

**PRARANCANGAN PABRIK KARBON DIOKSIDA DARI *FLUE*  
GAS DENGAN KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Kimia**



Disusun Oleh :

Suprapti 18521131

Nezila Helani 18521122

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**YOGYAKARTA**

**2022**

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PRA-RANCANGAN PABRIK

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : 1. Suprapti (18521131)

2. Nezila Helani (18521122)

Jurusan : Teknik Kimia

Fakultas : Teknologi Industri

Judul Tugas Akhir : Prarancangan Pabrik karbon Dioksida *Dari Flue Gas* Dengan kapasitas 100.000 Ton/tahun

Dengan ini menyatakan bahwa laporan tugas akhir kami merupakan karya asli yang murni dilakukan mandiri tanpa ada campur tangan orang lain dan data yang kami dapatkan merupakan data asli dari hasil tugas akhir prarancangan pabrik kami tanpa ada plagiasi karya orang lain. Demikian surat pernyataan keaslian kami tulis dengan sebenar- benarnya tanpa ada paksaan dari pihak luar.

Yogyakarta, 28 Juli 2022

Mahasiswa 1

Mahasiswa 2



Suprapti  
(18521131)



Nezila Helani  
(18521122)

## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

Laporan hasil Tugas Akhir Prarancangan Pabrik dengan judul “ Prarancangan Pabrik karbon Dioksida Dari *Flue Gas* Dengan kapasitas 100.000 Ton/tahun”

Disusun oleh:

**Suprapti**

(18521131)

**Nezila Helani**

(18521122)

Yogyakarta, 28 Juli 2022



Mengetahui,  
Dosen Pembimbing Tugas Akhir Prarancangan Pabrik Teknik Kimia  
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Dosen Pembimbing I

Dosen pembimbing II

Drs.,Ir.,Faisal RM,M.T.,Ph.D

Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T,M.Eng.

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI**

**PRA RANCANGAN PABRIK KARBON DIOKSIDA DARI FLUE GAS  
KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN**

Oleh:

Nama : Suprapti

Nama : Nezila Helani

Nim : 18521131

Nim : 18521122

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Kimia  
Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta,



Tim Penguji,

Drs., Ir., Faisal RM, M.T., Ph.D  
Ketua

Dr. Ariany Zulkania, S.T., M.Eng.  
Anggota I

Lilis Kistriyani, S.T., M.Eng.  
Anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Kimia  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia



Dr. Suharno Rusdi

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT dan juga berkah, rahmat, petunjuk serta hidayah-Nya yang senantiasa diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“PRA RANCANGAN PABRIK KARBON DIOKSIDA DARI FLUE GAS KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN”** sebagai syarat dalam menyelesaikan Program Sarjana (S1) dalam Program Sarjana Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan tugas akhir ini banyak sekali hambatan dan rintangan yang penulis hadapi namun akhirnya penulis bisa menyelesaikannya, hal ini karena adanya bantuan dan juga bimbingan dari banyak pihak baik moral maupun spiritual. Sehingga pada kesempatan ini dengan penuh rasa hormat dan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak dalam penyusunan tugas akhir ini hingga selesai, terutama kepada:

1. Allah SWT yang telah ridho kepada kami serta nikmat, rahmat, dan karunianya yang berlimpah
2. Bapak Dr. Suharno Rusdi, Ir.Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
3. Bapak Drs.,Ir.,Faisal RM,M.T.,Ph.D. dan Ibu Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T,M.Eng. selaku dosen pembimbing kami di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan banyak masukan maupun arahan dan selalu sabar dalam membimbing penulis
4. Seluruh civitas akademika di lingkungan Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
5. Bapak/Ibu dosen dan staf di lingkungan Fakultas Teknologi Industri UII, khususnya Program Studi Teknik Kimia yang telah banyak membantu penulis dalam masa studi.

6. Seluruh teman-teman Teknik Kimia angkatan 2018 yang saling bahu membahu memberikan dukungan, semangat, dan informasi
7. Seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung penulis tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari karena terbatasnya pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki penulis, tugas akhir yang dibuat ini masih sangat jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, penulis dengan senang hati menerima adanya saran, masukan, dan kritik yang membangun. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan pihak-pihak khususnya dalam bidang teknik kimia.

Yogyakarta, 28 Juli 2022

Penulis

## LEMBAR PERSEMBAHAN

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah memberikan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya kepada saya, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad *Shalallahu Alaihi Wassalam* hingga akhir hayat kita

Bapak Saptono dan Ibu Kiswati serta Mbak saya, Mbak Tini yang selalu memberikan do'a dan motivasi dan kasih sayang yang luar biasa. Terima kasih telah berjuang dan berkorban untuk saya hingga saya bisa di tahap ini.

Nezila Helani (Eji) sebagai partner pra rancangan pabrik saya, dari mulaisemester pertama, kerja praktek (KP) dan penelitian yang sudah sabar selama ini dan terus berjuang dalam penyusunan pra rancangan pabrik ini. Terima kasih atas waktu, ilmu, Kerjasama dan semangat selama ini. Semoga kita bisa mendapatkan ilmu yang bermanfaat untuk diri sendiri maupun orang lain,

Bapak Drs.,Ir.,Faisal. RM,M.T.,Ph.D selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Dr. Dyah Retno sawitri, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II, terimakasih atas bimbingan dan arahnya selama ini sehingga dapat menyelesaikannya tugas akhir dengan baik.

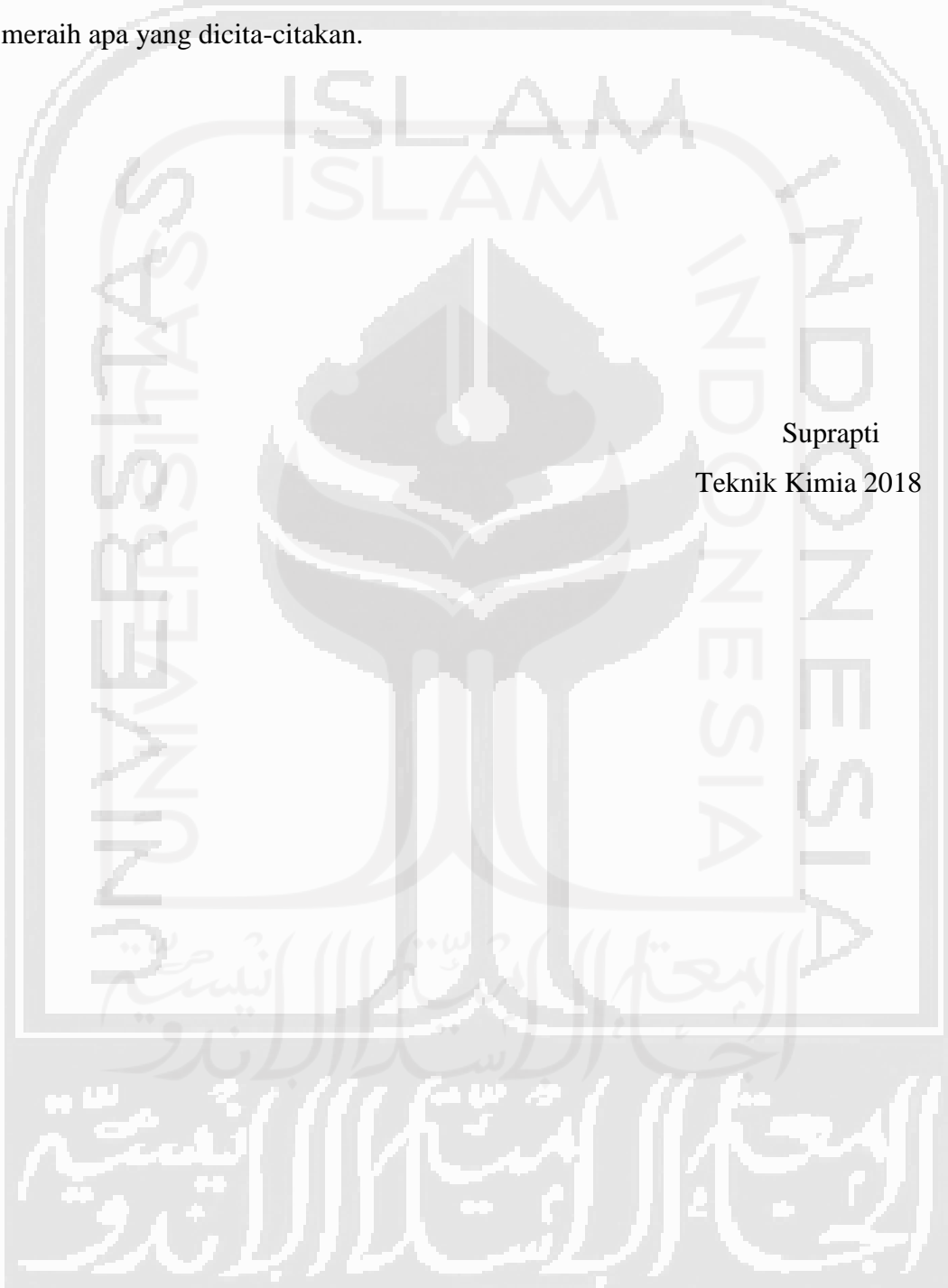
Kumpulan orang depresi (Mbak Liya dan Mbak Nurma) sahabat saya, terima kasih telah memberikan dukungan dari jaman SMA jadi kakak kelas saya hingga saat ini. Semoga kita sukses untuk kedepannya dan dapat dipertemukan kembali dalam keadaan yang paling baik dan tetap *happy kiyowo*.

Amel, sahabat saya yang telah mensupport saya dan sekaligus tempat *sambat* dalam segala perkara termasuk mengerjakan tugas akhir ini. Semoga kita sama-sama sukses kedepannya.

Niha sahabat saya dari jaman ospek yang selalu menemani jalan-jalan, *healing* biar gak stres dan berprogres bersama. Semoga kita bisa sama-sama sukses kedepannya.

Teknik Kimia UII 2018, almamater tercinta, yang punya andil besar di dalam membentuk karakter pribadi menjadi lebih baik. Terimakasih sudah mengizinkan saya untuk menjadi bagian dari keluarga ini. Semoga kalian dapat meraih apa yang dicita-citakan.

Suprapti  
Teknik Kimia 2018





Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya kepada saya, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar. Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad Shalallahu Alaihi Wassalam hingga akhir hayat kita

Bapak Hendri dan Ibu Nensi serta adik saya, Echa yang selalu memberikan do'a dan motivasi dan kasih sayang yang luar biasa. Terima kasih untuk selalu mendukung saya dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Prapti sebagai partner pra rancangan pabrik saya, dari penelitian yang sudah sabar selama ini dan terus berjuang dalam penyusunan pra rancangan pabrik ini. Terima kasih atas waktu, ilmu, dan semangat selama ini. Semoga kita bisa mendapatkan ilmu yang bermanfaat untuk diri sendiri maupun orang lain,

Bapak Drs.,Ir.,Faisal RM,M.T.,Ph.D selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu Dr. Dyah Retno Sawitri, S.T,M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II, terimakasih atas bimbingan dan arahnya selama ini sehingga dapat menyelesaikannya tugas akhir dengan baik.

Teruntuk sahabat saya (Dila, Siti, Vina, Utari, Nurul, Isti, Kristin, Dinda, dan Intan), terima kasih telah memberikan dukungan dari jaman smp hingga saat ini. Semoga kita diberikan ilmu yang bermanfaat dan sukses untuk kedepannya dan dapat dipertemukan kembali dalam keadaan yang paling baik.

Teknik Kimia UII 2018, almamater tercinta, yang punya andil besar di dalam membentuk karakter pribadi menjadi lebih baik. Terimakasih sudah mengizinkan saya untuk menjadi bagian dari keluarga ini. Semoga kalian dapat meraih apa yang dicita-citakan.

Nezila Helani

Teknik Kimia 2018

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PRA-RANCANGAN PABRIK..1	
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING.....	2
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI .....	3
PERANCANGAN PABRIK.....	3
KATA PENGANTAR .....	4
DAFTAR ISI.....	9
DAFTAR GAMBAR .....	14
ABSTRAK.....	15
<i>ABSTRACT</i> .....	16
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>17</b>
1.1 Latar Belakang.....	17
1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik.....	18
1.2.1 Kapasitas Pabrik CO <sub>2</sub> yang Telah Berdiri.....	18
1.2.2 Ketersediaan Bahan Baku.....	19
1.2.3 Kebutuhan Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ) di Indonesia .....	20
1.2.4 Kapasitas Perancangan .....	20
1.3 Tinjauan Pustaka.....	21
1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika .....	26
<b>BAB II PERANCANGAN PRODUK.....</b>	<b>30</b>
2.1 Spesifikasi Produk .....	30
2.2 Spesifikasi Bahan Baku .....	31
2.3 Pengendalian Kualitas.....	31

<b>BAB III PERANCANGAN PROSES .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Diagram Alir Proses dan Material .....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Uraian Proses .....</b>	<b>35</b>
3.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku .....	35
<b>3.3 Spesifikasi Alat.....</b>	<b>38</b>
3.3.1 Reaktor .....	38
3.3.2 Alat Penyimpanan Bahan .....	40
3.3.3 Alat Transportasi Bahan.....	40
3.3.4 Alat Pemisah.....	45
3.3.5 Alat Penukar Panas.....	48
<b>3.4 Neraca Massa .....</b>	<b>54</b>
<b>3.5 Neraca Panas .....</b>	<b>57</b>
<b>BAB IV PERANCANGAN PABRIK .....</b>	<b>60</b>
4.1 Lokasi Pabrik .....	60
4.1.1. Penyediaan Bahan Baku .....	61
4.1.2. Pemasaran Produk .....	61
4.1.3. Tenaga Kerja .....	61
4.1.4. Utilitas .....	62
4.1.5. Transportasi .....	62
4.1.6. Keadaan Iklim dan Tanah.....	62
4.1.7. Rincian Luas Tanah.....	63
4.3 Tata letak Mesin/Alat Proses (Machines Layout).....	68
4.4 Organisasi Perusahaan .....	69
4.4.3 Struktur Organisasi Perusahaan.....	71

4.4.4	Tugas dan Wewenang Karyawan .....	74
1.	Pemegang saham .....	74
2.	Dewan Komisaris.....	74
3.	Dewan Direksi .....	75
a.	Direktur Produksi.....	75
b.	Direktur Keuangan dan Umum.....	75
c.	Direktur Keuangan dan Umum.....	76
4.	Staff Ahli.....	76
5.	Kepala Bagian.....	76
a.	Kepala Bagian Produksi.....	76
6.	Kepala Bagian teknik.....	77
7.	Kepala Seksi .....	80
4.4.5	Status Kerja Karyawan.....	80
4.4.4	Jam Kerja Karyawan .....	81
<b>BAB V UTILITAS.....</b>		<b>92</b>
<b>BAB VI EVALUASI EKONOMI .....</b>		<b>122</b>
<b>BAB VII PENUTUP.....</b>		<b>145</b>
5.1	Kesimpulan .....	145
DAFTAR PUSTAKA .....		147
LAMPIRAN.....		150
Resume Mechanical Design.....		156

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data Pabrik CO <sub>2</sub> di Indonesia .....	16
Tabel 1. 2 Data Pabrik Semen di Indonesia dan Hasil <i>Flue Gas</i> -nya .....	17
Tabel 1. 3 Data Impor CO <sub>2</sub> .....	18
Tabel 1. 4 Komposisi <i>Flue Gas</i> Dari Cerobong Pabrik Semen.....	20
Tabel 1.5 Perbandingan Proses Penyerapan CO <sub>2</sub> .....	22
Tabel 1. 6 Harga $\Delta H_f^\circ$ Masing-Masing Komponen .....	27
Tabel 1. 7 Harga $\Delta G_f^\circ$ Masing-Masing Komponen.....	28
Tabel 2. 1 Spesifikasi Produk Utama (CO <sub>2</sub> ) Cair.....	28
Tabel 2. 2 Spesifikasi Bahan Baku <i>Flue gas</i> Dari Industri Semen .....	29
Tabel 3. 1 Jenis-Jenis Absorben CO <sub>2</sub> .....	33
Tabel 3. 2 Spesifikasi Separator .....	41
Tabel 3. 3 Spesifikasi Kondensor 01 .....	44
Tabel 3. 4 Spesifikasi Kondensor 02.....	45
Tabel 3. 5 Spesifikasi Heater 01.....	46
Tabel 3. 6 Spesifikasi Heater 02.....	47
Tabel 3. 7 Spesifikasi Cooler 01 .....	49
Tabel 3. 9 Rekap Neraca Massa Absorber .....	53
Tabel 3. 10 Rekap Neraca Massa Lye Boiler .....	54
Tabel 3. 11 Rekap Neraca Massa separator .....	54
Tabel 3. 12 Neraca Massa Total.....	56
Tabel 3. 13 Neraca Panas Absorber .....	57
Tabel 3. 14 Neraca Panas Lye Boiler .....	57
Tabel 3. 15 Neraca Panas Separator.....	57
Tabel 3. 16 Neraca Panas Condenser-1.....	58
Tabel 3. 17 Neraca Panas Condenser-2.....	58
Tabel 3. 20 Neraca Panas Compressor.....	58
Tabel 3. 21 Neraca Panas Heater-01 .....	59
Tabel 3. 22 Neraca Panas Heater-02 .....	59
Tabel 3. 23 Neraca Panas Cooler-01 .....	59

Tabel 4. 1 Rincian Luas Tanah .....	64
Tabel 4. 2 Jadwal Kerja Karyawan Shift.....	83
Tabel 4. 3 Jumlah Pekerja & Kualifikasi Golongan Pekerja.....	84
Tabel 4. 4 Golongan Jabatan .....	86
Tabel 4. 5 Rincian Gaji Sesuai Jabatan .....	87
Tabel 5. 1 Kebutuhan Air Pendingin.....	99
Tabel 5. 2 Total Kebutuhan Air .....	102
Tabel 5. 3 Total Kebutuhan Steam.....	103
Tabel 5. 4 Total Kebutuhan Listrik .....	104
Tabel 5. 5 Total Kebutuhan Listrik .....	104
Tabel 5. 6 Total Kebutuhan Listrik .....	106
Tabel 5. 7 Spesifikasi Pompa Utilitas .....	109
Tabel 5. 8 Spesifikasi Pompa Utilitas (2).....	109
Tabel 5. 9 Spesifikasi Pompa Utilitas (3).....	110
Tabel 5. 10 Spesifikasi Pompa Utilitas (4).....	111
Tabel 5. 11 Spesifikasi Bak Utilitas .....	112
Tabel 5. 12 Spesifikasi Bak Utilitas (2) .....	113
Tabel 5. 13 Spesifikasi Tangki Utilitas .....	113
Tabel 5. 14 Spesifikasi Bak Utilitas (2) .....	114
Tabel 5. 15 Spesifikasi Screeing Utilitas .....	115
Tabel 5. 16 Spesifikasi Screening Utilitas (2).....	115
Tabel 5. 17 Spesifikasi Cooling Tower.....	115
Tabel 5. 18 Spesifikasi Mixed Bed .....	116
Tabel 5. 19 Spesifikasi Dearator .....	116
Tabel 5. 20 Spesifikasi Blower Cooling Tower .....	117



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif .....	32
Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif .....	32
Gambar 4. 1 Lokasi Pendirian Pabrik .....	61
Gambar 4. 2 Tata Letak Pabrik .....	66
Gambar 4. 3 Tata Letak Alat.....	69
Gambar 4. 4 Struktur Organisasi Perusahaan.....	75
Gambar 5. 1 Flow Utilitas .....	94

## ABSTRAK

Karbon dioksida merupakan senyawa kimia dengan rumus molekul  $\text{CO}_2$ . Karbon dioksida adalah gas rumah kaca yang penting karena ia menyerap gelombang inframerah dengan kuat. Karbon dioksida atau  $\text{CO}_2$  adalah gas cair tidak berwarna, tidak berbau, tidak mudah terbakar, dan sedikit asam.  $\text{CO}_2$  lebih berat daripada udara dan larut dalam air. Peluang berkembangnya industri karbon dioksida di Indonesia cukup besar, mengingat kebutuhannya yang terus meningkat dan jumlah impor yang masih tinggi. Saat ini belum ada pabrik karbon dioksida yang tercatat telah berdiri di Indonesia. Pabrik karbon dioksida ini direncanakan akan dibangun di Kabupaten Gresik, Jawa Timur dengan kapasitas produksi 100.000 ton/tahun yang beroperasi selama 330 hari. Metode pembuatan  $\text{CO}_2$  yang digunakan yaitu dengan cara menyerap senyawa  $\text{CO}_2$  yang berasal dari limbah gas buang pada PT. Semen Gresik Indonesia. Proses penyerapan dilakukan menggunakan absorber berupa  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pada *absorber packed column*. Gas  $\text{CO}_2$  yang telah diserap selanjutnya dikondensasikan dan disimpan dengan suhu  $-13^\circ\text{C}$  pada tekanan 20 atm. Untuk mencapai kapasitas produksi 100.000 ton/tahun dibutuhkan bahan baku gas buang sebesar 1.535.9582,42 ton/tahun. Utilitas yang dibutuhkan yaitu 913.272,64 kg/jam air pendingin, 18.041.538,67 kg/jam steam, udara tekan  $54,2045 \text{ m}^3/\text{jam}$ , 104,0140 kW listrik, 305,0209 kg/jam bahan bakar. Hasil analisis menunjukkan bahwa pabrik karbon dioksida ini memiliki tingkat resiko rendah (low risk) dengan pajak sebesar 20%, *Return on Investment (ROI)* minimal sebesar 11%, *Pay Out Time (POT)* maksimal sebesar 5 tahun, dan *Break Even Point (BEP)* sebesar 40-60%. Hasil evaluasi ekonomi pabrik karbon dioksida ini menunjukkan keuntungan sebelum pajak sebesar Rp 55,651,935,481.86 sebelum pajak sebesar 36.88 %, POT sebelum pajak 2,13 tahun, BEP sebesar 57.93%, *Shut Down Point (SDP)* sebesar 43.10%, dan *Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFRR)* sebesar 5,25%. Berdasarkan hasil evaluasi ekonomi ini, dapat disimpulkan bahwa pabrik karbon dioksida secara ekonomi layak untuk didirikan.

**Kata Kunci:** Absorber, Gas buang, Karbon dioksida,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , Pabrik Karbon Dioksida



## ABSTRACT

Carbon dioxide is a chemical compound with the molecular formula  $\text{CO}_2$ . Carbon dioxide is an important greenhouse gas because it absorbs infrared waves strongly. Carbon dioxide or  $\text{CO}_2$  is a colorless, odorless, non-flammable and slightly acidic liquefied gas.  $\text{CO}_2$  is heavier than air and soluble in water. The opportunity for the development of the carbon dioxide industry in Indonesia is quite large, given the increasing demand and the high number of imports. Currently, there is no recorded carbon dioxide plant in Indonesia. This carbon dioxide plant is planned to be built in Tuban, Gresik Regency, East Java with a production capacity of 100,000 tons/year which operates for 330 days. The method of making  $\text{CO}_2$  used is by absorbing  $\text{CO}_2$  compounds from waste gas at PT. Semen Gresik Indonesia. The absorption process was carried out using an absorber in the form of  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  in an absorber packed column. The absorbed  $\text{CO}_2$  gas is then condensed and stored at  $-13^\circ\text{C}$  at 20 atm pressure. To achieve a production capacity of 100,000 tons/year, the raw material for exhaust gas is 1,535,9582.42 tons/year. The utilities needed are 913,272.64 kg/hour cooling water, 18,041,538.67 kg/hour steam, 54.2045 m<sup>3</sup>/hour compressed air, 104.0140 kW electricity, 305.0209 kg/hour fuel. The results of the analysis show that this carbon dioxide plant has a low risk level with a tax of 20%, a minimum Return on Investment (ROI) of 11%, a maximum Pay Out Time (POT) of 5 years, and a Break Even Point (BEP).by 40-60%. The results of the economic evaluation of the carbon dioxide factory show a profit before tax of Rp 55,651,935,481.86 before tax of 36.88 %, POT before tax of 2.13 years, BEP of 57.93%, Shut Down Point (SDP) of 43.10%, and Discounted Cash Flow Rate of Return. (DCFRR) of 5.25%. Based on the results of this economic evaluation, it can be concluded that a carbon dioxide plant is economically feasible to establish.

**Keywords:** Absorber, Carbon dioxide, Carbon Dioxide Plant, Exhaust gas, and  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang dengan jumlah penduduk sekitar 271.349.889 jiwa dengan tingkat pertumbuhan 1,04% pada tahun 2021 (BPS, 2021). Semakin bertambahnya penduduk, Indonesia memiliki permintaan kebutuhan hidup yang semakin tinggi, seperti bahan baku pangan dan tempat tinggal. Upaya dari pemerintah untuk memenuhi kebutuhan hidup masyarakat diantaranya dengan cara menambah pendirian pabrik, namun hal tersebut juga memiliki dampak negatif yaitu menambah pencemaran udara yang dihasilkan dari pelepasan gas buang sisa operasi ke udara. Kandungan gas buang yang dilepaskan di udara mengandung gas yang berbeda seperti CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan lain-lain, tergantung pada proses pembakarannya (Coskun et al, 2009).

