } t_1 = 30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$$

$$\text{Suhu air pendingin keluar, } t_2 = 37^\circ\text{C} = 98,6^\circ\text{F}$$

Koefisien perpindahan panas bagian luar,  $h_o$

$$\frac{h_o \times De}{K} = 0,027 \left( \frac{De \cdot G}{\mu} \right)^{0,8} \left( \frac{C \cdot \mu}{K} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_o = 0,027 \left( \frac{K}{De} \right) \left( \frac{De \cdot G}{\mu} \right)^{0,8} \left( \frac{C \cdot \mu}{K} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Keterangan :

$h_o$  = koefisien perpindahan panas bagian luar (Btu/jam/ft<sup>2</sup>. °F)

$De$  = diameter ekuivalen (ft)

$$= \frac{\text{IDj}^2 - \text{ODg}^2}{\text{ODg}^2}$$

$$= \frac{5,791^2 - 3,905^2}{3,905^2} = 1,1988 \text{ ft}$$

$$G = \text{laju aliran massa} = \frac{m}{aj}$$

$$aj = \text{laju aliran jaket} = \frac{1}{4} \pi (IDj^2 - ODg^2) = 14,3508 \text{ ft}^2$$

$$G = \frac{m}{aj} = \frac{390.948,1544}{14,3508} = 27.242,1818 \text{ lb/jam.ft}^2$$

$$K = \text{Konduktifitas panas larutan (Btu/jam/ft}^2) = 0,3682 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$C = \text{kapasitas panas campuran (Btu/lb.}^\circ\text{F)} = 1 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$$\mu = \text{viskositas campuran (lb/ft.jam)} = 0,5989 \text{ lb/ft.jam}$$

Maka,

$$ho = 0,027$$

$$\begin{aligned} & \left( \frac{0,3682}{1,1988} \right) \left( \frac{1,1988 \cdot 27.242,1818}{0,5989} \right)^{0,8} \left( \frac{1 \cdot 0,5989}{0,3682} \right)^{\frac{1}{3}} \\ & = (0,00829) (6156,2565) (1,176044) \\ & = 60,03845 \text{ Btu/jam/ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Koefisien perpindahan panas bagian luar, hi

$$hi = 1200 \cdot USG^{0,22}$$

USG = Kecepatan superfirial (ft/s)

$$USG = \frac{QG}{AR}$$

QG = kecepatan volumetrik gas

$$= 52.820,20594 \text{ cm}^3/\text{s} = 1,865 \text{ ft}^3/\text{s}$$

AR = luas penampang reaktor

$$= \frac{1}{4} \pi DR^2 = 10192,089 \text{ cm}^2 = 10,971 \text{ ft}^2$$

Maka,

$$USG = \frac{1,865}{10,971} = 0,17 \text{ ft/s}$$

Sehingga,

$$h_i = 1200 \times 0,17^{0,22}$$

$$= 812,6103 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$h_{io} = h_i \times \frac{ID_j}{OD_g}$$

$$= 812,6103 \times \frac{69,4867}{46,8604}$$

$$= 1.204,9758 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

Koefisien perpindahan panas keseluruhan bersih, UC :

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

$$= \frac{1.204,9758 \times 60,03845}{1.204,9758 + 60,03845}$$

$$= 57,18898 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

Koefisien perpindahan panas keseluruhan desain, UD :

$$\frac{1}{UD} = \frac{1}{UC} + R_d \quad \rightarrow R_d = 0,003$$

$$= \frac{1}{57,18898} + 0,003$$

$$= 0,02048589$$

$$UD = \frac{1}{0,02048589}$$

$$= 48,8140963 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

Aliran suhu tangki pengaduk :

$$t_1 = 30^\circ\text{C} = 303^\circ\text{K} = 86^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 37^\circ\text{C} = 310^\circ\text{K} = 98,6^\circ\text{F}$$

$$T_1 = 40^\circ\text{C} = 313^\circ\text{K} = 104^\circ\text{F}$$



$$T_2 = 40^\circ\text{C} = 313^\circ\text{K} = 104^\circ\text{F}$$

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)}$$

$$= 10,465^\circ\text{F} = 10,5^\circ\text{F}$$

Luas permukaan perpindahan panas

$$A = \frac{Q \text{ pendingin}}{UD \times \Delta T \text{ LMTD}}$$

$$= \frac{4.930.290,614}{48,8140963 \times 10,5}$$

$$= 9.619,178 \text{ ft}^2$$

#### L. TANGKI PRODUK REAKTOR

Kode : F-105

Fungsi : menampung sementara produk reaktor sebelum dialirkan ke RDVF (H-101)

Type : silinder vertikal terbuka dengan tutup bawah dishead.

Komposisi bahan masuk tangki produk:

Komponen	Laju (Kg/Jam)	Xi, Fraksi Berat	$\rho$ , gr/cm <sup>3</sup>
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	284,4845119	0,0089	2,533
H <sub>2</sub> O	1.7215,87457	0,5367	1
NaHCO <sub>3</sub>	14.578,48933	0,4544	2,2
<b>Total</b>	<b>32.078,84841</b>	<b>1</b>	

Densitas campuran :

$$\rho = \sum x_i \cdot \rho_i$$

$$= (0,0089 \times 2,533) + (0,5367 \times 1) + (0,4544 \times 2,2)$$

$$= 1,5589 \text{ gr/cm}^3 \times 62,43 \text{ lb/ft}^3/\text{gr/cm}^3$$

$$= 97,325 \text{ lb/ft}^3$$

Temperatur operasi,  $T = 40^\circ\text{C} = 104^\circ\text{F}$

Tekanan operasi,  $P = 1 \text{ atm} = 14,969 \text{ Psi}$

Waktu tinggal,  $t = 1 \text{ jam}$

Rate massa bahan,  $m = 32.078,84841 \text{ kg/jam}$

$m = 70.658,25642 \text{ lb/jam}$

### Volume tangki (Vt)

Volume bahan dalam tangki,

$$V = \frac{m \times t}{\rho} = \frac{70.658,25642 \frac{\text{lb}}{\text{jam}} \times 1 \text{ jam}}{97,325 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = 726,003768 \text{ ft}^3$$

Faktor keamanan = 85%. Maka volume bin total,

$$V_t = 854,12208 \text{ ft}^3 = 24,18581566 \text{ m}^3$$

### Dimensi Tangki

$H = 1,5 D$

Volume tangki = Volume silinder + volume dishead

$$\begin{aligned} \text{Volume silinder} &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times H \\ &= 1,1775 D^3 \end{aligned}$$

Volume dishead =  $0,000049D^3/12 \rightarrow$  Brownell & young hal.88

Maka,

$$\begin{aligned} V_t &= 1,1775 D^3 + 0,000049D^3/12 \\ &= 1,1775 D^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \left( \frac{V_t}{1,1775} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left( \frac{854,12208}{1,1775} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 8,985 \text{ ft} = 2,7385 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= 1,5 \times D \\ &= 1,5 \times 8,985 \text{ ft} \\ &= 13,4775 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$= 4,10775 \text{ m}$$

Tinggi cairan dalam tangki, hL

$$hL = \frac{4 \times V}{\pi \times D^2}$$

$$= \frac{4 \times 726,003768}{\pi \times 8,985^2}$$

$$= 11,456 \text{ ft} = 3,5 \text{ m}$$

### Tebal Shell

$$t_s = \frac{P \times r}{f \times E - 0,6 \times P} + C$$

Rumus tebal shell dari Brownell & young hal.254

Keterangan ;

P = tekanan desain (Psi)

r = jari-jari tangki (in) = 4,5 ft = 53,9 in

f = tegangan yang diizinkan (Psi)

C = faktor korosi = 0,125 in

E = efisiensi pengelasan = 80%

Bahan konstruksi carbon steel SA-283 Grade C, f = 12.650 Psi

Faktor keamanan desain = 20%, P desain = 17,64 Psi

$$t_s = \frac{17,64 \times 53,9}{12.650 \times 0,8 - 0,6 \times 17,64} + 0,125$$

$$= 0,219 \text{ in}$$

$$= 0,556 \text{ cm}$$

Tebal plat standar yang digunakan =  $\frac{1}{4}$  in = 0,635 cm

### Tebal Dishead

$$t = \frac{0,885 P \times r_c}{f \times E - 0,1 \times P} + C \quad \rightarrow r_c = \text{crown radius}$$

Rumus tebal dari Brownell & young hal.258

$$r_c = \text{ID Shell} + 2 t_s$$

$$= (8,985 \text{ ft} \times 12 \text{ in/ft}) + 2 (0,25)$$

$$= 108,32 \text{ in}$$

Maka,

$$\begin{aligned} t_d &= \frac{0,885 (17,64) \times 108,32}{12.650 \times 0,8 - 0,1 \times 17,64} + 0,125 \\ &= 0,29 \text{ in} \\ &= 0,716 \end{aligned}$$

$$\text{Tebal plat standar yang digunakan} = \frac{5}{16} \text{ in} = 0,794 \text{ cm}$$

#### M. POMPA PRODUK REAKTOR

Kode : L-102

Fungsi : Mengalirkan produk reaktor ke RDVF (H-101)

Type : Sentrifugal

Data-data yang diketahui :

Laju alir massa, (m) = 32.078,84841 kg/jam

$$= 70.658,25642 \text{ lb/jam}$$

Densitas ( $\rho$ ) = 94,54 lb/ft<sup>3</sup>

Viskositas ( $\mu$ ) = 4 Cp = 0,03025 lb/ft.s = 6,0498 lb/ft.jam

Laju alir volumetrik bahan (Q)

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{70.658,25642}{94,54} \\ &= 747,3607993 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,207600222 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Diameter optimum pipa, Di

Berdasarkan Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, asumsi turbulen flow dapat dilihat Persamaan 15 hal. 496, NRe >2100

$$\begin{aligned} D_i &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\ &= 3,9 \times 0,2076^{0,45} \times 94,54^{0,13} \end{aligned}$$

$$= 3,47 \text{ in}$$

Dari data Appendix D Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, Tabel 13 *steel pipe dimensions*, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

$$\text{Nps} = 4 \text{ in}$$

$$\text{Schedule} = 40$$

$$\text{ID} = 4,026 \text{ in} = 0,3355 \text{ ft}$$

$$\text{OD} = 4,5 \text{ in} = 0,375 \text{ ft}$$

$$A = 12,7 \text{ in}^2 = 0,08819 \text{ ft}^2$$

Uji bilangan Reynold

$$\text{NRe} = \frac{V \times D}{\nu}$$

Keterangan

V = kecepatan aliran

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,2076}{0,0882} = 2,36 \text{ ft/s}$$

$\nu$  = viskositas kinematik

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,03025 \frac{\text{lb}}{\text{ft}\cdot\text{s}}}{94,5437 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = 0,00032 \text{ ft}^2/\text{s}$$

D = diameter

Maka,

$$\text{NRe} = \frac{2,36 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \times 0,3355 \text{ ft}}{0,00032 \text{ ft}^2/\text{s}} = 2.468,234$$

Asumsi aliran turbulen memenuhi  $\text{NRe} > 2100$

Direncanakan sistem pemompaan terdiri dari :

- Pipa lurus = Panjang (l) = 20 m = 65,62 ft
- 4 buah elbow 90° = 32
- Tinggi pemompaan, Z = 8 m = 26,248 ft

Panjang ekuivalen pipa

$$\text{Elbow } 90^\circ \quad \rightarrow 4 \times 32 \times 0,3355 \text{ ft} \quad = 42,944 \text{ ft}$$

$$\text{Total Le} \quad = 42,944 \text{ ft}$$

Panjang pipa total, dapat dihitung :

$$\sum L = L + L_e = 65,62 \text{ ft} + 42,944 \text{ ft} = 108,56 \text{ ft} = 33,09 \text{ m}$$

Gesekan karena aliran melalui pipa dan semua alat kelengkapan

$$\sum F = \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \quad \rightarrow \text{Relative roughnes for commercial steel,}$$
$$\varepsilon = 0,00015 \text{ ft}$$

Mencari nilai  $\varepsilon/D$  Untuk menentukan  $f$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,000447 \text{ dan } NRe = 2.468,234, \text{ maka nilai } f = 0,017$$

$$\sum F = \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D}$$
$$= \frac{2(0,017) \times 33,09 \times (2,35)^2}{32,17 \times 0,3355}$$
$$= 1,895 \text{ ft.lbf/lbm}$$

### Energi Mekanik Pipa

Persamaan bernoulli untuk fluida *incompressible isothermal*

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2 gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + F + WF = 0$$

Diketahui :

$$\frac{\Delta P}{\rho} = 0 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 gc} = \frac{(v_2 - v_1)^2}{2 gc}$$

$$= \frac{(2,35 - 0)^2}{2 (32,17)}$$

$$= 0,08612 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\Delta Z \frac{\text{g}}{\text{gc}} = 16,4 \times \frac{32,2}{32,174}$$

$$= 16,42 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$-WF = (0 + 0,086 + 16,42 + 1,895) \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$= 28,2535 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Tenaga Pompa (WHP)

$$\text{WHP} = \frac{-WF \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{28,2535 \times 0,2076 \times 94,54}{550}$$

$$= 1 \text{ Hp}$$

Efisiensi ( $\eta$ )= 65%, maka tenaga pompa dapat dihitung :

$$\text{WHP} = \frac{\text{WHP Required}}{65\%}$$

$$= 1,55 \text{ Hp}$$

∴ Power pompa standar 1,6 Hp

Tenaga motor (BHP)

Efisiensi ( $\eta$ )= 84%, maka tenaga motor dapat dihitung :

$$\text{BHP} = \frac{\text{WHP}}{84\%}$$

$$= 1,9 \text{ Hp}$$

∴ Power motor standar 2 Hp

## N. ROTARY DRUM VACUUM FILTER

Kode : H-101

Fungsi : memisahkan produk  $\text{NaHCO}_3$  dari campuran larutan

Type : *vacuum filter*.

Komposisi massa padatan-cairan keluar *vacuum filter*:

Komponen	Padatan	Fraksi Berat	Larutan	Fraksi Berat	$\rho$
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>		-	284,4845119	0,0168	2,533
NaHCO <sub>3</sub>	14.505,68182	0,92	72,80750955	0,0043	2,2
H <sub>2</sub> O	1.261,363636	0,08	16.610,43445	0,9789	1,0
<b>Total</b>	<b>15.767,04545</b>	<b>1,00</b>	<b>16.967,72647</b>	<b>1,000</b>	

Densitas padatan (*cake*):

$$\begin{aligned}\rho_s &= \sum x_i \cdot \rho_i \\ &= (0,92 \times 2,2) + (0,08 \times 1) \\ &= 2,104 \text{ gr/cm}^3 \times 62,43 \text{ lb/ft}^3/\text{gr/cm}^3 \\ &= 131,353 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

Densitas larutan (*filtrat*):

$$\begin{aligned}\rho_f &= \sum x_i \cdot \rho_i \\ &= (0,0168 \times 2,533) + (0,0043 \times 2,2) + (0,9789 \times 1,0) \\ &= 1,0309 \text{ gr/cm}^3 \times 62,43 \text{ lb/ft}^3/\text{gr/cm}^3 \\ &= 64,356 \text{ lb/ft}^3\end{aligned}$$

Dari penjelasan George Grange Brown Hal. 214, untuk materi granular dan kristal ditetapkan kisaran porositas cake 0,32 – 0,45 dan sphericity 0,7 – 0,8.

$$X = 0,35$$

$$w = 0,75$$

$$D_p = 30 \text{ mesh} = 0,6 \text{ mm} = 0,00197 \text{ ft}$$

$$f_{RE} = 58$$

$$F_f = 1700$$

**Permeabilitas cake (K)**

$$K = \frac{g_c \times D_p^2 \times f_{RE}}{32 \times F_f}$$



Keterangan

$$g_c = \text{faktor konvensi satuan} = 32,174 \text{ ft.lbm/lbf.s}^2$$

$$D_p = \text{diameter partikel (ft)} = 0,00197 \text{ FT}$$

$$f_{RE} = \text{bilangan Reynold sebagai fungsi porositas dan sphericity} = 58$$

$$F_f = \text{faktor friksi sebagai fungsi porositas dan sphericity} = 1700$$

Maka,

$$K = \frac{32,174 \times 0,00197^2 \times 58}{32 \times 1700}$$

$$= 1,3 \times 10^{-7} \text{ ft/s}^2$$

**Luas permukaan filter (A)**

$$t = \frac{C_v \times V}{A^2 \times \Delta P}$$

$$A^2 = \frac{C_v \times V}{t \times \Delta P}$$

$$C_v = \frac{\mu \times \rho_f \times x}{2K[\rho_s(1-x)(1-X) - (\rho_f \times x \times X)]}$$

Keterangan :

$$\mu = \text{viskositas filtrat} = 6,6 \text{ Cp} = 4,4367 \times 10^{-3} \text{ lb/ft.s}$$

$$\rho_f = \text{densitas filtrat} = 64,356 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_s = \text{densitas cake} = 131,353 \text{ lb/ft}^3$$

x = fraksi berat padatan dalam larutan

$$= \frac{15.767,04545}{(15.767,04545 + 16.967,72647)}$$

$$= 0,482$$

$$X = \text{Porositas cake} = 0,35$$

Sehingga,

$$C_v = \frac{4,4367 \times 64,356 \times 0,482}{2(1,3 \times 10^{-7})[131,353(1-0,482)(1-0,35) - (64,356 \times 0,48 \times 0,35)]}$$

$$= 15.748,8556 \text{ lb.s/ft}^4$$

Ditetapkan :

$$\Delta P = 5 \text{ Psi} = 720 \text{ lb/ft}^2$$

$$\text{Filter cycle} = 1 \text{ rpm}$$

Pada saat operasi, bagian drum tercelup dalam larutan = 1/8 bagian

Volume cake,

$$\begin{aligned} V &= \frac{m}{\rho_s} \\ &= \frac{15.767,04545 \times \frac{1}{0,454}}{131,353} \\ &= 264,396 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 4,4066 \text{ ft}^3/\text{menit} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} A^2 &= \frac{15.748,8556 \times 4,4066}{1 \times 720} \\ &= 96,8177 \end{aligned}$$

$$A = 9,8177 \text{ ft}^2$$

$$A = \pi D \cdot L \quad \rightarrow L = \text{Lebar drum ditetapkan} = 0,5D$$

$$A = 0,5 \pi D^2$$

Diameter drum

$$\begin{aligned} D^2 &= \frac{A}{0,5 \pi} \\ &= \frac{9,8177}{0,5 (3,14)} \\ &= 6,253 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$D = 2,5 \text{ ft}$$

$$= 0,762 \text{ m}$$

$$L = 0,5 D$$

$$= 0,5 (2,5)$$

$$= 1,25 \text{ ft}$$

$$= 0,38 \text{ m}$$

### Tebal cake persiklus (1 rpm)

$$(1 - X) \cdot L \cdot A \cdot \rho_s = \frac{(V + L \cdot A \cdot X) \rho_f \cdot x}{1 - x}$$

$$(1 - 0,35) \cdot L \cdot 9,8177 \cdot 131,353 =$$

$$\frac{(4,4066 + L \cdot 9,8177 \cdot 0,35) 64,3561 \cdot 0,482}{1 - 0,482}$$

$$838,22914 L = \frac{136,59496 + 106,5145 L}{0,518}$$

$$(838,22914 - 106,5145) L (0,518) = 136,59496$$

$$379,2766 L = 136,59496$$

$$L = 0,36 \text{ ft}$$

$$= 0,11 \text{ m}$$

$$= 4,32 \text{ in}$$

Jadi, tebal cake per siklus (1 putaran) = 4,32 in (11 m)

### *Air flow*

$$Ca = X \cdot L \left( \frac{\mu_L}{\mu_a} \right)$$

Keterangan

$$X = \text{Porositas cake} = 0,35$$

$$L = \text{tebal cake} = 4,32 \text{ in (0,36 ft)}$$

$$\mu_L = \text{viskositas filtrat} = 6,6 \text{ Cp} = 4,4367 \cdot 10^{-3} \text{ lb/ft.s}$$

$$\mu_a = \text{viskositas udara} = 0,0816 \text{ Cp} = 1,21 \cdot 10^{-5} \text{ lb/ft.s}$$

maka,

$$Ca = 0,35 \cdot 0,36 \left( \frac{4,4367 \times 10^{-3}}{1,21 \times 10^{-5}} \right)$$

$$= 46,2191 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}
 V_a &= \frac{K(\Delta P)}{L(\mu a)} \\
 &= \frac{1,3 \times 10^{-7} (720)}{0,36 (1,21 \times 10^{-5})} \\
 &= 21,59497 \text{ ft}^2/\text{ft}^3 \cdot \text{s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_L &= \frac{K(\Delta P)}{L(\mu L)} \\
 &= \frac{1,3 \times 10^{-7} (720)}{0,36 (4,4367 \times 10^{-3})} \\
 &= 0,05889 \text{ ft}^2/\text{ft}^3 \cdot \text{s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_r &= \frac{1}{86,3} \left[ \frac{K(\Delta P)}{\text{gc} \cdot L \cdot \delta \cdot \text{COS } 0^\circ} \right]^{-0,264} \rightarrow \delta = \text{tegangan permukaan larutan} \\
 &= 31,2 \text{ dyne/cm} = 0,0021 \text{ lbf/ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{86,3} \left[ \frac{1,3 \times 10^{-7} (720)}{32,174 \cdot 0,36 \cdot 0,0021 \cdot \text{COS } 0^\circ} \right]^{-0,264} \\
 &= 0,055
 \end{aligned}$$

### *Cake deposit*

$$t_1 = \frac{CL \cdot L^2}{(\Delta P)}$$

$$\begin{aligned}
 CL &= \frac{\mu L}{2K \cdot \rho_f \cdot x} [\rho_s (1-x)(1-X) - (\rho_f \cdot x \cdot X)] \\
 &= \frac{4,4367 \times 10^{-3}}{2(1,3 \cdot 10^{-7}) 64,356(0,48)} [131,353 (1-0,48)(1-0,35) - (64,356(0,48)(0,35))] \\
 &= 18.291,2259 \text{ lbf.s/ft}^4
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 t_1 &= \frac{18.291,2259 \cdot 0,36^2}{720} \\
 &= 3,295 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$$\theta_1 = 5^\circ \text{ untuk bagian drum yang tertutup slurry}$$

### ***First dewatering***

$$\theta_2 = 145^\circ$$

$$t_2 = \frac{\theta_2}{360^\circ} 60 \text{ s}$$

$$= 24,2 \text{ s}$$

$$C_t = \frac{\mu L \cdot X \cdot L^2}{K (\Delta P)}$$
$$= \frac{4,4367 \times 10^{-3} \cdot 0,35 \cdot (0,36)^2}{1,3 \cdot 10^{-7} (720)}$$
$$= 2,14$$

$$\frac{t_2}{C_t} = \frac{24,2 \text{ s}}{2,14} = 11,3 \text{ s}$$

Ditetapkan  $S_a = 0,2$

$$\frac{V_2}{C_a} = 2$$

$$V_2 = 92,44 \text{ ft}^3/\text{ft}^2 \text{ cycle}$$

### ***Washing (pencucian)***

Ditetapkan,  $\frac{V_1'}{V_1} = 0,1$  ;  $\frac{V_a'}{V_a} = 0,15$  ;  $S_a = 0,40$

$$V_a' = \frac{V_a'}{V_a} V_a = 0,15 (21,59497) = 3,239 \text{ ft}^3/\text{ft}^2 \cdot \text{s}$$

$$t_3 = \frac{60^\circ}{360^\circ} 60 \text{ s} = 10 \text{ s}$$

$$V_3 = V_a' \times t_3 = 3,239 (4) = 32,39 \text{ ft}^3/\text{ft}^2 \text{ cycle}$$

### Second dewatering

$$t_4 = \frac{90^\circ}{360^\circ} 60 \text{ s} = 15 \text{ s}$$

$$Ct' = Ct \frac{2}{\mu L} = 2,14 \frac{2}{4,4367 \times 10^{-3}} = 0,6486 \text{ s}$$

$$Ca' = Ca \frac{2}{\mu a} = 2,14 \frac{2}{1,21 \times 10^{-5}} = 7,003 \text{ s}$$

$$\frac{t_4}{Ct'} = \frac{15 \text{ s}}{0,6486} = 23,13 \text{ s}$$

Ditetapkan  $Sa = 0,15$

$$\frac{V_4}{Ca'} = 11$$

$$V_4 = 11 (7,003)$$

$$V_4 = 77,04 \text{ ft}^3/\text{ft}^2 \text{ cycle}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume udara} &= V_2 + V_3 + V_4 \\ &= (92,44 + 32,39 + 77,04) \text{ ft}^3/\text{ft}^2 \text{ cycle} \\ &= 201,86245 \text{ ft}^3/\text{ft}^2 \text{ cycle} \\ &= 1.981,8276 \text{ ft}^3/\text{menit} \end{aligned}$$

Sehingga,  $\text{ft}^2$  udara/menit dari pompa vacuum pada kondisi operasi :

$$\begin{aligned} Cfm &= \frac{\text{volume udara} \cdot P_{\text{cake}} \cdot (\text{konversi satuan ke ft})}{(P_{\text{cake}} - \Delta P)(\text{konversi satuan ke ft})} \\ &= \frac{(1.981,8276)(14,696)(144)}{(14,696 - 5)(144)} \\ &= 3.003,388146 \text{ ft}^2/\text{menit} = 50,0565 \text{ ft}^2/\text{s} \end{aligned}$$

Tenaga penggerak yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} Hp &= \frac{Cfm \cdot \Delta P \cdot \text{konversi satuan ke ft}}{\text{konversi satuan ke Hp}} \\ &= \frac{3.003,388146 \cdot 5 \cdot 144}{33000} \\ &= 1,09 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Efisiensi ( $\eta$ )= 20%, maka tenaga motor dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{BHp} &= \frac{\text{Hp}}{20\%} \\ &= 5,46 \text{ Hp} \end{aligned}$$

∴ Power motor standar 6 Hp

#### O. TANGKI FILTRAT

Kode : F-106

Fungsi : menampung produk filtrat keluar dari RDVF (H-101) sebelum dialirkan ke pengolahan limbah.

Type : silinder vertikal terbuka dengan tutup bawah dishead

Komposisi bahan masuk tangki produk:

Komponen	Laju (Kg/Jam)	Xi, Fraksi Berat	$\rho$ , gr/cm <sup>3</sup>
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	284,4845119	0,01677	2,533
H <sub>2</sub> O	16.610,43445	0,97894	1
NaHCO <sub>3</sub>	72,80750955	0,00429	2,2
<b>Total</b>	<b>16.967,72647</b>	<b>1,0000</b>	

Densitas campuran :

$$\begin{aligned} \rho &= \sum x_i \cdot \rho_i \\ &= (0,01677 \times 2,533) + (0,97894 \times 1) + (0,00429 \times 2,2) \\ &= 1,031 \text{ gr/cm}^3 \times 62,43 \text{ lb/ft}^3/\text{gr/cm}^3 \\ &= 64,356 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

Temperatur operasi, T = 40°C = 104°F

Tekanan operasi, P = 1 atm = 14,969 Psi

Waktu tinggal, t = 1 hari = 24 jam

Rate massa bahan, m = 16.967,72647 kg/jam

m = 37.373,84684 lb/jam

## Volume tangki (Vt)

Volume bahan dalam tangki,

$$V = \frac{m \times t}{\rho} = \frac{37.373,84684 \frac{\text{lb}}{\text{jam}} \times 24 \text{ jam}}{64,356 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = 13.937,64835 \text{ ft}^3$$

Faktor keamanan = 85%. Maka volume bin total,

$$V_t = 16.397,23335 \text{ ft}^3 = 464,3135594 \text{ m}^3$$

## Dimensi Tangki

$$H = 1,5 D$$

Volume tangki = Volume silinder + volume dishead

$$\begin{aligned} \text{Volume silinder} &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times H \\ &= 1,1775 D^3 \end{aligned}$$

Volume dishead =  $0,000049D^3/12 \rightarrow$  Brownell & young hal.88

Maka,

$$\begin{aligned} V_t &= 1,1775 D^3 + 0,000049D^3/12 \\ &= 1,1775 D^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \left( \frac{V_t}{1,1775} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left( \frac{81.6397,23335}{1,1775} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 24,059 \text{ ft} = 7,33 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= 1,5 \times D \\ &= 1,5 \times 24,0585 \text{ ft} \\ &= 36,09 \text{ ft} \\ &= 11 \text{ m} \end{aligned}$$



Tinggi cairan dalam tangki, hL

$$\begin{aligned}hL &= \frac{4 \times V}{\pi \times D^2} \\ &= \frac{4 \times 13.937,64835}{\pi \times 24,059^2} \\ &= 30,67 \text{ ft} = 9,35 \text{ m}\end{aligned}$$

### Tebal Shell

$$t_s = \frac{P \times r}{f \times E - 0,6 \times P} + C$$

Rumus tebal shell dari Brownell & young hal.254

Keterangan ;

P = tekanan desain (Psi)

r = jari-jari tangki (in) = 12,03 ft = 144,35 in

f = tegangan yang diizinkan (Psi)

C = faktor korosi = 0,125 in

E = efisiensi pengelasan = 80%

Bahan konstruksi carbon steel SA-283 Grade C, f = 12.650 Psi

Faktor keamanan desain = 20%, P desain = 17,64 Psi

$$\begin{aligned}t_s &= \frac{17,64 \times 144,35}{12.650 \times 0,8 - 0,6 \times 17,64} + 0,125 \\ &= 0,3768 \text{ in} \\ &= 0,9571 \text{ cm}\end{aligned}$$

Tebal plat standar yang digunakan =  $\frac{1}{2}$  in = 1,27 cm

### Tebal Dishead

$$t = \frac{0,885 P \times r_c}{f \times E - 0,1 \times P} + C \quad \rightarrow r_c = \text{crown radius}$$

Rumus tebal dari Brownell & young hal.258

$$\begin{aligned}r_c &= \text{ID Shell} + 2 t_s \\ &= (24,059 \text{ ft} \times 12 \text{ in/ft}) + 2 (0,5) \\ &= 289,703 \text{ in}\end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}td &= \frac{0,885 (17,64) \times 289,703}{12.650 \times 0,8 - 0,1 \times 17,64} + 0,125 \\ &= 0,572 \text{ in} \\ &= 1,4\end{aligned}$$

Tebal plat standar yang digunakan =  $\frac{5}{8}$  in = 1,5875 cm

## P. SCREW CONVEYOR

Kode : J-104

Fungsi : memindahkan padatan (cake) keluar RDVF (H-101) menuju rotary Dryer (H-102)

Type : horizontal

Laju alir massa, m = 15.767,045455 kg/jam

$$= 34.729,17501 \text{ lb/jam}$$

Densitas bahan,  $\rho$  = 2,104 gr/cm<sup>3</sup>

$$= 131,353 \text{ lb/ft}^3$$

Kapasitas =  $\frac{m}{\rho}$

$$= \frac{34.729,17501 \frac{\text{lb}}{\text{Jam}}}{131,353 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} \times \frac{1 \text{ Jam}}{60 \text{ menit}}$$

$$= 4,407 \text{ ft}^3/\text{menit}$$

Faktor keamanan 10%

Kapasitas total = 4,8473 ft<sup>3</sup>/menit

Ditetapkan spesifikasi *screw feeder* sebagai berikut :

Diameter pengaliran (*flight*) = 9 in

Diameter pipa = 2 ½ in

Diameter terowongan (*shaft*) = 2 in

Pusat gantungan = 10 ft

Putaran = 40 rpm

Diameter *screw* = 12 in

Panjang = 30 ft

Power yang dibutuhkan

$$Hp = \frac{C \cdot L \cdot w \cdot F}{33000}$$

Keterangan :

C = kapasitas *screw* = 4,8473 ft<sup>3</sup>

L = Panjang *screw* = 30 ft

w = densitas material = 131,353 lb/ft<sup>3</sup>

F = faktor bahan = 2,5

Maka,

$$Hp = \frac{4,8473 \cdot 30 \cdot 131,353 \cdot 2,5}{33000} = 1,447 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor ( $\eta$ ) = 20%, maka power motor dapat dihitung :

$$Hp = \frac{Hp \text{ Required}}{\eta}$$
$$= 7,235 \text{ Hp}$$

∴ Power motor standar 8 Hp

#### **Q. BLOWER**

Kode : BL-101

Fungsi : mengalirkan udar pengering menuju *rotary dryer* (H-102)

Type : *forward-curved blade fans*

Laju alir massa, m = 58.382,9059 kg/jam

= 128.596,709 lb/jam

Densitas bahan,  $\rho = 0,0808 \text{ lb/ft}^3$

Laju alir volumetrik,  $Q = \frac{m}{\rho}$

$$= \frac{128.596,709 \frac{\text{lb}}{\text{jam}}}{0,0808 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}}$$

$$= 1.607.458,863 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 26.790,98105 \text{ ft}^3/\text{menit}$$

Kebutuhan power blower dihitung

$H_p = 1,57 \times 10^{-4} \times Q \times P \rightarrow P = \text{tekanan operasi in H}_2\text{O}$

(1,75 atm = 59,3775 in H<sub>2</sub>O)

$$H_p = 1,57 \times 10^{-4} \times 26.790,98105 \times 59,3775$$

$$H_p = 249,7527 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor ( $\eta$ )= 90%, maka power motor dapat dihitung :

$$H_p = \frac{H_p \text{ Required}}{\eta}$$

$$= 277,507 \text{ Hp}$$

∴ Power motor standar 278 Hp

## R. ROTARY DRYER

Kode : H-102

Fungsi : mengeringkan produk natrium bikarbonat (NaHCO<sub>3</sub>) dengan menggunakan udara panas

Type : *direct head*

Rate bahan masuk,  $m = 15.767,04545 \text{ kg/jam}$

$$m = 34.729,17501 \text{ lb/jam}$$

Rate udara pengering,  $G_s = 58.382,9059 \text{ kg/jam}$

$$G_s = 128.596,709 \text{ lb/jam}$$

### Perhitungan diameter dryer

Diameter dryer dapat dihitung dari persamaan berikut :

$$G = \frac{Gs}{A} \quad \rightarrow \quad A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$D = \left( \frac{4 Gs}{\pi G} \right)^{\frac{1}{2}} \rightarrow G = 200-1000 \text{ lb/jam.ft}^2$$

$$\text{Asumsi } G = 750 \text{ lb/jam.ft}^2$$

$$D = \left( \frac{4 \times 128.596,709}{\pi \times 750} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 218,423285^{1/2}$$

$$= 14,78 \text{ ft}$$

$$= 4,5 \text{ m}$$

### Perhitungan Panjang dryer

$$Nt = \frac{10 L}{Cp \times G^{0,84} \times D}$$

$$L = \frac{Cp \times G^{0,84} \times D \times Nt}{10}$$

Keterangan :

L = panjang dryer (ft)

Cp = kapasitas panas udara = 0,24 Btu/lb.°F

G = kecepatan massa udara (lb/jam.°F) = 750 lb/jam.ft<sup>2</sup>

D = diameter dryer (ft) = 14,78 ft

Nt = jumlah satuan perpindahan = 1,5

Maka,

$$L = \frac{0,24 \times (750)^{0,84} \times 14,78 \times 1,5}{10}$$

$$L = 138,36 \text{ ft}$$

$$= 42,17 \text{ m}$$

Persyaratan untuk L dan D memiliki perbandingan  $L/D = 4 - 10$ . Koreksi ukuran dryer,  $L/D = 9,36$ . Oleh karena itu ukuran Panjang dan diameter dryer memenuhi *range*

### Kecepatan putar dryer

Kecepatan putaran untuk operasi *rotary dryer* sekitar 0,25 – 0,5 m/s

Asumsi  $v = 0,5 \text{ m/s} = 98,43 \text{ ft/menit}$

Maka, didapatkan jumlah putaran per menit

$$N = \frac{v}{\pi \times D}$$

$$= \frac{98,43}{\pi \times 14,78}$$

$$= 2 \text{ putaran/menit}$$

*Range* kecepatan putaran dryer,  $ND = 25 - 35 \text{ ft/menit}$

Kecepatan putaran

$$ND = N \times D$$

$$= 2 \text{ putaran/menit} \times 14,78 \text{ ft}$$

$$= 31,35 \text{ ft/menit}$$

### Penentuan waktu lintasan bahan (*time of passage*)

$$\theta = \frac{0,23 L}{S \times N^{0,5} \times D} + \frac{0,6 B \times L \times G}{F}$$

Keterangan :

S = slope dryer (ft/ft) = 0,08 ft/ft

$\theta$  = *time of passage* (menit)

N = putaran dryer (rpm)

L = panjang dryer (ft)

G = kecepatan udara (lb/jam.ft<sup>2</sup>)

D = diameter dryer (ft)

F = kecepatan umpan (lb/jam.ft<sup>2</sup>)

B = konstanta bahan

Kecepatan umpan

$$F = \frac{m}{A} \quad \rightarrow A = \frac{1}{4} \pi D^2 = 171,46 \text{ ft}^2$$
$$= \frac{34.729,17501}{171,46}$$

$$= 202,5470283 \text{ lb/jam.ft}^2$$

Konstanta bahan

$$B = 5 \times DP^{-0,5} \quad \rightarrow DP = \text{ukuran bahan 30 mesh} = 187,375 \mu\text{m}$$
$$= 5 \times 187,375^{-0,5}$$
$$= 0,365$$

Maka, waktu lintasan bahan

$$\theta = \frac{0,23 (138,36)}{0,08 \times 2^{0,5} \times 14,78} + \frac{0,6 (0,365) \times 138,36 \times 750}{202,547}$$
$$= \frac{31,82227798}{1,672069989} + \frac{22.742,07693}{202,547}$$
$$= 19,03166626 + 112,2804769$$
$$= 131,31 \text{ menit}$$

**Power dryer**

Total *power* yang dibutuhkan untuk seluruh perangkat *rotary dryer*

$$H_p = D^2$$
$$= 14,78^2$$
$$= 218,42 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor ( $\eta$ )= 90%, maka power motor dapat dihitung :

$$H_p = \frac{H_p \text{ Required}}{\eta}$$
$$= 242,69 \text{ Hp}$$

∴ Power motor standar 243 Hp

## S. AIR HEATER

Kode : E-102

Fungsi : menaikkan temperature udara pengering sebelum masuk *rotary dryer*

(H-102)

Type : *shell and tube*

Diketahui kondisi suhu :

$$t_1 = 150^\circ\text{C} = 423 \text{ K} = 302 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$t_2 = 150^\circ\text{C} = 423 \text{ K} = 302 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_1 = 30^\circ\text{C} = 303 \text{ K} = 86 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 120^\circ\text{C} = 393 \text{ K} = 248 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)}$$

$$= 116,858 \text{ }^\circ\text{F} = 117^\circ\text{F}$$

Diketahui perhitungan pada neraca panas :

$$\text{Laju alir massa (w)} = 58.382,9059 \text{ kg/jam} = 128.596,709 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Kebutuhan steam (W)} = 2.592,353717 \text{ kg/jam} = 5.710,030214 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Beban panas heater (Q)} = 1.308.360,921 \text{ kkal/jam} = 5.188.959,413 \text{ Btu/jam}$$

Suhu kalori

$$T_c = \frac{T_1 + T_2}{2} = 167^\circ\text{F}$$

$$t_c = \frac{t_1 + t_2}{2} = 302^\circ\text{F}$$

Trial UD

Data dari D.Q. Kern pada Tabel 8 *Approximate Overall Design Coefficients* Hal.

840. Untuk kondisi cooler :

*Hot fluid* = *steam*

*Cold fluid* = *gasses*



Didapatkan kisaran UD = 5 -50, ditetapkan UD = 5 Btu/jam.ft<sup>3</sup>.°F

$$\begin{aligned}\text{Luas penampang, } A &= \frac{Q}{UD \times \text{LTMD}} \\ &= \frac{128.596,709}{5 \times 117} \\ &= 220,09 \text{ ft}^2 \text{ (} A > 200 \text{ ft, digunakan shell and tube)}\end{aligned}$$

D.Q Kern dari *Tabel 10 Heat Exchanger and Condensor Tube Data* Hal. 843

Pipa coil dipilih dengan spesifikasi berikut :

$$\text{Diameter luar, OD} = 1 \text{ in}$$

$$\text{Tebal tube, BWG} = 16$$

$$\text{Diameter dalam, ID} = 0,87 \text{ in} = 0,0725 \text{ ft}$$

$$\text{Flow area per tube, } a't = 0,594 \text{ in}^2$$

$$\text{Surface per lin ft, } a_o = 0,2618 \text{ ft}^2$$

$$\text{Panjang, } L = 12 \text{ ft}$$

$$\text{Maka, Jumlah tube, } N_t = \frac{A}{a_o \times L}$$

$$= \frac{220,09}{0,2618 \times 12}$$

$$= 70,06$$

$$N_{ts} = 70 \text{ buah}$$

$$\text{UD koreksi} = \frac{N_t \times UD}{N_{ts}}$$

$$= \frac{70,06 \times 5}{70}$$

$$= 5,00 \text{ Btu/jam.ft}^3 \cdot \text{°F (UD Memenuhi)}$$

## Tube-Shell Layouts

D.Q Kern dari *Tabel 9 Tube-Sheet Layout (Tube Counts) Square Pitch* Hal.