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan salah satu kandungan yang ada di dalam gas buang, gas tersebut memiliki tekstur cair yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak mudah terbakar dan sedikit asam. Karbon dioksida lebih berat dari udara dan larut dalam air. CO<sub>2</sub> murni yang telah diolah memiliki banyak kegunaan untuk pengolahan berbagai macam industri. Saat ini Indonesia masih melakukan impor CO<sub>2</sub> untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Pada dasarnya CO<sub>2</sub> di lingkungan memiliki dua dampak sekaligus, yaitu dampak positif dan negatif. Dampak positif dari karbon CO<sub>2</sub> dapat digunakan dalam beberapa pengolahan industri. Sedangkan dampak negatif dari CO<sub>2</sub> dapat ditemukan di lingkungan masyarakat, contohnya pada polusi udara kendaraan maupun gas buang dalam operasional industri. Kandungan CO<sub>2</sub> yang terdapat dalam gas buang sangat tinggi, jika gas tersebut dibuang ke lingkungan dapat menyumbang emisi CO<sub>2</sub> sehingga menyebabkan peningkatan suhu di permukaan bumi yang menimbulkan efek rumah kaca.

Pabrik semen merupakan industri petrokimia yang menggunakan banyak energi selama produksi, sehingga pabrik semen merupakan jenis industri yang memberikan kontribusi emisi CO<sub>2</sub> yang tinggi dibandingkan dengan industri lainnya. Gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran batu kapur dan tanah

liat menghasilkan sekitar 0,5 ton CO<sub>2</sub> / ton semen, maka akan sangat membantu mengurangi emisi CO<sub>2</sub> jika gas buang dari pabrik semen dilakukan pengolahan lanjut untuk dimanfaatkan sebagai produk baru. Gas buang yang dihasilkan tersebut dapat diolah menjadi produk CO<sub>2</sub> dengan melihat kandungan CO<sub>2</sub> yang ada di dalamnya. Saat ini Indonesia memiliki satu pabrik CO<sub>2</sub> yang memproduksi CO<sub>2</sub> murni dari hasil pengolahan gas buang yaitu PT. Roda Manunggal Inti (anak perusahaan PT Pupuk Kujang). Selain dari pabrik tersebut, belum terdapat pengolahan lanjut untuk pemanfaatan gas buang dari pabrik semen, maka dari itu upaya untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> yang dibuang di lingkungan, dapat dilakukan dengan pengolahan lanjut untuk dijadikan produk yang bermanfaat, diantaranya adalah pendirian pabrik CO<sub>2</sub> cair.

## **1.2 Penentuan Kapasitas Pabrik**

Kapasitas pabrik merupakan faktor yang sangat penting dalam mendirikan pabrik, karena mempengaruhi perhitungan teknis dan ekonomis. Secara teoritis, semakin besar kapasitas sebuah pabrik, semakin besar keuntungannya, tetapi faktor-faktor lain harus dipertimbangkan ketika menentukan kapasitas.

### **1.2.1 Kapasitas Pabrik CO<sub>2</sub> yang Telah Berdiri**

Penetapan kapasitas pabrik yang akan digunakan untuk produksi, harus didasarpertimbangan keberadaan pabrik sejenis yang sudah berdiri. Di Indonesia belum terdapat pabrik CO<sub>2</sub> yang alokasi penjualannya kepada konsumen umum, namun terdapat beberapa pabrik CO<sub>2</sub> yang telah berdiri dengan produk CO<sub>2</sub> tersebut untuk konsumsi sendiri. Data pabrik CO<sub>2</sub> di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.1

**Tabel 1.1** Data Pabrik CO<sub>2</sub> di Indonesia

Perusahaan	Lokasi	Ton/Tahun
PT Pupuk Kujang <sup>(1)</sup>	Cikampek, Indonesia	50.000
PT RMI Krakatau Karbonindo <sup>(2)</sup>	Cilegon, Indonesia	184.000
PT Molindo <sup>(3)</sup>	Malang, Indonesia	15.360
Petro Oxo Nusantara <sup>(4)</sup>	Gresik, Indonesia	22.000

(Sumber:(1) antaranews.com, 2020 (2) Lestarini, A H, 2019 (3) molindo.co.id, 2022 (4) pon.co.id, 2022)

### 1.2.2 Ketersediaan Bahan Baku

Aspek lain yang perlu diperhatikan dalam menentukan kapasitas pabrik adalah ketersediaan bahan baku, perlu untuk memastikan bahwa pabrik yang akan dibangun menerima pasokan bahan baku yang berkesinambungan dan berkelanjutan. Bahan baku yang digunakan sebaiknya tersedia di dalam negeri, hal ini bertujuan untuk meminimalisir biaya transportasi bahan baku ke lokasi produksi. Bahan baku yang akan digunakan untuk pembuatan CO<sub>2</sub> cair yaitu *flue gas* dari pabrik semen. Data beberapa pabrik semen dan besaran *flue gas*-nya yang ada di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.2

**Tabel 1. 2** Data Pabrik Semen di Indonesia dan Hasil Flue Gas-nya

No	Nama Pabrik	Flue gas (Ton/Tahun)
1	PT. Semen Indonesia <sup>(1)</sup>	213.717
2	PT. Semen Gresik <sup>(2)</sup>	320.000
3	PT. Holcim Indonesia <sup>(3)</sup>	124.000
4	PT. Semen Padang <sup>(4)</sup>	43.000

(Sumber: (1) Asosiasi Semen Indonesia, 2018 (2) Laporan Tahunan PT Semen Gresik, 2019 (3) solusibangunindonesia.com, 2019 (4) semenpadang.co.id, 2022)

Dari data bahan baku yaitu *flue gas* yang berlimpah yang bisa didapatkan dari

pabrik semen di indonesia, maka dapat dipertimbangkan lanjut untuk pengolahan *flue gas* sebagai upaya pengurangan emisi gas CO<sub>2</sub> di Indonesia dan memanfaatkannya sebagai sumber penghasilan baru yang dapat memenuhi kebutuhan CO<sub>2</sub> Nasional maupun ekspor.

### 1.2.3 Kebutuhan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) di Indonesia

Kebutuhan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) di Indonesia dari tahun ketahun bisa dikatakan masih cukup tinggi, hal ini dapat dilihat dari jumlah kapasitas impor CO<sub>2</sub> setiap tahunnya. Pendirian pabrik CO<sub>2</sub> diharapkan dapat membantu mencukupi kebutuhan CO<sub>2</sub> tahunan. Data impor CO<sub>2</sub> dapat dilihat pada Tabel 1.3.

**Tabel 1. 3** Data Impor CO<sub>2</sub>

Tahun	CO <sub>2</sub> Impor (Ton)
2017	5974.33
2018	7288.17
2019	6901.7
2020	5156.94
2021	5642.67

*Sumber (Biro Pusat Statistik Indonesia, data tahun 2017-2021)*

Selain itu terdapat beberapa pertimbangan-pertimbangan pendirian pabrik CO<sub>2</sub> di Indonesia antara lain:

- a. Penghematan devisa negara, hal ini karena belum efisiennya pengelolaan CO<sub>2</sub> dalam negeri.
- b. Memacu pertumbuhan industri-industri yang menggunakan bahan CO<sub>2</sub>.
- c. Menambah devisa negara dengan meningkatkan komoditi ekspor CO<sub>2</sub> untuk memenuhi kebutuhan di luar negeri.
- d. Kelebihan hasil produksi nantinya dapat diekspor ke negara tetangga (ASEAN) yang rata-rata juga belum memproduksinya.

### 1.2.4 Kapasitas Perancangan

Pabrik karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dari bahan baku pemanfaatan *flue gas* di

Indonesia direncanakan akan didirikan pada tahun 2025, dengan penentuan kapasitas pabrik yang mengacu pada kapasitas pabrik CO<sub>2</sub> yang telah berdiri sebelumnya. Pada Tabel 1.1 diketahui bahwa pendirian pabrik CO<sub>2</sub> pada rentang kapasitas 15.360 - 301.776 ton/tahun, maka perkiraan kapasitas dapat ditentukan dengan mengambil rata-rata data pabrik yang telah berdiri, yaitu sekitar 114.627,2 ton/tahun.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tentang perkiraan kebutuhan CO<sub>2</sub> di Indonesia, ketersediaan bahan baku dan kapasitas pabrik yang sudah beroperasi ditetapkan kapasitas produksi rancangan pabrik CO<sub>2</sub> ini sebesar 100.000 ton/tahun. Diharapkan dengan kapasitas ini dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri dan sisanya dapat di ekspor ke negara lain. Negara yang akan dilakukan impor produk CO<sub>2</sub> yaitu ke negara India yang merupakan negara dengan produksi urea terbesar di dunia. Urea merupakan produk yang membutuhkan karbon dioksida yang sangat besar dalam produksinya. Pada tahun 2020, produksi urea di India adalah 24,6 juta ton yang menyumbang 37,62% dari produksi urea dunia. 5 negara teratas (lainnya adalah Federasi Rusia, Indonesia, Pakistan, dan Kanada) menyumbang 79,78% darinya. Total produksi urea dunia diperkirakan mencapai 65,4 juta ton pada tahun 2020 (*world data atlas, 2020*).

India melakukan impor CO<sub>2</sub> sebesar 2.441.792 ton/bulan, Pakistan melakukan impor CO<sub>2</sub> sebesar 234.755 ton/bulan, Kanada CO<sub>2</sub> sebesar 535.823 ton/bulan dan Rusia melakukan impor 1.577.136 ton/bulan. Impor dilakukan pada negara-negara tersebut dengan penyaluran melalui pemerintahan industry pada setiap negara.

### **1.3 Tinjauan Pustaka**

#### **1.3.1 Pabrik Semen**

Proses utama dalam industri semen adalah pembakaran. Selama proses pembakaran, terjadi reaksi mengubah bahan baku menjadi *klinker* dengan pelepasan CO<sub>2</sub>. Peralatan pembakaran utama dalam industri semen adalah *rotary kiln*. Saat ini, unit pembakaran tidak hanya mencakup *rotary kiln*, tetapi juga *preheater*. Ada dua jenis *preheater*, *mesh preheater* dan *suspension preheater* (*Locher and Kropp, 1986*). Pelepasan panas saat pembakaran umumnya terjadi

reaksi oksidasi yang mengandung unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Emisi hasil pembakaran yang umum berupa CO, CO<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub>. Emisi hidrokarbon yang terjadi akibat tidak bereaksinya hidrokarbon dengan oksigen dalam udara pembakaran. Sehingga hidrokarbon tersebut menjadi residu atau zat sisa yang terbawa pada gas buang hasil pembakaran.

### 1.3.2 Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) atau zat asam arang adalah sejenis senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon, senyawa ini berwujud gas tidak berwarna dan tidak berbau. Kandungan karbon dioksida di udara segar bervariasi antara 0,03% (300 ppm) bergantung pada lokasi (Sehabudin, 2011). Senyawa ini terjadi secara alami di lingkungan *terrestrial* dan diproduksi dengan cara yang berbeda, sedangkan CO<sub>2</sub> komersial biasanya berasal dari produk sampingan pada sebuah industri. Senyawa ini terdiri dari dua molekul oksigen yang terikat secara kovalen dengan molekul karbon. Gas ini dihasilkan oleh dekomposisi bahan-bahan organik serta respirasi dan pembakaran. Pada suhu kamar, karbon dioksida tidak mudah terbakar (Efendi, 2003).

### 1.3.3 Karbon Dioksida dalam *Flue Gas* industri semen

*Flue gas* merupakan gas buangan sisa produksi dalam pabrik yang dibuang ke atmosfer. *Flue gas* di dalamnya terkandung senyawa kimia yang beragam, salah satunya adalah CO<sub>2</sub>. Senyawa CO<sub>2</sub> yang terdapat dalam *flue gas* berpotensi menyebabkan pencemaran udara, terdapat sekitar 8% sumber pencemaran udara di dunia berasal dari CO<sub>2</sub> yang diperoleh dari industri pembuatan semen. Sumber emisi di industri semen berasal dari proses kalsinasi batu kapur yaitu dengan reaksi sebagai berikut:

1.  $\text{CaCO}_3 \text{-----} > \text{CaO} + \text{CO}_2$
2.  $\text{MgCO}_3 \text{-----} > \text{MgO} + \text{CO}_2$

Energi (panas) berasal dari pembakaran

bahan bakar: 1.  $C + O_2 \rightarrow CO_2$

Sumber emisi  $CO_2$  berasal dari proses kalsinasi dan energi dari pembakaran bahan bakar dan konsumsi listrik (Widodo Santoso, 2018).

**Tabel 1. 4** Komposisi *Flue Gas* Dari Cerobong Pabrik Semen

Komponen	Konsentrasi
$CO_2$	14-33% (w/w)
$NO_2$	5-10 of $NO_x$
$NO_x$	<200-3000 mg/ $Nm^3$
$SO_2$	<10-3500 mg/ $Nm^3$
$O_2$	8-14% (v/v)

Sumber (Bosoaga *et.al*, 2009)

#### 1.3.4 Jenis Proses Pengolahan Karbon Dioksida ( $CO_2$ ) dari *Flue Gas*

Teknologi yang digunakan untuk pengolahan karbon dioksida dari *flue gas* sisa produksi semen yaitu *post-combustion technologies* yang merupakan proses pemisahan  $CO_2$  dari gas buang setelah pembakaran. Umumnya  $CO_2$  dari gas buang sekitar (8-15%) dengan gas *inert* seperti: nitrogen, argon, dan air. Terdapat berbagai proses *post-combustion technologies* yang dapat digunakan untuk menangkap  $CO_2$  dari gas *kiln-off* yaitu penyerapan kimia, pemisahan membran, dan penyerapan dengan padatan (Marta G. Plaza *et.al* 2020).



**Tabel 1.5** Perbandingan Proses Penyerapan CO<sub>2</sub>

<b>Metode</b>	<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
Penyerapan Kimia	Selektivitas bentuk pemisahan ini relatif tinggi maka aliran CO <sub>2</sub> yang dihasilkan lebih murni hingga 99,9%	Biaya sedikit lebih mahal dari pada penyerapan menggunakan padatan.
Pemisahan Membran	Pemisahan membran secara teoritis bisa mencapai tingkat penangkapan lebih besar dari 80%	Selektivitas pemisahan berbasis membran rendah, dan hanya sebagian kecil dari CO <sub>2</sub> masuk yang dapat ditangkap dan biaya mahal
Penyerapan dengan Padatan	Tingkat penangkapan CO <sub>2</sub> yang stabil 80–90%	Harga relative lebih murah.

#### 1.3.4.1 Penyerapan Kimia (*Chemical Absorption*)

Absorpsi kimia melibatkan reaksi CO<sub>2</sub> dengan pelarut kimia untuk membentuk senyawa antara dengan ikatan lemah sehingga dapat diregenerasi dengan cara dipanaskan untuk memproduksi pelarut kimia dan aliran CO<sub>2</sub>. Selektivitas bentuk pemisahan ini relatif tinggi maka aliran CO<sub>2</sub> yang relatif murni dapat dihasilkan (Marta G. Plaza *et.al* 2020). Faktor-faktor ini membuat absorpsi kimia cocok untuk menangkap CO<sub>2</sub> dari gas buang industri. Penyerapan kimia terbagi menjadi 3 jenis, yaitu:

##### a. *Skymine Process*

Pada proses skymine process dihasilkan produk samping yang dapat dipasarkan seperti: soda kue, asam klorida, dan bahan pemutih.

b. *Amine Scrubbing*

Proses *amine scrubbing* merupakan proses yang sering diaplikasikan di *power plant* dengan menggunakan pelarut *monoethanol amine* (MEA) atau *diethanol amine* (DEA), CO<sub>2</sub> dipisahkan dari *flue gas* dengan sistem *scrubbing* terus menerus. Reaksi kimia reversibel dari CO<sub>2</sub> dan pelarut amina berlangsung di dalam *absorber*. Pada bagian *stripping*, CO<sub>2</sub> yang terikat secara kimia dipisahkan oleh uap suhu tinggi dan aliran CO<sub>2</sub> murni dikumpulkan untuk masuk ke bagian kompresi. Proses ini hanya berlaku untuk aliran konsentrasi CO<sub>2</sub> tinggi. Pada proses *amine scrubbing* diperkirakan dapat menangkap 90% CO<sub>2</sub> dari *kiln-off* pada pabrik semen (Adina Basoaga *et.al*, 2009).

c. *Chilled Ammonia Process*

Proses *chilled ammonia* menggunakan larutan amonium yang didinginkan untuk menyerap CO<sub>2</sub>, pada proses ini digunakan tambahan larutan NaOH sebagai bahan pengenceran pada senyawa logam berat seperti: SO<sub>2</sub> dan NO. Dari ketiga proses penyerapan kimia tersebut, dapat disimpulkan bahwa jenis proses penyerapan kimia yang paling menguntungkan yaitu *amine scrubbing* dikarenakan dapat menangkap 90% CO<sub>2</sub> dari *kiln-off* dan penggunaan *solvent monoethanolamine* dan *diethanolamine* dapat di *recycle* kembali menuju absorber, sehingga dapat menghemat penggunaan *solvent* (Adina Basoaga *et.al*, 2009).

1.3.4.2 Pemisahan Membran (*Membrane Separation*)

Membran pemisahan gas didasarkan atas interaksi fisik dan kimia antara komponen gas dan bahan membran. Pemisahan membran dirancang untuk berbagai macam tujuan termasuk penangkapan karbon dalam industri semen. Selektivitas pemisahan berbasis membran rendah, dan hanya sebagian kecil dari CO<sub>2</sub> masuk yang dapat ditangkap. Selain itu, kemurnian CO<sub>2</sub> juga terbatas, sehingga biasanya operasi multistap diperlukan untuk memenuhi standar produk yang diinginkan. Pemisahan membran secara teoritis bisa mencapai tingkat penangkapan lebih besar dari 80%. Sisi evaluasi biaya untuk melakukan proses pemisahan CO<sub>2</sub>

menggunakan *membrane separation* masih terbilang mahal dibandingkan dengan biaya proses pemisahan lainnya (Adina Basoaga *et.al*, 2009).

#### 1.3.4.3 Penyerapan dengan Padatan (*Sorption with Solids*)

Adsorpsi adalah proses penyerapan pada permukaan menggunakan padatan dimana molekul adsorbat mulanya memiliki fase fluida dalam jumlah besar dan cenderung terkonsentrasi pada permukaan adsorben padat. Tingkat penangkapan CO<sub>2</sub> yang stabil 80–90%. Ada dua mekanisme utama penyerapan gas oleh padatan: fisisorpsi (*fisisorpsi*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*). Ini dibedakan oleh sifat interaksi antara sorbat dan sorben: gaya antar molekul (van der Waals) atau pembentukan ikatan kimia masing-masing. Sebagai gas buang dari pabrik semen berada di dekat tekanan atmosfer, adsorben dapat diregenerasi di *subatmospheric* tekanan dalam proses *vacuum swing adsorption* (VSA). Keuntungan utama dari proses penangkapan CO<sub>2</sub> berbasis adsorpsi adalah tidak berdampak pada lingkungan, tanpa emisi atau limbah beracun, dan tanpa masalah korosi. Namun proses ini masih dalam tahap pengembangan lanjut untuk mencapai kapasitas adsorpsi CO<sub>2</sub> yang lebih besar, kinetika yang lebih cepat, selektivitas yang lebih besar terhadap CO<sub>2</sub>, kondisi regenerasi yang lebih ringan, stabilitas yang lebih baik, toleransi terhadap pengotor, dan biaya yang lebih rendah (Marta G. Plaza *et.al* 2020).

Dari ketiga proses pemisahan tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemisahan menggunakan metode penyerapan kimia (*Chemical Absorption*) lebih efisien, karena memberikan penyerapan CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi yaitu sebesar lebih dari 90% dengan biaya produksi yang tidak terlalu tinggi.

### 1.4 Tinjauan Termodinamika dan Kinetika

#### 1.4.1 Tinjauan Termodinamika

Tinjauan termodinamika berfungsi untuk mengetahui sifat reaksi suatu zat bersifat endotermis atau eksotermis dan untuk mengetahui arah reaksi *reversible* atau *irreversible*.

### Panas Pembentukan Standar ( $\Delta H_f^\circ$ )

Tinjauan secara termodinamika ditujukan untuk mengetahui sifat reaksi (endotermis/eksotermis) dan reaksi berlangsung secara spontan atau tidak, serta arah reaksi (*reversible/irreversible*). Penentuan sifat reaksi eksotermis atau endotermis dapat ditentukan dengan perhitungan panas pembentukan standar ( $\Delta H_f^\circ$ ) pada  $P = 1 \text{ atm}$  dan  $T = 298 \text{ K}$ . Reaksi yang terjadi pada proses penangkapan  $\text{CO}_2$  yaitu:



Ditinjau dari segi termodinamika dengan harga-harga  $\Delta H_f^\circ$  masing-masing komponen pada suhu  $25^\circ\text{C}$  (298 K) dapat dilihat pada Tabel 1.5

**Tabel 1. 6** Harga  $\Delta H_f^\circ$  Masing-Masing Komponen

No.	Komponen	Harga $\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)
1.	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	-1131
2.	$\text{H}_2\text{O}$	-241,8
3.	$\text{CO}_2$	-393,5
4.	$\text{NaHCO}_3$	947,68

*Sumber: (Yaws, 1999)*

Maka,

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

$$= 2(947,68) - (-393,5 + (-1131) + (-241,8))$$

$$= 3661,66 \text{ kJ/mol}$$

$$= 3661,6 \times 10^3 \text{ J/mol}$$

Karena harga  $\Delta H_f^\circ$  bernilai positif, maka reaksi bersifat **endotermis**.

## Energi Bebas Gibbs ( $\Delta G_f^\circ$ )

Perhitungan energi bebas gibbs ( $\Delta G_f^\circ$ ) digunakan untuk menentukan arah reaksi kimia apakah spontan atau tidak.  $\Delta G_f^\circ$  bernilai positif (+) menunjukkan bahwa reaksi tersebut tidak dapat berlangsung secara spontan, sehingga dibutuhkan energi tambahan dari luar yang cukup besar. Sedangkan  $\Delta G_f^\circ$  bernilai negatif (-) menunjukkan bahwa reaksi tersebut dapat berlangsung secara spontan dan hanya sedikit membutuhkan energi. Berikut merupakan Harga  $\Delta G_f^\circ$  masing-masing komponen pada suhu 298 K dapat dilihat pada Tabel 1.6 sebagai berikut:

**Tabel 1. 7** Harga  $\Delta G_f^\circ$  Masing-Masing Komponen

No.	Komponen	Harga $\Delta G_f^\circ$ (kJ/mol)
1.	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	-1044.4
2.	$\text{H}_2\text{O}$	-228,6
3.	$\text{CO}_2$	-394,38
4.	$\text{NaHCO}_3$	-851

*Sumber (Yaws, 1999)*

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ(298 \text{ K}) &= \Sigma \Delta G^\circ \text{ produk} - \Sigma \Delta G^\circ \text{ reaktan} \\ &= (\Sigma \Delta G^\circ \text{ NaHCO}_3) - (\Sigma \Delta G^\circ \text{ CO}_2 + \Sigma \Delta G^\circ \text{ Na}_2\text{CO}_3 + \Sigma \Delta G^\circ \text{ H}_2\text{O}) \\ &= 2(-851) - ((-394,38) + (-1044.4) + (-228,6)) \\ &= -34,62 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa perubahan energi bebas penguraian pada keadaan standar adalah -34,62 kJ/mol.

Harga konstanta kesetimbangan pada keadaan standar

$$\begin{aligned}\Delta G^\circ(298 \text{ K}) &= -R \cdot T \ln K_{(298 \text{ K})} \\ -34,62 \text{ kJ/mol} &= -8,314 \times 10^{-3} \text{ kJ/mol} \cdot K \times 298 \text{ K} \times \ln K_{(298 \text{ K})}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \exp (34,62 / 8,314 \times 10^{-3} \times 298) \\
 &= \exp 1,24 \\
 &= 3,456
 \end{aligned}$$

Karena harga  $\Delta G^\circ$  298 K negatif, maka reaksi dapat berlangsung secara spontan. Nilai Konstanta kesetimbangan relatif besar sehingga reaksi dianggap berjalan *irreversible* atau searah.

#### 1.4.2 Tinjauan Kinetika

Proses pembuatan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) merupakan reaksi endotermis.

Reaksi yang terjadi:



$$k = k_0 \cdot \exp \left( \frac{-E}{RT} \right) \quad (\text{Persamaan Arrhenius})$$

$$k = 17,4549 \cdot \exp \left( \frac{-41712,67}{RT} \right)$$

Keterangan :

- $k$  : konstanta kecepatan reaksi
- $k_0$  : konstanta Arrhenius
- $E$  : energi aktivasi (kcal/kmol)
- $R$  : tetapan gas (kcal/mol.K)
- $T$  : suhu operasi (K)

Dengan kondisi suhu operasi sebesar 25 °C (298 K), maka nilai  $k$  dapat diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 k &= 17,4549 \cdot \exp \left( \frac{-41712,67}{0,0814 \times 673} \right) \\
 &= 3,58117 \text{ m}^3/\text{kmol.menit}
 \end{aligned}$$

## BAB II PERANCANGAN PRODUK

Pada pemenuhan kualitas produk sesuai target pada perancangan ini, maka mekanisme pembuatan CO<sub>2</sub> dirancang berdasarkan variabel utama yaitu: spesifikasi produk, spesifikasi bahan baku dan pengendalian kualitas.