841

### Bagian Shell

$$\begin{aligned} \text{IDs} &= 29 \text{ in} \\ \text{DE} &= 0,99 \text{ in} = 0,0825 \text{ ft} \\ \text{B} &= 0,2 \times \text{IDs} = 5 \frac{4}{5} \text{ in} \\ \text{C}'' &= \text{Pt} - \text{OD} = 0,25 \text{ in} \end{aligned}$$

### Bagian Tube

$$\begin{aligned} \text{OD} &= 1 \text{ in} \\ \text{BWG} &= 16 \\ \text{IDt} &= 0,62 \text{ in} = 0,052 \text{ ft} \\ \text{ao} &= 0,1963 \text{ ft}^2 \\ \text{at} &= 0,302 \text{ in}^2 \\ \text{pitch} &= 1 \frac{1}{4} \text{ in} \\ \text{L} = \text{n} &= 8 \text{ ft} \\ \text{Pass} &= 1\text{-P} \end{aligned}$$

## Evaluasi Perpindahan Panas (Rd)

### Bagian Shell (Dingin)

Luas penampang, As

$$\begin{aligned} \text{As} &= \frac{\text{ID} \times \text{C} \times \text{B}}{144 \times \text{Pt}} \\ &= \frac{29 \times 0,25 \times 0,483}{144 \times 1,25} \\ &= 0,0195 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Laju alir massa

$$\begin{aligned} \text{Gs} &= \frac{\dot{m}}{\text{As}} \\ &= \frac{128.596,709}{0,0195} \\ &= 6.605.681,129 \text{ lb/jam.ft} \end{aligned}$$

Bilangan Reynold

$$\begin{aligned} \text{NRe} &= \frac{\text{De} \times \text{Gs}}{\mu} \rightarrow \mu = 0,0653 \text{ (Kern, Figure. 14)} \\ &= \frac{0,079 \times 6.605.681,129}{0,0653} \end{aligned}$$

$$=8.008.418,929$$

Heat transfer factor,

$$jH = 90$$

$$C = 0,34 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$$k = 0,053 \text{ Btu/hr.ft}^2$$

Koefisien ho

$$\begin{aligned} h_o &= jH \times \frac{k}{De} \left( \frac{C \times \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 90 \times \frac{0,053}{0,079} \left( \frac{0,34 \times 0,0653}{0,053} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 45,08 \end{aligned}$$

**Bagian Tube (Panas)**

Luas penampang, At

$$\begin{aligned} At &= \frac{Nt \times at}{144 \times n} \\ &= \frac{70 \times 0,594}{144 \times 12} \\ &= 0,0241 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Laju alir massa

$$\begin{aligned} Gt &= \frac{m}{At} \\ &= \frac{5.710,0302}{0,0241} \\ &= 237.299,957 \text{ lb/jam.ft} \end{aligned}$$

Bilangan Reynold

$$\begin{aligned} NRe &= \frac{IDt \times Gt}{\mu} \rightarrow \mu = 0,06534 \text{ (Kern, Figure. 14)} \\ &= \frac{0,0725 \times 237.299,957}{0,06534} \end{aligned}$$

$$= 263.303,4417$$

Heat transfer factor,

$$jH = 70$$

$$C = 0,27 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$$k = 0,033 \text{ Btu/hr.ft}^2$$

Koefisien hi

$$\begin{aligned} hi &= jH \times \frac{k}{IDt} \left( \frac{C \times \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 70 \times \frac{0,033}{0,0725} \left( \frac{0,27 \times 0,06534}{0,033} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 80,02 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} hio &= hi \times \frac{ID}{OD} \\ &= 80,02 \times \frac{0,0725}{1} \\ &= 5,8 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F} \end{aligned}$$

Koefisien perpindahan panas keseluruhan bersih, UC :

$$\begin{aligned} UC &= \frac{hio \times ho}{hio + ho} \\ &= \frac{5,8 \times 45,08}{5,8 + 45,08} \\ &= 5,13995 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{°F} \end{aligned}$$

Faktor pengotor (Rd)

$$\begin{aligned} \text{Rd yang dihitung} &= \frac{UC - UD \text{ Koreksi}}{UC \times UD \text{ Koreksi}} \\ &= \frac{5,13995 - 5,00}{5,13995 \times 5,00} \\ &= 0,0053 \end{aligned}$$

Rd yang diperlukan 0,003, sehingga Rd yang dihitung  $\geq$  Rd yang diperlukan



## T. AIR FILTER

Kode : X-101

Fungsi : menyaring udara pengering dari debu/kotoran lainnya di area peralatan

Type : *high efficiency particulate air* (HEPA)

Kebutuhan udara dari *blower*

$Q = 26.790,98105 \text{ ft}^3/\text{menit}$

Konsentrasi debu/kotoran di udara pada area industri berkisar  $2 \text{ gr}/1000 \text{ ft}^3$  udara

Spesifikasi filter yang dipilih sebagai berikutn:

Ukuran =  $24 \times 24 \text{ in}$

Kapasitas =  $1000 \text{ ft}^3/\text{menit}$

Jumlah = 5 buah

## U. BELT CONVEYOR III

Kode : J-105

Fungsi : Memindahkan produk  $\text{NaHCO}_3$  ke bucket elevator II (J-106)

Type : Throughed belt

Kapasitas :  $14,52020202 \text{ ton}/\text{jam}$

Densitas :  $137,346 \text{ lb}/\text{ft}^3$

Data dari Stanley M.Walas, Tabel 5.5 *Belt Conveyor Data* hal. 74

Ditetapkan ukuran belt :

Panjang belt = 25 ft

Lebar belt = 48 in

Kemiringan =  $30^\circ$

Densitas sumber =  $100 \text{ lb}/\text{ft}^3$

Kecepatan sumber = 100 ft/menit

Maka untuk belt didesain :

$$v \text{ belt} = \frac{\text{kapasitas}}{\text{kapasitas sumber}} \times \frac{\text{densitas sumber}}{\text{densitas}} \times \text{kecepatan sumber}$$

$$v \text{ belt} = \frac{14,52020202 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}}{661,2 \frac{\text{ton}}{\text{jam}}} \times \frac{100 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}}{137,346 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} \times 100 \text{ ft/menit}$$

$$= 99,82 \text{ ft/menit}$$

Power yang diperlukan menggunakan persamaan George Grange Brown Hal. 57

$$H_p = \frac{F(L+L_o)(T+0,03 W \cdot s) + T \cdot \Delta Z}{990}$$

Keterangan :

F = faktor friksi (0,05 untuk *plaim bearing*)

L = Panjang belt (ft)

L<sub>o</sub> = 100 ft untuk *plaim bearing*

s = kecepatan belt (ft/menit)

ΔZ = Kenaikan elevasi (ft)

w = berat belt conveyor

(Tabel 16A Aproximate Weights of Conveyors Hal. 58)

$$= 48 \text{ in} \times 1 \text{ lb/in.ft} = 48 \text{ lb/ft}$$

T = kapasitas angkut (ton/jam)

Sehingga,

$$H_p = \frac{0,05 (25 \text{ ft} + 100 \text{ ft}) \left( 14,52 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} + (0,03 \left( 48 \frac{\text{lb}}{\text{ft}} \right) \cdot 99,82 \frac{\text{ft}}{\text{menit}} \right) + 14,52 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \cdot 0 \text{ ft}}{990}$$

$$= 0,999 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor (η) = 20%, maka power motor dapat dihitung :

$$H_p = \frac{H_p \text{ Required}}{\eta}$$

$$= 4,9956 \text{ Hp}$$

∴ Power motor standar 5 Hp

## V. BUCKET ELEVATOR II

Kode : J-106

Fungsi : Memindahkan produk Natrium Bikarbonat dari belt conveyor II (J-105) menuju bin produk akhir (F-107)

Type : *Centrifugal discharge-spaced bucket*

Kapasitas : 14,52020202 ton/jam

Data dari Perry's Edisi 7 Tabel 21-8 Spesifikasi bucket elevator type Centrifugal discharge didapatkan :

Ukuran bucket : 10 x 6 x 6 ¼ in

Jarak bucket : 16 in

Kapasitas maksimum : 45 ton/jam

Kecepatan bucket : 225 ft/menit

Tenaga tambahan per ft: 0,063 Hp/ft

Power : 3,0 Hp

Direncanakan sudut elevasi 90° dan diketahui tinggi elevator = tinggi bin produk akhir = 105 ft. Maka,

$$\begin{aligned} \text{Jarak yang ditempuh bucket} &= \frac{\text{Tinggi elevator}}{\sin \alpha} \\ &= \frac{105 \text{ ft}}{\sin 90} = 105 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Power yang ditambahkan} &= \text{power tambahan per ft} \times \text{jarak} \\ &= 0,063 \text{ Hp/ft} \times 105 \text{ ft} \\ &= 6,615 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Power yang dibutuhkan} &= 3,0 \text{ Hp} + 6,615 \text{ Hp} \\ &= 9,615 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Efisiensi motor ( $\eta$ )= 80%, maka power motor dapat dihitung :



$$H_p = \frac{H_p \text{ Required}}{\eta}$$

$$= 12 \text{ Hp}$$

∴ Power motor standar 12 Hp

### W. BIN PRODUK AKHIR

Kode : F-107

Fungsi : Menampung produk natrium bikarbonat sebelum dikemas.

Type : silinder vertical terbuka dengan tutup bawah *conis*

Data-data yang diketahui :

Laju alir massa

$$m = 14.520,20202 \text{ kg/jam} \times \frac{1 \text{ lb}}{0,454 \text{ kg}} = 31.982,82383 \text{ lb/jam}$$

Densitas

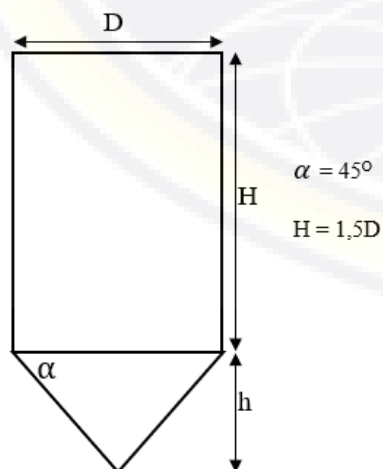
$$\begin{aligned} \rho &= 2,20 \text{ gr/cm}^3 \times 62,43 \text{ lb/ft}^3/\text{gr/cm}^3 \\ &= 137,346 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

Temperatur (T) = 40°C

Tekanan (P) = 1 atm = 14,696 Psi

Waktu tinggal, t = 1 bulan = 720 jam

### Sketsa Bin



## Volume Bin

Volume bahan untuk 1 bulan

$$V = \frac{m \times t}{\rho} = \frac{31.982,82383 \frac{\text{lb}}{\text{jam}} \times 720 \text{ jam}}{137,346 \text{ ft}^3} = 167.661,47656 \text{ ft}^3$$

Faktor keamanan = 10%. Maka volume bin total,

$$V_t = 184.427,62422 \text{ ft}^3$$

## Dimensi Bin

Volume bin total = Volume silinder + volume coins

$$\begin{aligned} \text{Volume silinder} &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times H \\ &= 11,775 D^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume coins} &= \frac{\pi}{4} D^2 \times h \quad \rightarrow h = \frac{1}{2} D \times \text{tg } 45 = \frac{1}{2} D \\ &= 0,1308 D^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume Bin, } V_t &= 1,1775 D^3 + 0,1308 D^3 \\ &= 1,3083 D^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter, } D &= \left( \frac{V_t}{1,3083} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left( \frac{184.427,62422}{1,3083} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 140.963,7892^{1/3} \\ &= 52,04 \text{ ft} \\ &= 15,86 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi Silinder, } H &= 1,5 \times D \\ &= 1,5 \times 52,04 \text{ ft} \\ &= 78,066 \text{ ft} \\ &= 23,794 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi conis, } h &= \frac{1}{2} D \\ &= \frac{1}{2} \times 52,04 \text{ ft} \\ &= 26,022 \text{ ft} \\ &= 7,93 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi total, } H_t &= H + h \\
 &= 78,066 \text{ ft} + 26,022 \text{ ft} \\
 &= 104,088 \text{ ft} \\
 &= 31,726 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### Tebal Shell

$$t_s = \frac{P \times r}{f \times E - 0,6 \times P} + C$$

Rumus tebal shell dari Brownell & young hal.254

Keterangan ;

P = tekanan desain (Psi)

r = jari-jari tangki (in) = 312,263 in

f = tegangan yang diizinkan (Psi)

C = faktor korosi = 0,125 in

E = efisiensi pengelasan = 80%

Bahan konstruksi carbon steel SA-283 Grade C,  $f = 12.650$  Psi

Faktor keamanan desain = 20%, P desain = 17,64 Psi

$$\begin{aligned}
 t_s &= \frac{17,64 \times 312,263}{12.650 \times 0,8 - 0,6 \times 17,64} + 0,125 \\
 &= 0,67 \text{ in} \\
 &= 1,7 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tebal plat standar yang digunakan =  $\frac{3}{4}$  in = 1,9 cm

### Tebal Conis

$$t = \frac{P \times d}{2 \cos \alpha (f \times E - 0,6 \times P)} + C$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{17,64 \times 624,53}{2 \cos 45^\circ (12.650 \times 0,8 - 0,6 \times 17,64)} + 0,125 \\
 &= 0,9 \text{ in} \\
 &= 2,27 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tebal plat standar yang digunakan = 1 in = 2,54 cm

### Tebal Tutup Atas

$$t = \frac{P \times d}{2 f \times E} + C$$

$$t = \frac{17,64 \times 624,53}{2 \cos 45^\circ (12.650 \times 0,8 - 0,6 \times 17,64)} + 0,125$$

$$= 0,67 \text{ in}$$

$$= 1,7 \text{ cm}$$

Tebal plat standar yang digunakan =  $\frac{3}{4}$  in = 1,9 cm



## LAMPIRAN D. UTILITAS

### A. UNIT PENYEDIAAN STEAM

Penyediaan steam untuk pabrik natrium bikarbonat dihasilkan dari *boiler*. Air untuk pompa umpan *boiler* terlebih dahulu diolah untuk memenuhi syarat sebagai air *boiler*, sehingga pembentukan kerak dan korosi dapat dihindari. Berdasarkan perhitungan neraca panas diketahui kebutuhan *steam* pada peralatan sebagai berikut:

No	Nama Peralatan	Jumlah Steam (Kg/Jam)
1	Tangki Pelarutan	1.038,528547
2	Heater Udara	2.592,353717
<b>Total</b>		<b>3.630,882265</b>

untuk memperhitungkan faktor keamanan dan kebocoran, maka direncanakan *steam* yang mampu disediakan oleh *boiler* 10% berlebih dari kebutuhan normal, jadi jumlah *steam* yang dihasilkan *boiler* dapat dihitung :

Jumlah *steam* yang dihasilkan = 3.993,970491 kg/jam = 8.797,291831 lb/jam

*Steam* yang dihasilkan *boiler* adalah *saturated steam* (uap jenuh) pada kondisi suhu 150°C dan tekanan 4,9 kgf/cm<sup>2</sup>. Berdasarkan table stoikiometri diketahui data:

1. Entalpi cairan jenuh  $\Delta H_f = 151,4 \text{ kkal/kg} = 272,3686 \text{ Btu/lb}$
2. Entalpi uap jenuh  $\Delta H_g = 656,1 \text{ kkal/kg} = 1.180,3239 \text{ Btu/lb}$

#### Power Boiler

$$H_p = \frac{m_s (H_g - H_f)}{33480}$$

Keterangan :

$m_s$  = massa *steam* yang dihasilkan *boiler* (lb/jam)

$H_g$  = entalpi uap jenuh *steam* (Btu/lb)

$H_f$  = entalpi cairan jenuh *steam* (Btu/lb)

Maka,

$$\begin{aligned} \text{Hp} &= \frac{8.797,291831 (1.180,3239 - 272,3686)}{33480} \\ &= 238,57669 \text{ Hp} \\ &= 239 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Jadi power boiler yang dibutuhkan 239 Hp

#### **Kebutuhan air umpan boiler**

$$W = \frac{ms}{F}$$

Keterangan :

W = kebutuhan air umpan *boiler* (lb/jam)

ms = *steam* yang dihasilkan *boiler* (lb/jam)

F = faktor penguapan

$$= \frac{H_g - H_f}{970,4} = \frac{1.180,3239 - 272,3686}{970,4} = 0,94$$

Maka,

$$\begin{aligned} &= \frac{8.797,291831}{0,94} \\ &= 9.402,326 \text{ lb/jam} \\ &= 4.268,656138 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Jadi air umpan *boiler* yang dibutuhkan sebesar 4.268,656138 kg/jam

#### **Kebutuhan Bahan Bakar**

Bahan bakar *boiler* yang digunakan adalah minyak diesel dengan *heating value* atau nilai kalor pembakaran ( $\Delta H_v = 19.525 \text{ Btu/lb}$ )

Kebutuhan bahan bakar

$$m = \frac{ms (H_g - H_f)}{\eta \times \Delta H_v}$$

Keterangan :

$m$  = massa bahan bakar (lb/jam)

$m_s$  = *steam* yang dihasilkan *boiler* (lb/jam)

$H_g$  = entalpi uap jenuh *steam* (Btu/lb)

$H_f$  = entalpi cairan jenuh *steam* (Btu/lb)

$\eta$  = efisiensi *boiler* = 85%

$\Delta H_v$  = nilai kalor bahan bakar (Btu/lb)

Maka,

$$m = \frac{8.797,291831 (1.180,3239 - 272,3686)}{0,85 \times 19.525}$$
$$= 48,128 \text{ lb/jam}$$

Rate volumetrik bahan bakar *boiler* :

$$Q = \frac{m}{\rho} \rightarrow \rho = 54,9384 \text{ lb/ft}^3$$
$$= \frac{48,128}{54,9384}$$
$$= 0,876 \text{ ft}^3/\text{jam}$$
$$= 24,81 \text{ L/jam}$$

Jadi kebutuhan bahan bakar *boiler* sebesar 24,81 L/jam

### **Perpindahan Panas *Boiler***

*Boiler* yang digunakan tipe *water tube boiler*.

*Heating surface boiler* 10 ft<sup>2</sup> tiap 1 Hp dapat dihitung (A)

$$A = H_p \times 10 \text{ ft}^2/\text{Hp}$$
$$= 239 \text{ Hp} \times 10 \text{ ft}^2/\text{Hp}$$
$$= 2.390 \text{ ft}^2$$

## B. UNIT PENYEDIAAN AIR

### Kebutuhan air

#### 1. Air pendingin

No	Nama Peralatan	Kebutuhan (kg/Jam)
1	Cooler	9.164,0529
2	Reaktor	177.490,4621
<b>Total</b>		<b>186.654,5150</b>

Air bekas pendingin keluar dari peralatan pendingin perlu disirkulasi untuk menghemat pemakaian air. Asumsi bahwa terjadi kehilangan 20% dari total kebutuhan air.

Air yang disirkulasi = 80% x total kebutuhan air

$$= 80\% (186.654,5150)$$

$$= 149.323,612 \text{ kg/jam}$$

Air yang diperlukan = total kebutuhan air – air yang disirkulasi

$$= 186.654,5150 \text{ kg/jam} - 149.323,612 \text{ kg/jam}$$

$$= 37.330,9030 \text{ kg/jam}$$

#### 2. Air umpan boiler

Kebutuhan air umpan boiler = 4.268,656138 kg/jam

Kebutuhan steam = 3.630,882265 kg/jam

Kebutuhan tersebut disirkulasi dengan asumsi terjadi kehilangan 20% sebelum disirkulasi dari total kebutuhan steam.

Kondensat steam yang disirkulasi = 80% (3.630,882265)

$$= 2.904,705812 \text{ kg/jam}$$

Air umpan boiler yang ditambahkan = kebutuhan air umpan – kondensat steam

$$= 3.993,970491 - 2.904,705812$$

$$= 1.363,950327 \text{ kg/jam}$$



### 3. Air proses

No	Nama Peralatan	Kebutuhan (kg/Jam)
1	Tangki pelarutan	18.584,32869
2	Rotary Drum Vacuum Filter	655,9235095
<b>Total</b>		<b>19.240,2522</b>

### 4. Air sanitasi

#### Keperluan kantor

Jumlah karyawan pabrik = 155 orang

Asumsi kebutuhan air per karyawan = 60 L/hari (Unesco, 2002)

Total kebutuhan air per hari = 9.300 L/hari

Total kebutuhan air per jam =  $9.300 \frac{\text{L}}{\text{hari}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ L}} \cdot \frac{\text{hari}}{24 \text{ jam}}$

= 387,5 kg/jam

#### Poliklinik

Asumsi kebutuhan air per hari = 600 L/hari (Metcalf dan Eddy, 1991)

Total kebutuhan air per jam =  $600 \frac{\text{L}}{\text{hari}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ L}} \cdot \frac{\text{hari}}{24 \text{ jam}}$

= 25 kg/jam

#### Laboratorium

Asumsi kebutuhan air per hari = 1800 L/hari (Metcalf dan Eddy, 1991)

Total kebutuhan air per jam =  $1.800 \frac{\text{L}}{\text{hari}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ L}} \cdot \frac{\text{hari}}{24 \text{ jam}}$

= 75 kg/jam

#### Tempat Ibadah

Asumsi kebutuhan air per hari = 120 L/hari (Metcalf dan Eddy, 1991)

Total kebutuhan air per jam =  $120 \frac{\text{L}}{\text{hari}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ L}} \cdot \frac{\text{hari}}{24 \text{ jam}}$

= 5 kg/jam

No	Jenis Kebutuhan	Kebutuhan (kg/Jam)
1	Keperluan kantor	387,5
2	Poliklinik	25
3	Laboratorium	75
4	Tempat ibadah	5
<b>Total</b>		<b>492,5</b>

Faktor keamanan 20%, sehingga total kebutuhan air sanitasi = 591 kg/jam.

Jadi total kebutuhan air pabrik natrium bikarbonat yang harus dipompakan dari sungai dapat dihitung

Air pendingin = 37.330,9030 kg/jam

Air umpan boiler = 1.363,95033 kg/jam

Air proses = 19.240,2522 kg/jam

Air sanitasi = 591 kg/jam

Total = 58.526,1055 kg/jam

### Perhitungan peralatan pengolahan air

#### 1. Pompa air sungai

Kode alat : L-001

Fungsi : mengalirkan air dari sungai ke bak air sungai (B-001)

Type : sentrifugal

Laju alir massa (m) = 58.526,1055 kg/jam

= 128.912,1267 lb/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 62,43 lb/ft<sup>3</sup>

Viskositas ( $\mu$ ) =  $5,4 \times 10^{-4}$  lb/ft.s

Rate volumetrik air

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{128.912,1267}{62,43} \\ &= 2.064,906723 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,574 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Diameter optimum pipa (Di)

Berdasarkan Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, asumsi turbulen flow dapat dilihat Persamaan 15 hal. 496,  $NRe > 2100$

$$\begin{aligned} Di &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\ &= 3,9 \times 0,574^{0,45} \times 62,43^{0,13} \\ &= 5,2 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari data Appendix D Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, Tabel 13 *steel pipe dimensions*, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

$$Nps = 6 \text{ in}$$

$$\text{Schedule} = 40$$

$$ID = 6,065 \text{ in} = 0,505 \text{ ft}$$

$$OD = 6,625 \text{ in} = 0,552 \text{ ft}$$

$$A = 28,9 \text{ in}^2 = 0,2 \text{ ft}^2$$

Uji bilangan Reynold

$$NRe = \frac{V \times D}{\nu}$$

Keterangan

V = kecepatan aliran

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,574}{0,2} = 2,86 \text{ ft/s}$$

$\nu$  = viskositas kinematik

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{5,4 \times 10^{-4} \frac{lb}{ft \cdot s}}{62,43 \frac{lb}{ft^3}} = 0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}$$

D = diameter

Maka,

$$NRe = \frac{2,86 \frac{ft}{s} \times 0,505 \text{ ft}}{0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}} = 166.998,1735$$

Asumsi aliran turbulen memenuhi  $NRe > 2.100$

Direncanakan sistem pemompaan terdiri dari :

- Pipa lurus = Panjang (l) = 1500 m = 4.921,5 ft
- 4 buah elbow 90°
- Tinggi pemompaan, Z = 15 m = 49,215 ft

Panjang ekuivalen pipa

$$\begin{aligned} \text{Elbow } 90^\circ &\rightarrow 4 \times 32 \times 0,505 \text{ ft} = 64,69 \text{ ft} \\ \text{Total } L_e &= 64,69 \text{ ft} \end{aligned}$$

Panjang pipa total, dapat dihitung :

$$\sum L = L + L_e = 4.921,5 \text{ ft} + 64,69 \text{ ft} = 4.986,19 \text{ ft} = 1.519,72 \text{ m}$$

Gesekan karena aliran melalui pipa dan semua alat kelengkapan

$$\begin{aligned} \sum F &= \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \rightarrow \text{Relative roughnes for commercial steel,} \\ &\varepsilon = 0,00015 \text{ ft} \end{aligned}$$

Mencari nilai  $\varepsilon/D$  Untuk menentukan  $f$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,0003 \text{ dan } NRe = 184.928,9159, \text{ maka nilai } f = 0,015$$

$$\begin{aligned}\Sigma F &= \frac{2f \times \Sigma L \times v^2}{gc \times D} \\ &= \frac{2(0,015) \times 4.986,19 \times (2,86)^2}{32,17 \times 0,505} \\ &= 75,1 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

### Energi Mekanik Pipa

Persamaan bernoulli untuk fluida *incompressible isothermal*

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2 gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + F + WF = 0$$