### 2.1 Spesifikasi Produk

**Tabel 2.1** Spesifikasi Produk Utama (CO<sub>2</sub>) Cair

Parameter	
Rumus Molekul	CO <sub>2</sub>
Berat Molekul (gram/mol)	44,0 1
Titik Leleh (°C)	-79
Titik Didih (°C)	- 78,5
Tekanan Uap (bar)	58,5
Spesifik Volume ( ft <sup>3</sup> /lb)	8,77 19
Spesifik Gravity (-37°C)	1,01
Suhu Kritis (°C)	30,9 5
Tekanan Kritis (atm)	72,8
Panas Penguapan (BTU/lb)	149, 6
Panas Pengembunan (BTU/lb)	150
Panas Pembentukan (kcal/gmol)	94
Titik Sublimasi (°C)	- 78,5 15
Cp/Cv	1,31

## 2.2 Spesifikasi Bahan Baku

Tabel 2. 2 Spesifikasi Bahan Baku *Flue gas* Dari Industri Semen

Parameter	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Komposisi	25,30%	27.40%	14%	3,30%	30 %
CAS-No	10102-43-9	7446-09-5	7782-44-7	10102-44-0	124-38-9
Berat Molekul	30 gram/mol	64,066 gram/mol	31,9988 gram/mol	46,0055 g/mol	44,01 gram/mol
Densitas	1,300 kg/m <sup>3</sup>	2,6288 kg/m <sup>3</sup>	1,429 kg/m <sup>3</sup>	0.262 kg/m <sup>3</sup>	1,98 kg/m <sup>3</sup>
Titik Leleh	-164 °C	-72 °C	-218,8°C	-9.3 °C	-79 °C
Titik Didih	-151,8 °C	-10 °C	-182.95 °C	21.15 °C	-78,5 °C
Suhu Kritis	-92,9 °C	250 °C	-118,7 °C	157,8 °C	30.95 °C
Tekanan Kritis	63.9526 atm	179,62 atm	49,7 atm	10 atm	72,8 atm

## 2.3 Pengendalian Kualitas

Pengendalian produksi dilakukan untuk menjaga kualitas produk yang akan dihasilkan, dan ini sudah harus dilakukan dari proses bahan baku sampai menjadi produk. Selain pengawasan mutu bahan baku, bahan pembantu, produk setengah jadi maupun produk penunjang mutu proses. Semua pengawasan mutu dapat dilakukan analisa di laboratorium maupun menggunakan alat control.

Beberapa alat kontrol yang dijalankan yaitu, kontrol terhadap kondisi operasi baik tekanan maupun temperatur. Alat control yang harus diset pada kondisi tertentu antara lain:

a. Level control

Merupakan alat yang dipasang pada bagian atas tangki, jika belum sesuai dengan kondisi yang ditetapkan, maka akan timbul tanda/syarat berupa suara dan nyala lampu.



*b. Flow Rate*

Merupakan alat yang dipasang pada aliran bahan baku, aliran masuk dan aliran keluar proses.

*c. Temperature Control*

Merupakan alat yang dipasang di dalam setiap alat proses. Jika belum sesuai dengan kondisi yang ditetapkan, maka akan timbul tanda/isyarat berupa suara dan nyala lampu.

Jika pengendalian proses dilakukan terhadap kerja pada suatu harga tertentu supaya dihasilkan produk yang memenuhi standar, maka pengendalian mutu dilakukan untuk mengetahui apakah bahan baku dan produk telah sesuai dengan spesifikasi. Setelah perencanaan produksi disusun dan diproses produksi dijalankan perlu adanya pengawasan dan pengendalian produksi agar proses berjalan dengan baik. Kegiatan proses produksi diharapkan menghasilkan produk yang mutunya sesuai dengan standar dan jumlah produksi yang sesuai dengan rencana serta waktu yang tepat sesuai jadwal.

Penyimpangan kualitas terjadi karena mutu bahan baku tidak baik, kesalahan operasi dan kerusakan alat. Penyimpangan dapat diketahui dari hasil monitor atau analisa pada bagian Laboratorium Pemeriksaan. Pengendalian kualitas (*Quality Control*) pada pabrik CO<sub>2</sub> ini meliputi:

### 2.3.1 Pengendalian Kualitas Bahan Baku

Pengendalian kualitas dari bahan baku dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana kualitas bahan baku yang digunakan, apakah sudah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan untuk proses. Apabila setelah dianalisis ternyata tidak sesuai, maka ada kemungkinan besar bahan baku tersebut akan dikembalikan kepada supplier.

### 2.3.2 Pengendalian Kualitas Produk

Pengendalian kualitas produk karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dilakukan dengan tujuan untuk :

- a. Pengendalian kualitas produk dilakukan terhadap produksi CO<sub>2</sub>. Hal ini dilakukan untuk memperoleh tingkat kemurnian CO<sub>2</sub> yang diinginkan.
- b. Kontrol terhadap kondisi operasi
  - Mengontrol suhu
  - Mengontrol tekanan

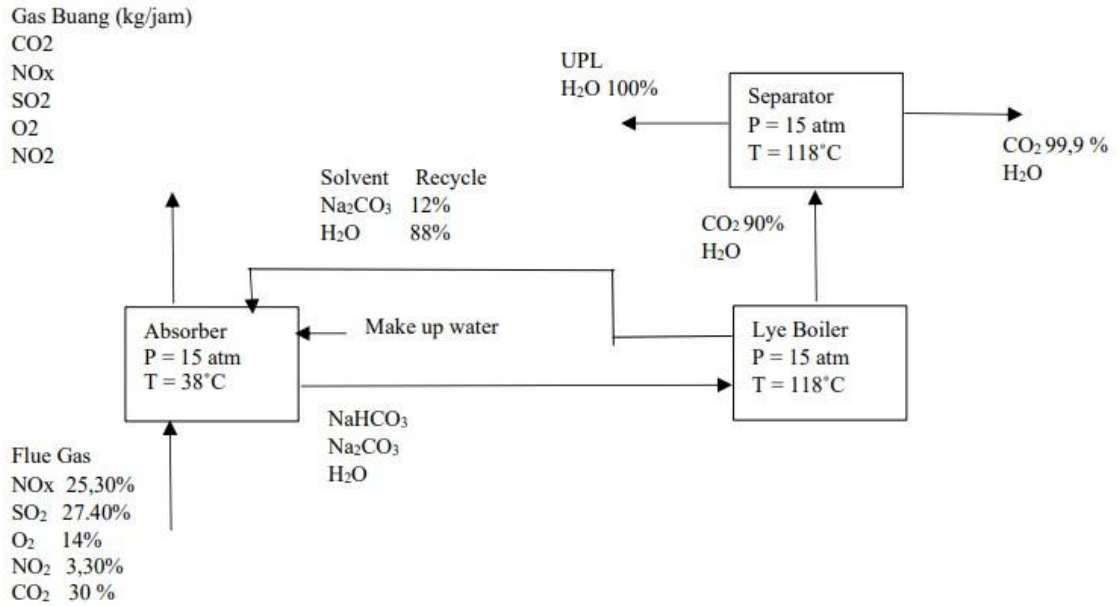
### 2.3.3 Pengendalian Waktu Produksi

Pengendalian waktu dibutuhkan agar waktu yang digunakan selama proses produksi berlangsung dapat diminimalkan.

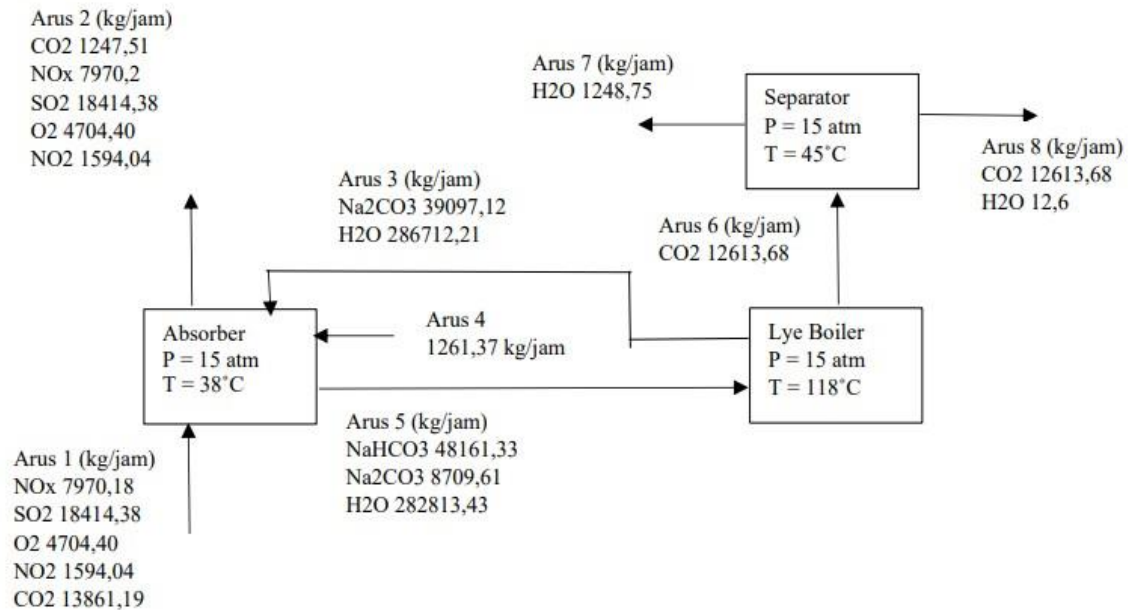
Pengendalian dan pengawasan jalannya operasi dilakukan dengan alat pengendalian yang berpusat di *control room*, dilakukan dengan cara *automatic control* yang menggunakan *indicator*. Apabila terjadi penyimpangan pada indikator dari yang telah ditetapkan atau di *sett* baik itu *flow rate* bahan baku atau produk, level control, maupun temperature control, dapat diketahui dari sinyal atau tanda yang diberikan yaitu nyala lampu, bunyi alarm dan sebagainya. Bila terjadi penyimpangan, maka penyimpangan tersebut harus dikembalikan pada kondisi atau set semula baik secara manual atau otomatis.

# BAB III PERANCANGAN PROSES

## 3.1 Diagram Alir Proses dan Material



Gambar 3. 1 Diagram Alir Kualitatif



Gambar 3.2 Diagram Alir Kuantitatif

### 3.2 Uraian Proses

Penentuan perancangan proses pabrik karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) perlu diperhatikan pemilihan bahan baku, bahan penunjang, proses yang efisien dan juga alat yang tepat. Berikut uraian dari proses perancangan pabrik.

#### 3.2.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Produksi karbon dioksida dengan kapasitas 100.000 ton/tahun menggunakan bahan baku *flue gas* dari tangki (T-01) dengan kemurnian: CO<sub>2</sub> = 30 % ; NO = 25,3% ; SO<sub>2</sub> = 27,4% ; O<sub>2</sub> = 14% ; NO<sub>2</sub> = 3,3%. Kondisi operasi pada tangki (T-01) berada pada kondisi temperature 30°C dan tekanan 1 atm.

#### 3.2.2 Tahap Pemilihan Pelarut

Pemilihan pelarut yang akan digunakan untuk proses penangkapan CO<sub>2</sub> pada *flue gas* pabrik semen dapat dipertimbangkan dengan beberapa faktor berikut:

- a. Kapasitas absorpsi: kapasitas absorpsi yang tinggi memerlukan jumlah sirkulasi pelarut yang lebih sedikit dan ukuran peralatan yang lebih kecil.
- b. Tingkat penyerapan: tingkat penyerapan yang tinggi mengurangi ukuran kolom dan biaya pembuatan kolom.
- c. Panas penyerapan pelarut: panas penyerapan rendah akan mengurangi jumlah energi yang diperlukan dalam proses *stripping*.
- d. Harga pelarut: biayanya harus rendah agar tetap ramah secara ekonomi.
- e. Toksisitas: karena masalah lingkungan, pelarut harus tidak beracun dan ramah lingkungan

Berikut beberapa jenis pelarut yang sering digunakan untuk penyerapan CO<sub>2</sub> dalam industri dapat dilihat pada tabel 3.1

**Tabel 3. 1** Jenis-Jenis Absorben CO<sub>2</sub>

<b>Pelarut</b>	Amina (MEA/DEA) <sup>(1)</sup>	NaOH <sup>(2)</sup>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> <sup>(3)</sup>	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> <sup>(4)</sup>
<b>Kecepatan Reaksi</b>	Sangat Cepat	Cepat	Lambat	Lambat
<b>Korosifitas</b>	Sangat Korosif	Sangat Korosif	Korosi rendah	Korosi rendah
<b>Tingkat Penyerapan</b>	93%	98,2%	72,45%	80,1%
<b>Panas Penyerapan</b>	Tinggi	Rendah	Rendah	Sangat Tinggi
<b>Harga</b>	Mahal	Murah	Murah	Murah

(Sumber: (1) Mulder. M, 1997 dan Christofer. J, 2012; (2) Purba. E & Barutu. C. N. R, 2021 ; (3) Senja. F.D, dkk 2016; (4) Kusumawati. L. & Widyaningrum. 2012)

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, terdapat beberapa pilihan pelarut yang dapat dipilih yaitu Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan pertimbangan memiliki kondisi operasi panas penyerapan yang dibutuhkan rendah sehingga dapat menghemat energi yang akan memiliki dampak yang tidak merugikan lingkungan serta membutuhkan biaya yang lebih rendah. Selain itu, tingkat korosifitas Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> termasuk rendah sehingga dapat memperpanjang usia absorber dan tidak memerlukan biaya perawatan yang lebih.

### 3.2.3 Tahap Pemanasan *Flue Gas*

Gas buang (*Flue Gas*) yang dihasilkan dari pabrik semen disimpan dalam tangki penyimpanan (T-01) pada suhu 30<sup>0</sup>C lalu di panaskan menggunakan *heater* sampai suhu 45<sup>0</sup>C menyesuaikan suhu absorber. Selanjutnya gas akan dialirkan menuju absorber untuk proses penyerapan karbon dioksida.

### 3.2.4 Tahap Penyerapan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

Pelarut secara *counter current* bereaksi dengan aliran *flue gas* di kolom absorber untuk menangkap CO<sub>2</sub>, dimana *flue gas* dimasukkan dari bagian bawah kolom absorber (ABS) bersamaan dengan pelarut yang dimasukkan dari sisi atas

kolom absorber. Pelarut yang digunakan yaitu larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan konsentrasi 35% berat. Kondisi operasi yang digunakan pada proses absorpsi yaitu pada suhu  $45^\circ\text{C}$  dan tekanan 15 atm. Hasil keluaran  $\text{CO}_2$  yang telah terabsorpsi bercampur dengan pelarut akan dikeluarkan dari bawah kolom absorber lalu diteruskan pada *lye boiler* untuk proses pemisahan. Reaksi kimia yang terjadi selama proses penyerapan berlangsung yaitu antara  $\text{CO}_2$  dengan pelarut ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ) yang menghasilkan keluaran berupa Natrium Bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ). Sisa hasil proses penyerapan berupa *purge gas* dikeluarkan melalui sisi atas pada kolom absorber. Sisi bawah absorber untuk merupakan hasil penyerapan yang akan diteruskan pada *lye boiler*.

### 3.2.5 Tahap Pemisahan $\text{CO}_2$ dari Pelarut

Karbon Dioksida yang terlarut dalam pelarut  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  membentuk larutan Natrium Bikarbonat ( $\text{NaHCO}_3$ ) selanjutnya akan dipanaskan pada tangki *Lye Boiler* yang bertujuan untuk memisahkan  $\text{CO}_2$  dari larutan  $\text{NaHCO}_3$ . Kondisi operasi pada *Lye Boiler* yaitu pada suhu  $118^\circ\text{C}$  dan tekanan 15 atm. Gas  $\text{CO}_2$  yang larut dengan air keluar dari *Lye Boiler* (LB) selanjutnya akan dialirkan ke proses separator. Cairan sisa  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  akan dikembalikan ke absorber.

### 3.2.6 Tahap Perubahan Fase $\text{CO}_2$ gas menjadi $\text{CO}_2$ cair

Gas keluaran dari *lye boiler* akan dikirimkan ke separator untuk memisahkan antara air dan gas yang selanjutnya air akan dibuang melalui kolom bawah separator dan hasil gas karbon dioksida melalui sisi atas separator. Selanjutnya gas karbon dioksida akan dikondensasikan melalui kondenser 02 (CD-02) dan disimpan pada tangka penyimpanan produk (T-02).

### 3.2.7 Tahap penyimpanan hasil $\text{CO}_2$

Tangki penyimpanan yang digunakan untuk menyimpan gas karbon dioksida yang dicairkan yaitu pada suhu  $-13^\circ\text{C}$  dengan tekanan 15 atm. Produk  $\text{CO}_2$  cair memiliki kemurnian 99% dengan impuritis air 0,1 % disimpan dalam fase cair.

### 3.3 Spesifikasi Alat

Berikut spesifikasi alat yang digunakan pada proses pembuatan karbon dioksida(CO<sub>2</sub>)

#### 3.3.1 Reaktor

Absorber

Nama dan Kode : ABS

Fungsi : Menyerap CO<sub>2</sub> yang terkandung dalam *flue gas*

Jenis : *Packed Column*

Material :

Carbon Steel Kondisi

Operasi :

P = 15 atm T = 45°C

Spesifikasi :

*Shell*

- a. Diameter Dalam : 1,43 m
- b. Tinggi : 2,28 m
- c. Tebal : 1,42 cm

*Head*

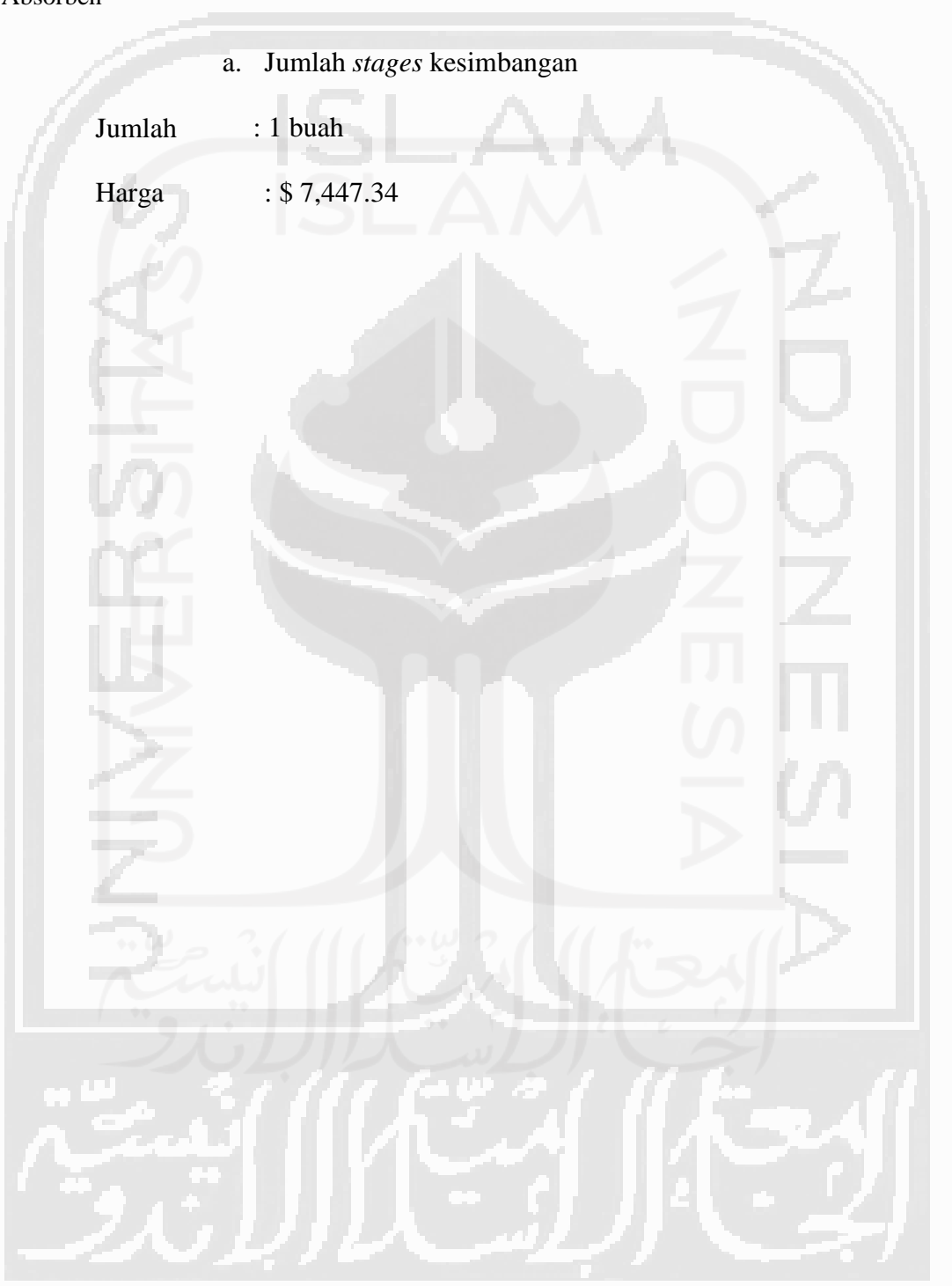
- a. Jenis : Menara Isian (*Packed Column*)
- b. Tebal : 1,43 cm
- c. Jenis *Packing* : *Random Packing*
- d. Bahan Konstruksi *Packing* : Raschig Ring Keramik
- e. Susunan *Packing* : Random

Absorben

a. Jumlah *stages* kesimbangan

Jumlah : 1 buah

Harga : \$ 7,447.34





### 3.3.2 Alat Penyimpanan Bahan

**Tabel 3.3.2.1** Data Spesifikasi Alat Penyimpanan Bahan

Tangki	T-01	T-02
<b>Fungsi</b>	Menyimpan bahan baku <i>flue gas</i> dari <i>rotary kiln</i> .	Menyimpan produk CO <sub>2</sub> cair.
<b>Jenis</b>	Tangki silinder horizontal	Tangki silinder horizontal dengan hemispherical head
<b>Bahan</b>	<i>Alloy Steels SA 353-8</i>	<i>Low Alloy steel SA203 grade A</i>
<b>Fasa</b>	Gas	Cair
<b>Jumlah Tangki</b>	1	1
<b>Kondisi Operasi</b>	Tekanan : 15 atm Suhu : 30 °C	Tekanan : 20 atm Suhu : -13 °C
<b>Spesifikasi</b>	Diameter : 6.37 meter Tinggi : 19.13 meter Volume : 221.60 m <sup>3</sup>	Diameter : 1.18 meter Tinggi : 5.92 meter Volume : 3.95 m <sup>3</sup> / 30 hari
<b>Head &amp; Button</b>	Head : 0.078 meter Button : 3.08 meter	Head : 0.35 meter Button : 0.27 meter
<b>Harga</b>	\$3,512	\$7,763

### 3.3.3 Alat Transportasi Bahan

#### 3.3.3.1 Pompa 01

Kode: P-01

Tugas : Memompa air dan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> keluaran dari Absorber (ABS) menuju *Lye Boiler* (LB)

Jenis : Single Stage Centrifugal

Pump Dimensi Pipa

IPS : 12 inch

Schedule Number : 30

Outside Diameter : 12,75 inch

Inside Diameter : 12,22 inch

Head Pompa: 2,34 m

Efisiensi Motor: 86%

Daya Motor: 9,59 Hp

Kecepatan Putar: 22927,85 rpm

Jumlah Alat: 1

Harga: \$14,417

### 3.3.3.2 Pompa 02

Kode: P-02

Tugas : Memompa air dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  keluaran dari Absorber (ABS) menuju *Lye Boiler* (LB)

Jenis : Single Stage Centrifugal Pump

Dimensi Pipa

IPS : 44,92 inch

Schedule Number: 20

Outside Diameter: 44,6 inch

Inside Diameter: 43,14 inch

Dimensi Daya

Head Pompa: 2,26 m

Efisiensi Motor: 88 %

Daya Motor: 31,85 Hp

Kecepatan Putar: 15904,19 rpm

Jumlah Alat: 1

Harga: \$14,417

### 3.3.3.3 Pompa 03

Kode: P-03

Tugas: Memompa aliran H<sub>2</sub>O pada arus Make Up Water

Jenis: Single Stage Centrifugal Pump

Dimensi Pipa

IPS : 1,25 inch

Schedule Number: 40

Outside Diameter: 1,66 inch

Inside Diameter: 1,38 inch

Dimensi Daya

Head Pompa: 3,85 m

Efisiensi Motor: 80 %

Daya Motor: 0,167 Hp

Kecepatan Putar: 1451,71 rpm

Jumlah Alat: 1

Harga : \$14,417

#### 3.3.3.4 Pompa 04

Kode: P-04

Tugas: Memompa aliran H<sub>2</sub>O pada arus keluar dari separator ke UPL.