Diketahui :

$$\begin{aligned}\frac{\Delta P}{\rho} &= 0 \text{ ft.lbf/lbm} \\ \frac{\Delta v^2}{2 gc} &= \frac{(v_2 - v_1)^2}{2 gc} \\ &= \frac{(2,86 - 0)^2}{2 (32,17)} \\ &= 0,127 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta Z \frac{g}{gc} &= 49,215 \times \frac{32,2}{32,174} \\ &= 49,26 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}-WF &= (0 + 0,127 + 49,26 + 75,1) \text{ ft.lbf/lbm} \\ &= 124,535 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

Tenaga Pompa (WHp)

$$\begin{aligned}WHp &= \frac{-WF \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{124,535 \times 0,574 \times 62,43}{550} \\ &= 8,11 \text{ Hp}\end{aligned}$$

Efisiensi ( $\eta$ ) = 70%, (grafik 14.37 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)  
maka tenaga pompa dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{WHp} &= \frac{\text{WHp Required}}{70\%} \\ &= 11,6 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Tenaga motor (BHP)

Efisiensi ( $\eta$ ) = 86%, (grafik 14.38 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)  
maka tenaga motor dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{BHp} &= \frac{\text{WHp}}{86\%} \\ &= 13,5 \text{ Hp} \end{aligned}$$

∴ Power motor standar 13,5 Hp

## 2. Pompa Clarifier

Kode alat : L-002

Fungsi : mengalirkan air dari bak air sungai (B-001) ke clarifier  
(F-001)

Type : sentrifugal

Laju alir massa (m) = 58.526,1055 kg/jam  
= 128.912,1267 lb/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 62,43 lb/ft<sup>3</sup>

Viskositas ( $\mu$ ) = 5,4 × 10<sup>-4</sup> lb/ft.s

Rate volumetrik air

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{128.912,1267}{62,43} \\ &= 2.064,906723 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,574 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Diameter optimum pipa (Di)

Berdasarkan Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, asumsi turbulen flow dapat dilihat Persamaan 15 hal. 496,  $NRe > 2100$

$$\begin{aligned} Di &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\ &= 3,9 \times 0,574^{0,45} \times 62,43^{0,13} \\ &= 5,2 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari data Appendix D Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, Tabel 13 *steel pipe dimensions*, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

$$Nps = 8 \text{ in}$$

$$\text{Schedule} = 40$$

$$ID = 7,981 \text{ in} = 0,665 \text{ ft}$$

$$OD = 8,625 \text{ in} = 0,71875 \text{ ft}$$

$$A = 50 \text{ in}^2 = 0,347 \text{ ft}^2$$

Uji bilangan Reynold

$$NRe = \frac{V \times D}{\nu}$$

Keterangan

V = kecepatan aliran

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,574}{0,347} = 1,652 \text{ ft/s}$$

$\nu$  = viskositas kinematik

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{5,4 \times 10^{-4} \frac{lb}{ft \cdot s}}{62,43 \frac{lb}{ft^3}} = 0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}$$

D = diameter

Maka,

$$NRe = \frac{1,652 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \times 0,665 \text{ ft}}{0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}} = 127.018,2325$$

Asumsi aliran turbulen memenuhi  $NRe > 2.100$

Direncanakan sistem pemompaan terdiri dari :

- a. Pipa lurus = Panjang (l) = 9000 m = 29.529 ft
- b. 3 buah elbow 90° = 32
- c. Tinggi pemompaan, Z = 15 m = 49,215 ft

Panjang ekuivalen pipa

$$\text{Elbow } 90^\circ \rightarrow 3 \times 32 \times 0,665 \text{ ft} = 63,848 \text{ ft}$$

$$\text{Total Le} = 63,848 \text{ ft}$$

Panjang pipa total, dapat dihitung :

$$\sum L = L + Le = 29.529 \text{ ft} + 63,848 \text{ ft} = 29.592,848 \text{ ft} = 9.019,46 \text{ m}$$

Gesekan karena aliran melalui pipa dan semua alat kelengkapan

$$\sum F = \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \rightarrow \text{Relative roughnes for commercial steel,}$$

$$\varepsilon = 0,00015 \text{ ft}$$

Mencari nilai  $\varepsilon/D$  Untuk menentukan  $f$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,0003 \text{ dan } NRe = 127.018,2325 \text{ maka nilai } f = 0,015$$

$$\begin{aligned} \sum F &= \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \\ &= \frac{2(0,015) \times 9.019,46 \times (1,652)^2}{32,17 \times 0,665} \end{aligned}$$

$$= 113,23 \text{ ft.lbf/lbm}$$



## Energi Mekanik Pipa

Persamaan bernouilly untuk fluida *incompressible isothermal*

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2 gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + F + WF = 0$$

Diketahui :

$$\frac{\Delta P}{\rho} = 0 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta v^2}{2 gc} &= \frac{(v_2 - v_1)^2}{2 gc} \\ &= \frac{(1,652 - 0)^2}{2 (32,17)} \end{aligned}$$

$$= 0,042 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = 49,215 \times \frac{32,2}{32,174}$$

$$= 49,26 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$-WF = (0 + 0,042 + 49,26 + 113,23) \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$= 162,5334 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Tenaga Pompa (WHp)

$$WHp = \frac{-WF \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{162,5334 \times 0,574 \times 62,43}{550}$$

$$= 10,5 \text{ Hp}$$

Efisiensi ( $\eta$ ) = 70%, (grafik 14.37 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)

maka tenaga pompa dapat dihitung :

$$WHp = \frac{WHp \text{ Required}}{70\%}$$

$$= 15 \text{ Hp}$$

Tenaga motor (BHP)

Efisiensi ( $\eta$ ) = 88%, (grafik 14.38 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)

maka tenaga motor dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{BHp} &= \frac{\text{WHp}}{88\%} \\ &= 17 \text{ Hp} \end{aligned}$$

∴ Power motor standar 17 Hp

### 3. Pompa Air Bersih

Kode alat : L-003

Fungsi : mengalirkan air dari bak air bersih (B-003) ke tangki ion exchanger (F-002-K), bak air sanitasi (B-007), dan bak air proses (B-008)

Type : sentrifugal

Laju alir massa (m) = 58.526,1055 kg/jam

$$= 128.912,1267 \text{ lb/jam}$$

Densitas ( $\rho$ ) = 62,43 lb/ft<sup>3</sup>

Viskositas ( $\mu$ ) = 5,4 × 10<sup>-4</sup> lb/ft.s

Rate volumetrik air

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{128.912,1267}{62,43} \\ &= 2.064,906723 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,574 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Diameter optimum pipa (Di)

Berdasarkan Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, asumsi turbulen flow dapat dilihat Persamaan 15 hal. 496, NRe >2100

$$\begin{aligned} \text{Di} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\ &= 3,9 \times 0,574^{0,45} \times 62,43^{0,13} \\ &= 5,2 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari data Appendix D Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, Tabel 13 *steel pipe dimensions*, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

$$\text{Nps} = 6 \text{ in}$$

$$\text{Schedule} = 40$$

$$\text{ID} = 6,065 \text{ in} = 0,505 \text{ ft}$$

$$\text{OD} = 6,625 \text{ in} = 0,552 \text{ ft}$$

$$A = 28,9 \text{ in}^2 = 0,2 \text{ ft}^2$$

Uji bilangan Reynold

$$\text{NRe} = \frac{V \times D}{\nu}$$

Keterangan

V = kecepatan aliran

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,574}{0,2} = 2,858 \text{ ft/s}$$

$\nu$  = viskositas kinematik

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{5,4 \times 10^{-4} \frac{\text{lb}}{\text{ft.s}}}{62,43 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = 0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}$$

D = diameter

Maka,

$$\text{NRe} = \frac{0,858 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \times 0,505 \text{ ft}}{0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}} = 166.998,1735$$

Asumsi aliran turbulen memenuhi  $\text{NRe} > 2.100$

Direncanakan sistem pemompaan terdiri dari :

- a. Pipa lurus = Panjang (l) = 1000 m = 3.281 ft
- b. 5 buah elbow 90° = 32
- c. 2 buah tee stuck = 50
- d. 3 buah gate valve full op = 7
- e. Tinggi pemompaan, Z = 10 m = 32,81 ft

Panjang ekuivalen pipa

$$\text{Elbow } 90^\circ \quad \rightarrow 5 \times 32 \times 0,505 \text{ ft} \quad = 80,87 \text{ ft}$$

$$\text{Tee stuck} \quad \rightarrow 2 \times 50 \times 0,505 \text{ ft} \quad = 50,54 \text{ ft}$$

$$\text{Gate valve full open} \quad \rightarrow 3 \times 7 \times 0,505 \text{ ft} \quad = 10,61 \text{ ft}$$

$$\text{Total } L_e \quad = 142,02 \text{ ft}$$

Panjang pipa total, dapat dihitung :

$$\sum L = L + L_e = 3.281 \text{ ft} + 142,02 \text{ ft} = 3.423,02 \text{ ft} = 1.043,286 \text{ m}$$

Gesekan karena aliran melalui pipa dan semua alat kelengkapan

$$\sum F = \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \quad \rightarrow \text{Relative roughnes for commercial steel,}$$

$$\varepsilon = 0,00015 \text{ ft}$$

Mencari nilai  $\varepsilon/D$  Untuk menentukan  $f$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,0003 \text{ dan } N_{Re} = 166.998,1735 \text{ maka nilai } f = 0,015$$

$$\begin{aligned} \sum F &= \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \\ &= \frac{2(0,015) \times 1.043,286 \times (2,858)^2}{32,17 \times 0,505} \\ &= 51,59 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

### Energi Mekanik Pipa

Persamaan bernouilly untuk fluida *incompressible ishotermal*

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2 gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + F + WF = 0$$

Diketahui :

$$\frac{\Delta P}{\rho} = 0 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\begin{aligned}\frac{\Delta v^2}{2 gc} &= \frac{(v_2 - v_1)^2}{2 gc} \\ &= \frac{(1,652 - 0)^2}{2 (32,17)} \\ &= 0,042 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta Z \frac{g}{gc} &= 55,77 \times \frac{32,2}{32,174} \\ &= 55,83 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}-WF &= (0 + 0,042 + 55,83 + 51,59) \text{ ft.lbf/lbm} \\ &= 174,057 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

Tenaga Pompa (WHp)

$$\begin{aligned}\text{WHp} &= \frac{-WF \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{174,057 \times 0,574 \times 62,43}{550} \\ &= 5,5 \text{ Hp}\end{aligned}$$

Efisiensi ( $\eta$ ) = 70%, (grafik 14.37 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)

maka tenaga pompa dapat dihitung :

$$\begin{aligned}\text{WHp} &= \frac{\text{WHp Required}}{70\%} \\ &= 7,9 \text{ Hp}\end{aligned}$$

Tenaga motor (BHP)

Efisiensi ( $\eta$ ) = 85%, (grafik 14.38 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)

maka tenaga motor dapat dihitung :

$$\begin{aligned}\text{BHp} &= \frac{\text{WHp}}{85\%} \\ &= 9,3 \text{ Hp}\end{aligned}$$

∴ Power motor standar 9,5 Hp

#### 4. Pompa Air Demin

Kode alat : L-004

Fungsi : mengalirkan air dari bak air demin (B-004) ke bak air umpan boiler (B-005) dan baik air pendingin (B-006)

Type : sentrifugal

Laju alir massa (m) = 190.923,1711 kg/jam

= 420.535,6192lb/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 62,43 lb/ft<sup>3</sup>

Viskositas ( $\mu$ ) =  $5,4 \times 10^{-4}$  lb/ft.s

Rate volumetrik air

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{420.535,6192}{62,43} \\ &= 6.736,114355\text{ft}^3/\text{jam} \\ &= 1,87 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Diameter optimum pipa (Di)

Berdasarkan Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, asumsi turbulen flow dapat dilihat Persamaan 15 hal. 496, NRe >2100

$$\begin{aligned} Di &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\ &= 3,9 \times 1,87^{0,45} \times 62,43^{0,13} \\ &= 8,85 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari data Appendix D Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, Tabel 13 *steel pipe dimensions*, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

Nps = 10 in

Schedule = 40

ID = 10,02 in = 0,835 ft

OD = 10,75 in = 0,896 ft

A = 78,8 in<sup>2</sup> = 0,547 ft<sup>2</sup>

Uji bilangan Reynold

$$NRe = \frac{V \times D}{\nu}$$

Keterangan

V = kecepatan aliran

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1,87}{0,547} = 3,42 \text{ ft/s}$$

$\nu$  = viskositas kinematik

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{5,4 \times 10^{-4} \frac{\text{lb}}{\text{ft.s}}}{62,43 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = 0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}$$

D = diameter

Maka,

$$NRe = \frac{3,42 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \times 0,835 \text{ ft}}{0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}} = 330.087,65$$

Asumsi aliran turbulen memenuhi  $NRe > 2.100$

Direncanakan sistem pemompaan terdiri dari :

- a. Pipa lurus = Panjang (l) = 1500 m = 4.921,5 ft
- b. 4 buah elbow 90° = 32
- c. tee stuck = 60
- d. 2 buah gate valve full op = 7
- e. Tinggi pemompaan, Z = 17 m = 55,777 ft

Panjang ekuivalen pipa

$$\text{Elbow } 90^\circ \quad \rightarrow 4 \times 32 \times 0,835 \text{ ft} \quad = 106,88 \text{ ft}$$

$$\text{Tee stuck} \quad \rightarrow 1 \times 60 \times 0,835 \text{ ft} \quad = 50,1 \text{ ft}$$

$$\text{Gate valve full open} \quad \rightarrow 2 \times 7 \times 0,835 \text{ ft} \quad = 11,69 \text{ ft}$$

$$\text{Total Le} \quad = 168,67 \text{ ft}$$

Panjang pipa total, dapat dihitung :

$$\sum L = L + Le = 4.921,5 \text{ ft} + 168,67 \text{ ft} = 5.090,17 \text{ ft} = 1.551,41 \text{ m}$$

Gesekan karena aliran melalui pipa dan semua alat kelengkapan

$$\sum F = \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \quad \rightarrow \text{Relative roughnes for commercial steel,}$$
$$\varepsilon = 0,00015 \text{ ft}$$

Mencari nilai  $\varepsilon/D$  Untuk menentukan  $f$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00018 \text{ dan } NRe = 330.087,65 \text{ maka nilai } f = 0,014$$

$$\sum F = \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D}$$
$$= \frac{2(0,014) \times 1.551,41 \times (3,42)^2}{32,17 \times 0,835}$$
$$= 62,04 \text{ ft.lbf/lbm}$$

### Energi Mekanik Pipa

Persamaan bernouilly untuk fluida *incompressible isothermal*

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2 gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + F + WF = 0$$



Diketahui :

$$\frac{\Delta P}{\rho} = 0 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\begin{aligned}\frac{\Delta v^2}{2 gc} &= \frac{(v_2 - v_1)^2}{2 gc} \\ &= \frac{(3,42 - 0)^2}{2 (32,17)} \\ &= 0,0182 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta Z \frac{g}{gc} &= 32,81 \times \frac{32,2}{32,174} \\ &= 32,84 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}-WF &= (0 + 0,0182 + 32,84 + 62,04) \text{ ft.lbf/lbm} \\ &= 95,06 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

Tenaga Pompa (WHp)

$$\begin{aligned}WHp &= \frac{-WF \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{95,06 \times 0,574 \times 62,43}{550} \\ &= 20 \text{ Hp}\end{aligned}$$

Efisiensi ( $\eta$ ) = 85%, (grafik 14.37 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)  
maka tenaga pompa dapat dihitung :

$$\begin{aligned}WHp &= \frac{WHp \text{ Required}}{85\%} \\ &= 23,8 \text{ Hp}\end{aligned}$$

Tenaga motor (BHP)

Efisiensi ( $\eta$ ) = 87%, (grafik 14.38 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)  
maka tenaga motor dapat dihitung :

$$\begin{aligned}BHp &= \frac{WHp}{87\%} \\ &= 27 \text{ Hp}\end{aligned}$$

∴ Power motor standar 27 Hp

## 5. Pompa Air Umpan Boiler

Kode alat : L-005

Fungsi : mengalirkan air dari bak air umpan boiler (B-005) ke  
Boiler (E-001)

Type : sentrifugal

Laju alir massa (m) = 4.268,656138 kg/jam

= 9.402,326296 lb/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 62,43 lb/ft<sup>3</sup>

Viskositas ( $\mu$ ) =  $5,4 \times 10^{-4}$  lb/ft.s

Rate volumetrik air

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{9.402,326296}{62,43} \\ &= 150,6058993 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,042 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Diameter optimum pipa ( $D_i$ )

Berdasarkan Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, asumsi turbulen flow dapat dilihat Persamaan 15 hal. 496,  $NRe > 2100$

$$\begin{aligned} D_i &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\ &= 3,9 \times 0,042^{0,45} \times 62,43^{0,13} \\ &= 1,6 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari data Appendix D Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, Tabel 13 *steel pipe dimensions*, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

$$\text{Nps} = 2 \text{ in}$$

$$\text{Schedule} = 80$$

$$\text{ID} = 1,939 \text{ in} = 0,162 \text{ ft}$$

$$\text{OD} = 2,38 \text{ in} = 0,198 \text{ ft}$$

$$A = 2,95 \text{ in}^2 = 0,02 \text{ ft}^2$$

Uji bilangan Reynold

$$\text{NRe} = \frac{V \times D}{\nu}$$

Keterangan

V = kecepatan aliran

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,042}{0,02} = 2,042 \text{ ft/s}$$

$\nu$  = viskositas kinematik

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{5,4 \times 10^{-4} \frac{\text{lb}}{\text{ft}\cdot\text{s}}}{62,43 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = 0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}$$

D = diameter

Maka,

$$\text{NRe} = \frac{2,042 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \times 0,162 \text{ ft}}{0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}} = 38.148,37976$$

Asumsi aliran turbulen memenuhi  $\text{NRe} > 2.100$

Direncanakan sistem pemompaan terdiri dari :

- a. Pipa lurus = Panjang (l) = 500 m = 1.640,5 ft
- b. 1 buah elbow 90° = 32
- c. Tinggi pemompaan, Z = 5 m = 16,405 ft

Panjang ekuivalen pipa

$$\begin{aligned} \text{Elbow } 90^\circ & \rightarrow 1 \times 32 \times 0,162 \text{ ft} & = 5,17 \text{ ft} \\ \text{Total Le} & & = 5,17 \text{ ft} \end{aligned}$$

Panjang pipa total, dapat dihitung :

$$\sum L = L + Le = 1.6405 \text{ ft} + 5,07 \text{ ft} = 1.645,67 \text{ ft} = 501,5759 \text{ m}$$

Gesekan karena aliran melalui pipa dan semua alat kelengkapan

$$\begin{aligned} \sum F &= \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} & \rightarrow \text{Relative roughnes for commercial steel,} \\ & & \varepsilon = 0,00015 \text{ ft} \end{aligned}$$

Mencari nilai  $\varepsilon/D$  Untuk menentukan  $f$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00093 \text{ dan } NRe = 38.148,34 \text{ maka nilai } f = 0,25$$

$$\begin{aligned} \sum F &= \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \\ &= \frac{2(0,25) \times 501,5759 \times (2,042)^2}{32,17 \times 0,162} \\ &= 66,01 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

### Energi Mekanik Pipa

Persamaan bernoulli untuk fluida *incompressible isothermal*

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2 gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + F + WF = 0$$

Diketahui :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta P}{\rho} &= 0 \text{ ft.lbf/lbm} \\ \frac{\Delta v^2}{2 gc} &= \frac{(v_2 - v_1)^2}{2 gc} \\ &= \frac{(2,042 - 0)^2}{2 (32,17)} \\ &= 0,065 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = 16,405 \times \frac{32,2}{32,174}$$

$$= 16,42 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$-WF = (0 + 0,065 + 16,42 + 66,01) \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$= 82,5 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Tenaga Pompa (WHp)

$$\begin{aligned} \text{WHp} &= \frac{-WF \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{82,5 \times 0,042 \times 62,43}{550} \\ &= 0,4 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Efisiensi ( $\eta$ )= 20%, (grafik 14.37 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)  
maka tenaga pompa dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{WHp} &= \frac{\text{WHp Required}}{20\%} \\ &= 2 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Tenaga motor (BHP)

Efisiensi ( $\eta$ )= 80%, (grafik 14.38 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)  
maka tenaga motor dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{BHp} &= \frac{\text{WHp}}{80\%} \\ &= 3 \text{ Hp} \end{aligned}$$

∴ Power motor standar 3 Hp

## 6. Pompa Air Pendingin

Kode alat : L-006

Fungsi : mengalirkan air dari bak air pendingin (B-006) cooling tower (C-001)

Type : sentrifugal

$$\text{Laju alir massa (m)} = 186.654,515 \text{ kg/jam}$$

$$= 411.133,2929 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas } (\rho) = 62,43 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas } (\mu) = 5,4 \times 10^{-4} \text{ lb/ft.s}$$

Rate volumetrik air

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{411.133,2929}{62,43} \\ &= 6585,508456 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 1,83 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Diameter optimum pipa (Di)

Berdasarkan Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, asumsi turbulen flow dapat dilihat Persamaan 15 hal. 496,  $NRe > 2100$

$$\begin{aligned} Di &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\ &= 3,9 \times 1,83^{0,45} \times 62,43^{0,13} \\ &= 8,8 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari data Appendix D Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, Tabel 13 *steel pipe dimensions*, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

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

$$\text{Schedule} = 40$$

$$\text{ID} = 10,02 \text{ in} = 0,835 \text{ ft}$$

$$\text{OD} = 10,75 \text{ in} = 0,896 \text{ ft}$$

$$\text{A} = 78,8 \text{ in}^2 = 0,547 \text{ ft}^2$$

Uji bilangan Reynold

$$\text{NRe} = \frac{V \times D}{\nu}$$

Keterangan

V = kecepatan aliran

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1,83}{0,547} = 3,343 \text{ ft/s}$$

v = viskositas kinematik

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{5,4 \times 10^{-4} \frac{lb}{ft \cdot s}}{62,43 \frac{lb}{ft^3}} = 0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}$$

D = diameter

Maka,

$$NRe = \frac{3,343 \frac{ft}{s} \times 0,835 \text{ ft}}{0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}} = 322.707,5574$$