Jenis: Single Stage Centrifugal Pump

Dimensi Pipa

IPS : 1,25 inch

Schedule Number: 40

Outside Diameter: 1,66 inch

Inside Diameter: 1,38 inch

Dimensi Daya

Friction Head: 3,89 m

Efisiensi Motor: 80 %

Daya Motor: 0,167 Hp

Kecepatan Putar: 18466,16 rpm

Jumlah Alat: 1

Harga: \$14,417

#### 3.3.3.5 Pompa 05

Kode: P-05

Tugas: Memompa aliran produk CO<sub>2</sub> cair dari kompresor ke tangki penyimpanan

Jenis: Single Stage Centrifugal Pump

Dimensi Pipa

IPS : 4 inch

Schedule Number: 40

Outside Diameter: 4,5 inch

Inside Diameter: 4,03 inch

#### Dimensi Daya

Head Pompa: 6,25 m

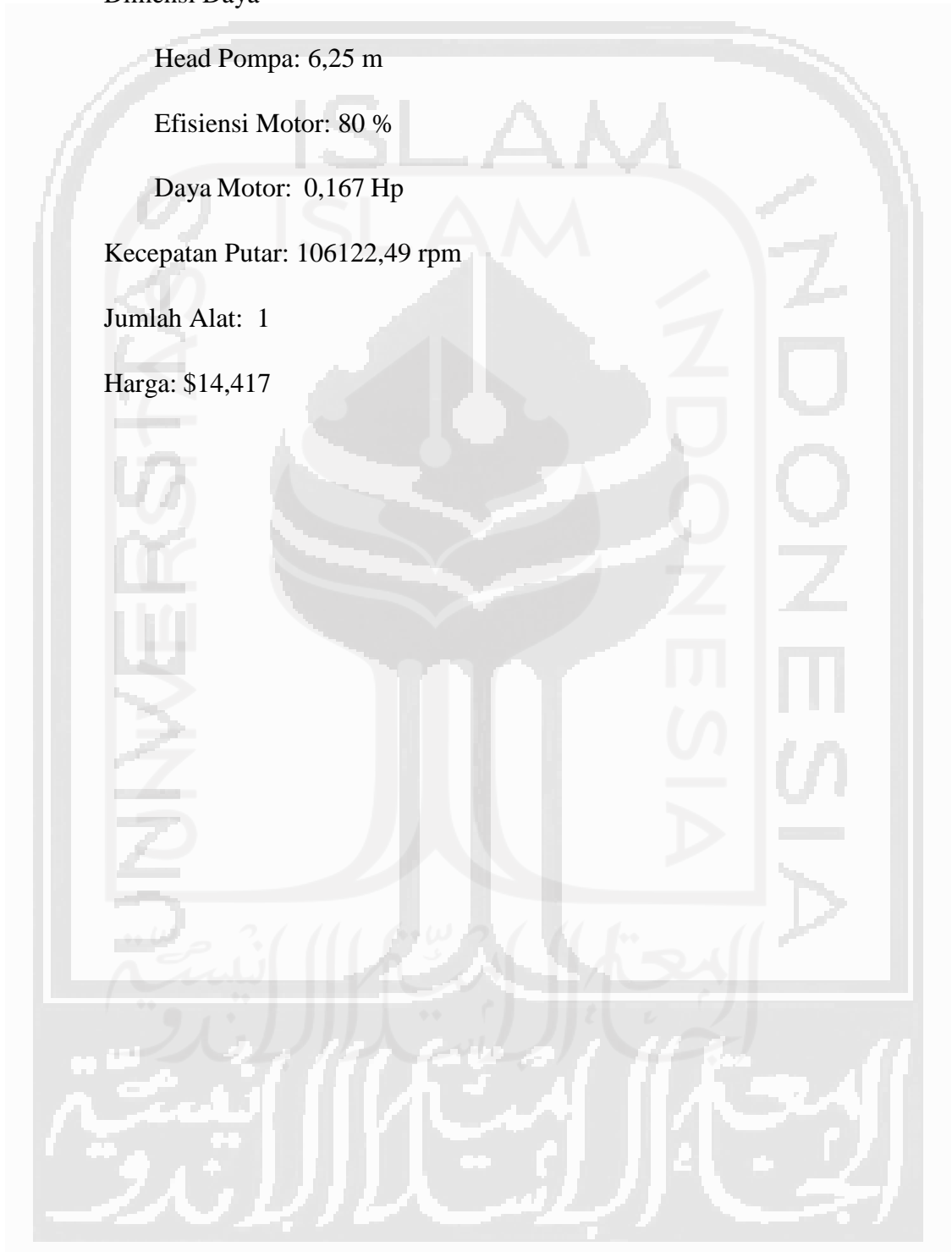
Efisiensi Motor: 80 %

Daya Motor: 0,167 Hp

Kecepatan Putar: 106122,49 rpm

Jumlah Alat: 1

Harga: \$14,417



### 3.3.4 Alat Pemisah

#### 3.3.4.1 Separator

Nama dan Kode : SP

Fungsi : Memisahkan gas CO<sub>2</sub> dari H<sub>2</sub>O

Jenis : *Silinder Vertikal*

Material : Stainless Steel SA-285 Grade C

Kondisi Operasi : T = 45°C P = 6,5 atm

Spesifikasi :

*Shell*

- a. Panjang : 1,731 m
- b. Tebal : 0,016 m
- c. Diameter Luar : 0,762 m

*Head*

- a. Panjang : 0,254 m
- b. Tebal : 0,004 m

Jumlah : 1 buah

Harga : \$5,589

### 3.3.4.2 Lye Boiler

Kode : LB  
 Fungsi : Untuk memanaskan  $\text{NaHCO}_3$  agar terdekomposisi menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

Jenis : *Shell and tube heat exchanger*

Luas transfer panas : 1115.3974  $\text{ft}^2$

Beban Pemanas : 8170793.593 Btu/jam

Bahan : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

Harga : \$5,863

<b><i>Operating Condition</i></b>		
	<b>Shell</b>	<b>Tube</b>
<i>Fluida</i>	Gas	Steam
<i>Flow rate (kg/jam)</i>	339684.37	13180382.313
Suhu Masuk ( $^{\circ}\text{C}$ )	45	200
Suhu Keluar ( $^{\circ}\text{C}$ )	118	200
<i>Pressure (atm)</i>	15	15
<b><i>Mechanical Design</i></b>		
Panjang (ft)	20	
Pass	1	
ID (in)	31	1,4
OD (in)		1,5
<i>Baffle Space (in)</i>	15,5	
<i>Number</i>		40
A ( $\text{ft}^2$ )	886,03	

BWG	18
Pitch (in)	1,875
Rd (Btu/Jam.Ft2.°F)	0,0052





### 3.3.5 Alat Penukar Panas

#### 3.3.3.1 Kondensor 01

Kode	: CD-01
Fungsi	: Untuk mendinginkan campuran CO <sub>2</sub> dan H <sub>2</sub> O keluaran dari <i>lye boiler</i>
Jenis	: <i>Shell and tube heat exchanger</i>
Beban Pendingin	: 30.448.377,067 Btu/jam
Bahan	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Harga	: \$6,668

**Tabel 3. 3** Spesifikasi Kondensor 01

<i>Operating Condition</i>		
	<b>Shell</b>	<b>Tube</b>
<i>Fluida Type</i>	Gas	air
<i>Flow rate (kg/jam)</i>	13.875,05	58.032.475,627
Suhu Masuk (°C)	118	5
Suhu Keluar (°C)	10	30
<i>Pressure</i>	15	15
<i>Mechanical Design</i>		
Panjang (ft)	6	
Pass	1	
ID (in)	33	1,4
OD (in)		1,5
<i>Baffle Space (in)</i>	16,5	
<i>Number</i>	40	
A (ft <sup>2</sup> )	346244.70	

BWG	18
<i>Pitch</i> (in)	1,875
Rd (Btu/Jam.Ft <sup>2</sup> .°F)	0,0391

### 3.3.5.2 Kondensor 02

Kode	: CD-02
Fungsi	: Untuk mendinginkan Produk CO <sub>2</sub> dari separator ke tangki penyimpanan
Jenis	: <i>Shell and tube heat exchanger</i>
Beban Pendingin	: 6424137047.11 Btu/jam
Bahan	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Harga	: \$6,668

**Tabel 3. 4** Spesifikasi Kondensor 02

<i>Operating Condition</i>		
	<b>Shell</b>	<b>Tube</b>
<i>Fluida Type</i>	Gas	Refrigerant (Freon 134a)
<i>Flow rate</i> (kg/jam)	12,61	304.483,132
Suhu Masuk (°C)	150	-22
Suhu Keluar (°C)	-13	28
<i>Pressure</i> (atm)	15	15
<i>Mechanical Design</i>		
Panjang (ft)	20	
Pass	1	
ID (in)	8	1,4

OD (in)		1,4
<i>Baffle Space</i> (in)	4	
<i>Number</i>	35	
A (ft <sup>2</sup> )		209,56
BWG		14
<i>Pitch</i> (in)		1,875
Rd (Btu/Jam.Ft2.°F)		0,05

### 3.3.5.3 Heater 01

Kode	: H-01
Fungsi	: Memanaskan <i>flue gas</i> dari T-01 sebelum masuk absorber dari suhu 30°C menjadi 45°C
Jenis	: <i>Shell and tube heat exchanger</i>
Luas transfer panas	: 16559.5233 ft <sup>2</sup>
Beban Pemanas	: 3214648.083 Btu/jam
Bahan	: <i>Carbon Steel SA-283 Grade C</i>
Harga	: \$5,134

**Tabel 3. 5** Spesifikasi Heater 01

<b><i>Operating Condition</i></b>		
	<b>Shell</b>	<b>Tube</b>
<i>Fluida Type</i>	Gas	Steam
<i>Flow rate</i> (kg/jam)	46544,19	4850537,533
Suhu Masuk (°C)	40	100
Suhu Keluar (°C)	45	100
<i>Pressure</i> (atm)	15	15

<i>Mechanical Design</i>		
Panjang (ft)	12	
Pass	1	
ID (in)	167	1,4
OD (in)	1,5	
<i>Baffle Space</i> (in)	83,5	
<i>Number</i>		40
A (ft <sup>2</sup> )	9138,76	
BWG	18	
<i>Pitch</i> (in)	1,875	
Rd (Btu/Jam.Ft <sup>2</sup> .°F)	0,0025	

### 3.3.5.3 Heater 02

Kode : H-02

Fungsi : Memanaskan *make up water* menuju absorber dari suhu 30°C menjadi 45°C

Jenis : *Double Pipe heat exchanger*

Luas transfer panas : 45.15 ft<sup>2</sup>

Beban Pemanas : 84208.840 Btu/jam

Bahan : *Carbon Steel SA-283 Grade C*

Harga : \$5,134

**Tabel 3. 6** Spesifikasi Heater 02

<i>Operating Condition</i>		
	<b>Shell</b>	<b>Tube</b>
<i>Fluida Type</i>	Liquid	Steam
<i>Flow rate (kg/jam)</i>	1248.75	9367.295
Suhu Masuk (°C)	30	90
Suhu Keluar (°C)	45	90
<i>Pressure</i>	15	15
<i>Mechanical Design</i>		
Panjang (ft)	15	
<i>Hairpin</i>	2	
ID (in)	1.38	2.469
OD (in)		2.88
A (ft <sup>2</sup> )	26.69	
BWG	12	
Rd (Btu/Jam.Ft2.°F)	0.005	

#### 3.3.5.4 Cooler 01

Kode : CL-01

Fungsi : Mendinginkan air keluaran *lye boiler* dari suhu 118 °C hingga suhu 45°C

Jenis : *Shell and Tube heat exchanger*

Beban Pendingin : 4866.824645 Btu/jam

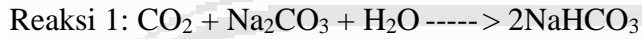
Bahan : Carbon Steel SA-283 Grade C

Harga : \$3,935

**Tabel 3. 7** Spesifikasi Cooler 01

<i>Operating Condition</i>		
	<b>Shell</b>	<b>Tube</b>
<i>Fluida Type</i>	Liquid	Steam
<i>Flow rate (kg/jam)</i>	286712.21	695563.798
Suhu Masuk (°C)	118	10
Suhu Keluar (°C)	45	40
<i>Pressure (atm)</i>	15	15
<i>Mechanical Design</i>		
Panjang (ft)	12	
Pass	1	
ID (in)	168	1.4
OD (in)		1.5
<i>Baffle Space (in)</i>	135	
<i>Number</i>		40
A (ft <sup>2</sup> )	9332.02	
BWG	18	
<i>Pitch (in)</i>	1.875	
Rd (Btu/Jam.Ft <sup>2</sup> .°F)	0.0082	

### 3.4 Neraca Massa

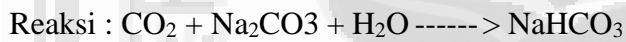


Komposisi *Flue Gas*

**Tabel 3.4.1** Komposisi *Flue Gas*

CO <sub>2</sub>	30%
NO <sub>x</sub>	25.30%
SO <sub>2</sub>	27.40%
O <sub>2</sub>	14%
NO <sub>2</sub>	3.30%
Total	<b>100%</b>

#### 3.4.1 Neraca Massa Absorber



**Tabel 3. 10** Rekap Neraca Massa Absorber

Komponen	Input (kg/jam)			Output (kg/jam)	
	Arus 1	Arus 5	Arus 4	Arus 2	Arus 3
CO <sub>2</sub>	13861.19	0	0	1247.51	0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0	39097.12	0	0	8709.61
H <sub>2</sub> O	0	286712.21	1261.37	0	282813.43
NO <sub>x</sub>	7970.18	0	0	7970.2	0
SO <sub>2</sub>	18414.38	0	0	18414.38	0
O <sub>2</sub>	4704.40	0	0	4704.40	0
NO <sub>2</sub>	1594.04	0	0	1594.04	0
NaHCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	48161.33
<b>TOTAL</b>	<b>373614.88</b>			<b>373614.88</b>	

### 3.4.2 Neraca Massa Lye Boiler

**Tabel 3. 11** Rekap Neraca Massa Lye Boiler

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 5	Arus 3	Arus 6
NaHCO <sub>3</sub>	48161.33	0	0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	8709.61	39097.12	0
H <sub>2</sub> O	282813.43	286712.21	1261.37
CO <sub>2</sub>	0	0	12613.68
<b>TOTAL</b>	<b>339684.37</b>	<b>339684.37</b>	

### 3.4.3 Neraca Massa Separator

**Tabel 3. 12** Rekap Neraca Massa separator

Komponen	Input (kg/jam)	Output (kg/jam)	
	Arus 6	Arus 7	Arus 8
H <sub>2</sub> O	1261.37	1248.75	12.61
CO <sub>2</sub>	12613.68	0	12613.68
<b>TOTAL</b>	<b>13875.05</b>	<b>13875.05</b>	



### 3.4.4 Neraca Massa Total

**Tabel 3. 13** Neraca Massa Total

Komponen	Berat Molekul	Input (kg/jam)		Output (kg/jam)		
		<i>Flue gas</i>	Make-up water	Gas buang	UPL	Produk
CO <sub>2</sub>	44	13861.19	0	1247.51	0	12613.68
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	106	0	0	0	0	0
H <sub>2</sub> O	18	0	1261.37	0	1248.75	12.61
NO <sub>x</sub>	30	7970.18	0	7970.18	0	0
SO <sub>2</sub>	64	18414.38	0	18414.38	0	0
O <sub>2</sub>	32	4704.40	0	4704.40	0	0
NO <sub>2</sub>	46	1594.04	0	1594.04	0	0
NaHCO <sub>3</sub>	84	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>		<b>47805.56</b>		<b>47805.56</b>		

Basis Perhitungan = 200 kmol/jam

Produk Akhir CO<sub>2</sub> = 12626.29 kg/jam

= **100.000,2545 ton/tahun**

### 3.5 Neraca Panas

**Tabel 3. 14** Neraca Panas Absorber

Aliran	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
Qin	19142251449	
Qout		19400957574
$\Delta H$ reaksi	258706125	
Total	19400957574	19400957574

#### 3.5.2 Neraca Panas Lye Boiler

**Tabel 3. 15** Neraca Panas Lye Boiler

Aliran	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
Qin	39766580624	
Qout		40495739645
$\Delta H$ reaksi	729159021	
Total	40495739645	40495739645

#### 3.5.3 Neraca Panas Separator

**Tabel 3. 16** Neraca Panas Separator

Aliran	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
Qin	163197362	
Qout		163197362
Total	163197362	163197362

### 3.5.4 Neraca Panas Condenser 1

**Tabel 3. 17** Neraca Panas Condensor 1

Aliran	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
Qin	1162454	
Qout		528048998
$\Delta H$ reaksi	526886544	
Total	528048998	528048998

### 3.5.5 Neraca Panas Condenser 2

**Tabel 3. 18** Neraca Panas Condensor 2

Aliran	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
Qin	259679	
Qout		614634
$\Delta H$ reaksi	354954	
Total	614634	614634

### 3.5.6 Neraca Panas Compressor

**Tabel 3. 19** Neraca Panas Compressor

Aliran	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
Qin	1468996	
Qout		1468996
Total	1468996	1468996

### 3.5.7 Neraca Panas Heater-01

**Tabel 3. 20** Neraca Panas Heater-01

Aliran	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
Qin	207	
Qout		2482970
Steam		2482763
Total	207	207

### 3.5.8 Neraca Panas Heater-02

**Tabel 3. 21** Neraca Panas Heater-02

Aliran	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
Qin	11780	
Qout		47171
Steam	35391	
Total	47171	47171

### 3.5.9 Neraca Panas Cooler-01

**Tabel 3. 22** Neraca Panas Cooler-01

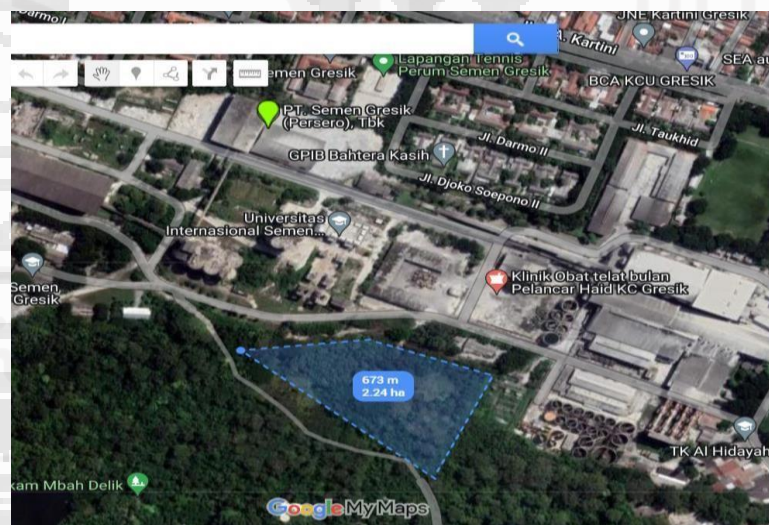
Aliran	Masuk (kJ/jam)	Keluar (kJ/jam)
Qin	110103484	
Qout		26454
Pendingin		110077030
Total	110103484	110103484

## BAB IV PERANCANGAN PABRIK

### 4.1 Lokasi Pabrik

Lokasi suatu pabrik merupakan unsur yang kuat dalam menunjang berhasil atau tidaknya suatu industri. Pada dasarnya yang mempunyai pengaruh yang besar terhadap sistem produksi yang ekonomis tidak lain adalah letak geografis suatu pabrik. Idealnya, lokasi yang dipilih untuk berdirinya suatu pabrik haruslah dapat memberikan kemungkinan akan adanya perluasan pabrik serta dapat pula memberikan keuntungan untuk jangka panjang baik bagi masyarakat, lingkungan sekitar pabrik ataupun semua pihak yang terlibat. Adapun jarak jauh dekat sumber bahan baku didapat, aspek pemasaran, aspek penyediaan tenaga listrik, air, kebutuhan tenaga kerja, tinggi rendahnya pajak, keadaan masyarakat, karakteristik lokasi serta kebijaksanaan pemerintah merupakan bagian daripada faktor yang harus dipertimbangkan untuk menentukan lokasi pabrik. Bila semua aspek telah diperhatikan maka secara teknis dan ekonomis pabrik yang didirikan akan dapat menguntungkan.

Pabrik Karbon Dioksida cair dari *flue gas* direncanakan akan dibangun di Tlogobendung, Kec. Gresik, Kabupaten Gresik, Jawa Timur



**Gambar 4. 1** Lokasi Pendirian Pabrik

Berdasarkan pertimbangan di atas, maka ditentukan rencana pendirian pabrik karbon dioksida ini berlokasi di Gresik, Jawa Timur. Adapun faktor –faktor yang

menjadi dasar pertimbangan dalam menentukan lokasi pabrik adalah sebagai berikut :

#### **4.1.1. Penyediaan Bahan Baku**

Semua perusahaan yang melaksanakan proses produksi harus mempunyai persediaan bahan baku untuk kelangsungan proses produksi dalam perusahaan tersebut (Ahyari, 1992). Bilamana suatu perusahaan tidak memiliki persediaan bahan baku, maka pelaksanaan proses produksi dalam perusahaan tersebut akan terganggu.

Suatu pabrik sebaiknya dirancang dan didirikan berada sedekat mungkin dengan daerah sumber bahan baku dan daerah pemasaran sehingga transportasi dapat berjalan dengan lancar. Hal ini merupakan salah satu usaha untuk menekan biaya produksi. Maka dari itu, bahan baku *flue gas* ini diperoleh dari sisa proses pengolahan semen yang berada satu kawasan yang sama dengan lokasi pendirian pabrik yaitu Tuban, Jawa Timur. Hal ini dimaksudkan guna mempermudah akses pendistribusian bahan baku.

Kebutuhan bahan baku untuk *flue gas* diperoleh dari PT. Semen Indonesia. PT. Semen Indonesia merupakan penghasil bahan baku *flue gas* dengan kapasitas 213.717 ton/tahun.

#### **4.1.2. Pemasaran Produk**

Untuk pemasaran hasil produksi dapat dilakukan melalui jalur darat dengan menggunakan truk pengangkut maupun jalur laut dengan menggunakan kapal. Pemasaran dalam negeri dapat langsung di distribusikan ke PT Aneka Gas (Bandung) dan PT Purna Buana Yudha (Tangerang).

#### **4.1.3. Tenaga Kerja**

Suatu pabrik yang sudah berjalan tidak lepas dari peran serta masyarakat setempat. Masyarakat di daerah industri akan terbiasa untuk menerima kehadiran suatu pabrik di daerahnya. Alasan lainnya adalah tidak sedikit masyarakat yang mengambil keuntungan dari pendirian pabrik ini. Berdirinya suatu pabrik berarti membuka lapangan kerja yang baru juga untuk masyarakat setempat. Dengan demikian dapat dipastikan kebutuhan tenaga kerja pabrik dapat dengan mudah

dipenuhi mulai dari tingkat sarjana hingga tenaga kasar baik terdidik maupun terampil.

#### **4.1.4. Utilitas**

Keperluan utilitas suatu pabrik meliputi listrik, air, udara tekan dan bahan bakar. Penyediaan air pada pabrik karbon dioksida dapat diperoleh dari sumber air dari waduk Temandang, air dari waduk Temandang dipompa kemudian ditampung dalam *raw water*. Sedangkan bahan bakar sebagai sumber energi dapat diperoleh dengan membeli dari Pertamina dan untuk listrik didapat dari PLN dan penyediaan generator sebagai cadangan.

#### **4.1.5. Transportasi**

PT. Semen Indonesia, Gresik memiliki lokasi strategis karena:

- a. Pabrik terletak kurang lebih 9 km dari tepi jalan raya yang menghubungkan kota-kota besar misalnya Surabaya dan Semarang, sehingga transportasi darat sangat mendukung.
- b. Pabrik terletak dekat dengan pantai, Gresik dan memiliki pelabuhan sendiri sehingga transportasi laut mudah dilakukan. Jarak antara pabrik dengan pantai sekitar 12 km. Selain itu, sarana penunjang lainnya seperti telepon, dan lain-lain telah tersedia sehingga dapat memperlancar komunikasi baik di dalam maupun di luar pabrik.

#### **4.1.6. Keadaan Iklim dan Tanah**

Daerah Tuban beriklim tropis, dan setiap tahunnya dipengaruhi oleh dua musim yaitu musim kemarau dan musim hujan. Musim kemarau berlangsung dari bulan Mei sampai bulan Oktober, sedangkan musim hujan berlangsung dari bulan November sampai bulan April. Suhu udara permukaan di wilayah penambangan bervariasi antara 26°C - 37°C dengan suhu udara rata-rata adalah 36°C. Struktur

tanah di daerah Gresik berupa cekungan sebagai akibat dari proses perlipatan dan struktur sesar batuan kapur.