Asumsi aliran turbulen memenuhi  $NRe > 2.100$

Direncanakan sistem pemompaan terdiri dari :

- Pipa lurus = Panjang (l) = 500 m = 1.640,5 ft
- 3 buah elbow 90° = 32
- Tinggi pemompaan, Z = 15 m = 49,215 ft

Panjang ekuivalen pipa

$$\text{Elbow } 90^\circ \rightarrow 3 \times 32 \times 0,835 \text{ ft} = 53,44 \text{ ft}$$

$$\text{Total } L_e = 53,44 \text{ ft}$$

Panjang pipa total, dapat dihitung :

$$\sum L = L + L_e = 1.640,5 \text{ ft} + 53,44 \text{ ft} = 1.693,94 \text{ ft} = 516,29 \text{ m}$$

Gesekan karena aliran melalui pipa dan semua alat kelengkapan

$$\sum F = \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \rightarrow \text{Relative roughnes for commercial steel,}$$

$$\varepsilon = 0,00015 \text{ ft}$$

Mencari nilai  $\varepsilon/D$  Untuk menentukan  $f$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00018 \text{ dan } NRe = 322.707,5574 \text{ maka nilai } f = 0,014$$

$$\begin{aligned}\Sigma F &= \frac{2f \times \Sigma L \times v^2}{gc \times D} \\ &= \frac{2(0,014) \times \times (3,43)^2}{32,17 \times 0,835} \\ &= 19,73 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

### Energi Mekanik Pipa

Persamaan bernouilly untuk fluida *incompressible isothermal*

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2 gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + F + WF = 0$$

Diketahui :

$$\begin{aligned}\frac{\Delta P}{\rho} &= 0 \text{ ft.lbf/lbm} \\ \frac{\Delta v^2}{2 gc} &= \frac{(v_2 - v_1)^2}{2 gc} \\ &= \frac{(3,43 - 0)^2}{2 (32,17)} \\ &= 0,174 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta Z \frac{g}{gc} &= 49,215 \times \frac{32,2}{32,174} \\ &= 49,26 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}-WF &= (0 + 0,174 + 49,26 + 19,73) \text{ ft.lbf/lbm} \\ &= 69,166 \text{ ft.lbf/lbm}\end{aligned}$$

Tenaga Pompa (WHp)

$$\begin{aligned}WHp &= \frac{-WF \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{69,166 \times 1,83 \times 62,43}{550} \\ &= 14,4 \text{ Hp}\end{aligned}$$

Efisiensi ( $\eta$ ) = 85%, (grafik 14.37 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)  
maka tenaga pompa dapat dihitung :



$$\begin{aligned} \text{WHp} &= \frac{\text{WHp Required}}{85\%} \\ &= 16,9 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Tenaga motor (BHP)

Efisiensi ( $\eta$ ) = 87%, (grafik 14.38 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)  
maka tenaga motor dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{BHp} &= \frac{\text{WHp}}{87\%} \\ &= 19,5 \text{ Hp} \end{aligned}$$

∴ Power motor standar 19,5 Hp

### 7. Pompa Resirkulasi Air

Kode alat : L-007

Fungsi : mengalirkan air ke bak air pendingin (B-006)

Type : sentrifugal

Laju alir massa (m) = 149.323,612 kg/jam  
= 328.906,6343 lb/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 62,43 lb/ft<sup>3</sup>

Viskositas ( $\mu$ ) = 5,4 × 10<sup>-4</sup> lb/ft.s

Rate volumetrik air

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{328.906,6343}{62,43} \\ &= 5.268,406765 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 1,463 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Diameter optimum pipa (Di)

Berdasarkan Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, asumsi turbulen flow dapat dilihat Persamaan 15 hal. 496, NRe >2100

$$\begin{aligned}
 Di &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\
 &= 3,9 \times 1,463^{0,45} \times 62,43^{0,13} \\
 &= 7,9 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Dari data Appendix D Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, Tabel 13 *steel pipe dimensions*, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Nps &= 8 \text{ in} \\
 \text{Schedule} &= 40 \\
 ID &= 7,981 \text{ in} = 0,665 \text{ ft} \\
 OD &= 8,625 \text{ in} = 0,719 \text{ ft} \\
 A &= 78,8 \text{ in}^2 = 0,547 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Uji bilangan Reynold

$$NRe = \frac{V \times D}{\nu}$$

Keterangan

V = kecepatan aliran

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1,463}{0,547} = 2,674 \text{ ft/s}$$

$\nu$  = viskositas kinematik

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{5,4 \times 10^{-4} \frac{lb}{ft \cdot s}}{62,43 \frac{lb}{ft^3}} = 0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}$$

D = diameter

Maka,

$$NRe = \frac{0,2,674 \frac{ft}{s} \times 0,665 \text{ ft}}{0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}} = 205.631,0591$$

Asumsi aliran turbulen memenuhi  $NRe > 2.100$

Direncanakan sistem pemompaan terdiri dari :

- a. Pipa lurus = Panjang (l) = 1000 m = 3.281 ft
- b. 4 buah elbow 90° = 32
- c. Tinggi pemompaan, Z = 13 m = 42,653 ft

Panjang ekuivalen pipa

$$\text{Elbow } 90^\circ \rightarrow 4 \times 32 \times 0,665 \text{ ft} = 85,13 \text{ ft}$$

$$\text{Total } L_e = 85,13 \text{ ft}$$

Panjang pipa total, dapat dihitung :

$$\sum L = L + L_e = 3.281 \text{ ft} + 85,13 \text{ ft} = 3.366 \text{ ft} = 1.025,947 \text{ m}$$

Gesekan karena aliran melalui pipa dan semua alat kelengkapan

$$\sum F = \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \rightarrow \text{Relative roughnes for commercial steel,}$$

$$\varepsilon = 0,00015 \text{ ft}$$

Mencari nilai  $\varepsilon/D$  Untuk menentukan  $f$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00023 \text{ dan } NRe = 205.631,0591 \text{ maka nilai } f = 0,015$$

$$\begin{aligned} \sum F &= \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \\ &= \frac{2(0,015) \times 1.025,947 \times (2,674)^2}{32,17 \times 0,665} \\ &= 33,756 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

### Energi Mekanik Pipa

Persamaan bernoulli untuk fluida *incompressible isothermal*

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2 gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + F + WF = 0$$

Diketahui :

$$\frac{\Delta P}{\rho} = 0 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 gc} = \frac{(v_2 - v_1)^2}{2 gc}$$

$$= \frac{(2,674 - 0)^2}{2 (32,17)}$$

$$= 0,111 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = 42,653 \times \frac{32,2}{32,174}$$

$$= 42,69 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$-WF = (0 + 0,111 + 42,69 + 33,756) \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$= 76,56 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Tenaga Pompa (WHp)

$$WHp = \frac{-WF \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{76,56 \times 1,463 \times 62,43}{550}$$

$$= 12,7 \text{ Hp}$$

Efisiensi ( $\eta$ ) = 80%, (grafik 14.37 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)

maka tenaga pompa dapat dihitung :

$$WHp = \frac{WHp \text{ Required}}{80\%}$$

$$= 15,9 \text{ Hp}$$

Tenaga motor (BHP)

Efisiensi ( $\eta$ ) = 86%, (grafik 14.38 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)

maka tenaga motor dapat dihitung :

$$BHp = \frac{WHp}{86\%}$$

$$= 18,5 \text{ Hp}$$

∴ Power motor standar 18,5 Hp

## 8. Pompa Air Bersih

Kode alat : L-008

Fungsi : mengalirkan air dari bak air sanitasi (B-007) untuk didistribusikan

Type : sentrifugal

Laju alir massa (m) = 591 kg/jam  
= 1.301,76 lb/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 62,43 lb/ft<sup>3</sup>

Viskositas ( $\mu$ ) =  $5,4 \times 10^{-4}$  lb/ft.s

Rate volumetrik air

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{1.301,76}{62,43} \\ &= 20,85 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,006 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Diameter optimum pipa ( $D_i$ )

Berdasarkan Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, asumsi turbulen flow dapat dilihat Persamaan 15 hal. 496,  $NRe > 2100$

$$\begin{aligned} D_i &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\ &= 3,9 \times 0,006^{0,45} \times 62,43^{0,13} \\ &= 0,66 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari data Appendix D Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, Tabel 13 *steel pipe dimensions*, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

$$\text{Nps} = 2 \text{ in}$$

$$\text{Schedule} = 40$$

$$\text{ID} = 2,065 \text{ in} = 0,172 \text{ ft}$$

$$\text{OD} = 2,38 \text{ in} = 0,198 \text{ ft}$$

$$A = 3,35 \text{ in}^2 = 0,023 \text{ ft}^2$$

Uji bilangan Reynold

$$\text{NRe} = \frac{V \times D}{\nu}$$

Keterangan

V = kecepatan aliran

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,006}{0,02} = 0,25 \text{ ft/s}$$

$\nu$  = viskositas kinematik

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{5,4 \times 10^{-4} \frac{\text{lb}}{\text{ft}\cdot\text{s}}}{62,43 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}} = 0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}$$

D = diameter

Maka,

$$\text{NRe} = \frac{0,25 \frac{\text{ft}}{\text{s}} \times 0,172 \text{ ft}}{0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}} = 4.958,066$$

Asumsi aliran turbulen memenuhi  $\text{NRe} > 2.100$

Direncanakan sistem pemompaan terdiri dari :

- a. Pipa lurus = Panjang (l) = 2000 m = 6.562 ft
- b. Tinggi pemompaan, Z = 3 m = 9.843 ft

Gesekan karena aliran melalui pipa dan semua alat kelengkapan

$$\sum F = \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \quad \rightarrow \text{Relative roughnes for commercial steel,}$$

$$\varepsilon = 0,00015 \text{ ft}$$

Mencari nilai  $\varepsilon/D$  Untuk menentukan  $f$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,0003 \text{ dan } NRe = 4.958,066 \text{ maka nilai } f = 0,015$$

$$\begin{aligned} \sum F &= \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \\ &= \frac{2(0,015) \times 6.562 \times (0,25)^2}{32,17 \times 0,172} \\ &= 0,85 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

### Energi Mekanik Pipa

Persamaan bernoulli untuk fluida *incompressible isothermal*

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2 gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + F + WF = 0$$

Diketahui :

$$\frac{\Delta P}{\rho} = 0 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta v^2}{2 gc} &= \frac{(v_2 - v_1)^2}{2 gc} \\ &= \frac{(0,25 - 0)^2}{2 (32,17)} \\ &= 0,00096 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = 9,843 \times \frac{32,2}{32,174}$$

$$= 9,85 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$-WF = (0 + 0,00096 + 9,85 + 0,85) \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$= 10,7 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Tenaga Pompa (WHP)

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \frac{-WF \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{10,7 \times 0,006 \times 62,43}{550} \\ &= 0,007 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Efisiensi ( $\eta$ )= 50%, (grafik 14.37 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)  
maka tenaga pompa dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \frac{\text{WHP Required}}{50\%} \\ &= 0,5 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Tenaga motor (BHP)

Efisiensi ( $\eta$ )= 82%, (grafik 14.38 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)  
maka tenaga motor dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= \frac{\text{WHP}}{82\%} \\ &= 0,6 \text{ Hp} \end{aligned}$$

∴ Power motor standar 1 Hp

## 9. Pompa Air Proses

Kode alat : L-009

Fungsi : mengalirkan air dari bak air proses (B-008) menuju proses

Type : sentrifugal

Laju alir massa (m) = 19.240,2522 kg/jam  
= 42.379,41014 lb/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 62,43 lb/ft<sup>3</sup>

Viskositas ( $\mu$ ) = 5,4 × 10<sup>-4</sup> lb/ft.s



Rate volumetrik air

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{42.379,41014}{62,43} \\ &= 678,83 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,189 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Diameter optimum pipa (Di)

Berdasarkan Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, asumsi turbulen flow dapat dilihat Persamaan 15 hal. 496,  $NRe > 2100$

$$\begin{aligned} Di &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\ &= 3,9 \times 0,189^{0,45} \times 62,43^{0,13} \\ &= 3,15 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari data Appendix D Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus, Tabel 13 *steel pipe dimensions*, didapatkan spesifikasi sebagai berikut :

$$\text{Nps} = 4 \text{ in}$$

$$\text{Schedule} = 40$$

$$\text{ID} = 4,026 \text{ in} = 0,3355 \text{ ft}$$

$$\text{OD} = 4,5 \text{ in} = 0,375 \text{ ft}$$

$$A = 12,7 \text{ in}^2 = 0,088 \text{ ft}^2$$

Uji bilangan Reynold

$$NRe = \frac{V \times D}{\nu}$$

Keterangan

V = kecepatan aliran

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,189}{0,088} = 2,14 \text{ ft/s}$$

$\nu$  = viskositas kinematik

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{5,4 \times 10^{-4} \frac{lb}{ft \cdot s}}{62,43 \frac{lb}{ft^3}} = 0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}$$

D = diameter

Maka,

$$NRe = \frac{2,14 \frac{ft}{s} \times 0,3355 \text{ ft}}{0,00000865 \text{ ft}^2/\text{s}} = 82.929,67$$

Asumsi aliran turbulen memenuhi  $NRe > 2.100$

Direncanakan sistem pemompaan terdiri dari :

- Pipa lurus = Panjang (l) = 1000 m = 3.281 ft
- Tinggi pemompaan, Z = 3 m = 9.843 ft

Gesekan karena aliran melalui pipa dan semua alat kelengkapan

$$\sum F = \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D} \rightarrow \text{Relative roughnes for commercial steel,}$$
$$\varepsilon = 0,00015 \text{ ft}$$

Mencari nilai  $\varepsilon/D$  Untuk menentukan  $f$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 0,00045 \text{ dan } NRe = 82.929,67 \text{ maka nilai } f = 0,015$$

$$\sum F = \frac{2f \times \sum L \times v^2}{gc \times D}$$
$$= \frac{2(0,016) \times 3.281 \times (2,14)^2}{32,17 \times 0,3355}$$
$$= 44,47 \text{ ft.lbf/lbm}$$

### Energi Mekanik Pipa

Persamaan bernoulli untuk fluida *incompressible isothermal*

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta v^2}{2 gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + F + WF = 0$$

Diketahui :

$$\frac{\Delta P}{\rho} = 0 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 gc} = \frac{(v_2 - v_1)^2}{2 gc}$$

$$= \frac{(2,14 - 0)^2}{2 (32,17)}$$

$$= 0,07 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = 9,843 \times \frac{32,2}{32,174}$$

$$= 9,85 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$-WF = (0 + 0,07 + 9,85 + 44,47) \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$= 54,39 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Tenaga Pompa (WHP)

$$WHP = \frac{-WF \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{54,39 \times 0,189 \times 62,43}{550}$$

$$= 1,2 \text{ Hp}$$

Efisiensi ( $\eta$ ) = 60%, (grafik 14.37 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)

maka tenaga pompa dapat dihitung :

$$WHP = \frac{WHP \text{ Required}}{60\%}$$

$$= 1,9 \text{ Hp}$$

Tenaga motor (BHP)

Efisiensi ( $\eta$ ) = 80%, (grafik 14.38 Max S. Peter dan Klaus D. Timmerhaus)

maka tenaga motor dapat dihitung :

$$BHP = \frac{WHP}{80\%}$$

$$= 2,5 \text{ Hp}$$

∴ Power motor standar 1 Hp

Secara singkat dapat dilihat pada tabel berikut :

Kode	Kapasitas (g/m)	D (in)	ID (ft)	Hp	Jenis Bahan	Jumlah
L-001	257,437567	6	0,505	13,5	Carbon steel	1
L-002	257,437567	8	0,665	17	Carbon steel	1
L-003	257,437567	6	0,505	9,5	Carbon steel	1
L-004	839,809794	10	0,835	27	Carbon steel	1
L-005	18,7764492	2	0,162	3	Carbon steel	1
L-006	821,033344	10	0,835	19,5	Carbon steel	1
L-007	656,826676	8	0,665	18,5	Carbon steel	1
L-008	2,59961944	2	0,172	1,0	Carbon steel	1
L-009	84,6316984	4	0,336	2,5	Carbon steel	1

#### 10. Bak Air Sungai

Kode : B-001

Fungsi : menampung air baku dari sungai dan sebagai tempat sedimentasi awal sebelum dialirkan ke Clarifier (F-001)

Type : bak persegi panjang

Rate air masuk (m) = 58.526,1055 kg/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>

Waktu tinggal (t) = 12 jam

Volume air tampung (V)

$$V = \frac{m \times t}{\rho}$$

$$= \frac{58.526,1055 \times 12}{1000}$$

$$= 702,313 \text{ m}^3$$

90% volume bak berisi air, sehingga volume total bak didapatkan  $780 \text{ m}^3$

Bak persegi panjang dengan dimensi

$$P = 2x$$

$$l = x$$

$$t = 1,5x$$

$$\text{Volume bak (V)} = p \times l \times t$$

$$= 2x \cdot x \cdot 1,5x = 3x^3$$

$$\text{Sehingga nilai } x = \left(\frac{V}{3}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= \left(\frac{780}{3}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 6,4 \text{ m}$$

Dimensi bak

$$P = 2x = 2(6,38) = 12,76 \text{ m}$$

$$l = x = 6,38 = 6,38 \text{ m}$$

$$t = 1,5x = 1,5(6,38) = 9,56 \text{ m}$$

### 11. Clarifier

Kode : F-001

Fungsi : mengendapkan zat padat tersuspensi dalam air dengan menambahkan  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  sebelum dialirkan ke bak sand filter (B-002)

Type : *gravity clarifier*

Data-data yang diketahui :

Rate air masuk (m) =  $58.526,1055 \text{ kg/jam}$

Densitas ( $\rho$ ) =  $1000 \text{ kg/m}^3$

Waktu tinggal (t) = 12 jam

Rate volumetrik air

$$Q = \frac{m}{\rho}$$

$$= \frac{58.526,1055}{1000}$$

$$= 58,52610552 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dirancang 90% dari volume tangki berisi air. Perbandingan tinggi silinder (H) dan diameter (D) = 1 : 3 dengan sudut conis 45°

Volume tangki

$$V = \frac{m \times t}{90\%} = \frac{58,52610552 \times 1 \text{ jam}}{90\%} = 65,03 \text{ m}^3$$

Dimensi Tangki

Volume tangki = Volume silinder + volume coins

$$\text{Volume silinder} = \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times H \quad \rightarrow H = 3D$$

$$= \frac{3}{4} \pi D^3$$

$$\text{Volume conis} = \frac{\pi}{4} D^2 \times h \quad \rightarrow h = \frac{1}{2} D \times \text{tg } 45 = \frac{1}{2} D$$

$$= \frac{\pi}{8} D^3$$

$$\text{Volume Bin, } V_t = \frac{3}{4} \pi D^3 + \frac{\pi}{8} D^3$$

$$= 2,75 D^3$$

Maka, dapat diketahui :

$$\text{Diameter, } D = \left( \frac{\text{Volume}}{2,75} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= \left( \frac{65,03}{2,75} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 23,65^{1/3}$$

$$= 2,9 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi Silinder, } H = 3 \times D$$

$$= 3 \times 2,9 \text{ m}$$

$$= 8,6 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi conis, } h = \frac{1}{2} D$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2} \times 2,9 \text{ m} \\
 &= 1,4 \text{ m} \\
 \text{Tinggi total, Ht} &= H + h \\
 &= 8,6 \text{ m} + 1,4 \text{ m} \\
 &= 10 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### Desain pengaduk *clarifier*

Pengaduk jenis *six plate blade* turbin. Konfigurasi pengaduk :

$$\begin{aligned}
 \text{Dt/Di} &= 3 \\
 \text{Zi/Di} &= 1,3 \\
 \text{Baffle} &= 4 \text{ buah} \\
 \text{w/Di} &= 0,10 \\
 \text{L/Di} &= 0,25 \\
 \text{J/Di} &= 0,20 \\
 \text{Dt} &= 2,9 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Keterangan,

$$\begin{aligned}
 \text{Dt} &= \text{diameter dalam tangki} \\
 \text{Di} &= \text{diameter pengaduk} \\
 \text{Zi} &= \text{tinggi pengaduk dari dasar tangki} \\
 \text{w} &= \text{lebar baffle} \\
 \text{L} &= \text{panjang sudu (blade)} \\
 \text{J} &= \text{lebar sudu (blade)}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 \text{Di} &= 0,96 \text{ m} \\
 \text{Zi} &= 1,24 \text{ m} \\
 \text{w} &= 0,096 \text{ m} \\
 \text{L} &= 0,24 \text{ m} \\
 \text{J} &= 0,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Power Pengaduk

$$\text{Bilangan Reynold, } NRe = \frac{Di^2 \times N \times \rho}{\eta} \quad (\text{Mc Cabe, W. I., 1999})$$

Keterangan :

$$N = \text{putaran pengaduk} = 90 \text{ rpm} = 1,5 \text{ rps}$$

$$D_i = \text{diameter pengaduk} = 0,99 \text{ m} = 3,25 \text{ ft}$$

$$\rho = \text{densitas larutan} = 62,43 \text{ lb/ft}^3$$

$$\eta = \text{viskositas larutan} = 5,4 \times 10^{-4} \text{ lb/ft.s}$$

Maka,

$$\begin{aligned} NRe &= \frac{(3,25)^2 \times 1,5 \times 62,43}{0,00054} \\ &= 544.351,5005 \end{aligned}$$

$$\text{Power number (Np)} = 7 \quad (\text{Mc Cabe, W. I., 1999})$$

Sehingga power pengaduk :

$$P = \frac{Np \times n^3 \times D_i^5 \times \rho}{gc} \quad \rightarrow gc = 32,174$$

$$= \frac{7 \times 1,5^3 \times 3,25^5 \times 62,43}{32,174}$$

$$= 16.558,64835 \text{ ft.lbf/s} \times \frac{1 \text{ Hp}}{550 \text{ ft.} \frac{\text{lbf}}{\text{s}}}$$

$$= 25 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor ( $\eta$ ) = 90%, maka power motor dapat dihitung :

$$Hp = \frac{Hp \text{ Required}}{\eta}$$

$$= 28,5 \text{ Hp}$$

∴ Power motor standar 28,5 Hp

### **Kebutuhan Koagulan**

Koagulan yang digunakan adalah  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  dengan dosis 15 ppm.

$$\text{Dosis 15 ppm} = 15 \text{ mg/L}$$

$$\text{Volume air dalam clarifier} = 58,52610552 \text{ m}^3$$

$$= 58.526,10552 \text{ L}$$

$$\text{Jumlah yang dibutuhkan} = \text{dosis} \times \text{volume air}$$



$$\begin{aligned}
 &= 15 \text{ mg/L} \times 58.526,10552 \text{ L} \\
 &= 877.891,5829 \text{ mg} \\
 &= 0,88 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

## 12. Bak sand filter

Kode : B-002

Fungsi : menyaring partikel dalam air yang tidak terendapkan dari Clarifier (F-001) sebelum dialirkan ke Tangki Ion Exchanger (F-002-K dan F-002-A) dan ke Bak Air Sanitasi (B-009) dan Bak Air Proses (B-008)

Type : *grafity sand filter*

Rate air masuk (m) = 58.526,1055 kg/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>

Rate volumetrik air

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{m}{\rho} \\
 &= \frac{58.526,1055}{1000} \\
 &= 58,5261055 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Asumsi kecepatan filtrasi

$$\begin{aligned}
 Q_f &= 40 \text{ gallon/ft}^2 \cdot \text{jam} \\
 &= 0,84 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}
 \end{aligned}$$

Luas penampang filter

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{Q}{Q_f} \\
 &= \frac{58,5261055}{0,84} \\
 &= 69,67 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Bak *sand filter* berbentuk persegi.

Dimensi bak

$$A = s^2$$

$$s = A^{1/2}$$

$$= 69,67^{1/2}$$

$$= 8,35 \text{ m}$$

Maka ukuran bak = 8,35 m × 8,35 m

### 13. Bak air bersih

Kode : B-003

Fungsi : menampung air bersih untuk kebutuhan air panas, air umpan boiler, air pendingin, dan air sanitasi

Type : bak beton persegi panjang

Rate air masuk (m) = 58.526,1055 kg/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>

Waktu tinggal (t) = 8 jam

Volume air tampung (V)

$$V = \frac{m \times t}{\rho}$$

$$= \frac{58.526,1055 \times 8}{1000}$$

$$= 468,2088 \text{ m}^3$$

90% volume bak berisi air, sehingga volume total bak didapatkan 520 m<sup>3</sup>

Bak persegi panjang dengan dimensi

$$P = 2x$$

$$l = x$$

$$t = 1,5x$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tangki (V)} &= p \times l \times t \\ &= 2x \cdot x \cdot 1,5x = 3x^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sehingga nilai } x &= \left(\frac{V}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left(\frac{520}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 5,6 \text{ m}\end{aligned}$$

Dimensi tangki

$$P = 2x = 2(5,6) = 11 \text{ m}$$

$$l = x = 5,6 = 5,6 \text{ m}$$

$$t = 1,5x = 1,5(5,6) = 8,4 \text{ m}$$

#### 14. Tangki Ion exchanger

##### Kation Exchanger

Kode : F-002-K

Fungsi : menghilangkan kation dalam air dengan resin asam

Type : *fixed bed ion exchanger*

Rate air masuk (m) = 38.694,8533 kg/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 1000 kg/jam

Rate volumetrik air

$$\begin{aligned}Q &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{38.694,8533}{1000} \\ &= 38,7 \text{ m}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

Asumsi kandungan kation dalam air yang akan dihilangkan :

$\text{Mg}^{+2}$  ,  $\text{Ca}^{+2}$  = 0,7995 mek/L

$\text{Fe}^{+2}$  = 0,0356 mek/L

$$\text{Mn}^{+2} = 0,0182 \text{ mek/L}$$

$$\text{Total} = 0,8533 \text{ mek/L}$$

Kation exchanger beroperasi selama 24 jam dan dilakukan regenerasi resin 1 kali dalam sebulan selama 24 jam.

Lama operasi selama 1 bulan = 24 jam

Total kation yang dihilangkan

$$= \text{total kandungan kation} \times Q \times t$$

$$= 0,8533 \text{ mek/L} \times \frac{1}{1000} \text{ grek/mek} \times 38,7 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1000 \text{ L/m}^3 \times 720 \text{ jam}$$

$$= 23.773,1892 \text{ grek}$$

Spesifikasi resin yang digunakan :

Jenis resin : *green sand* (Fe silikat)

Kapasitas serap : 0,5 grek/L resin

Tinggi bed min : 24 in

Regenerasi resin : HCl atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

$$\text{Volume resin} = \frac{\text{kation yang dihilangkan}}{\text{kapasitas penyerapan}}$$

$$= \frac{23.773,1892}{0,5}$$

$$= 47.546,37841 \text{ L}$$

$$= 47,55 \text{ m}^3$$

Asumsi tinggi bed ( $h = D$ )

$$\text{Diameter bed (D)} = \left( \frac{4V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= \left( \frac{4(47,55)}{3,14} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 3,93 \text{ m}$$

Tinggi bed (h) = 3,93 m

Tinggi tangki (H) = 1,5 × h

$$= 1,5 \times 3,93 \text{ m}$$

$$= 5,89 \text{ m}$$

Kebutuhan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk regenerasi resin = 110% gr/L resin

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang dibutuhkan = 110% gr/L resin × 47.546,37841 L

$$= 52.301,01625 \text{ gr}$$

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98% dengan densitas larutan 1,83 gr/cm<sup>3</sup>

Kebutuhan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98% =  $\frac{52.301,01625}{1,83}$

$$= 28.579,7903 \text{ cm}^3$$

$$= 28,58 \text{ L}$$

### Anion Exchanger

Kode : F-002-A

Fungsi : menghilangkan anion dalam air dengan resin basa

Type : *fixed bed ion exchanger*

Rate air masuk (m) = 38.694,8533 kg/jam

Densitas (ρ) = 1000 kg/jam

Rate volumetrik air

$$Q = \frac{m}{\rho}$$

$$= \frac{38.694,8533}{1000}$$

$$= 38,7 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Asumsi kandungan anion dalam air yang akan dihilangkan :

SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	= 0,4167 mek/L
NO <sup>-</sup>	= 0,3333 mek/L
F	= 0,0770 mek/L
Total	= 0,8270 mek/L

Anion exchanger beroperasi selama 24 jam dan dilakukan regenerasi resin 1 kali dalam sebulan selama 24 jam.

Lama operasi selama 1 bulan = 24 jam

Total anion yang dihilangkan

$$= \text{total kandungan anion} \times Q \times t$$

$$= 0,8270 \text{ mek/L} \times \frac{1}{1000} \text{ grek/mek} \times 38,7 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1000 \text{ L/m}^3 \times 720 \text{ jam}$$

$$= 23.040,46346 \text{ grek}$$

Spesifikasi resin yang digunakan :

Jenis resin	: <i>acrylic based</i>
Kapasitas serap	: 0,5 grek/L resin
Tinggi bed min	: 30 in
Regenerasi resin	: 70-140 gr NaOH/L resin
Volume resin	= $\frac{\text{anion yang dihilangkan}}{\text{kapasitas penyerapan}}$
	= $\frac{23.040,46346}{0,5}$

$$= 46.080,92692 \text{ L}$$

$$= 46,1 \text{ m}^3$$

Asumsi tinggi bed ( $h = D$ )

$$\text{Diameter bed (D)} = \left( \frac{4V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= \left( \frac{4(46,1)}{3,14} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 3,89 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi bed (h)} = 3,89 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi tangki (H)} = 1,5 \times h$$

$$= 1,5 \times 3,89 \text{ m}$$

$$= 5,83 \text{ m}$$

$$\text{Kebutuhan NaOH untuk regenerasi resin} = 70\% \text{ gr/L resin}$$

$$\text{NaOH yang dibutuhkan} = 70\% \text{ gr/L resin} \times 46.080,92692 \text{ L}$$

$$= 32.256,64885 \text{ gr}$$

NaOH 48% dengan densitas larutan  $2,13 \text{ gr/cm}^3$

$$\text{Kebutuhan NaOH 48\%} = \frac{46.080,92692}{2,13}$$

$$= 15.143,96659 \text{ cm}^3$$

$$= 15,144 \text{ L}$$

## 15. Bak Air Demineral

Kode : B-004

Fungsi : menampung air yang keluar dari ion exchanger menuju Bak Air Umpan Boiler (B-005) dan Bak Air Pendingin (B-006)

Type : bak persegi Panjang

Rate air masuk (m) = air umpan boiler + air pendingin

$$= 4.268,656138\text{kg/jam} + 186.654,5150 \text{ kg/jam}$$

$$= 190.923,1711 \text{ kg/jam}$$

Densitas ( $\rho$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>

Waktu tinggal (t) = 8 jam

Volume air tampung (V)

$$\begin{aligned} V &= \frac{m \times t}{\rho} \\ &= \frac{190.923,1711 \times 8}{1000} \\ &= 1.527,36 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

90% volume bak berisi air, sehingga volume total bak didapatkan 1.697 m<sup>3</sup>

Bak persegi panjang dengan dimensi

$$P = 2x$$

$$l = x$$

$$t = 1,5x$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bak (V)} &= p \times l \times t \\ &= 2x \cdot x \cdot 1,5x = 3x^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga nilai } x &= \left(\frac{V}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left(\frac{1.697}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 8,27 \text{ m} \end{aligned}$$

Dimensi bak

$$P = 2x = 2 (8,27) = 16,5 \text{ m}$$

$$l = x = 8,27 = 8,27 \text{ m}$$

$$t = 1,5x = 1,5 (8,27) = 12,4 \text{ m}$$



## 16. Bak air umpan boiler

Kode : B-005

Fungsi : menampung air untuk kebutuhan air umpan *boiler* (E-001)

Type : bak persegi Panjang

Rate air masuk (m) = air umpan yang ditambahkan + resirkulasi kondensat

$$= 1.363,950327\text{kg/jam} + 2.904,705812\text{kg/jam}$$

$$= 4.268,656138 \text{ kg/jam}$$

Densitas ( $\rho$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>

Waktu tinggal (t) = 8 jam

Volume air tampung (V)

$$V = \frac{m \times t}{\rho}$$

$$= \frac{4.268,656138 \times 8}{1000}$$

$$= 34,15 \text{ m}^3$$

90% volume bak berisi air, sehingga volume total bak didapatkan 38 m<sup>3</sup>

Bak persegi panjang dengan dimensi

$$P = 2x$$

$$l = x$$

$$t = 1,5x$$

$$\text{Volume bak (V)} = p \times l \times t$$

$$= 2x \cdot x \cdot 1,5x = 3x^3$$

$$\text{Sehingga nilai } x = \left(\frac{V}{3}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= \left(\frac{38}{3}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 2,33 \text{ m}$$

Dimensi bak

$$P = 2x = 2 (2,33) = 4,7 \text{ m}$$

$$l = x = 2,33 = 2,3 \text{ m}$$

$$t = 1,5x = 1,5 (2,33) = 3,5 \text{ m}$$

### 17. Bak air pendingin

Kode : B-006

Fungsi : menampung air pendingin tambahan dan air bekas pendingin yang disirkulasi setelah melewati *cooling tower* (C-001)

Type : bak persegi Panjang

Rate air masuk (m) = resirkulasi air bekas pendingin + air pendingin tambahan  
= 149.323,612 kg/jam + 37.330,9030 kg/jam  
= 186.654,5150 kg/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>

Waktu tinggal (t) = 8 jam

Volume air tampung (V)

$$V = \frac{m \times t}{\rho}$$
$$= \frac{186.654,5150 \times 8}{1000}$$
$$= 1.493,24 \text{ m}^3$$

90% volume bak berisi air, sehingga volume total bak didapatkan 1.660 m<sup>3</sup>

Bak persegi panjang dengan dimensi

$$P = 2x$$

$$l = x$$

$$t = 1,5x$$

$$\begin{aligned}\text{Volume bak (V)} &= p \times l \times t \\ &= 2x \cdot x \cdot 1,5x = 3x^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sehingga nilai } x &= \left(\frac{V}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left(\frac{1.660}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 8,21 \text{ m}\end{aligned}$$

Dimensi bak

$$P = 2x = 2(8,21) = 16,42 \text{ m}$$

$$l = x = 8,21 = 8,21 \text{ m}$$

$$t = 1,5x = 1,5(8,21) = 12,31 \text{ m}$$

### 18. Bak air sanitasi

Kode : B-007

Fungsi : menampung air keperluan karyawan, kantor, laboratorium, dan pencucian peralatan.

Type : bak persegi Panjang

Rate air masuk (m) = 591 kg/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>

Waktu tinggal (t) = 8 jam

Volume air tampung (V)

$$\begin{aligned}V &= \frac{m \times t}{\rho} \\ &= \frac{591 \times 8}{1000} \\ &= 4,73 \text{ m}^3\end{aligned}$$

90% volume bak berisi air, sehingga volume total bak didapatkan  $5,25 \text{ m}^3$

Bak persegi panjang dengan dimensi

$$P = 2x$$

$$l = x$$

$$t = 1,5x$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bak (V)} &= p \times l \times t \\ &= 2x \cdot x \cdot 1,5x = 3x^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga nilai } x &= \left(\frac{V}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left(\frac{5,25}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Dimensi bak

$$P = 2x = 2(1,2) = 2,4 \text{ m}$$

$$l = x = 1,2 = 1,2 \text{ m}$$

$$t = 1,5x = 1,5(1,2) = 1,8 \text{ m}$$

### **Kebutuhan kaporit**

Kaporit dengan dosis 3 ppm (pdamkutaitimur, 2020)

$$\text{Dosis 3 ppm} = 3 \text{ mg/L}$$

Jumlah kaporit yang ditambahkan ke bak air sanitasi untuk 8 jam proses

$$= \text{dosis} \times \text{volume}$$

$$= 3 \text{ mg/L} \times 5,25 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ L/m}^3$$

$$= 15.760 \text{ mg}$$

$$= 0,01576 \text{ kg}$$

### **19. Bak air proses**

Kode : B-008

Fungsi : menampung air untuk tangki pelarutan (F-103) dan RDVF  
(H-101)

Type : bak persegi Panjang

Rate air masuk (m) = 19.240,2522 kg/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>

Waktu tinggal (t) = 8 jam

Volume air tampung (V)

$$V = \frac{m \times t}{\rho}$$
$$= \frac{19.240,2522 \times 8}{1000}$$

$$= 153,9220176 \text{ m}^3$$

90% volume bak berisi air, sehingga volume total bak didapatkan 171 m<sup>3</sup>

Bak persegi panjang dengan dimensi

$$P = 2x$$

$$l = x$$

$$t = 1,5x$$

$$\text{Volume bak (V)} = p \times l \times t$$
$$= 2x \cdot x \cdot 1,5x = 3x^3$$

$$\text{Sehingga nilai } x = \left(\frac{V}{3}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= \left(\frac{171}{3}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= 3,85 \text{ m}$$

Dimensi bak

$$P = 2x = 2(3,85) = 7,7 \text{ m}$$

$$l = x = 3,85 = 3,85 \text{ m}$$

$$t = 1,5x = 1,5 (3,85) = 5,77 \text{ m}$$

## 20. Cooling tower

Kode : C-001

Fungsi : menurunkan air bekas pendingin sebelum disirkulasi

Type : *induced draft cooling tower*

Rate air masuk (m) = 149.323,612 kg/jam

Densitas ( $\rho$ ) = 1000 kg/m<sup>3</sup>

Rate volumetric (Q) = 149,323612 m<sup>3</sup>/jam

$$= 149,323612 \text{ m}^3/\text{jam} \times 35,31 \text{ ft}^3/\text{m}^3 \times 7,48 \text{ gallon}/\text{ft}^3$$

$$= 39.439,17321 \text{ gallon}/\text{jam}$$

$$= 657,3195535 \text{ gpm}$$

Diketahui :

Suhu masuk = 37°C = 98,6 °F

Suhu keluar = 30°C = 86 °F

Suhu *approach* = 98,6°F – 86°F = 12,6 °F

Konsentrasi air = 2 gpm/ft<sup>2</sup>

Maka, luas permukaan teoritis tower

$$\begin{aligned} A &= \frac{Q}{\text{Konsentrasi air}} \\ &= \frac{657,3195535 \text{ gpm}}{2 \text{ gpm}/\text{ft}^2} \\ &= 328,66 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Power teoritis fan dengan asumsi standar performance 100% adalah

Power fan = 0,04 Hp/ft<sup>2</sup> × luas tower

$$= 0,04 \text{ Hp}/\text{ft}^2 \times 328,66 \text{ ft}^2$$

$$= 13,15 \text{ Hp}$$

Efisiensi ( $\eta$ )= 80%, maka tenaga motor dapat dihitung :

$$\text{BHp} = \frac{\text{Power Fan}}{80\%}$$

$$= 16,432 \text{ Hp}$$

∴ Power motor standar 16,5 Hp

### C. UNIT PENYEDIAAN LISTRIK

Kebutuhan listrik untuk pabrik natrium bikarbonat diperoleh dari PLN. Namun untuk menghindari adanya gangguan listrik yang terjadi dari PLN maka disediakan generator set. Berikut perkiraan kebutuhan tenaga listrik :

#### Kebutuhan tenaga listrik untuk peralatan proses

Nama Peralatan	Jumlah	Daya (Hp)
Belt Conveyor I	1	2
Bucket Elevator I	1	4
Belt Conveyor II	1	2
Tangki Pelarutan	1	167
Pompa Larutan Natrium Karbonat	1	1,5
Kompresor Gas CO <sub>2</sub>	1	102
Pompa Produk Reaktor	1	2
Rotary Drum Vacuum Filter	1	6
Screw Conveyor	1	8
Blower	1	278
Rotary Dryer	1	243
Belt Conveyor III	1	5
Bucket Elevator II	1	12
<b>Total</b>		<b>832,5</b>

$$\begin{aligned} \text{Total kebutuhan listrik untuk peralatan proses} &= 832,5 \text{ Hp} \times 745 \text{ Watt/Hp} \\ &= 620.212,5 \text{ Watt} \\ &= 620,2125 \text{ kW} \end{aligned}$$

#### Kebutuhan tenaga listrik untuk peralatan utilitas

Nama Peralatan	Jumlah	Daya (Hp)
Boiler	1	239
Pompa Air Sungai	1	13,5

Pompa Clarifier	1	17
Pompa Air Bersih	1	9,5
Pompa Air Demin	1	27
Pompa Air Umpan Boiler	1	3
Pompa Air Pendingin	1	19,5
Pompa Air Proses	1	2,5
Pompa Resirkulasi Air	1	18,5
Pompa Air Sanitasi	1	1
Clarifier	1	28,5
Cooling Tower	1	16,5
<b>Total</b>		<b>395,5</b>

$$\begin{aligned}
 \text{Total kebutuhan listrik untuk peralatan utilitas} &= 395,5 \text{ Hp} \times 745 \text{ Watt/ Hp} \\
 &= 294.6475 \text{ Watt} \\
 &= 294,6475 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

#### **Kebutuhan tenaga listrik untuk pabrikasi**

$$\begin{aligned}
 P \text{ pabrikasi} &= P \text{ utilitas} + P \text{ proses} \\
 &= 832,5 \text{ Hp} + 395,5 \text{ Hp} \\
 &= 1228 \text{ Hp} \\
 &= 914.860 \text{ Watt} \\
 &= 914,860 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

#### **Kebutuhan tenaga listrik untuk peralatan control**

Range peralatan kontrol dipilih 20%.

Maka, kebutuhan tenaga listrik untuk peralatan kontrol

$$\begin{aligned}
 P \text{ kontrol} &= 20\% \times P \text{ pabrikasi} \\
 &= 20\% \times 914,860 \text{ kW} \\
 &= 182,972 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

#### **Kebutuhan tenaga listrik untuk penerangan**

Diketahui range kebutuhan listrik pabrikasi untuk penerangan sebesar 7% – 25%.

Asumsi kebutuhan listrik sebanyak 25%. Maka, kebutuhan tenaga listrik untuk penerangan



$$\begin{aligned}
 P \text{ penerangan} &= 25\% \times P \text{ pabrikasi} \\
 &= 25\% \times 914,860 \text{ kW} \\
 &= 228,715 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

### **Kebutuhan tenaga listrik untuk bengkel dan lain-lain**

Asumsi kebutuhan listrik sebanyak 15%. Maka, kebutuhan tenaga listrik untuk bengkel dan lain-lain

$$\begin{aligned}
 P \text{ bengkel} &= 15\% \times P \text{ pabrikasi} \\
 &= 15\% \times 914,860 \text{ kW} \\
 &= 137,229 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

### **Total kebutuhan tenaga listrik pabrik**

Pabrikasi	= 914,86 kW
Alat kontrol	= 182,972 kW
Penerangan	= 228,715 kW
Bengkel dan lain-lain	= 137,229 kW
<b>Total</b>	<b>= 1.544,83 kW</b>

### **Perhitungan peralatan penyediaan listrik**

#### **1. Generator**

Power faktor untuk genetaor penggerak mesin diesel diambil sebesar 85%. Maka, power generator dapat dihitung

$$\begin{aligned}
 \text{Power generator} &= \frac{\text{total kebutuhan listrik}}{85\%} \\
 &= \frac{1.544,83 \text{ kW}}{85\%} \\
 &= 1.463,776 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Oleh karena itu digunakan generator dengan daya sebesar 3.000 KW

## Kebutuhan bahan bakar generator

Bahan bakar yang digunakan adalah minyak diesel. Diketahui :

$$\text{heating valve (HV)} = 19.525 \text{ Btu/lb}$$

$$\text{densitas } (\rho) = 54,9384 \text{ lb/ft}^3$$

Jumlah bahan bakar yang digunakan

$$\begin{aligned} &= \frac{3.000.000 \text{ Watt}}{19.525 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \times 0,239 \frac{\text{watt}}{\text{Btu}} \times \frac{\text{jam}}{\text{Btu}} \times \frac{54,9384 \text{ lb}}{\text{ft}^3}} \\ &= 1,170177802 \text{ ft}^3/\text{jam} \times 28,317 \text{ liter/ft}^3 \\ &= 33,14 \text{ L/jam} \end{aligned}$$

Asumsi gangguan listrik dari PLN dalam setahun produksi adalah 14 hari proses (336 jam).