#### 4.1.7. Rincian Luas Tanah

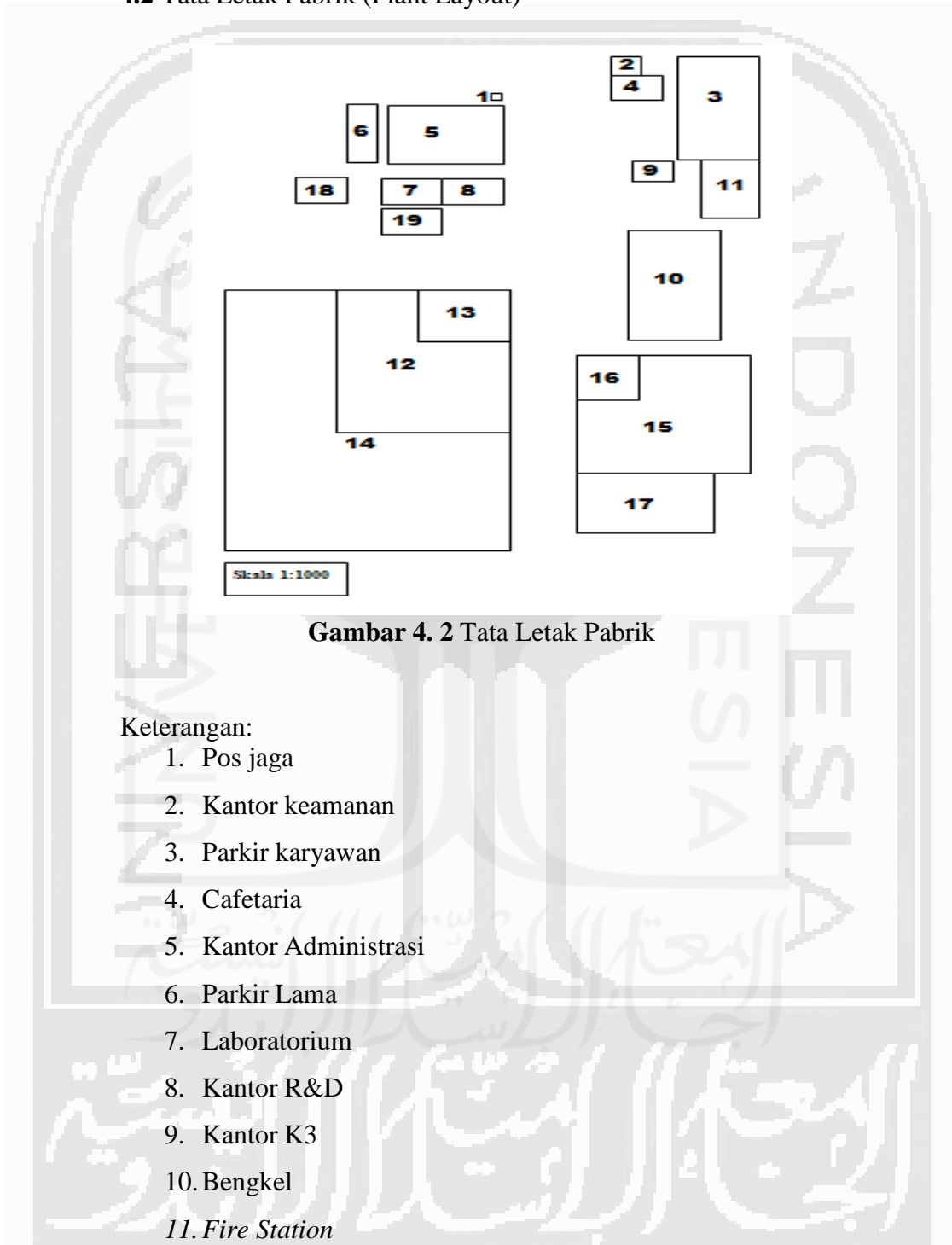
**Tabel 4. 1** Rincian Luas Tanah

No.	Lokasi	Panjang	Lebar	Luas
		m	m	m <sup>2</sup>
1.	Area Proses	65	45	2925
2.	Area Utilitas	50	40	2000
3.	Bengkel	20	15	300
4.	Gudang Peralatan	35	20	700
5.	Kantin	30	15	450
6.	Kantor Teknik dan Produksi	25	20	500
7.	Kantor Utama	40	30	1200
8.	Laboratorium	30	25	750
9.	Parkir Utama	30	20	600
10.	Parkir Truk	30	25	750
11.	Perpustakaan	15	15	225
12.	Poliklinik	15	15	225
13.	Pos Keamanan	15	10	150
14.	Control Room	30	20	600
15.	Control Utilitas	30	20	600
16.	Area Rumah Dinas	70	60	4200
17.	Area Mess	40	30	1200



No.	Lokasi	Panjang	Lebar	Luas
		m	m	m <sup>2</sup>
18.	Masjid	20	20	400
19.	Unit Pemadam Kebakaran	20	15	300
20.	Unit Pengolahan Limbah	20	15	300
21.	Taman	25	25	225
22.	Jalan	100	10	1000
23.	Daerah Perluasan	40	30	1200
	Luas Tanah	20800		
	Luas Bangunan	17025		
	Total	39825		

## 4.2 Tata Letak Pabrik (Plant Layout)



**Gambar 4. 2** Tata Letak Pabrik

Keterangan:

1. Pos jaga
2. Kantor keamanan
3. Parkir karyawan
4. Cafeteria
5. Kantor Administrasi
6. Parkir Lama
7. Laboratorium
8. Kantor R&D
9. Kantor K3
10. Bengkel
11. Fire Station
12. Area Proses
13. Control Room

14. Daerah Pengembangan

15. Area Utilitas

16. Kantor Utilitas

17. Gudang

18. Tempat Ibadah

19. Klinik Kesehatan

Tata letak pabrik diartikan sebagai penyusunan, pengaturan, dan penempatan fasilitas-fasilitas produksi untuk menciptakan suatu sistem yang baik dalam suatu proses produksi agar kegiatan produksi tersebut berjalan dengan lancar, efektif dan efisien (Wignjosoebroto, 1996).

Tata letak yang tepat akan berdampak pada terjaminnya keamanan, kenyamanan dan kepuasan kerja dari tenaga kerja. Dengan terjaminnya hal-hal demikian maka prestasi kerja dari tenaga kerja dapat meningkat pula. Berikut beberapa hal-hal yang harus diperhatikan guna mencapai kondisi yang optimal dalam menentukan tata letak pabrik karbon dioksida antara lain:

1. Pabrik karbon dioksida ini merupakan pabrik baru atau dengan kata lain merupakan pabrik pengembangan, sehingga penentuan *layout* tidak dibatasi oleh bangunan yang ada. Karena merupakan pabrik baru maka akan adanya kemungkinan perluasan pabrik sebagai pengembangan pabrik di masa depan.
2. Faktor keamanan. Bila faktor keamanan dalam suatu pabrik diperhatikan maka resiko kecelakaan kerja dapat berkurang pula. Oleh sebab itu, perencanaan *layout* suatu pabrik harus selalu diusahakan jauh dari sumber api, bahan yang mudah meledak serta jauh dari asap atau gas beracun. Selain itu, demi keselamatan kerja maka pada tempat-tempat yang mungkin menimbulkan terjadinya kebakaran ditempatkan dekat atau satu unit dengan pemadam kebakaran.

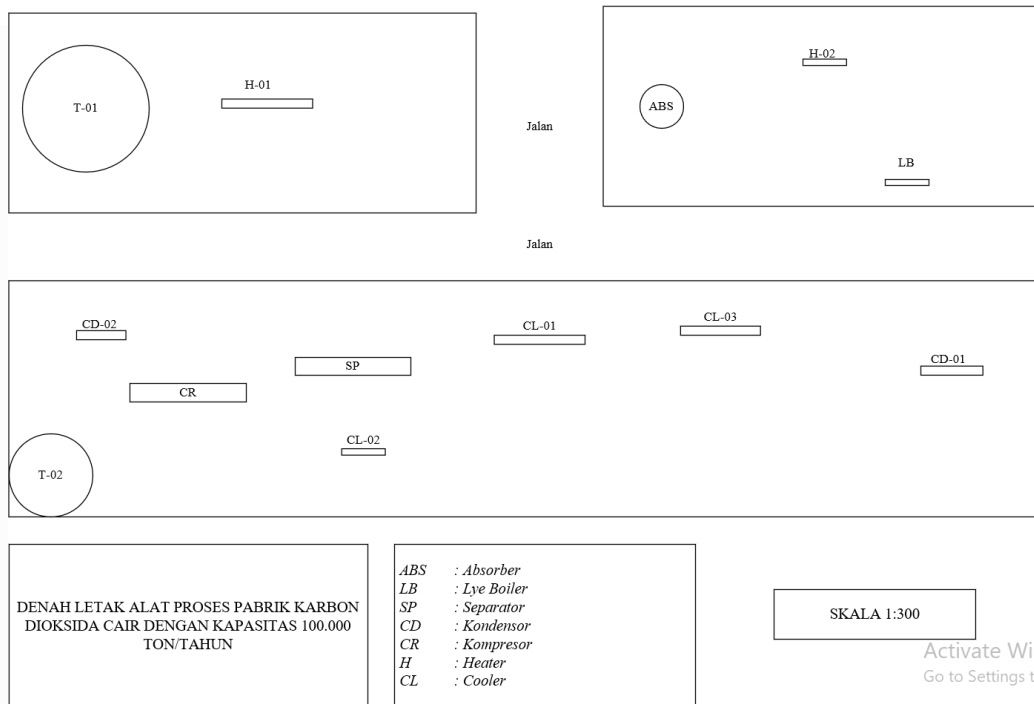
Secara garis besar *layout* pabrik dibagi menjadi beberapa daerah utama diantaranya:

1. Daerah administrasi/perkantoran, laboratorium dan ruang kontrol merupakan pusat kegiatan administrasi pabrik yang mengatur

kelancaran operasi. Sedang laboratorium dan ruang kontrol sebagai pusat pengendalian proses, kualitas dan kuantitas bahan yang akan diproses serta produk yang dijual.

1. Daerah penyimpanan bahan baku dan produk merupakan daerah untuk penyimpanan bahan baku biasanya dapat berupa tangki penyimpanan.
2. Daerah proses produksi merupakan daerah dimana alat proses diletakkan dan proses berlangsung.
3. Daerah gudang, bengkel dan garasi merupakan daerah tempat penyimpanan produk akhir. Bengkel sebagai tempat perbaikan untuk alat- alat yang rusak walau tidak semuanya. Garasi tempat penyimpanan alat- alat tersebut.
4. Daerah utilitas dan *power station* merupakan daerah dimana kegiatan penyediaan bahan pendukung proses berlangsung dipusatkan dapat berupa air ataupun tenaga listrik (Vilbrant, 1959).

### 4.3 Tata letak Mesin/Alat Proses (Machines Layout)



**Gambar 4. 3** Tata Letak Alat

Tata letak alat proses adalah tempat kedudukan dari alat-alat yang digunakan dalam proses produksi. Penyusunannya didasarkan pada alat yang memiliki fungsi sama ditempatkan dalam satu bagian. Dalam perancangan tata letak peralatan proses ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, antara lain :

1. Aliran bahan baku dan produk

Pengaliran bahan baku dan produk yang tepat akan memberikan keuntungan ekonomis yang besar, serta menunjang kelancaran dan keamanan produksi.

2. Aliran udara

Aliran udara di dalam dan di sekitar area proses perlu diperhatikan supaya lancar. Adapun hal ini bertujuan guna menghindari stagnasi udara pada suatu tempat yang dapat mengakibatkan akumulasi bahan kimia yang berbahaya, sehingga dapat membahayakan keselamatan pekerja.

### 3. Penerangan

Penerangan seluruh pabrik harus memadai dan pada tempat-tempat proses yang berbahaya atau beresiko tinggi perlu adanya penerangan tambahan.

### 4. Lalu lintas manusia

Dalam perancangan *layout* pabrik perlu diperhatikan agar pekerja dapat mencapai seluruh alat proses dengan cepat dan mudah. Hal ini bertujuan apabila terjadi gangguan pada alat proses dapat segera diperbaiki dan keamanan pekerja selama menjalani tugasnya juga dapat diprioritaskan.

### 5. Pertimbangan ekonomi

Dalam menempatkan alat-alat proses diusahakan dapat menekan biaya operasi dan menjamin kelancaran dan keamanan produksi pabrik

### 6. Jarak antara alat proses

Untuk alat proses yang mempunyai suhu dan tekanan operasi tinggi sebaiknya dipisahkan dengan alat proses lainnya, sehingga apabila terjadi ledakan atau kebakaran pada alat tersebut maka kerusakan dapat diminimalkan.

### 7. Keamanan

Letak alat-alat proses harus sebaik mungkin, agar jika terjadi kebakaran tidak ada yang terperangkap di dalamnya serta mudah dijangkau oleh kendaraan atau alat pemadam kebakaran.

### 8. Perluasan dan pengembangan pabrik

Setiap pabrik yang didirikan diharapkan dapat berkembang dengan penambahan unit sehingga diperlukan susunan pabrik yang memungkinkan adanya perluasan (Vilbrant, 1959).

## 4.4 Organisasi Perusahaan

### 4.4.1 Bentuk Perusahaan

Dalam merancang suatu pabrik, perlu menentukan bentuk dari perusahaan tersebut. Hal ini akan berpengaruh terhadap proses manajemen organisasi yang baik. Suatu struktur yang baik sangat diperlukan dalam hal ini. Diharapkan pembagian tanggung jawab, wewenang, dan pembagian tugas jelas sehingga tidak

ada tumpang tindih yang mengakibatkan pada keberlangsungan pabrik tersebut. Ditinjau dari badan hukum, bentuk perusahaan dapat dibedakan menjadi empat bagian, yaitu:

1. Perusahaan Perseorangan, modal hanya dimiliki oleh satu orang yang bertanggungjawab penuh terhadap keberhasilan perusahaan.
2. Persekutuan Firma, modal dapat dikumpulkan dari dua orang bahkan lebih, tanggungjawab perusahaan didasari dengan perjanjian yang pendiriannya berdasarkan dengan akte notaris.
3. Persekutuan Komanditer (Commanditaire Vennootschap) yang biasa disingkat dengan CV terdiri dari dua orang atau lebih yang masing-masingnya memiliki peran sebagai sekutu aktif (orang yang menjalankan perusahaan) dan sekutu pasif (orang yang hanya memasukkan modalnya dan bertanggungjawab sebatas dengan modal yang dimasukkan saja).
4. Perseroan Terbatas (PT), modal diperoleh dari penjualan saham untuk mendirikan perusahaan, pemegang saham bertanggung jawab sebesar modal yang dimiliki.

Dengan pertimbangan diatas, pabrik karbon dioksida berbentuk Perseroan Terbatas (PT). Perseroan Terbatas (PT) merupakan perusahaan yang mendapatkan modalnya dari penjualan saham dimana tiap sekutu turut ambil bagian sebanyak satu saham atau lebih. Pemegang saham pada Perseroan Terbatas (PT) hanya bertanggung jawab menyetor penuh jumlah yang disebutkan dalam tiap saham. Alasan dipilihnya bentuk perusahaan Perseroan Terbatas (PT) adalah didasarkan atas beberapa faktor sebagai berikut:

1. Modal didapatkan dari penjualan saham yang disebar di masyarakat atau institusi.
2. Tanggungjawab pemegang saham terbatas, sehingga kelancaran produksi hanya dipegang oleh pimpinan perusahaan.

3. Pemilik dan pengurus perusahaan terpisah satu sama lain. Pemilik perusahaan adalah para pemegang saham dan pengurus perusahaan adalah direksi staf yang diawasi oleh Dewan Komisaris.
4. Kelangsungan hidup perusahaan lebih terjamin karena tidak terpengaruh dengan berhentinya pemegang saham, direksi beserta stafnya atau karyawan perusahaan.
5. Efisiensi dari manajemen. Para pemegang saham dapat memilih orang yang ahli sebagai Dewan Komisaris dan Direktur yang cukup berpengalaman.
6. Lapangan usaha lebih luas. Suatu PT dapat menarik modal yang sangat besar dari masyarakat, sehingga dengan modal ini PT dapat memperluas usahanya.
7. Merupakan badan usaha yang memiliki kekayaan sendiri yang terpisah dari kekayaan pribadi.
8. Mudah mendapatkan kredit dari bank dengan jaminan perusahaan.
9. Mudah bergerak di pasar global.

#### **4.4.3 Struktur Organisasi Perusahaan**

Dalam menjalankan aktivitas di dalam perusahaan agar efisien dan efektif, maka perlu struktur organisasi. Struktur organisasi penting bagi perusahaan agar para karyawan dapat memahami posisi masing-masing. Hal ini berhubungan dengan komunikasi yang terjadi di dalam perusahaan demi tercapainya keselarasan dan keselamatan kerja antar karyawan. Dengan demikian, struktur organisasi suatu perusahaan dapat menggambarkan bagian, posisi, tugas, kedudukan, wewenang dan tanggungjawab dari masing-masing individu dalam perusahaan agar tercapainya keselamatan kerja antar karyawan. Ada beberapa macam struktur organisasi antara lain:

##### **1. Struktur Organisasi Line**

Di dalam struktur organisasi ini biasanya paling sedikit mempunyai tiga fungsi dasar yaitu, produksi, pemasaran dan keuangan. Fungsi ini tersusun dalam suatu organisasi dimana rantai perintah jelas dan mengalir ke bawah melalui tingkatan-tingkatan manajerial. Individu-individu dalam departemen-departemen



melaksanakan kegiatan utama perusahaan. Setiap orang mempunyai hubungan pelaporan hanya ke satu atasan, sehingga ada kesatuan perintah.

## 2. Struktur Organisasi Fungsional

Staf fungsional memiliki hubungan terkuat dengan saluran-saluran line. Jika dilimpahkan wewenang fungsional oleh manajemen puncak, maka seorang staf fungsional mempunyai hak untuk memerintah saluran line sesuai kegiatan fungsional.

## 3. Struktur Organisasi Line and Staff

Staf merupakan individu maupun kelompok dalam struktur organisasi yang fungsi utamanya adalah memberikan saran dan pelayanan kepada fungsi line. Pada umumnya, staf tidak secara langsung terlibat dalam kegiatan utama organisasi, posisi staf untuk memberikan saran dan pelayanan departemen line dan membantu agar tercapainya tujuan organisasi yang lebih efektif. Untuk mendapatkan suatu sistem organisasi yang terbaik maka perlu diperhatikan beberapa azas yang dapat dijadikan pedoman antara lain (Zamani, 1998).

1. Perumusan tujuan perusahaan dengan jelas
2. Tujuan organisasi harus dipahami oleh setiap orang dalam organisasi
3. Tujuan organisasi harus diterima oleh setiap orang dalam organisasi
4. Adanya kesatuan arah (*unity of direction*)
5. Adanya kesatuan perintah (*unity of command*)
6. Adanya keseimbangan antara wewenang dan tanggung jawab
7. Adanya pembagian tugas (*distribution of work*)
8. Adanya koordinasi
9. Struktur organisasi disusun sederhana
10. Pola dasar organisasi harus relatif permanen
11. Adanya jaminan batas (*unity of tenure*)

12. Balas jasa yang diberikan kepada setiap orang harus setimpal dengan jasanya

13. Penempatan orang harus sesuai keahliannya.

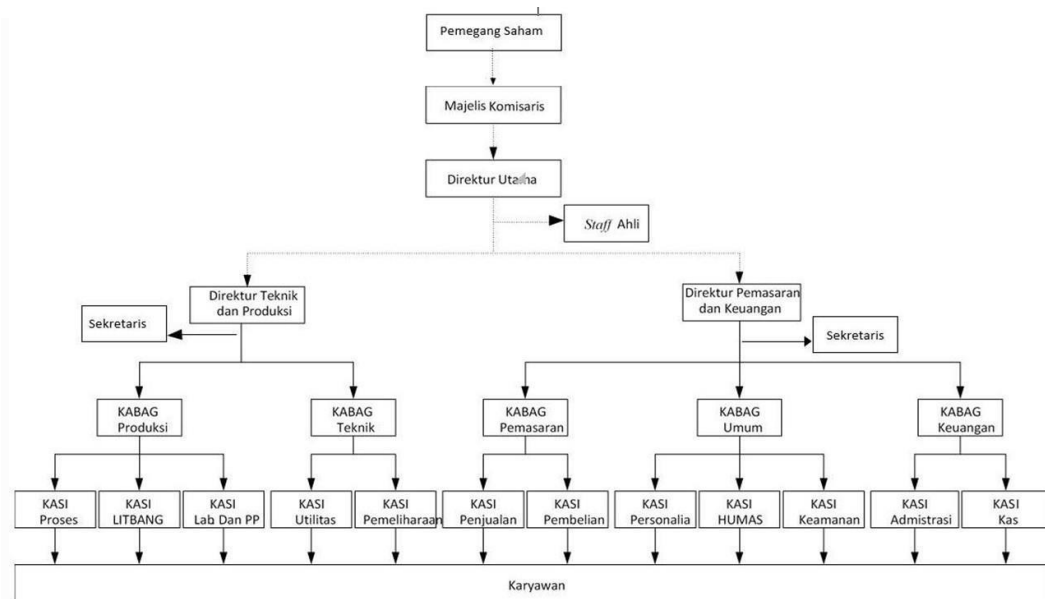
Berdasarkan macam-macam struktur organisasi dan pedomannya, maka diperoleh bentuk struktur organisasi yang baik adalah sistem line and staff. Pada sistem ini, garis kekuasaan sederhana dan praktis. Ada dua kelompok orang-orang yang berpengaruh dalam menjalankan organisasi sistem line dan staff ini yaitu:

1. Sebagai garis atau line yaitu orang-orang yang melaksanakan tugas pokok organisasi dalam rangka mencapai tujuan.
2. Sebagai staff yaitu orang-orang yang melaksanakan tugasnya dengan keahlian yang dimilikinya. Dalam hal ini berfungsi untuk memberikan saran-saran kepada unit operasional. Pemegang saham sebagai pemilik perusahaan dalam pelaksanaan tugas sehari-harinya diwakili oleh Dewan Komisaris, sedangkan tugas untuk menjalankan perusahaan dilaksanakan oleh seorang Direktur Utama yang dibantu oleh Direktur Teknik dan Produksi serta Direktur Keuangan dan Umum. Direktur membawahi beberapa Kepala Bagian dan Kepala Bagian ini akan membawahi para karyawan perusahaan.

Dengan adanya struktur organisasi pada perusahaan maka akan didapatkan beberapa keuntungan, antara lain:

1. Menjelaskan dan menjernihkan persoalan mengenai pembatasan tugas, tanggung jawab, wewenang, dan lain-lain
2. Penempatan pegawai yang lebih tepat
3. Penyusunan program pengembangan manajemen akan lebih terarah
4. Ikut menentukan pelatihan yang diperlukan untuk pejabat yang sudah ada
5. Sebagai bahan orientasi untuk pejabat
6. Dapat mengatur kembali langkah kerja dan prosedur kerja yang berlaku bila terbukti kurang lancar.

#### 4.4.4 Tugas dan Wewenang Karyawan



**Gambar 4. 4** Struktur Organisasi Perusahaan

#### 1. Pemegang saham

Pemegang saham adalah mereka yang mengumpulkan modal untuk kepentingan pendirian pabrik dan jalannya operasi perusahaan tersebut. Kekuasaan tertinggi pada perusahaan yang mempunyai bentuk PT.(Perseroan Terbatas) adalah Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Pada RUPS tersebut pemegang saham berwenang:

- a. Mengangkat dan memberhentikan Dewan Komisaris
- b. Mengangkat dan memberhentikan Direktur
- c. Mengesahkan hasil-hasil usaha serta neraca perhitungan untung rugi tahunan dari perusahaan.

#### 2. Dewan Komisaris

Dewan Komisaris merupakan pelaksana tugas sehari-hari daripada pemilik saham, sehingga dewan komisaris akan bertanggungjawab terhadap pemilik saham. Tugas-tugas Dewan Komisaris, yaitu:

- a. Menilai dan menyetujui rencana direksi tentang kebijakan umum, target perusahaan, alokasi sumber-sumber dana dan pengarah pemasaran.
- b. Mengawasi tugas-tugas direktur

- c. Membantu direktur dalam tugas-tugas penting

### **3. Dewan Direksi**

Direksi Utama merupakan pimpinan tertinggi dalam perusahaan dan bertanggung jawab sebelumnya terhadap maju mundurnya perusahaan. Direktur utama bertanggung jawab kepada Dewan Komisaris atas segala tindakan dan kebijakan yang telah diambil sebagai pimpinan perusahaan. Tugas Direktur Utama antara lain:

1. Melaksanakan kebijakan perusahaan dan mempertanggung jawabkan pekerjaannya secara berkala atau pada masa akhir pekerjaannya pada pemegang saham.
2. Menjaga kestabilan organisasi perusahaan dan membuat kelangsungan hubungan yang baik antara pemilik saham, pimpinan, karyawan, dan konsumen.
3. Mengangkat dan memberhentikan Kepala Bagian dengan persetujuan rapat pemegang saham.
4. Mengkoordinir kerja sama antara bagian produksi (Direktur Produksi) dan bagian keuangan dan umum (Direktur Keuangan dan Umum). Direktur Utama dibantu oleh 2 direktur, yaitu:

#### **a. Direktur Produksi**

Tugas dari Direktur Produksi antara lain:

- 1) Bertanggung jawab kepada Direktur Utama dalam bidang produksi, teknik, dan rekayasa produksi.
- 2) Mengkoordinir, mengatur, serta mengawasi pelaksanaan pekerjaan kepala-kepala bagian yang menjadi bawahannya.