Sehingga perkiraan bahan bakar yang digunakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} &= 33,14 \text{ L/jam} \times 336 \text{ jam/tahun} \\ &= 11.133,67074 \text{ L/tahun} \\ &= 1,3 \text{ L/jam} \end{aligned}$$

## 2. Tangki bahan bakar

Kode : F-003

Fungsi : menampung bahan bakar diesel oil untuk kebutuhan boiler dan generator bila terjadi pemadaman listrik dari PLN

Type : silinder vertikal dengan tutup atas dishead dan tutup bawah plat dasar.

$$\begin{aligned} \text{Rate bahan bakar} &= \text{boiler} + \text{generator} \\ &= 24,81 \text{ L/jam} + 1,3 \text{ L/jam} \\ &= 26,1 \text{ L/jam} \end{aligned}$$

Volume bahan bakar untuk persediaan 1 bulan produksi

$$\begin{aligned}V &= \text{rate bahan bakar} \times 30 \text{ hari} \times 24 \text{ jam/hari} \\ &= 26,1 \text{ L/jam} \times 30 \text{ hari} \times 24 \text{ jam/hari} \\ &= 18.790,57517 \text{ L} \\ &= 663,5793045 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

Tangki dirancang dengan kondisi :

- a. Asumsi 85% dari volume tangki terisi bahan bakar
- b. Perbandingan tinggi dan diameter = 1,5 : 1

Volume tangki

$$\begin{aligned}V_t &= \frac{V}{85\%} \\ &= \frac{663,5793045}{85\%} \\ &= 780,68 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

**Dimensi Tangki**

$$H = 1,5 D$$

$$\text{Volume tangki} = \text{Volume silinder} + \text{volume dishead}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume silinder} &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times H \\ &= 1,1775 D^3\end{aligned}$$

$$\text{Volume dishead} = 0,000049 D^3/12 \rightarrow \text{Brownell \& young hal.88}$$

Maka,

$$\begin{aligned}V_t &= 1,1775 D^3 + 0,000049D^3/12 \\ &= 1,1775 D^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \left( \frac{Vt}{1,1775} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= \left( \frac{780,68}{1,1775} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 8,72 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= 1,5 \times D \\ &= 1,5 \times 8,72 \text{ ft} \\ &= 13,08 \text{ ft} \end{aligned}$$



## LAMPIRAN E. ANALISIS EKONOMI

Kelayakan suatu pabrik selain mempertimbangkan faktor teknis juga harus ditinjau dari segi ekonomis. Faktor-faktor yang perlu untuk ditinjau antara lain laju pengembalian modal (*rate of return*), lama pengembalian modal (*pay out time*), dan titik impas (*Break event point*). Untuk meninjau faktor-faktor tersebut, perlu adanya penaksiran terhadap beberapa faktor :

1. Penaksiran modal industri (*total capital investment*) yang terdiri dari :
  - a. Modal tetap (*fixed capital investment*)
  - b. Modal kerja (*working capital investment*)
2. Penentuan biaya produksi total (*production cost*) yang terdiri dari :
  - a. Biaya pembuatan (*manufacturing cost*)
  - b. Biaya pengeluaran umum (*general expenses*)
3. Analisa untung rugi (*profitability analisis*) jika pabrik tersebut didirikan.

### A. PERKIRAAN HARGA PERALATAN

#### Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi	: 115.000 ton/tahun
Satu tahun operasi	: 330 hari
Tahun beroperasi	: 2027
Asumsi Kurs Dollar 2027	: Rp. 16.378,14
Luas Pabrik	: 16.776,20 m <sup>2</sup>
Harga Tanah	: 2.000.000 /m <sup>2</sup> ( <a href="https://www.priceza.co.id">https://www.priceza.co.id</a> , 2022)

Pabrik natrium bikarbonat direncanakan akan didirikan pada tahun 2027 (x). Perkiraan harga alat berdasarkan harga alat pada tahun 2014 (y). perhitungan penafsiran harga peralatan tersebut diperlukan indeks harga yang dapat digunakan untuk mengkonversi harga peralatan pada masa lalu, sehingga diperoleh harga peralatan pada saat ini.

Penentuan harga alat pada tahun 2027, dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Ex = Ey \left( \frac{Nx}{Ny} \right)$$

Keterangan :

Ex : harga alat pada tahun x

Ey : harga alat pada tahun y

Nx : indeks harga pada tahun x

Ny : indeks harga pada tahun y

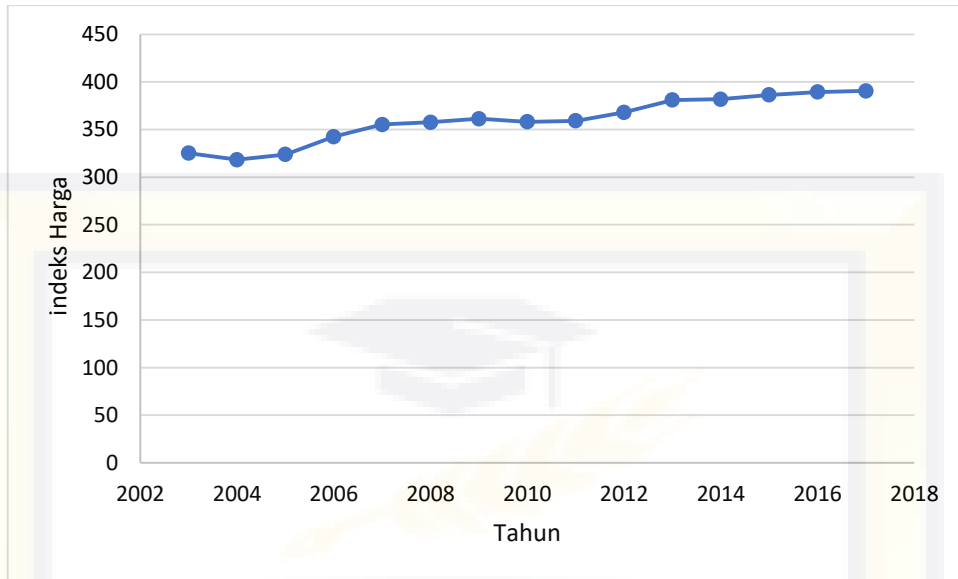
Indeks Harga Tahun 2003-2017

Tahun	Chemical engineering plant cost index 1957-1959 = 100
2003	325,3
2004	318,4
2005	323,8
2006	342,5
2007	355,4
2008	357,6
2009	361,3
2010	358,2
2011	359,2
2012	368,1
2013	381,1
<b>2014</b>	<b>381,8</b>
2015	386,5
2016	389,5
2017	390,6

(<https://www.chegg.com>)

Kenaikan indeks tiap tahun merupakan fungsi linear sehingga tahun dan indeks harga pada tahun yang ditentukan merupakan persamaan garis lurus.

Persamaan tersebut dilihat pada grafik dibawah ini :



Grafik Indeks Harga Tahun 2003-2017

Jadi indeks harga pada tahun 2027 adalah :

$$\begin{aligned}y &= 5,18 (x) - 10.052 \\ &= 5,18 (2027) - 10.52 \\ &= 448\end{aligned}$$

Penaksiran harga peralatan yang sama dengan kapasitas yang berbeda digunakan sebagai berikut :

$$V_A = V_B \left( \frac{C_A}{C_B} \right)^n$$

Keterangan :

$V_A$  : harga alat A

$V_B$  : harga alat B

$C_A$  : kapasitas A

$C_B$  : kapasitas B

$n$  : eksponen harga alat (0,6)

### Contoh Penaksian Harga Alat

Nama Alat : Bucket Elevator I

Kode Alat : J-102

Spesifikasi alat :

Type : Centryfugal discharge-spaced bucket

Ukuran : 6 x 4 x 4 ½ in

Tinggi : 95 ft

Penentuan harga alat pada tahun 2027, dihitung dengan persamaan berikut :

$$E_{2027} = E_{2014} \left( \frac{N_{2027}}{N_{2014}} \right)$$

Keterangan :

Ex : harga alat pada tahun 2027

Ey : harga alat pada tahun 2014

Nx : indeks harga pada tahun 2027

Ny : indeks harga pada tahun 2014

Sehingga, Harga Bucket Elevator I pada tahun 2027 dapat diketahui :

Harga alat 2014 = US \$ 23.000 .....(*matche.com*, 2014)

Indeks harga 2014 = 381,8

Indeks harga 2027 = 448

$$\begin{aligned} \text{Harga alat 2027} &= 23.000 \left( \frac{448}{381,8} \right) \\ &= 26.988,76 \end{aligned}$$

Jadi, penaksiran harga alat untuk Bucket Elevator I (J-102) pada tahun 2027 adalah US \$26.988,76



Harga Peralatan Proses dari Luar Negeri

No	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Harga 2014 /Unit (US\$)	Harga 2027 /Unit (US\$)	Harga Total (US\$)
1	J-101	Belt Conveyor I	1	15000	17.601,36	17.601,36
2	J-102	Bucket Elevator I	1	23000	26.988,76	26.988,76
3	F-102	Bin Natrium Karbonat	1	570800	669.790,49	669.790,49
4	J-103	Belt Conveyor Ii	1	8700	10.208,79	10.208,79
5	F-103	Tangki Pelarutan	1	81200	95.282,04	95.282,04
6	L-101	Pompa Larutan Natrium Karbonat	1	7500	8.800,68	8.800,68
7	F-104	Storage Gas CO <sub>2</sub>	2	302900	355.430,17	710.860,34
8	G-101	Kompresor Gas CO <sub>2</sub>	1	99700	116.990,39	116.990,39
9	E-101	Cooler	1	20700	24.289,88	24.289,88
10	R-101	Reaktor	1	59400	69.701,39	69.701,39
11	F-105	Tangki Produk Reaktor	1	36400	42.712,64	42.712,64
12	L-102	Pompa Produk Reaktor	1	7500	8.800,68	8.800,68
13	H-101	RDVF	1	71500	83.899,83	83.899,83
14	F-106	Tangki Filtrat	1	61000	71.578,87	71.578,87
15	SF-01	Screw Conveyor	1	7500	8.800,68	8.800,68
16	BL-101	Blower	1	46500	54.564,22	54.564,22
17	H-102	Rotary Dryer	1	199200	233.746,09	233.746,09
18	E-102	Air Heater	1	19800	23.233,80	23.233,80
19	J-105	Belt Conveyor III	1	41500	48.697,10	48.697,10
20	J-106	Bucket Elevator II	1	30900	36.258,81	36.258,81
21	F-107	Bin Produk Akhir	1	171200	200.890,21	200.890,21
<b>Total (US\$)</b>						<b>2.563.697,04</b>

(matche.com, 2014)

Total harga peralatan proses dari luar negeri = Rp. 41.988.596.397,64

Diperkirakan biaya impor, pengangkutan, pembongkaran, dan transportasi alat ke lokasi pabrik sebesar 25% dari harga alat sehingga harga total peralatan proses dari luar negeri sebesar Rp 52.485.745.497,05

#### Harga Peralatan Proses dari Dalam Negeri

No	Kode Alat	Nama Alat	Ukuran	Jumlah	Harga satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	F-101	Gudang Bahan Baku Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3.480,7 m <sup>3</sup>	1	3.000.000	10.442.100.000
2	X-101	Bucket Elevator I	24 X 24 in	1	4.000.000	20.000.000
<b>Total (Rp)</b>						<b>10.462.100.000,00</b>

Diperkirakan biaya transportasi alat ke lokasi pabrik sebesar 10% dari harga alat sehingga harga total peralatan proses dari dalam negeri sebesar Rp11.508.310.000,00

#### Harga Peralatan Utilitas dari Luar Negeri

No	Kode Alat	Nama Alat	Harga 2014 (US\$)	Harga 2027 (US\$)
1	E-001	Boiler	317400	393.835,29
2	L-001	Pompa Air Sungai	5500	6.824,49
3	L-002	Pompa Tangki Pengendap	7800	9.678,37
4	L-003	Pompa Distribusi Air Bersih	5500	6.824,49
5	L-004	Pompa Air Demineral	10300	12.780,41
6	L-005	Pompa Air Umpan Boiler	1400	1.737,14
7	L-006	Pompa Air Pendingin	10300	12.780,41
8	L-007	Pompa Resirkulasi Air	7800	9.678,37
9	L-008	Pompa Air Sanitasi	1400	1.737,14
10	L-009	Pompa Air Proses	13600	16.875,11
11	F-001	Clarifier	49400	61.296,36
12	F-002-K	Tangki Kation Exchanger	251900	312.561,78
13	F-002-A	Tangki Anion Exchanger	251900	312.561,78
14	C-001	Cooling Tower	16200	20.101,23
15	F-003	Tangki Bahan Bakar	42600	52.858,80
<b>Total (US\$)</b>				<b>1.232.131,21</b>

(matche.com, 2014)

Total harga peralatan utilitas dari luar negeri = Rp. 20.180.020.957,41

Diperkirakan biaya impor, pengangkutan, pembongkaran, dan transportasi alat ke lokasi pabrik sebesar 25% dari harga alat sehingga harga total peralatan proses dari luar negeri sebesar Rp 25.225.026.196,76

Harga Peralatan Proses dari Dalam Negeri

No	Kode Alat	Nama Alat	Ukuran	Harga Total (Rp)
1	GT-001	Generator	3000 KVA	440.000.000,00
<b>Total (Rp)</b>				<b>440.000.000,00</b>

Diperkirakan biaya transportasi alat ke lokasi pabrik sebesar 10% dari harga alat sehingga harga total peralatan utilitas dari dalam negeri sebesar Rp 484.000.000,00

Harga Pembangunan Utilitas

No	Kode Alat	Nama Alat	Kapasitas (m <sup>3</sup> )	Harga/m <sup>3</sup> (Rp)	Harga Total (Rp)
1	B-001	Bak Air Sungai	780,35	1.000.000,00	780.348.073,67
2	B-002	Bak Sand Filter	69,72	1.000.000,00	69.722.500,00
3	B-003	Bak Air Bersih	520,23	1.000.000,00	520.232.049,11
4	B-004	Bak Air Demineral	1.697,09	1.000.000,00	1.697.094.854,37
5	B-005	Bak Air Umpan Boiler	37,94	1.000.000,00	37.943.610,12
6	B-006	Bak Air Pendingin	1.659,15	1.000.000,00	1.659.151.244,25
7	B-007	Bak Air Sanitasi	5,25	1.000.000,00	5.253.333,33
8	B-008	Bak Air Proses	171,02	1.000.000,00	171.024.464,02
<b>Total (Rp)</b>					<b>4.940.770.128,88</b>

**Total Harga Peralatan atau *Purchasing Equipment Cost (PEC)***

Harga Peralatan Proses dari Luar Negeri	Rp 52.485.745.497,05
Harga Peralatan Proses dalam Negeri	Rp 11.508.310.000,00
Harga Peralatan Utilitas dari Luar Negeri	Rp 25.225.026.196,76
Harga Peralatan Utilitas dalam Negeri	Rp 484.000.000,00
Harga Pembangunan Utilitas	Rp 4.940.770.128,88
<b>Total Harga Peralatan (PEC)</b>	<b>Rp 94.643.851.822,69</b>

## **B. PERKIRAAN MODAL INDUSTRI (TOTAL CAPITAL INVESTMENT)**

Modal industry (total capital investment) adalah penanaman modal yang berkaitan dengan pengeluaran berupa yang yang diperlukan untuk pembangunan fasilitas produksi dan operasi utama dalam pabrik.

### **Modal Tetap (*Fixed Capital Investment*)**

Modal tetap yaitu total biaya instalasi pengolahan, bangunan, layanan tambahan, dan Teknik yang terlibat dalam penciptaan pabrik baru. Modal tetap terdiri dari :

#### *Direct cost*

Biaya langsung adalah modal yang dikeluarkan untuk pembelian atau pengadaan peralatan proses produksi antara lain mesin-mesin dan alat tambahannya, perpipaan, pelistrikan, alat ukur, pengerjaan tanah sampai pendirian bangunan yang berhubungan langsung dengan pendirian suatu pabrik baru. Jadi *direct cost* adalah semua modal yang dikeluarkan untuk pendirian pabrik sehingga pabrik siap untuk berproduksi.

#### *Indirect cost*

Biaya tidak langsung adalah modal yang dikeluarkan untuk konstruksi pabrik, *overhead* konstruksi dan bagian-bagian pabrik yang tidak berhubungan langsung dengan pengadaan peralatan proses produksi. *Indirect cost* yang dimaksud seperti kantor pengawasan lapangan saat pabrik dikonstruksi, ongkos pengawasan, pemborong, biaya tak terduga, dan lain sebagainya.

### **Modal Kerja (*Working Capital Investment*)**

*Working Capital Investment* adalah modal yang harus dikeluarkan untuk menjalankan proses produksi pabrik dalam jangka waktu tertentu meliputi bahan baku dan persediaan di gudang, hasil produksi, *finance* (piutang), dan persediaan gaji dan upah.

### **Perhitungan Total Capital Investment**

Pabrik natirum bikarbonat adalah pabrik dengan jenis solid-solid. Pabrik jenis ini akan mengolah bahan baku berbentuk solid menjadi medium/finish

product berupa solid. Dalam pabrik ini peralatan prosesnya lebih banyak menggunakan alat transportasi selain pipa. Perhitungan direct cost dan indirect cost dapat dihitung sesuai dengan perkiraan total capital investment berdasarkan jenis pabrik (Sari,N.K ,2011).

#### Perhitungan Total Capital Investment

No.	Jenis biaya	Jumlah(Rp)
<b>A</b>	<b>Direct Cost</b>	
1	Pengadaan Alat	94.643.851.823
2	Instrumentasi dan control, 18% dari ad 1	17.035.893.328
3	Instalasi, 8% dari ad 1	7.571.508.146
4	Perpipaan terpasang, 20% dari ad 1	18.928.770.365
5	Perlistrikan terpasang, 10% dari ad 1	9.464.385.182
6	Pemasangan alat, 45% dari ad 1	42.589.733.320
7	Bangunan Pabrik, 30% dari ad 1	28.393.155.547
8	Service Facilities and Yard Improvement, 40% dari ad 1	37.857.540.729
9	Tanah dan perataan tanah	36.907.640.000
10	Enviromental, 25% dari ad 1	23.660.962.956
11	Direct Cost, Jumlah ad. 1-10	317.053.441.395
<b>B.</b>	<b>Inderect Cost</b>	
12	Engineering and Supervision, 15% dari ad 1	14.196.577.773
13	Ongkos pemborong, 20% dari ad 11	63.410.688.279
14	Biaya tidak terduga, 15% dari Fixed Capital Investment	69.646.007.197
15	Indirect Cost, Jumlah ad 12-14	77.607.266.052 + 15% %FCI
<b>C.</b>	<b>Fixed Capital Investment</b>	
16	Fixed Capital Investment, jumlah ad. 11 dan 15	464.306.714.644
<b>D.</b>	<b>Working Capital Investment</b>	
17	Working Capital Investment, 10% dari Total Capital Investment	103.179.269.921
<b>E.</b>	<b>Total Capital Investment</b>	
18	Total Capital Investment, jumlah ad. 16-17	515.896.349.605

#### **PERHITUNGAN TOTAL *PRODUCTION COST* (TPC)**

Penaksiran biaya produksi perlu diperhatikan faktor-faktor yang memengaruhi suatu produksi. Secara umum, biaya produksi dibagi menjadi dua yaitu *manufacturing cost* dan *general expenses*. Kedua komponen tersebut dapat dihitung dengan mengetahui biaya bahan baku, biaya utilitas, dan gaji karyawan seperti berikut.

## Biaya Bahan Baku

Natrium karbonat

Kebutuhan per jam : 9.482,817064 kg/jam

Harga per kg : US\$ 0,5/kg

Harga per kg : Rp 8.189/kg

Biaya per tahun : Rp 615.031.292.943,10 /kg

Asumsi biaya impor dan transportasi alat 10%

Total harga : Rp 676.534.422.237,41

Karbon Dioksida

Kebutuhan per jam : 3.936,263687 kg/jam

Harga per kg : Rp. 700

Biaya per tahun : Rp. 21.822.645.880,28

**Total Biaya Bahan Baku : Rp. 698.357.068.117,69**

## Biaya Utilitas

Biaya Kebutuhan Utilitas Per Tahun

No	Kebutuhan Utilitas	Jumlah Kebutuhan	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Biaya per Tahun (Rp)
1	Listrik	664,54	Kw	1.644,52	349.521.881,71
2	Bahan Bakar	1,29	L/jam	20.850,00	212.792.282,09
3	Koagulan	10,53	Kg	3.800,00	26.421.025,08
4	Kaporit	0,02	kg/jam	36.000,00	561.686,40
5	Asam Sulfat	52,30	Kg	35.000,00	21.966.426,83
6	Natrium Hidroksida	32,26	Kg	40.000,00	15.483.191,45
<b>Total (Rp)</b>					<b>626.746.493,55</b>

## Gaji Karyawan

No	Jabatan	Jumlah	Gaji/Bulan (Rp)	Total Gaji/Bulan (Rp)
1	Direktur Utama	1	28.000.000	28.000.000
2	Wakil Direktur	2	20.000.000	40.000.000
3	Sekretaris	3	10.000.000	30.000.000
4	Kepala Bagian	6	8.000.000	48.000.000
5	Kepala Seksi	17	7.000.000	119.000.000
6	Karyawan Shift			
	Produksi	24	5.300.000	127.200.000
	Qc	6	5.300.000	31.800.000
	Utilitas	6	5.300.000	31.800.000
	Bengkel	6	5.300.000	31.800.000
	Perawatan Alat	6	5.300.000	31.800.000
	Laboratorium	12	5.300.000	63.600.000
	Pengembangan	3	5.300.000	15.900.000
	Transportasi	6	5.300.000	31.800.000
	Keamanan	6	5.300.000	31.800.000
	K3	3	5.300.000	15.900.000
7	Karyawan Non-Shift			
	Produksi	4	4.500.000	18.000.000
	Qc	2	4.500.000	9.000.000
	Utilitas	2	4.500.000	9.000.000
	Bengkel	2	4.500.000	9.000.000
	Perawatan Alat	2	4.500.000	9.000.000
	Laboratorium	2	4.500.000	9.000.000
	Pengembangan	2	4.500.000	9.000.000
	Humas	4	4.500.000	18.000.000
	Logistic	4	4.500.000	18.000.000
	Transportasi	2	4.500.000	9.000.000
	Keamanan	2	4.500.000	9.000.000
	Personalia	2	4.500.000	9.000.000
	K3	2	4.500.000	9.000.000
	Pendidikan dan Pelatihan	2	4.500.000	9.000.000
	Keuangan	2	4.500.000	9.000.000
	Pembelian	3	4.500.000	13.500.000
	Pemasaran	3	4.500.000	13.500.000
8	Dokter	2	6.500.000	13.000.000
9	Perawat	4	4.500.000	18.000.000

Total	155	898.400.000
<b>Total per tahun</b>		<b>10.780.800.000</b>

### **Manufacturing Cost**

*Manufacturing cost* adalah biaya yang dikeluarkan untuk mengolah baha baku menjadi bahan jadi yang terdiri dari *direct production cost*, *fixed charges*, dan *plant overhead cost*.

#### Total Manufacturing Cost

No	Jenis Pengeluaran	Biaya
<b>A</b>	<b>Direct Production Cost</b>	
1	Bahan Baku	698.357.068.117,69
2	Gaji Karyawan	10.780.800.000,00
3	Pengawasan (10% dari ad.2)	1.078.080.000,00
4	Utilitas	626.746.493,55
5	Pemeliharaan dan perbaikan (2% dari FCI)	9.286.134.292,88
6	Operating supplies (10% dari ad.5)	928.613.429,29
7	Laboratorium (10% dari ad.2)	1.078.080.000,00
8	Patent and Royalties (1% dari total production)	1% TPC
<b>B</b>	<b>Fixed Charges</b>	
9	Depresiasi (10% dari FCI)	46.430.671.464,42
10	Pajak Kekayaan (4% dari FCI)	18.572.268.585,77
11	Asuransi (1% dari FCI)	4.643.067.146,44
<b>C</b>	<b>Plant Overhead Cost</b>	
12	Biaya pengeluaran tambahan (50% dari gaji karyawan, pemeliharaan, dan pengawasan)	10.572.507.146,44
<b>Total Manufacturing Cost</b>		<b>802.354.036.676,49</b> <b>+0,01 TPC</b>

### **General Expenses**

*General expenses* adalah biaya yang harus dikeluarkan tidak berhubungan langsung dengan pengolahan bahan baku menjadi bahan jadi yang terdiri dari



pengeluaran administrasi, *distribution and marketing service, research and development*, dan *financing*. Berikut perhitungan total *general expenses*

**Total General Expenses**

<b>Jenis Pengeluaran</b>	<b>Biaya</b>
Biaya administrasi (15% dari 2% TPC=30% TPC)	0,3 TPC
Distribution and marketing service (2% TPC)	0,02 TPC
Research and development (5% TPC)	0,05 TPC
financing (5% TCI)	10.317.926.992,09
<b>Total General Expenses</b>	<b>10.317.926.992,09+ 0,37 TPC</b>

**Total Production Cost**

TPC = Total *Manufacturing Cost* + Total *General Expenses*

TPC = (802.354.036.676,49+ 0,01 TPC) + (10.317.926.992,09+ 0,37 TPC)

TPC = 812.671.963.668,59+ 0,38 TPC

0,62 TPC = 812.671.963.668,59

TPC = 1.310.761.231.723,52

Jadi, total harga produksi atau TPC sebesar Rp. 1.310.761.231.723,52

**C. HARGA PENJUALAN PRODUK**

Hasil penjualan produk Natrium Bikarbonat (NaHCO<sub>3</sub>) sebagai berikut :

=14.520,20 kg/jam x 24 jam/hari x 330 hari/tahun x Rp14.000,- /kg

= Rp 1.610.000.000.000,00

Jadi total harga penjualan produk : Rp 1.610.000.000.000,00

#### D. ANALISIS KELAYAKAN

Analisis kelayakan dilakukan dengan metode *discounted cash flow* yaitu *cash flow* yang nilainya diproyeksikan pada masa sekarang. Adapun anggapan yang digunakan sebagai berikut :

1. Modal
  - a. Modal sendiri (70%) = Rp 361.127.444.723,29
  - b. Modal pinjaman (30%) = Rp 154.768.904.881,41
2. Pencairan modal pinjaman selama konstruksi dilakukan secara diskrit dengan cara sebagai berikut :
  - a. Pada akhir tahun kedua pembayaran sebesar 50% dari modal pinjaman
  - b. Pada akhir masa konstruksi dibayarkan sisa modal pinjaman
3. Pengembalian pinjaman dalam waktu 10 tahun sebesar =
4. Umur pabrik diperkirakan sebesar 10 tahun dan depresiasi 10% per tahun
5. Kapasitas produksi
  - Tahun 1 = 80%
  - Tahun 2 = 95%
  - Tahun 3 = 100%
6. Pajak pendapatan  
Pajak pendapatan = 35% (Pasal 17 UU PPh no.17,2000)
7. Kebutuhan investasi dipenuhi dengan cara modal sendiri dan modal pinjaman dari bank. Modal sendiri dipergunakan untuk penyediaan modal tetap (FCI) pada tahun pertama masa konstruksi dan sisanya untuk memenuhi kebutuhan modal kerja (WCI). Modal pinjaman di bank diperlukan untuk menambah kekurangan modal kerja (WCI). Adapun total investasi pada akhir masa konstruksi sebagai berikut :

Total Investasi pada Akhir Masa Konstruksi

Masa Konstruksi	%	Modal Pinjaman (Rp)		Jumlah (Rp)
		Jumlah	Bunga 13%	
-2	50	77.384.452.440,70		77.384.452.440,70
-1	50	77.384.452.440,70		77.384.452.440,70
0	-		72.388.885.502,29	72.388.885.502,29
<b>Modal pinjaman pada akhir masa konstruksi</b>				<b>227.157.790.383,70</b>

**Keuntungan (Profit)**

Proyeksi Laba-Rugi selama 10 Tahun Produksi

Tahun ke-	%	Lab a Sebelum Pajak (Rp)	Pajak (Rp)	Lab a Sesudah Pajak (Rp)
0	0%			
1	80%			
2	95%	192.945.996.841,72	67.531.098.894,60	125.414.897.947,12
3	100%	237.829.122.149,12	83.240.192.752,19	154.588.929.396,93
4	100%	252.790.163.918,26	88.476.557.371,39	164.313.606.546,87
5	100%	252.790.163.918,26	88.476.557.371,39	164.313.606.546,87
6	100%	252.790.163.918,26	88.476.557.371,39	164.313.606.546,87
7	100%	252.790.163.918,26	88.476.557.371,39	164.313.606.546,87
8	100%	252.790.163.918,26	88.476.557.371,39	164.313.606.546,87
9	100%	252.790.163.918,26	88.476.557.371,39	164.313.606.546,87
10	100%	252.790.163.918,26	88.476.557.371,39	164.313.606.546,87
<b>Rata-rata</b>		<b>245.309.643.033,69</b>		<b>159.451.267.971,90</b>

Sehingga didapatkan nilai-nilai sebagai berikut :

**Percent Profit on Sales (POS)**

*Percent Profit on Sales (POS) sebelum pajak*

$$\begin{aligned} \text{POS sebelum pajak} &= \frac{\text{Profit sebelum pajak}}{\text{Harga Penjualan}} \times 100\% \\ &= \frac{245.309.643.033,69}{1.610.000.000.000,00} \times 100\% \\ &= 15,24\% \end{aligned}$$

*Percent Profit on Sales (POS) sesudah pajak*

$$\begin{aligned} \text{POS sesudah pajak} &= \frac{\text{Profit sesudah pajak}}{\text{Harga Penjualan}} \times 100\% \\ &= \frac{159.451.267.971,90}{1.610.000.000.000,00} \times 100\% \\ &= 9,90\% \end{aligned}$$

**Return on Investment (ROI)**

*Percent return on investment* adalah tingkat keuntungan yang dapat dihasilkan dari tingkat investasi yang dikeluarkan.

*Percent return on investment (ROI) sebelum pajak*

$$\begin{aligned} \text{ROI sebelum pajak} &= \frac{\text{Profit sebelum pajak}}{\text{FCI}} \times 100\% \\ &= \frac{245.309.643.033,69}{464.306.714.644,22} \times 100\% \\ &= 52,83\% \end{aligned}$$

*Percent return on investment (ROI) sesudah pajak*

$$\begin{aligned} \text{ROI sesudah pajak} &= \frac{\text{Profit sesudah pajak}}{\text{FCI}} \times 100\% \\ &= \frac{159.451.267.971,90}{464.306.714.644,22} \times 100\% \\ &= 34,34\% \end{aligned}$$

### ***Pay Out Time (POT)***

*Pay Out Time* adalah waktu pengembalian modal yang dihasilkan berdasarkan keuntungan yang dicapai. Perhitungan ini diperlukan untuk mengetahui berapa tahun investasi yang telah dilakukan akan kembali.

$$\begin{aligned} \text{POT sebelum pajak} &= \frac{\text{FCI}}{\text{Depresiasi} + \text{Profit}} \\ &= \frac{464.306.714.644,22}{46.430.671.464,42 + 245.309.643.033,69} \\ &= 1,59 \text{ Tahun} \end{aligned}$$

*Pay Out Time (POT)* sesudah pajak

$$\begin{aligned} \text{POT sesudah pajak} &= \frac{\text{FCI}}{\text{Depresiasi} + \text{Profit}} \\ &= \frac{464.306.714.644,22}{46.430.671.464,42 + 159.451.267.971,90} \\ &= 2,26 \text{ Tahun} \end{aligned}$$

### **Interest Rate of Return (IRR)**

Interest rate of return (IRR) berdasarkan discounted cash flow adalah suatu tingkat bunga tertentu dimana seluruh penerimaan akan tetap menutup seluruh jumlah pengeluaran modal. Cara yang dilakukan adalah dengan trial *i*, yaitu laju bunga. Nilai *i* yang didapatkan sudah dianggap benar apabila *present value* sama dengan total investasi.

Berikut persamaan *present value* :

$$\text{Present Value} = \sum \left( \frac{CF}{(1+i)^n} \right)$$

Keterangan :

*n* = Tahun

CF = Cash flow pada tahun ke *n*

Discounted Cash Flow untuk nilai I

Tahun ke-n	Arus Kas (Rp)	Trial nilai i	Nilai Sekarang (PV)
		30,34%	
1	171.845.569.411,54	0,7672	131.842.048.105,75
2	201.019.600.861,35	0,5886	118.323.119.048,98
3	210.744.278.011,29	0,4516	95.170.553.754,65
4	210.744.278.011,29	0,3465	73.016.026.944,07
5	210.744.278.011,29	0,2658	56.018.799.727,08
6	210.744.278.011,29	0,2039	42.978.316.599,81
7	210.744.278.011,29	0,1565	32.973.496.518,18
8	210.744.278.011,29	0,1200	25.297.674.703,23
9	210.744.278.011,29	0,0921	19.408.689.188,83
10	210.744.278.011,29	0,0707	14.890.586.603,23
<b>Total PV, pada suku bunga</b>		<b>30,34%</b>	<b>609.919.311.193,80</b>

Nilai sekarang dari arus kas pada suku bunga = Rp 609.919.311.193,80

Investasi awal = Rp 609.952.881.790,38

$$\text{Ratio} = \frac{\text{Rp } 609.919.311.193,80}{\text{Rp } 609.952.881.790,38} \times 100\%$$

$$= 100\%$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai i sebesar 30,34% /tahun. Harga i yang diperoleh lebih besar dari harga i untuk pinjaman modal pada bank. Hal ini menunjukkan bahwa pabrik layak untuk didirikan dengan kondisi tingkat bunga bank sebesar 8,2% /tahun.

**Break Even Point**

*Break event point* adalah titik yang menunjukkan pada tingkat berapa biaya dan penghasilan jumlahnya sama. BEP dapat menentukan tingkat berapa harga jual dan jumlah unit yang dijual secara minimum dan berapa serta unit penjualan yang harus dicapai agar mendapatk keuntungan. Range nilai BEP masih diijinkan berkisar 40-60%

Perhitungan BEP dengan persamaan :

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

Keterangan :

S = total harga penjualan  
 FC = biaya tetap (*Fixed Charges*)  
 SVC = biaya semi variable  
 VC = biaya variable (*variable cost*)

**Total Harga Penjualan (S)**

S= Rp 1.610.000.000.000,00

**Biaya Tetap (FC)**

Depresiasi	=	46.430.671.464,42
Pajak Kekayaan	=	18.572.268.585,77
Asuransi	=	4.643.067.146,44
Total	=	37.603.825.393,63

**Biaya Semi Variabel (SVC)**

Gaji Karyawan	=	10.780.800.000,00
Plant Overhead Cost	=	10.572.507.146,44
Pengawasan Pabrik	=	1.078.080.000,00
General Expenses	=	495.306.217.900,50
Laboratorium	=	1.078.080.000,00
Pemeliharaan Dan Perbaikan	=	9.286.134.292,88
Operating Supplies	=	928.613.429,29
Total	=	529.030.432.769,12

**Biaya Variabel (VC)**

Bahan Baku	=	698.357.068.117,69
Utilitas	=	637.864.887,70
Patent and Royalties	=	33.299.340.722,95
Total	=	712.102.724.651,57

Maka,

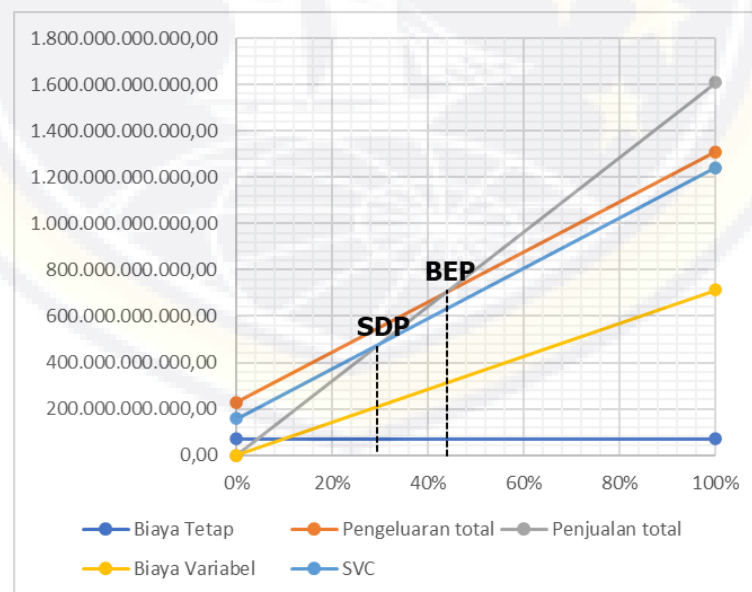
$$\begin{aligned}
 \text{BEP} &= \frac{\text{FC} + 0,3 \text{ SVC}}{\text{S} - 0,7 \text{ SVC} - \text{VC}} \times 100\% \\
 &= \frac{37.603.825.393,63 + 0,3 (529.030.432.769,12)}{1.610.000.000.000,00 - 0,7(529.030.432.769,12) - 712.102.724.651,57} \times 100\% \\
 &= \frac{228.355.137.027,37}{527.575.972.410,05} \times 100\% \\
 &= 43,3\%
 \end{aligned}$$

### Shut Down Point

*Shut Down Point* adalah suatu titik atau saat penentuan aktivitas produksi dihentikan. Penyebabnya antara lain *variable cost* yang terlalu tinggi, atau karena keputusan manajemen akibat tidak ekonomisnya suatu aktivitas produksi (tidak menghasilkan keuntungan). Pabrik layak didirikan apabila Persentase SDP lebih kecil dari Persentase BEP.

Perhitungan SDP dengan persamaan

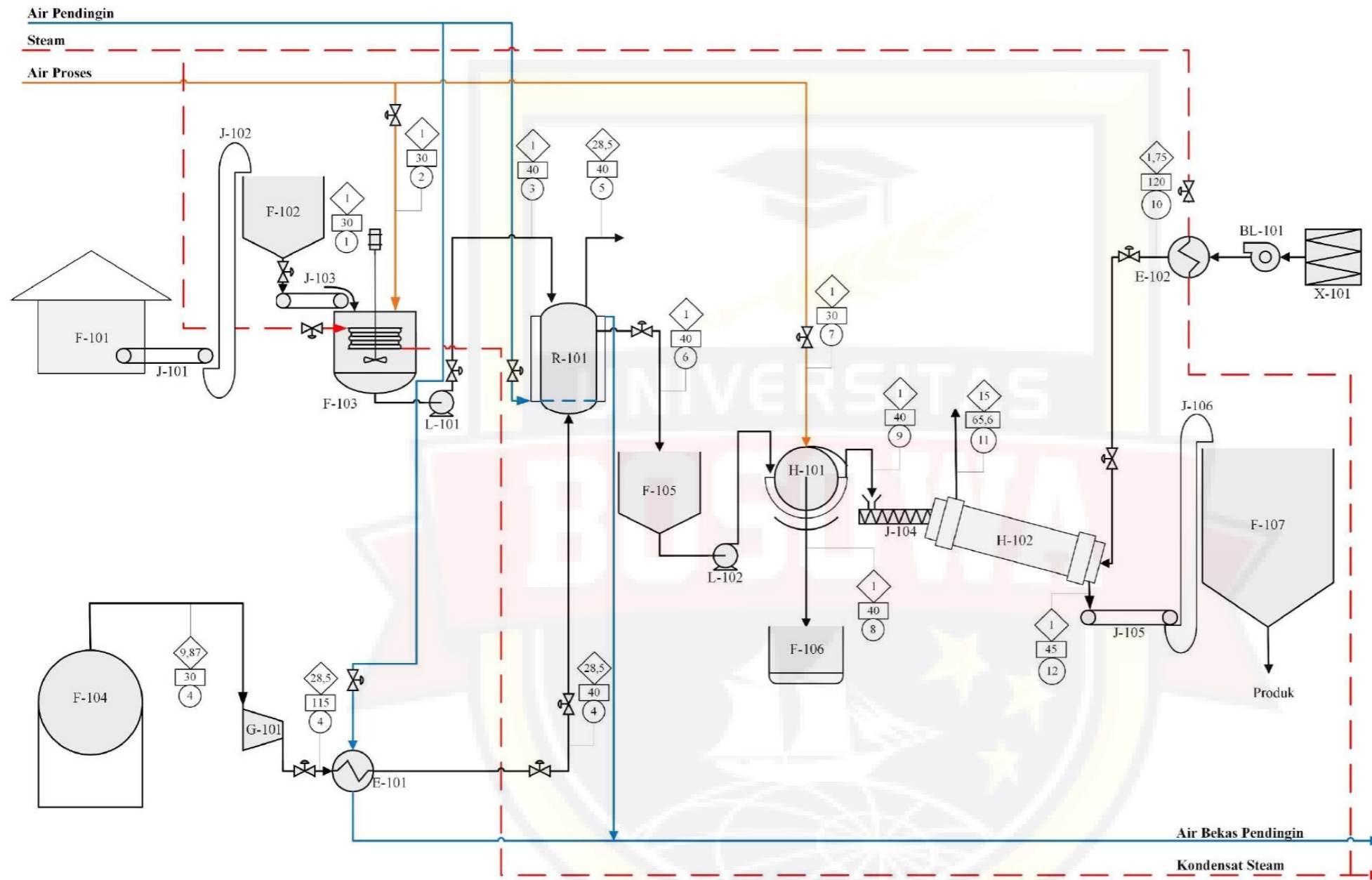
$$\begin{aligned}
 \text{SDP} &= \frac{0,3 \text{ SVC}}{\text{S} - 0,7 \text{ SVC} - \text{VC}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,3 (529.030.432.769,12)}{1.610.000.000.000,00 - 0,7(529.030.432.769,12) - 712.102.724.651,57} \times 100\% \\
 &= \frac{158.709.129.830,74}{527.575.972.410,05} \times 100\% \\
 &= 30,1\%
 \end{aligned}$$



Grafik BEP dan SDP Pabrik Natrium Bikarbonat Kapasitas 115.000 Ton/Tahun



## FLOWSHEET PRA RANCANGAN PABRIK NATRIUM BIKARBONAT DARI NATRIUM KARBONAT DAN KARBON DIOKSIDA KAPASITAS 115.000 TON/TAHUN



KOMPONEN	LAJU ALIR MASSA (KG/JAM)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	9.482,817064		9.482,817064			284,484512		284,484512				
H <sub>2</sub> O	193,526879	18.584,328693	18.777,855572	1,643153	1,643153	17.215,874573	655,923509	16.610,434446	1.261,363636		1.246,843434	14.520202
CO <sub>2</sub>				3.936,263687	118,087911							
N <sub>2</sub>				12,268874	12,268874							
H <sub>2</sub>				2,519501	2,519501							
CH <sub>4</sub>				0,584232	0,584232							
NaHCO <sub>3</sub>						14.578,489328		72,807510	14.505,681818			14.505,681818
Udara										58.382,905897	58.382,905897	
<b>TOTAL</b>	<b>9.676,343943</b>	<b>18.584,328693</b>	<b>28.260,672636</b>	<b>3.953,279446</b>	<b>135,103670</b>	<b>32.078,848412</b>	<b>655,923509</b>	<b>16.967,726467</b>	<b>15.767,045455</b>	<b>58.382,905897</b>	<b>59.629,749331</b>	<b>14.520,202020</b>

KETERANGAN SIMBOL	
◇	TEKANAN (ATM)
□	SUHU (°C)
○	NOMOR ARUS MASSA
KETERANGAN KODE ALAT	
KODE	NAMA ALAT
F-101	STORAGE Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
J-101	BELT CONVEYOR I
J-102	BUCKET ELEVATOR I
F-102	BIN Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
J-103	BELT CONVEYOR II
F-103	TANGKI PELARUTAN
L-101	POMPA LARUTAN Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
F-104	STORAGE GAS CO <sub>2</sub>
G-101	KOMPRESOR CO <sub>2</sub>
E-101	COOLER
R-101	REAKTOR
F-105	TANGKI PRODUK REAKTOR
L-102	POMPA PRODUK REAKTOR
H-101	ROTARY DRUM VACUUM FILTER
F-106	TANGKI FILTRAT
J-104	SCREW CONVEYOR
BL-101	BLOWER
H-102	ROTARY DRYER
E-102	AIR HEATER
X-101	AIR FILTER
J-105	BELT CONVEYOR III
J-106	BUCKET ELEVATOR II
F-107	BIN PRODUK AKHIR
<b>PRA RANCANGAN PABRIK NATRIUM BIKARBONAT DARI NATRIUM KARBONAT DAN KARBON DIOKSIDA DENGAN KAPASITAS 115.000 TON/TAHUN</b>	
<b>SARI ANDIRA TAHIR 4518044023</b>	
<b>PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BOSOWA 2023</b>	