#### **b. Direktur Keuangan dan Umum**

Tugas dari Direktur Keuangan dan Umum antara lain:

- 1) Bertanggung jawab kepada Direktur Utama dalam bidang keuangan, teknik, dan rekayasa produksi
- 2) Mengkoordinir, mengatur, serta mengawasi pelaksanaan pekerjaan kepala-kepala bagian yang menjadi bawahannya.

### **c. Direktur Keuangan dan Umum**

Tugas dari Direktur Keuangan dan Umum antara lain:

- 1) Bertanggung jawab kepada Direktur Utama dalam bidang pemasaran, keuangan, dan pelayanan umum.
- 2) Mengkoordinir, mengatur, dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan kepala-kepala bagian yang menjadi bawahannya.

### **4. Staff Ahli**

Staf ahli terdiri dari tenaga-tenaga ahli yang bertugas membantu Dewan Direksi dalam menjalankan tugasnya baik yang berhubungan dengan teknik maupun administrasi. Staf ahli bertanggung jawab kepada Direktur Utama sesuai dengan bidang keahliannya masing-masing. Tugas dan wewenang Staf Ahli adalah:

- a. Memberikan nasehat dan saran dalam perencanaan pengembangan perusahaan.
- b. Mengadakan evaluasi teknik dan ekonomi perusahaan.
- c. Memberikan saran dalam bidang hukum
- d. Memperbaiki proses dari pabrik atau perencanaan alat dan pengembangan produksi
- e. Mempertinggi efisiensi kerja

### **5. Kepala Bagian**

Secara umum tugas Kepala Bagian adalah mengkoordinir, mengatur, dan mengawasi pelaksanaan pekerjaan dalam lingkungan bagiannya sesuai dengan garis wewenang yang diberikan oleh pimpinan perusahaan. Kepala Bagian dapat juga bertindak sebagai Staf Direktur. Kepala Bagian bertanggung jawab kepada Direktur Utama. Kepala Bagian terdiri dari:

#### **a. Kepala Bagian Produksi**

Bertanggung jawab kepada Direktur Produksi dalam bidang mutu dan kelancaran produksi serta mengkoordinir kepala-kepala seksi yang menjadi bawahannya. Kepala Bagian Produksi membawahi,

- 1) Seksi proses

Tugas seksi proses:

- a. Mengawasi jalannya proses produksi
- b. Menjalankan tindakan seperlunya terhadap kejadian-kejadian yang tidak diharapkan sebelum diambil oleh seksi yang berwenang.

2) Seksi pengendalian

Tugas seksi pengendalian:

- a. Menangani hal-hal yang dapat mengancam keselamatan pekerja
- b. Mengurangi potensi bahaya yang ada.

3) Seksi laboratorium

Tugas seksi laboratorium:

- a. Mengawasi dan menganalisa mutu bahan baku dan bahan pembantu.
- b. Mengawasi dan menganalisa mutu produksi.
- c. Mengawasi hal-hal yang berhubungan dengan buangan pabrik.
- d. Membuat laporan berkala kepada Kepala Bagian Produksi.

4) Seksi penelitian dan pengembangan

Tugas Seksi penelitian dan pengembangan:

- a. Menyelenggarakan penelitian dan pengkajian serta menyiapkan rekomendasi perizinan di bidang penelitian serta ilmu pengetahuan dan teknologi.
- b. Menyelenggarakan fasilitasi pelaksanaan kegiatan pengembangan dan penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) serta inovasi teknologi.
- c. Mengkoordinir kegiatan yang berhubungan dengan peningkatan produksi dan efisiensi proses secara keseluruhan.

## 6. Kepala Bagian teknik

Bertanggung jawab kepada direktur produksi dalam bidang peralatan dan utilitas, pemeliharaan, dan k3 serta Mengkoordinir kepala-kepala seksi yang menjadi bawahannya. Kepala Bagian Teknik membawahi:

- a. Seksi pemeliharaan

Tugas seksi pemeliharaan antara lain:

- 1) Melaksanakan pemeliharaan fasilitas gedung dan peralatan pabrik.
- 2) Memperbaiki kerusakan peralatan pabrik.

b. Seksi utilitas

Tugas seksi utilitas antara lain yaitu melaksanakan dan mengatur sarana utilitas untuk memenuhi kebutuhan proses, air, dan tenaga listrik

c. Seksi Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Tugas seksi keselamatan dan kesehatan kerja antara lain:

- 1) Mengatur, menyediakan, dan mengawasi hal-hal yang berhubungan dengan keselamatan kerja.
- 2) Melindungi pabrik dari bahaya kebakaran.

d. Kepala Bagian Keuangan

Bertanggung jawab kepada Direktur Keuangan dan Umum dalam pengelolaan keuangan, anggaran, administrasi perusahaan, serta pengeluaran sesuai dengan anggaran perusahaan. Kepala Bagian keuangan membawahi:

1) Seksi administrasi

Tugas seksi administrasi adalah :

- a) Menyediakan sarana administrasi dan kebutuhan dana
- b) Menyediakan fasilitas kebutuhan SDM sesuai hak
- c) Mengatur administrasi perkantoran
- d) Terkendalnya dokumen administrasi dan keuangan
- e) Seksi Anggaran dan Keuangan Tugas seksi anggaran dan keuangan
- f) Merencanakan dan mengendalikan arus kas
- g) Mengusulkan prioritas pembayaran
- h) Mencari alternatif pola pembayaran
- i) Kelancaran arus kas, pembayaran sumber daya
- j) Menyusun anggaran perusahaan

## 2) Seksi Pembelian

Tugas seksi pembelian

- a) Melaksanakan pembelian barang dan peralatan yang dibutuhkan perusahaan.
- b) Mengetahui harga pemasaran dan mutu bahan baku
- c) Mengatur keluar masuknya bahan dan alat dari gedung

### e. Kepala Bagian Umum

Bertanggung jawab kepada direktur keuangan dan umum dalam mengatur hubungan antara perusahaan dengan karyawan maupun konsumen, serta menjaga keamanan baik internal dan eksternal yang berkaitan dengan perusahaan. Dalam pelaksanaannya, kepala bagian umum membawahi:

#### 1) Seksi personalia, seksi humas, dan seksi keamanan

Tugas seksi personalia

- a) Membina tenaga kerja dan menciptakan suasana kerja yang sebaik mungkin antara pekerja, pekerjaan, dan lingkungannya supaya tidak terjadi pemborosan waktu dan biaya.
- b) Mengusahakan disiplin kerja yang tinggi dalam menciptakan kondisi kerja yang tenang dan dinamis.
- c) Melaksanakan hal-hal yang berhubungan dengan kesejahteraan karyawan.

#### 2) Seksi hubungan masyarakat Tugas seksi hubungan masyarakat

Tugas Seksi hubungan masyarakat Tugas seksi hubungan masyarakat:

- a) Menganalisa informasi/opini masyarakat dan konsumen dalam kepuasan produk.
- b) Mengelola komunikasi internal dan eksternal di lingkungan perusahaan
- c) Menyiapkan hal yang berhubungan dengan publikasi

#### 3) Seksi Keamanan Tugas seksi keamanan

Tugas :Seksi Keamanan Tugas seksi keamanan

- a) Mengawasi keluar masuknya orang-orang, baik karyawan maupun bukan karyawan di lingkungan pabrik



- b) Menjaga semua bangunan pabrik dan fasilitas perusahaan
- c) Menjaga dan memelihara kerahasiaan yang berhubungan dengan intern perusahaan

## **7. Kepala Seksi**

Kepala seksi adalah pelaksana pekerjaan dalam lingkungan bagiannya sesuai dengan rencana yang telah diatur oleh kepala bagian masing-masing agar diperoleh hasil yang maksimum dan efektif selama berlangsungnya proses produksi. Setiap kepala seksi bertanggung jawab kepada kepala bagian masing-masing sesuai dengan seksinya. Berdasarkan bidangnya, kepala seksi terdiri dari:

- a. Kepala Seksi Proses
- b. Kepala Seksi Pengendalian
- c. Kepala Seksi Laboratorium
- d. Kepala Seksi Penelitian dan Pengembangan
- e. Kepala Seksi Utilitas
- f. Kepala Seksi Pemeliharaan
- g. Kepala Seksi Keselamatan, dan Kesehatan Kerja
- h. Kepala Seksi Administrasi
- i. Kepala Seksi Keuangan/Anggaran
- j. Kepala Seksi Pembelian
- k. Kepala Seksi Hubungan Masyarakat
- l. Kepala Seksi Keamanan
- m. Kepala Seksi Personalia
- n. Kepala Seksi Pemasaran

### **4.4.5 Status Kerja Karyawan**

Sistem upah karyawan dibuat berbeda-beda tergantung pada status karyawan, kedudukan, tanggung jawab dan keahlian. Menurut status karyawan ini dapat dibagi menjadi 3 golongan, sebagai berikut:

### 1) Karyawan Tetap

Karyawan yang diangkat dan diberhentikan dengan Surat Keputusan (SK). Direksi dan mendapat gaji bulanan sesuai dengan kedudukan, keahlian dan masakerja.

### 2) Karyawan Harian

Karyawan yang diangkat dan diberhentikan tanpa Surat Keputusan Direksidan mendapat upah harian yang dibayar tiap akhir pekan.

### 3) Karyawan Borongan

Karyawan yang digunakan oleh pabrik/perusahaan bila diperlukan saja. Karyawan ini menerima upah borongan untuk suatu pekerjaan.

#### 4.4.4 Jam Kerja Karyawan

Pabrik Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) akan beroperasi 330 hari selama satu tahun dalam 24 jam per hari. Sisa hari yang bukan merupakan hari libur digunakan untuk perbaikan, perawatan atau shut down. Pembagian jam kerja karyawan digolongkanmenjadi dua golongan, yaitu:

##### 1. Non - Shift

Karyawan non – shift bekerja 5 hari seminggu dan libur pada hari Sabtu, Minggu dan Hari Besar, dengan jam kerja:

- Senin & Kamis:

Jam Kerja : 08.00 – 16.00

Istirahat : 12.00 – 13.00

- Jum'at

Jam Kerja : 07.30 – 16.00

Istirahat : 11.30 – 13.00

## 2. Shift

### a) Shift Operasi

1) Shift Pagi : 08.00 – 16.00

2) Shift Sore : 16.00 – 24.00

3) Shift Malam : 00.00 – 08.00

### b) Shift Security

1) Shift Pagi : 06.00 – 14.00

2) Shift Sore : 14.00 – 22.00

3) Shift Malam : 22.00 – 06.00

Karyawan shift dikelompokkan menjadi empat kelompok, yaitu shift A, B, C dan D. Dalam satu hari kerja, hanya 3 kelompok yang masuk, sedangkan 1 kelompok shift yang lain libur. Tiap kelompok bekerja tujuh hari dan libur dua hari. Siklus pergantian shift selama 9 hari tersaji dalam table 4.3 (siklus terulang tiap 9 hari)

**Tabel 4.2** Siklus Pergantian *Shift* Karyawan

Shift	Hari Ke-								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pagi	A	B	C	D	A	B	C	D	A
Sore	B	C	D	A	B	C	D	A	B
Malam	C	D	A	B	C	D	A	B	C
Off	D	A	B	C	D	A	B	C	D

Keterangan :

A, B, C, D : Regu Kerja

Off : Libur

#### 4.4.5 Jumlah Pekerja, Sistem Gaji dan Golongan Pekerja

##### 4.4.5.1 Jumlah Pekerja

Berikut adalah jumlah karyawan yang ada di dalam perusahaan

**Tabel 4. 3** Jumlah Pekerja & Kualifikasi Golongan Pekerja

No.	Jabatan	Jumlah
1.	Direktur Utama	1
2.	Direktur Teknik dan Produksi	1
3.	Direktur Keuangan dan Umum	1
4.	Ka. Bag. Proses dan Utilitas	1
5.	Ka. Bag. Penelitian, pengembangan dan pengendalian mutu	1
6.	Ka. Bag. Pemasaran dan Keuangan	1
7.	Ka. Bag. Administrasi	1
8.	Ka. Bag. Umum dan Keamanan	1
9.	Ka. Bag. K3	1
10.	Ka. Bag. Pemeliharaan, Listrik, dan Instrumentasi	1
11.	Ka. Sek. UPL	1
12.	Ka. Sek. Proses	1
14.	Ka. Sek. Penelitian dan Pengembangan	1
15.	Ka. Sek. Listrik dan Instrumentasi	1
16.	Ka. Sek. Laboratorium	1
17.	Ka. Sek. Keuangan	1
18.	Ka. Sek. Pemasaran	1
19.	Ka. Sek. Personalia	1
20.	Ka. Sek. Humas 1	1
21.	Ka. Sek. Keamanan	1
22.	Ka. Sek. K3	1

No.	Jabatan	Jumlah
23.	Ka. Sek.Tata Usaha	1
24.	Ka. Sek.Utilitas	1
25.	Karyawan Personalia	5
26.	Karyawan Humas	5
27.	Karyawan UPL	5
28.	Karyawan Pembelian	5
29.	Karyawan Pemasaran	5
30.	Karyawan Administrasi	4
31.	Karyawan Kas/Anggaran	4
32.	Karyawan Proses	40
33.	Karyawan Pengendalian	6
34.	Karyawan Laboratorium	6
35.	Karyawan Pemeliharaan	6
36.	Karyawan Utilitas	22
37.	Karyawan K3	7
38.	Karyawan Keamanan	8
39.	Sekretaris	6
40.	Dokter	6
41.	Perawat	5
42.	Supir	10
43.	<i>Cleaning Service</i>	11

Suatu pabrik yang telah didirikan harus terdapat aturan penggolongan jabatan, karena hal ini akan berkaitan dengan keberlangsungan pabrik untuk bersaing di pasaran. Berikut rincian penggolongan jabatan:

**Tabel 4. 4** Golongan Jabatan

<b>Jabatan</b>	<b>Pendidikan</b>
Direktur Utama S-2	S-2
Direktur	S-2
Kepala Bagian	S-1
Kepala Seksi	S-1
Staff Ahli	S-1
Sekretaris	S-1
Dokter	S-1
Perawat	D-3/D-4/S-1
Karyawan	D-3/S-1
Supir	SLTA
<i>Cleaning Service</i>	SLTA
Satpam	SLTA

#### 4.4.5.2 Sistem Gaji Pegawai

Sistem pembagian gaji pada perusahaan terbagi menjadi 3 jenis yaitu:

a. Gaji Bulanan

Gaji yang diberikan kepada pegawai tetap dengan jumlah sesuai peraturan perusahaan.

b. Gaji Harian

Gaji yang diberikan kepada karyawan tidak tetap atau buruh harian.

c. Gaji Lembur

Gaji yang diberikan kepada karyawan yang bekerja melebihi jam kerja pokok.

Berikut adalah rincian gaji sesuai dengan jabatan:

**Tabel 4. 5 Rincian Gaji Sesuai Jabatan**

No.	Jabatan	Jumlah	Gaji/bulan	Total Gaji
1.	Direktur Utama	1	Rp 40.000.000	Rp 40.000.000
2.	Direktur Teknik dan Produksi	1	Rp 30.000.000	Rp 30.000.000
3.	Direktur Keuangan dan Umum	1	Rp 30.000.000	Rp 30.000.000
4.	Ka. Bag. Proses dan Utilitas	1	Rp 15.000.000	Rp 15.000.000
5.	Ka. Bag. Penelitian, Pengembangan dan Pengendalian Mutu.	1	Rp 15.000.000	Rp 15.000.000
6.	Ka. Bag. Pemasaran dan Keuangan	1	Rp 15.000.000	Rp 15.000.000
7.	Ka. Bag. Administrasi	1	Rp 15.000.000	Rp 15.000.000

<b>No.</b>	<b>Jabatan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Gaji/bulan</b>	<b>Total Gaji</b>
8.	Ka. Bag. Umum dan Keamanan	1	Rp 15.000.000	Rp 15.000.000
9.	Ka. Bag. K3	1	Rp 15.000.000	Rp 15.000.000
10.	Ka. Bag. Pemeliharaan, Listrik, dan Instrumentasi	1	Rp 15.000.000	Rp 15.000.000
11	Ka. Sek. Utilitas	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
12.	Ka. Sek. UPL	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
13.	Ka. Sek. Proses	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
14.	Ka. Sek. Bahan Baku dan Produk	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
15.	Ka.Sek. Pemeliharaan dan Bengkel	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
16.	Ka. Sek. Listrik dan Instrumentasi	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
17.	Ka. Sek. Penelitian dan Pengembangan	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
18.	Ka. Sek. Keuangan	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000



<b>No.</b>	<b>Jabatan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Gaji/bulan</b>	<b>Total Gaji</b>
19.	Ka. Sek. Pemasaran	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
20.	Ka. Sek. Personalia	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
21.	Ka. Sek. Humas	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
22.	Ka. Sek. Keamanan	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
19.	Ka. Sek. Pemasaran	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
20.	Ka. Sek. Personalia	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
21.	Ka. Sek. Humas	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
22.	Ka. Sek. Keamanan	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
23.	Ka. Sek. Tata Usaha	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
24.	Ka. Sek. Keamanan	1	Rp 14.000.000	Rp 14.000.000
25.	Karyawan Personalia	3	Rp6.000.000	Rp 18.000.000
26.	Karyawan UPL	3	Rp 6.000.000	Rp 18.000.000
27.	Karyawan Pembelian	3	Rp 6.000.000	Rp 18.000.000
28.	Karyawan Pemasaran	3	Rp 6.000.000	Rp 18.000.000
29.	Karyawan Administrasi	3	Rp 6.000.000	Rp 18.000.000

No.	Jabatan	Jumlah	Gaji/bulan	Total Gaji
30.	Karyawan Kas/Anggaran	3	Rp 6.000.000	Rp 18.000.000
31.	Karyawan Proses	5	Rp 9.000.000	Rp 45.000.000
32.	Karyawan Pengendalian	5	Rp 9.000.000	Rp 45.000.000
33.	Karyawan Laboratorium	5	Rp 9.000.000	Rp 45.000.000
34.	Karyawan Pemeliharaan	5	Rp 9.000.000	Rp 45.000.000
35.	Karyawan Utilitas	5	Rp 9.000.000	Rp 45.000.000
36.	Karyawan K3	5	Rp 6.000.000	Rp 30.000.000
37.	Karyawan Keamanan	4	Rp 2.500.000	Rp 10.000.000
38.	Sekretaris	2	Rp 6.000.000	Rp 12.000.000
39.	Dokter	2	Rp 8.000.000	Rp 16.000.000
40.	Perawat	2	Rp 5.000.000	Rp 10.000.000
41.	Supir	5	Rp 1.500.000	Rp 7.500.000
42.	<i>Cleaning Service</i>	8	Rp 1.500.000	Rp 12.000.000
Total		95		Rp 846.500.000

#### 4.4.6 Kesejahteraan Sosial Karyawan

Kesejahteraan sosial yang diberikan oleh perusahaan pada karyawan antara lain berupa tunjangan, cuti, seragam kerja, BPJS kesehatan dan ketenagakerjaan

##### 4.4.8.1 Tunjangan

Tunjangan yang diberikan kepada karyawan yaitu berupa:

- a. Tunjangan yang berupa gaji pokok yang diberikan berdasarkan golongan karyawan yang bersangkutan.
- b. Tunjangan jabatan yang diberikan berdasarkan jabatan yang dipegang oleh karyawan.
- c. Tunjangan lembur yang diberikan kepada karyawan yang bekerja di luar jam kerja berdasarkan jumlah jam kerja

##### 4.4.8.2 Cuti

- a. Cuti tahunan diberikan kepada setiap karyawan selama 12 hari kerja dalam satu (1) tahun.
- b. Cuti sakit diberikan kepada setiap karyawan yang menderita sakit berdasarkan keterangan dokter.

##### 4.4.8.3 Seragam Kerja

Pakaian kerja diberikan kepada setiap karyawan sejumlah 3 pasang untuk setiap tahunnya, dengan peraturan pemakaian 3 hari (senin, selasa, rabu) menggunakan seragam kerja dan hari selebihnya dapat menggunakan baju batik pribadi.

##### 4.4.8.4 BPJS Kesehatan

Berdasarkan UU No. 40 Tahun 2004 tentang Sistem Jaminan Sosial Nasional dan UU No.24 Tahun 2011 BPJS Kesehatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (2) huruf a menyelenggarakan program jaminan kesehatan. Jaminan kesehatan yang diberikan oleh perusahaan yaitu:

- a. Biaya pengobatan bagi karyawan yang menderita sakit yang diakibatkan oleh kecelakaan kerja ditanggung perusahaan sesuai dengan undang -

undang yang berlaku.

- b. Biaya pengobatan bagi karyawan yang menderita sakit yang tidak diakibatkan oleh kecelakaan kerja diatur berdasarkan kebijaksanaan perusahaan.

#### 4.4.8.5 BPJS Ketenagakerjaan

Berdasarkan UU No.40 Tahun 2004 tentang Sistem Jaminan Sosial Nasional dan UU No.24 Tahun 2011 tentang Badan Penyelenggara Jaminan Sosial, BPJS Ketenagakerjaan menyelenggarakan 4 program yakni Program Jaminan Kecelakaan Kerja (JKK), Jaminan Hari Tua (JHT), Jaminan Pensiun (JP), dan Jaminan Kematian (JK). Sementara Program Jaminan Kesehatan diselenggarakan oleh BPJS Kesehatan. Berdasarkan UU tersebut, pemberi kerja (perusahaan) wajib mendaftarkan seluruh pekerjanya menjadi peserta BPJS Ketenagakerjaan secara bertahap menurut ketentuan perundang-undangan.

## BAB V UTILITAS

### 5. 1 Unit Penyediaan dan Pengolahan Air

#### 5.1.1 Unit Penyedia Air

Suatu Industri membutuhkan air untuk berjalannya proses produksi, kebutuhan air tersebut dipenuhi dengan menggunakan sumber air dari berbagai macam diantaranya air sumur, air danau, air sungai, atau air laut sebagai sumbernya. Prarancangan pabrik Karbon Dioksida ini menggunakan Sungai Bengawan Solo sebagai sumber mendapatkan air karena dekat dengan lokasi pabrik. Untuk menghindari fouling yang terjadi pada alat-alat penukar panas maka perlu diadakan pengolahan air sungai yang dilakukan secara fisis dan kimia. Pertimbangan menggunakan air sungai sebagai sumber untuk mendapatkan air adalah sebagai berikut :

- Air sungai merupakan sumber air yang kontinuitasnya relatif tinggi, sehingga kendala kekurangan air dapat dihindari.
- Pengolahan air sungai relatif lebih mudah, sederhana, dan biaya pengolahan relatif murah dibandingkan dengan proses pengolahan air laut yang lebih rumit dan biaya pengolahannya lebih besar. Secara keseluruhan, kebutuhan air pada pabrik ini digunakan untuk keperluan.

#### a. Air Pendingin

Air digunakan sebagai pendingin dengan pertimbangan sebagai berikut:

- Air merupakan materi yang dapat diperoleh dalam jumlah besar.
- Dapat menyerap jumlah panas yang relatif tinggi persatuan volume.
- Mudah pengolahan dan pengaturannya.
- Tidak terdekomposisi.

#### b. Air Sanitasi

Air sanitasi merupakan air yang digunakan untuk keperluan sanitasi diantaranya untuk keperluan perumahan, perkantoran, laboratorium, dan masjid. Air sanitasi harus memenuhi kualitas tertentu yaitu:

### Syarat Fisika

- Suhu : Dibawah suhu udara
- Warna : Jernih - Rasa : Tidak berasa
- Bau : Tidak berbau

### Syarat Kimia

- Tidak mengandung zat organik dan anorganik yang terlarut dalam air
- Tidak beracun
- Kadar klor bebas sekitar 0,7 ppm

### Syarat Bakteriologis

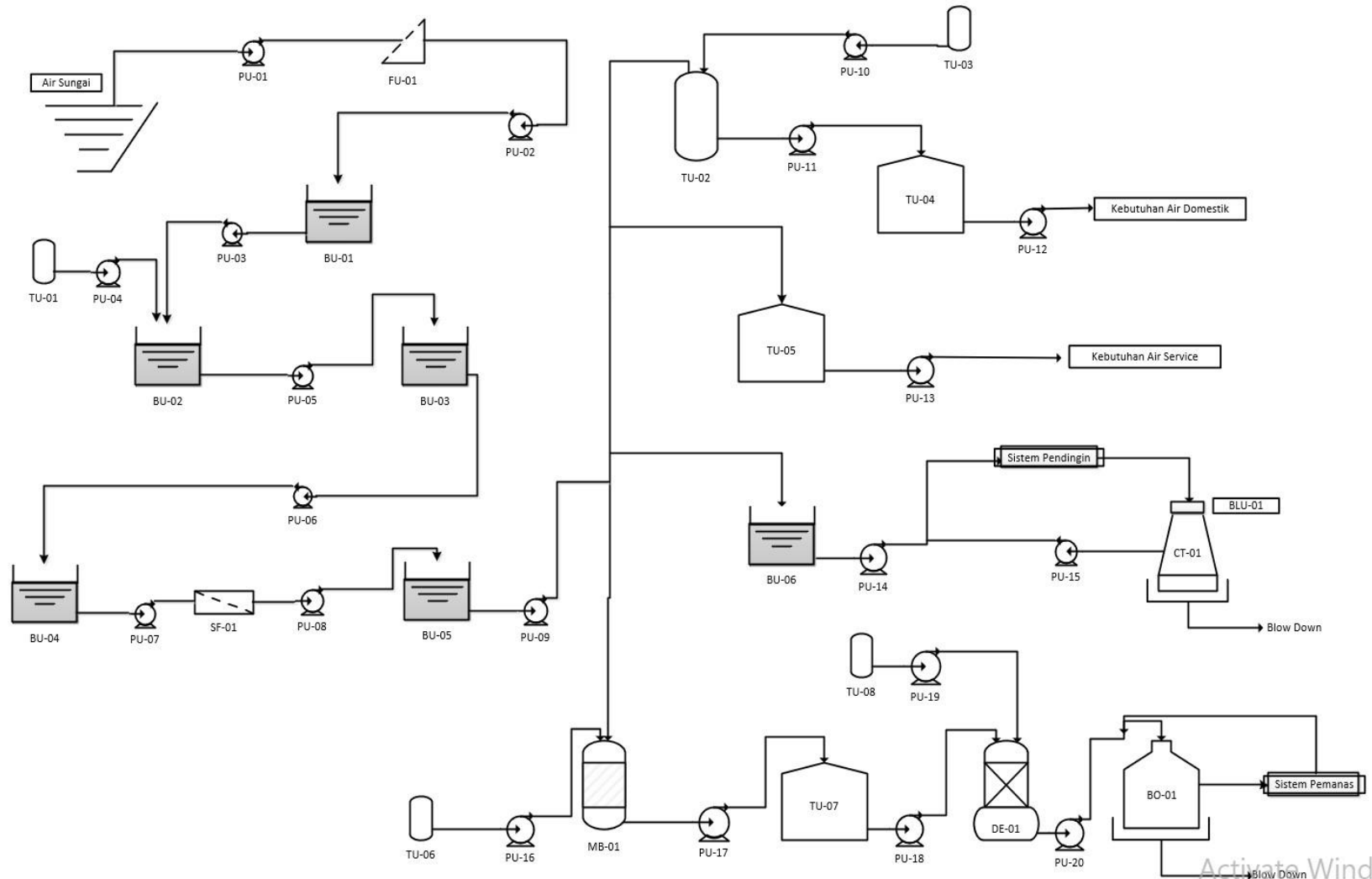
- Tidak mengandung bakteri
- Bakteri, terutama bakteri pathogen

### c. Air Umpan Boiler

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam penanganan air umpan boiler adalah sebagai berikut:

- Zat-zat yang dapat menyebabkan korosi. Korosi yang terjadi dalam boiler disebabkan karena air mengandung larutan-larutan asam, gas- gas terlarut seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan  $\text{NH}_3$ .  $\text{O}_2$  masuk karena aerasi maupun kontak dengan udara luar.
- Zat – zat yang dapat menyebabkan kerak Pembentukan kerak disebabkan adanya kesadahan dan suhu tinggi, yang biasanya berupa garam-garam karbonat dan silika. Adanya kerak akan mengakibatkan turunnya efisiensi operasi bahkan bisa mengakibatkan boiler tidak beroperasi sama sekali.
- Zat – zat yang dapat menyebabkan foaming Air yang diambil kembali dari proses pemanasan bisa menyebabkan foaming pada boiler karena adanya zat-zat organik yang tak larut dalam jumlah besar. Efek pembusaan biasanya terjadi pada alkalinitas tinggi.

Gambar 5.1 Flow Utilitas



Keterangan:

1. PU-01-20 : Pompa Utilitas
2. FU-01 : Screening
3. BO-01 : Boiler
4. BU-01 : Bak Sedimentasi
5. TU-01 : Tangki Alum
6. BU-02 : Bak Koagulasi dan Flokulasi
7. SF-01 : Sand Filter
8. BU-03 : Bak Pengendap I
9. TU-02 : Tangki Klorinasi
10. TU-03 : Tangki Kaporit
11. TU-04 : Tangki Air Bersih
12. TU-05 : Tangki Service Water
13. TU-06 : Tangki NaCl
14. BU-04 : Bak Pengendap II
15. BU-05 : Bak Penampung Sementara
16. CT-01 : Cooling Tower
17. MB-01 : Mixed-Bed
18. TU-07 : Tangki Air Demin
19. TU-08 : Tangki N2H4
20. BU-06 : Bak Air Pendingin
21. DE-01 : Deaerator
22. BLU-01 : Blower Cooling Tower



### 5.1.2 Unit Pengelolaan Air

Perancangan suatu pabrik membutuhkan sumber air terdekat yang nantinya akan memenuhi keberlangsungan suatu proses. Pada pabrik karbon dioksida ini, sumber air terdekat didapatkan dari Sungai Bengawan Solo. Berikut diagram alir pengolahan air beserta penjelasan tahap - tahap proses pengolahan air yang dilakukan :

#### a. Penghisapan

Air yang diambil dari sungai perlu adanya pemompaan yang selanjutnya air tersebut dialirkan menuju alat penyaringan (screen) untuk menghilangkan partikel kotoran yang berukuran cukup besar. Setelah tahap screening air akan ditampung di dalam reservoir.

#### b. Penyaringan (Screening)

Tahap screening adalah proses memisahkan kotoran-kotoran yang berukuran cukup besar seperti daun, ranting, dan sampah-sampah lainnya tanpa menggunakan bahan kimia. Sedangkan partikel kecil yang masih terbawa akan diolah di tahap pengolahan air berikutnya. Pada sisi isap pompa perlu dipasang saringan (screen) dan ditambah fasilitas pembilas untuk meminimalisir alat penyaring menjadi kotor.

#### c. Penggumpalan

Koagulasi merupakan proses penggumpalan partikel koloid akibat penambahan bahan koagulan atau zat kimia sehingga partikel-partikel tersebut bersifat netral dan membentuk endapan karena gravitasi. Koagulan yang digunakan adalah tawas atau Aluminium Sulfat ( $Al_2(SO_4)_3$ ), yang merupakan garam yang berasal dari asam kuat dan basa lemah, sehingga dalam air yang mempunyai suasana basa akan mudah terhidrolisis. Untuk memperoleh sifat alkalis agar proses flokulasi dapat berjalan efektif, sering ditambahkan kapur karena kapur berfungsi untuk mengurangi atau menghilangkan kesadahan karbonat dalam air untuk membuat suasana basa sehingga mempermudah penggumpalan. Sedangkan proses flokulasi bertujuan untuk menggumpalkan partikel-partikel tersebut menjadi flok dengan ukuran yang memungkinkan untuk dipisahkan dengan sedimentasi dan filtrasi.

d. Bak Pengendap

Bak pengendap ini bertujuan untuk tempat pengendapan flok yang terbentuk dari proses koagulasi-flokulasi. Bentuk-bentukan flok tadi akan mengendap yang selanjutnya dapat dibuang (*blow down*).

e. Penyaringan (Sand Filter)

Air dari bak pengendap yang masih mengandung padatan tersuspensi selanjutnya memasuki alat sand filter untuk difiltrasi. Filtrasi ini bertujuan untuk menghilangkan mineral-mineral yang terkandung di dalam air, seperti  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$  dan lain-lain dengan menggunakan resin. Sand Filter dicuci (*back wash, rinse*) bila sudah dianggap kotor.

f. Bak Penampung Air Bersih (Filter Water Storage)

Filtered water yang sudah melalui tahap filtrasi bisa disebut sebagai air bersih dan ditampung dalam bak penampung air bersih. Produksi filtered water yang ada di storage selanjutnya didistribusikan sebagai:

- Air layanan umum (service water)
- Domestic water - Make up Cooling Tower
- Bahan baku Demin Plant

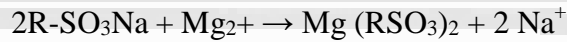
g. Demineralisasi

Proses demineralisasi ini bertujuan untuk menyiapkan air murni bebas mineral-mineral terlarut seperti  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$ , sehingga didapatkan air bermutu tinggi dan memenuhi persyaratan sebagai air umpan Boiler. Peralatan-peralatan yang digunakan untuk pembuatan Demin Water ini adalah:

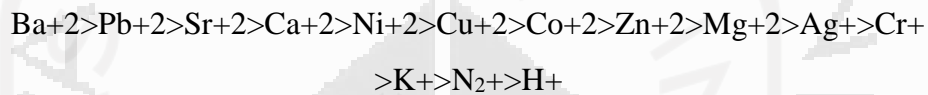
- Cation Exchanger

Dari bak penampung air bersih, air kemudian mengalir ke unit Cation Exchanger untuk ditukar ion-ion positifnya ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$ ,  $\text{Al}^{++}$ ) terutama C, M, dengan ion-ion  $\text{H}^+$  atau  $\text{Na}^+$  oleh

resin. Karena  $\text{Ca}^{++}$  dan  $\text{Mg}^{++}$  penyebab terjadinya kerak-kerak pada Boiler yang selanjutnya akan mengganggu operasi. Reaksi penukaran kation yaitu:



Ion  $\text{Mg}^{2+}$  dapat menggantikan ion  $\text{Na}^+$  yang ada dalam resin karena selektivitas  $\text{Mg}^{2+}$  lebih besar dari selektivitas  $\text{Na}^+$ . Urutan selektivitas kation adalah sebagai berikut:



Saat resin kation telah jenuh, maka resin penukar kation akan diregenerasi kembali. Larutan peregenerasi yang digunakan adalah  $\text{NaCl}$ . Reaksi regenerasi nya:



#### - Anion Exchanger

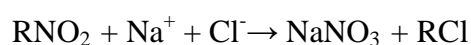
Air yang sudah bebas ion – ion positifnya selanjutnya dialirkan ke unit Anion Exchanger untuk diserap / ditukar ion negatif ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ) dengan resin yang memiliki sifat basa, yang memiliki formula  $\text{RCI}$ . Reaksi pertukarannya yaitu:



dapat menggantikan ion  $\text{Cl}^-$  yang ada dalam resin karena selektivitas  $\text{NO}_3^-$  lebih besar dari selektivitas  $\text{OH}^-$ . Urutan selektivitas anion adalah sebagai berikut:



Saat resin anion telah jenuh, maka resin penukar anion akan diregenerasi kembali. Larutan peregenerasi yang digunakan adalah  $\text{NaCl}$ . Reaksi Regenerasi:

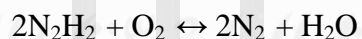


- Mixed Bed

Unit Mixed Bed adalah tempat pembersihan air yang terakhir yang akan dipakai untuk mengisi Boiler bertekanan tinggi dimana resin anion dan resin kation digabungkan dalam satu vessel. Kation akan terambil oleh resin kation dan anion terambil oleh resin anion. Apabila mixed bed sudah jenuh, maka dilakukan regenerasi, sehingga kondisi resin dapat berfungsi kembali seperti semula.

- Deaerator

Tujuan dari unit ini adalah menghilangkan gas-gas terlarut terutama O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> yang masih terikat dalam feed water yang telah didemineralisasi. Gas-gas tersebut dihilangkan agar tidak menyebabkan korosi pada alat proses. Reaksi yang disebabkan oleh gas-gas tersebut menyebabkan terbentuknya bitnik-bintik pada pipa yang semakin menebal dan akhirnya menutupi permukaan pipa. Sehingga diperlukan pemanasan agar gas-gas terlarut tersebut dapat dihilangkan. Dalam deaerator, dengan menggunakan koil pemanas, air dipanaskan hingga suhu mencapai 90°C. dalam deaerator juga diinjeksikan zat-zat kimia yaitu hidrazin yang berfungsi untuk mengikat oksigen dengan reaksi seperti berikut:



### 5.1.3 Kebutuhan Air

#### a. Kebutuhan Air Pendingin

**Tabel 5. 1** Kebutuhan Air Pendingin

Alat	Kode
Cooler -01	CL -01
Cooler -02	CL -02
Cooler -03	CL -03
Jumlah	913272.6370

Kebutuhan total air pendingin = 913272.64 kg/jam

Perancangan dibuat oversized 20% = 1095927.16 kg/jam

Jumlah air yang menguap ( $W_e$ )

= 18630.7618 Kg/Jam

*Drift Loss* ( $W_d$ )

= 219.1854 Kg/Jam

*Blowdown* ( $W_b$ )

= 5991.07 Kg/Jam

Sehingga jumlah Make Up Water ( $W_m$ ) adalah

$$W_m = W_e + W_d + W_b$$

= 29809.22 Kg/Jam

Perancangan dibuat oversized 20%, sehingga  $W_m = 29809.22$  Kg/Jam

b. Kebutuhan Air Pembangkit Steam/Pemanas Kebutuhan total air untuk steam =  
32186840.70 kg/jam

Perancangan dibuat overdesign 20% = 38624208.8443 kg/jam

-*Blowdown* = 15% x Kebutuhan Steam

= 4828026.10 Kg/Jam

- Steam Trap = 5% x Kebutuhan Steam

= 1609342.0352 Kg/Jam

Kebutuhan air make up untuk steam = Blowdown + Steam Trap

= 6437368.14 Kg/Jam

Perancangan ini dibuat overdesign, sehingga : Kebutuhan air make up  
untuk steam = 7724841.76 Kg/Jam

c. Kebutuhan Air Domestic Kebutuhan air domestic meliputi

kebutuhan air untuk karyawan dan kebutuhan air untuk tempat tinggal.

Kebutuhan air karyawan Menurut standar WHO, kebutuhan air untuk 1 orang adalah 100-120 liter/hari.

- Diambil kebutuhan air tiap orang = 100 liter/hari  
= 4,0729 g/jam
- Jumlah karyawan = 173 orang
- Kebutuhan air untuk semua karyawan = 704.6180 Kg/Jam
- Kebutuhan air untuk area mess
- Jumlah mess = 20 Rumah
- Penghuni setiap mess = 3 Orang

- Kebutuhan air untuk mess = 10.000 Kg/Jam --

Total kebutuhan air domestik = 26910.8313 Kg/Jam

d. Kebutuhan Service Water

Kebutuhan service water diperkirakan sekitar 500 kg/jam. Perkiraan kebutuhan air ini nantinya akan digunakan untuk bengkel, laboratorium, pemadam kebakaran, kantin, dan lain –lain. Sehingga dapat dilihat total kebutuhan air adalah sebesar 7782061.8190 Kg/Jam. Dapat dilihat berdasarkan tabel dibawah.

**Tabel 5. 2** Total Kebutuhan Air

Keperluan	Jumlah (Kg/Jam)
<i>Domestic Water</i>	26.910,83
<i>Service Water</i>	500
<i>Cooling Water</i>	29.809,22
<i>Steam Water</i>	7.724.841,77
Total	7.782.061,82

### 5.2 Unit Pembangkit Steam

Unit ini bertujuan untuk mencukupi kebutuhan steam pada proses produksi, dengan menyediakan ketel uap (boiler) dengan spesifikasi : Kapasitas : 26822367.25 Kg/Jam

Jenis : Water Tube Boiler

Jumlah : 1

Boiler tersebut dilengkapi dengan sebuah unit *economizer safety valve* sistem dan pengaman yang bekerja secara otomatis. Air dari water treatment plant yang akan digunakan sebagai umpan boiler terlebih dahulu diatur kadar silika, O<sub>2</sub>, Ca dan Mg yang mungkin masih terikut dengan jalan menambahkan bahan-bahan kimia ke dalam boiler feed water tank. Selain itu juga perlu diatur pHnya yaitu sekitar 10,5-11,5 karena pada pH yang terlalu tinggi korosivitasnya juga tinggi.

Sebelum masuk ke boiler, umpan dimasukkan dahulu ke dalam *economizer*, yaitu alat penukar panas yang memanfaatkan panas dari gas sisa pembakaran yang keluar dari boiler. Di dalam alat ini air dinaikkan temperaturnya hingga 200°C, kemudian diumpankan ke boiler. Di dalam boiler, api yang keluar dari alat pembakaran (burner) bertugas untuk memanaskan lorong api dan pipa-pipa api. Gas sisa pembakaran ini masuk ke *economizer* sebelum dibuang melalui cerobong asap, sehingga air di dalam boiler menyerap panas dari dinding-dinding dan pipa-pipa api maka air menjadi mendidih.



**Tabel 5. 3** Total Kebutuhan Steam

Nama Alat	Kode	Jumlah (kg/jam)
Heater-01	HE-01	4.850.537,53
Heater-02	HE-02	10.618,82
<i>Lye Boiler</i>	LB	13.180.382,31
Jumlah		18.041.538,67

## 5.2 Unit Pembangkit Listrik

Pabrik Karbon Dioksida kebutuhan listriknya diperoleh dari PLN dan generator diesel. Dimana fungsi generator diesel yaitu sebagai tenaga cadangan saat terjadinya gangguan atau pemadaman listrik oleh PLN. Berikut spesifikasi generator diesel yang dapat digunakan yaitu:

Kapasitas = 104,0140 kW

Jumlah = 1 buah

Berikut rincian untuk kebutuhan listrik pabrik:

### 5.2.1 Kebutuhan listrik untuk alat proses

**Tabel 5. 4** Total Kebutuhan Listrik

Alat	Kode Aalat	Daya	
		Hp	Watt
Pompa Proses	P-01	9.59	7149.03
	P-02	31.85	23748.31
	P-03	0.167	124.53
	P-04	0.167	124.53
	P-05	0.167	124.53
Kompresor	CR	60	44742
Total		<b>41.935</b>	<b>31270.92</b>

Total power yang dibutuhkan :

$$P = 31270.92 \text{ Watt}$$

$$= 31.27092 \text{ kW}$$

### 5.2.2 Kebutuhan listrik untuk utilitas

**Tabel 5. 5** Total Kebutuhan Listrik

Alat	Kode Alat	Daya	
		Hp	Watt
Cooling Tower	CT-01	15	11185.5000
Blower	BL-01	0.5	372.8500
Pompa	PU-01	1.5	1118.5500
Pompa	PU-02	1.5	1118.5500
Pompa	PU-03	1.5	1118.5500
Pompa	PU-04	0.05	37.2850
Pompa	PU-05	1.5	1118.5500
Pompa	PU-06	1.5	1118.5500
Pompa	PU-07	1.5	1118.5500
Pompa	PU-08	0.75	559.2750
Pompa	PU-09	0.5	372.8500
Pompa	PU-10	0.05	37.2850
Pompa	PU-11	3	2237.1000
Pompa	PU-12	0.5	372.8500
Pompa	PU-13	0.05	37.2850
Pompa	PU-14	0.3333	248.5418
Pompa	PU-15	0.0500	37.2850
Pompa	PU-16	0.0500	37.2850
Pompa	PU-17	0.0500	37.2850

Alat	Kode Alat	Daya	
		Hp	Watt
Pompa	PU-18	0.0500	37.2850
Pompa	PU-19	0.05	37.2850
Pompa	PU-20	0.05	37.2850
<b>Total</b>		<b>35,03</b>	<b>22.395,83</b>

Total power yang dibutuhkan :

$$P = 22.395,83 \text{ Watt}$$

$$P = 22,39583 \text{ kW}$$

Total listrik yang dibutuhkan untuk motor penggerak :

$$P = 53,67 \text{ kW}$$

#### 5.2.3 Kebutuhan listrik alat kontrol

Power yang dibutuhkan untuk alat kontrol diperkirakan 25% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor:

$$P = 14.35 \text{ kW}$$

#### 5.2.4 Kebutuhan listrik untuk penerangan

Power yang dibutuhkan untuk alat penerangan diperkirakan 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor:

$$P = 5,3705 \text{ kW}$$

#### 5.2.5 Kebutuhan listrik untuk peralatan kantor

Power yang dibutuhkan untuk kantor seperti (AC, computer, dan lain-lain) diperkirakan 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor :

$$P = 8.7 \text{ kW}$$

#### 5.2.6 Kebutuhan listrik untuk penerangan

Power yang dibutuhkan untuk alat penerangan diperkirakan 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor:

$$P = 5,3705 \text{ kW}$$

#### 5.2.7 Kebutuhan listrik untuk peralatan kantor

Power yang dibutuhkan untuk kantor seperti (AC, computer, dan lain-lain) diperkirakan 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor :

$$P = 8.7 \text{ kW}$$

#### 5.2.8 Kebutuhan listrik lain-lain

Kebutuhan bengkel, laboratorium, dan lain-lain Power yang dibutuhkan untuk bengkel, laboratorium, dan lain-lain diperkirakan 15% dari total kebutuhan listrik untuk menggerakkan motor :

$$P = 8.7 \text{ kW}$$

#### 5.2.9 Kebutuhan listrik perumahan

Setiap rumah diperkirakan memerlukan listrik = 1.000 watt

$$\text{Jumlah rumah} = 20 \text{ unit}$$

Kebutuhan listrik perumahan = 20.000 watt

$$= 20 \text{ Kw}$$

Total kebutuhan listrik pabrik adalah 117.58 kW, dapat dilihat berdasarkan tabel dibawah ini.

**Tabel 5. 6** Total Kebutuhan Listrik

Keperluan	Kebutuhan (kW)
Power Plant	31.2709
Utilitas	26.1243
Alat Kontrol	14.3488
Penerangan	8.6093
Peralatan Kantor	8.6093
Bengkel, Laboratorium	8.6093
Perumahan	20.0000
<b>Total</b>	<b>117.5719</b>

Kebutuhan listrik disuplai dari PLN, namun sebagai cadangan terdapat sebuah generator mandiri sebagai cadangan jika terjadi pemadaman listrik oleh PLN secara mendadak.

### 5.3 Unit Penyedia Udara Tekan

Udara tekan diperlukan untuk pemakaian alat pneumatic control. Total kebutuhan udara tekan diperkirakan 54,2045 m<sup>3</sup> /jam.

### 5.4 Unit Penyedia Bahan Bakar

Unit penyediaan bahan bakar mempunyai fungsi untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar pada boiler dan generator. Jenis bahan bakar yang digunakan generator yaitu solar sebanyak 9,2295 kg/jam dan bahan bakar yang digunakan boiler yaitu fuel oil sebanyak 305,0209 kg/jam bahan bakar tersebut diperoleh dari PT. Pertamina EP Cepu dan PGN Gresik

### 5.5 Unit Pengolahan Limbah

Limbah yang diperoleh dari pabrik karbon dioksida adalah limbah cairan dan gas.

### 5.5.1 Limbah Sanitasi

Limbah sanitasi pembuangan air yang sudah terpakai untuk keperluan kantor dan pabrik lainnya seperti pencucian, air masak dan lain- lain. Penanganan limbah ini tidak memerlukan penanganan khusus karena seperti limbah rumah tangga lainnya, air buangan ini tidak mengandung bahan-bahan kimia yang berbahaya. Yang perlu diperhatikan disini adalah volume buangan yang diijinkan dan kemana pembuangan air limbah ini.

5.5.2 Air Limbah Laboratorium dan Limbah Cair dari Proses Secara umum air limbah yang berasal dari setiap kegiatan di pabrik karbon dioksida ini harus diolah agar dapat dibuang ke lingkungan dengan kisaran parameter air yang sesuai dengan peraturan pemerintah, yaitu :

- COD : maks. 100 mg/l
- BOD : maks. 20 mg/l
- TSS : maks. 80 mg/l
- Oil : maks. 5 mg/l
- pH : 6,5 – 8,5

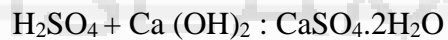
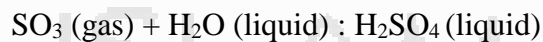
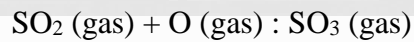
Limbah Hasil Proses Berdasarkan baku mutu emisi yang ditentukan oleh pemerintah, limbah yang dibuang ke lingkungan harus menggunakan standar yaitu:

- Debu Karbon Dioksida : 10 mg/m<sup>3</sup>

### 5.5.3 Limbah gas buang

Limbah gas buang yang dihasilkan dari proses penyerapan CO<sub>2</sub> akan di olah menggunakan *Electrostatic Precipitator* (ESP) adalah sebuah teknologi untuk menangkap gas dari hasil proses absorpsi dengan jalan memberi muatan listrik pada gas tersebut tanpa mengontrol kandungan emisi SO<sub>2</sub> didalamnya. Sistem FGD menghilangkan gas buang berupa SO<sub>2</sub> dengan menyemprotkan *limestone* ke dalam aliran gas buang. Gas buang dari proses pembakaran sebelum dibuang melalui cerobong dimasukkan ke FGD dan disemprotkan udara hingga teroksidasi menjadi SO<sub>3</sub> kemudian didinginkan dengan menggunakan air (H<sub>2</sub>O) agar bereaksi menjadi asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Asam sulfat kemudian direaksikan dengan batu

kapur hingga diperoleh hasil pemisahan berupa gypsum. Gas yang kemudian dibuang kini berupa uap air tanpa ada kandungan oksida sulfur. Berikut ini reaksi kimianya :



## 5.6 Unit Pengolahan Refrigerant

### 5.6.1 Unit Refrigerant Pada Kondensor 01

Kondensor 01 (CD-02) digunakan untuk menurunkan suhu pada arus keluaran separator dengan hasil akhir dapat mengembunkan gas CO<sub>2</sub>. Proses pengembunan digunakan refrigerant Freon 134a untuk mendinginkan aliran gas. Kebutuhan refrigerant yang digunakan sebesar 227,05 kg/jam.

### 5.6.2 Unit Refrigerant Pada Kondensor 02

Pada tangki penyimpanan bahan baku *flue gas* (T-01) disimpan dalam fase gas yang dicairkan, menggunakan tangki silinder bertekanan ber refrigerant pada suhurendah. Oleh karena itu tangki membutuhkan alat yang menjamin agar tidak terjadi perpindahan panas antara suhu tangki dan suhu lingkungan area pabrik. Ditambahkan sistem refrigerant pada tangki dengan jenis pendingin (Freon R-134). Kebutuhan refrigerant yang digunakan sebesar 14.876.070,08 kg/jam.

## 5.7 Spesifikasi Alat Utilitas

**Tabel 5. 7** Spesifikasi Pompa Utilitas

Spesifikasi	Pompa Utilitas				
Kode	PU-01	PU-02	PU-03	PU-04	PU-05
Fungsi	Mengalirkan air dari sungai menuju screener	Mengalirkan air dari screener menuju bak reservoir	Mengalirkan air dari bak reservoir menuju bak koagulasi dan flokulasi	Mengalirkan alum dari tangka alum menuju bak koagulasi dan flokulasi	Mengalirkan air dari bak koagulasi dan flokulasi menuju bak pengendap
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>				
Tipe	<i>Mixed Flow Impeller</i>				
Bahan	<i>Commercial Steel</i>				
Kapasitas (gpm)	200.87	190.8234	190.82	0.00004	181.28
<b>Spesifikasi</b>					
Head Pompa (ft.lbf/lbm)	10.59	15.31	15.31	14.63	17
Sch	40	40	40	40	40
Tenaga Pompa (HP)	1	1.5	1.5	0.05	1.5
Tenaga Motor (Hp)	1.5	1.5	1.5	0.05	1.5



**Tabel 5. 8** Spesifikasi Pompa Utilitas (2)

<b>Spesifikasi</b>	<b>Pompa Utilitas</b>				
<b>Kode</b>	<b>PU-06</b>	<b>PU-07</b>	<b>PU-08</b>	<b>PU-09</b>	<b>PU-10</b>
Fungsi	Mengalirkan air dari bak pengendap I menuju bak pengendap II	Mengalirkan air dari bak pengendap II menuju sand filter	Mengalirkan air sand filter menuju bak penampung sementara	Mengalirkan air dari bak penampung sementara menuju area kebutuhan air	Mengalirkan kaporit dari tangka kaporit ke tangki klorinasi
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>				
Tipe	<i>Mixed Flow Impeller</i>				
Bahan	<i>Commercial Steel</i>				
Kapasitas (gpm)	181,2822	630,8822	155,4268	155,4268	2,4710
<b>Spesifikasi</b>					
Head Pompa (ft.lbf/lbm)	17,0022	4,1463	7,2800	5,0307	1,4990
Sch	40	40	40	40	40
Tenaga Pompa (HP)	1,5	1	0,75	0,5	0,05

**Tabel 5. 9** Spesifikasi Pompa Utilitas (3)

<b>Spesifikasi</b>	<b>Pompa Utilitas</b>				
<b>Kode</b>	<b>PU-11</b>	<b>PU-12</b>	<b>PU-13</b>	<b>PU-14</b>	<b>PU-15</b>
Fungsi	Mengalirkan air dari tangki klorinasi menuju tangki air bersih	Mengalirkan air dari tangki air bersih menuju area domestic	Mengalirkan air dari tangki air service menuju area service	Mengalirkan air dari bak air dingin menuju cooling tower	Mengalirkan air dari cooling tower recycle dari bak dingin
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>				
Tipe	<i>Mixed Flow Impeller</i>				
Bahan	<i>Commercial Steel</i>				
Kapasitas (gpm)	8.768,4729	146,1412	155,0332	1,9537	1,9537
<b>Spesifikasi</b>					
Head Pompa (ft.lbf/lbm)	33,6112	3,4314	17,3957	13,4327	16,4043
Sch	40	40	40	40	40
Tenaga Pompa (HP)	2	0,3333	0,0500	0,3333	0,05
Tenaga Motor (Hp)	3	0,5000	0,0500	0,3333	0,05

**Tabel 5. 10** Spesifikasi Pompa Utilitas (4)

<b>Spesifikasi</b>	<b>Pompa Utilitas</b>				
<b>Kode</b>	<b>PU-16</b>	<b>PU-17</b>	<b>PU-18</b>	<b>PU-19</b>	<b>PU-20</b>
Fungsi	Mengalirkan air dari tangki larutan NaCl menuju Mixed-Bed	Mengalirkan air dari Mixed-Bed menuju tangki air demin	Mengalirkan air dari tangki demin menuju tangki deaerator	Mengalirkan larutan N2H4 dari tangki penampungan menuju deaerator	Mengalirkan air dari deaerator menuju boiler
Jenis	<i>Centrifugal Pump Single Stage</i>				
Tipe	<i>Mixed Flow Impeller</i>				
Bahan	<i>Commercial Steel</i>				
Kapasitas (gpm)	0,0287	4,7480	4,8300	4,8603	4,7480
<b>Spesifikasi</b>					
Head Pompa (ft.lbf/lbm)	2,8854	5,8572	11,8720	3,8565	5,1457
Sch	40	40	40	40	40
Tenaga Pompa (HP)	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500
Tenaga Motor (Hp)	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500

**Tabel 5. 11** Spesifikasi Bak Utilitas

Spesifikasi	Bak				
Kode	BU-01	BU-02	BU-03	BU-04	BU-05
Fungsi	Mengendapkan kotoran dan lumpur yang terbawa dari air sungai dengan proses sedimentasi	Mengendapkan kotoran yang berupa dispersi koloid dalam air dengan menambahkan koagulan yang berfungsi untuk menggumpalkan kotoran	Mengendapkan endapan yang terbentuk flok terbawa dari air sungai dengan proses flokulasi (menghilangkan flokulasi)	Mengendapkan endapan terbentuk flok yang terbawa dari air sungai dengan proses flokulasi (memberi kesempatan untuk proses flokulasi O2)	Mengalirkan kaporit dari tangki kaporit ke tangki klorinasi
Jenis	Bak persegi	Bak silinder tegak	Bak persegi	Bak persegi	Bak persegi
Bahan	Beton bertulang	Beton bertulang	Beton bertulang	Beton bertulang dan dilapisi porselin	Beton bertulang dan dilapisi porselin
<b>Spesifikasi</b>					
Panjang (m)	8,9139	-	7,9664	13,2873	4,1637
Lebar (m)	8,9139	-	7,9664	13,2873	4,1637
Tinggi (m)	4,4597	3,7710	3,9832	6,6437	2,0818
Diameter (m)	-	3,7710	-	-	-
Jumlah	1	1	1	1	

**Tabel 5. 12** Spesifikasi Bak Utilitas (2)

<b>Spesifikasi</b>	<b>Bak</b>
<b>Kode</b>	<b>BU-06</b>
Fungsi	Menampung kebutuhan air pendingin
Jenis	Bak persegi panjang
Bahan	Beton bertulang
Panjang (m)	2,7925
Lebar (m)	2,7925
Tinggi (m)	1,3963
Diameter (m)	-
Jumlah	1

**Tabel 5. 13** Spesifikasi Tangki Utilitas

Spesifikasi	Tangki				
	TU-01	TU-02	TU-03	TU-04	TU-05
Kode	TU-01	TU-02	TU-03	TU-04	TU-05
Fungsi	Menyiapkan dan menyimpan larutan alum 5% untuk 1 Minggu operasi	Mencampur klorin dalam bentuk kaporit ke dalam air untuk kebutuhan rumah tangga	Menampung kebutuhan kaporit selama 1 minggu yang akan dimasukkan ke dalam tangki klorinasi (TU-02)	Menampung air untuk keperluan kantor dan rumah tangga	Menampung air bertekanan untuk keperluan layanan umum
Jenis	Silinder tegak	Silinder tegak berpengaduk	Silinder tegak	Silinder tegak	Silinder tegak
Bahan	<i>Carbon Steel</i>				

Spesifikasi					
Tinggi (m)	2,3458	3,5096	0,4566	814,4449	14,4000
Diameter (m)	1,1729	3,5096	0,4566	10,1235	2,6373
Volume (m <sup>3</sup> )	2,5332	33,9353	0,0747	10,1235	2,6373
Jumlah	1	1	1	1	1

**Tabel 5. 14** Spesifikasi Bak Utilitas (2)

Spesifikasi	Tangki		
	TU-06	TU-07	TU-08
Fungsi	Menampung/menyimpan larutan NaCl yang akan digunakan untuk regenerasi kation exchanger	Menampung air untuk umpan boiler	Menyimpan larutan N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
Jenis	Silinder tegak	Silinder tegak	Silinder tegak
Bahan	<i>Carbon Steel</i>		
<b>Spesifikasi</b>			
Tinggi (m)	0,8799	2,4417	0,8455
Diameter (m)	0,8799	2,4417	0,845
Volume (m <sup>3</sup> )	0,5347	11,4273	0,4744
Jumlah	1	1	1

**Tabel 5. 15** Spesifikasi Screening Utilitas

Fungsi	Menyaring kotoran-kotoranyang berukuran besar
Bahan	Alumminium
Spesifikasi	
Panjang (ft)	10
Lebar (ft)	8
Jumlah	1

**Tabel 5. 16** Spesifikasi Screening Utilitas (2)

Fungsi	Menyaring partikel-partikel halus yang ada dalam air sungai
Bahan	Bak berbentuk balok
Material	Spheres
Ukuran pasir (mesh)	28
Spesifikasi	
Panjang (m)	2,0065
Lebar (m)	2,0065
Tinggi (m)	1,0032
Jumlah	1



**Tabel 5. 17** Spesifikasi Cooling Tower

Fungsi	Mendinginkan air pendingin Mendinginkan air pendingin setelah digunakan
Jenis	<i>Cooling Tower Induced Draft</i>
Spesifikasi	
Panjang (m)	3,2843
Lebar (m)	3,2843
Tinggi (m)	4,0943
Jumlah	1

**Tabel 5. 18** Spesifikasi *Mixed Bed*

Fungsi	Menghilangkan kesadahan air yang disebabkan oleh kation seperti Ca dan Mg, serta anion seperti Cl, SO <sub>4</sub> , dan NO <sub>3</sub>
Jenis	Tangki silinder tegak
Resin	Zeolit
Spesifikasi	
Diameter tangki (m)	0,3489
Tinggi tangki (m)	1,6764
Tinggi bed (m)	1,3970
Volume bed (m <sup>3</sup> )	0,1335
Volume bak resin (m <sup>3</sup> )	807,1527
Tebal (in)	0,1875
Jumlah	1

**Tabel 5. 19** Spesifikasi Dearator

Fungsi	Menghilangkan gas CO <sub>2</sub> dan O <sub>2</sub> yang terikat dalam feed water yang menyebabkan kerak pada reboiler dan turbin
Jenis	Tangki silinder tegak
spesifikasi	
Kapasitas (m <sup>3</sup> /jam)	0,9188
Diameter (m)	1,1199
Tinggi (m)	1,1199
Volume (m <sup>3</sup> )	1,1025
Jumlah	1

**Tabel 5. 20** Spesifikasi Blower Cooling Tower

Fungsi	Menghembuskan udara ke <i>cooling tower</i>
Jenis	<i>Centrifugal Blower</i>
Spesifikasi	
Kapasitas (m <sup>3</sup> /jam)	913.2726
Efisiensi	86
Power (hP)	15
Bahan	<i>Carbon Steel SA-285 Grade C</i>
Jumlah	1

## BAB VI EVALUASI EKONOMI

Pada pra rancangan pabrik karbon dioksida ini dilakukan evaluasi atau penilaian investasi dengan maksud untuk mengetahui apakah pabrik yang dirancang menguntungkan atau tidak. Komponen terpenting dari perancangan ini adalah estimasi harga alat-alat, karena harga ini dipakai sebagai dasar untuk estimasi analisa ekonomi. Analisa ekonomi dipakai untuk mendapatkan perkiraan/estimasi tentang kelayakan investasi modal dalam suatu kegiatan produksi suatu pabrik dengan meninjau kebutuhan modal investasi, besarnya laba yang diperoleh, lamanya modal investasi dapat dikembalikan, dan terjadinya titik impas. Selain itu analisa ekonomi dimaksudkan untuk mengetahui apakah pabrik yang dirancang dapat menguntungkan atau tidak jika didirikan. Perhitungan evaluasi ekonomi meliputi:

1. Modal Industri (*Total Capital Investment*)
  - a. Modal tetap (*Fixed Capital Investment*)
  - b. Modal kerja (*Working Capital Investment*)
2. Biaya Produksi Total (*Total Production Cost*)
  - a. Biaya Pembuatan (*Manufacturing Cost*)

Meliputi:

- Biaya produksi langsung (*Direct Manufacturing Cost*)
  - Biaya produksi tak langsung (*Indirect Manufacturing Cost*)
  - Biaya tetap (*Fixed Manufacturing Cost*)
- b. Pengeluaran Umum (*General Cost*)

3. Pendapatan modal

Untuk mengetahui titik impas, maka perlu dilakukan perkiraan terhadap:

- a. Biaya tetap (*Fixed Cost*)
- b. Biaya variabel (*Variable Cost*)
- c. Biaya mengambang (*Regulated Cost*)

### 6.1 Penaksiran Harga Peralatan

Harga peralatan proses tiap alat tergantung pada kondisi ekonomi yang sedang terjadi. Untuk mengetahui harga peralatan yang pasti setiap tahun sangat sulit, sehingga diperlukan suatu metode atau cara untuk memperkirakan harga suatu alat pada tahun tertentu dan perlu diketahui terlebih dahulu harga indeks peralatan operasi pada tahun tersebut.

Pabrik karbon dioksida beroperasi selama satu tahun produksi yaitu 330 hari dan tahun didirikan pada tahun 2025. Di dalam analisa ekonomi harga-harga alat maupun harga-harga lain diperhitungkan pada tahun analisa. Untuk mencari harga pada tahun analisa, maka dicari indeks pada tahun analisa. Harga indeks tahun 2022 diperkirakan secara garis besar dengan data *indeks* dari tahun 1982 sampai 2022, dicari dengan persamaan regresi linier.

**Tabel 6.1** Harga Indeks Tahunan

Tahun	Index
1982	314
1983	316.9
1984	322.7
1985	325.3
1986	318.4
1987	323.8
1988	342.5
1989	355.4
1990	357.6
1991	361.3
1992	358.2
1993	359.2

1994	368.1
1995	381.1

Tahun	Index
1996	381.7
1997	386.5
1998	389.5
1999	390.6
2000	394.3
2001	398
2002	401.8
2003	402
2004	444.2
2005	468.2
2006	499.6
2007	525.4
2008	575.4
2009	521.9
2010	550.8
2011	585.7
2012	584.6
2013	567.3
2014	573.6
2015	584.9
2016	590
2017	592.6
2018	600.8

2019	609.9
2020	618.9



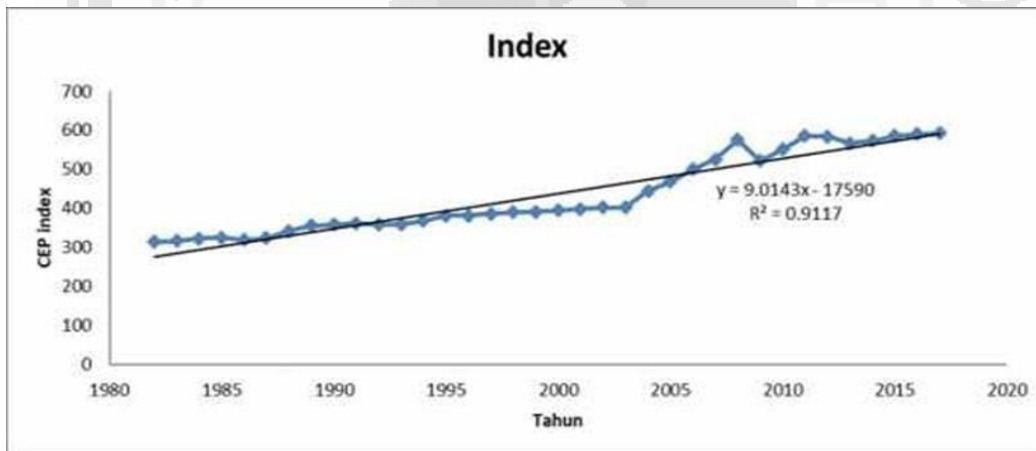
Tahun	Index
2021	627.9
2022	636.9

([www.chemengonline.com/pci](http://www.chemengonline.com/pci), 2022)

Berdasarkan data diatas, maka persamaan *regresi linear* yang diperoleh yaitu

$$y = 9,0143x - 17590$$

Pabrik karbon dioksida dari *flue gas* dengan kapasitas 100.000 ton/tahun ini akan didirikan pada tahun 2025, maka dari persamaan *regresi linear* diatas diperoleh *index* sebesar 664. Grafik hasil *plotting* data dapat dilihat pada Gambar 6.1 dibawah ini:



**Gambar 6.1** Grafik Tahun vs Harga Index

Harga-harga alat dan lainnya diperhitungkan pada tahun evaluasi. Selain itu, harga alat dan lainnya ditentukan juga dengan referensi Peters and Timmerhaus, pada tahun 1990 dan Aries & Newton, pada tahun 1955. Maka harga alat pada tahun evaluasi dapat dicari dengan persamaan:

$$E_x = E_y \frac{N_x}{N_y}$$

Dalam hubungan ini:

$E_x$  : Harga pembelian pada tahun 2025

$E_y$  : Harga pembelian pada tahun referensi 2014

$N_x$  : Indeks harga pada tahun 2025

$N_y$  : Indeks harga pada tahun referensi 2014

**Tabel 6. 2** Harga Alat Proses

No.	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	Harga Total (Rp)
1.	Tangki Penyimpanan <i>Flue Gas</i>	T-01	1	52,576,413.64
2.	Tangki Penyimpanan CO <sub>2</sub> Cair	T-02	1	116,221,545.95
3.	Absorber	ABS	1	111,489,668.72
4.	Lye Boiler	LB	1	87,771,618.37
5.	Separator	SP	1	83,679,513.08
6.	Condenser	CD-01	1	99,826,836.58
7.	Condenser	CD-02	1	99,826,836.58
8.	Compressor	CR	1	177,929,652.48
9.	Heater	H-01	1	76,866,993.46
10.	Heater	H-02	1	76,866,993.46



No.	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	Harga Total (Rp)
11.	Cooler	CL-01	1	73,136,558.56
12.	Cooler	CL-02	1	58,913,255.08
13.	Cooler	CL-03	1	46,038,674.96
15.	Pompa	P-01	1	215,840,013.90
16	Pompa	P-02	1	215,840,013.90
17.	Pompa	P-03	1	215,840,013.90
18.	Pompa	P-04	1	215,840,013.90
19.	Pompa	P-05	1	215,840,013.90
Total				<b>2,240,344,630.42</b>

**Tabel 6. 3 Harga Alat Utilitas**

No.	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	Harga Total (Rp)
1	Screening	FU-01	1	666,932,987.08
2	Bak Sedimentasi	BU-01	1	163,274,050.78
3	Bak Koagulasi dan Flokulasi	BU-02	1	163,274,050.78
4	Tangki Larutan Alum	TU-01	1	1,383,678.40
5	Bak Pengendap I	BU-03	1	163,274,050.78
6	Bak Pengendap II	BU-04	1	163,274,050.78
7	Sand Filter	SF-01	1	128,377,681.62
8	Bak Penampung Sementara	BU-05	1	163,274,050.78
9	Tangki Klorinasi	TU-02	1	318,246,031.18

No.	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	Harga Total (Rp)
10	Tangki Kaporit	TU-03	1	318,246,031.18
11	Tangki Air Bersih	TU-04	1	2,355,020,630.73
12	Tangki Service Water	TU-05	1	199,249,689.09
13	Bak Air Pendingin	BU-06	1	163,274,050.78
14	Cooling Water	CT-01	1	7,914,640,427.62
15	Blower Cooling Tower	BL-01	1	52,579,779.06
16	Mixed Bed	MB-01	1	2,454,645,475.28
17	Tangki NaCl	TU-06	1	19,371,497.55
18	Tangki Air Demin	TU-07	1	3,860,462,726.06
19	Deaerator	DE-01	1	545,169,288.20
20	Tangki N2H4	TU-08	1	249,062,111.36
21	Boiler	BO-01	1	47,045,065.48
22	Pompa 1	PU-01	1	44,277,708.69
23	Pompa 2	PU-02	1	44,277,708.69
24	Pompa 3	PU-03	1	44,277,708.69
25	Pompa 4	PU-04	1	44,277,708.69
26	Pompa 5	PU-05	1	44,277,708.69
27	Pompa 6	PU-06	1	44,277,708.69
28	Pompa 7	PU-07	1	44,277,708.69
29	Pompa 8	PU-08	1	44,277,708.69
30	Pompa 9	PU-09	1	44,277,708.69
31	Pompa 10	PU-10	1	44,277,708.69
32	Pompa 11	PU-11	1	44,277,708.69

No.	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah	Harga Total (Rp)
33	Pompa 12	PU-12	1	44,277,708.69
34	Pompa 13	PU-13	1	44,277,708.69
35	Pompa 14	PU-14	1	44,277,708.69
36	Pompa 15	PU-15	1	44,277,708.69
37	Pompa 16	PU-16	1	44,277,708.69
38	Pompa 17	PU-17	1	44,277,708.69
39	Pompa 18	PU-18	1	44,277,708.69
40	Pompa 19	PU-19	1	44,277,708.69
41	Pompa 20	PU-20	1	44,277,708.69
Total				<b>20,995,631,578.28</b>

## 6.1 Analisa Kelayakan

Analisa kelayakan digunakan untuk mengetahui keuntungan yang diperoleh tergolong besar atau tidak, sehingga dapat dikategorikan apakah pabrik tersebut potensial atau tidak secara ekonomi. Berikut adalah perhitungan – perhitungan yang digunakan dalam analisa kelayakan ekonomi dari suatu rancangan pabrik.

### 1. Dasar Perhitungan

- Kapasitas Produksi = 100.000 ton/tahun
- Satu tahun operasi = 330 hari
- Tahun pendirian pabrik = 2025
- Kurs mata uang = 1 US\$ = Rp 14.970,40
- Upah pekerja asing = \$ 20/*man hour*
- Upah pekerja Indonesia = Rp. 25.000/*man hour*
- 1 *man hour* asing = 2 *man hour* Indonesia
- 5% tenaga asing = 95% tenaga Indonesia

## 2. Perhitungan Biaya

### a. *Capital Investment*

*Capital investment* merupakan jumlah pengeluaran yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas – fasilitas pabrik dan untuk mengoperasikannya. *Capital investment* terdiri dari:

#### 1. *Fixed Capital Investment*

Biaya yang diperlukan untuk mendirikan fasilitas – fasilitas pabrik.

#### 2. *Working Capital Investment*

Biaya yang diperlukan untuk menjalankan usaha atau modal untuk menjalankan operasi dari suatu pabrik selama waktu tertentu.

### b. *Manufacturing Cost*

*Manufacturing Cost* merupakan jumlah *Direct*, *Indirect* dan *Fixed Manufacturing Cost*, yang bersangkutan dalam pembuatan produk. Menurut Aries and Newton, 1955 *Manufacturing Cost* meliputi:

#### 1. *Direct Cost*

*Direct Cost* adalah pengeluaran yang berkaitan langsung dengan pembuatan produk.

#### 2. *Indirect Cost*

*Indirect Cost* adalah pengeluaran–pengeluaran sebagai akibat tidak langsung karena operasi pabrik.

#### 3. *Fixed Cost*

*Fixed Cost* adalah biaya – biaya tertentu yang selalu dikeluarkan baik pada saat pabrik beroperasi maupun tidak atau pengeluaran yang bersifat tetap tidak tergantung waktu dan tingkat produksi.

c. *General Expense*

Berupa pengeluaran umum meliputi pengeluaran-pengeluaran yang berkaitan dengan fungsi perusahaan yang tidak termasuk *Manufacturing Cost*.

d. *Percent Return On Investment (ROI)*

*Return On Investment* adalah tingkat keuntungan yang dapat dihasilkan dari tingkat investasi yang dikeluarkan.

$$\text{ROI} = \frac{\text{keuntungan}}{\text{Fixed Capital}} \times 100\% \quad (4.1)$$

e. *Pay Out Time (POT)*

*Pay Out Time (POT)* merupakan :

- Jumlah tahun yang telah berselang, sebelum didapatkan suatu penerimaan yang melebihi investasi awal atau jumlah tahun yang diperlukan untuk kembalinya *Capital Investment* dengan *profit* sebelum dikurangi depresiasi.
- Waktu minimum secara teoritis yang dibutuhkan untuk pengembalian modal tetap yang ditanamkan atas dasar keuntungan setiap tahun ditambah dengan penyusutan.
- Waktu pengembalian modal yang dihasilkan berdasarkan keuntungan yang diperoleh. Perhitungan ini diperlukan untuk mengetahui dalam berapa tahun investasi yang telah dilakukan akan kembali.

$$\text{POT} = \frac{\text{Fixed Capital Invesmen}}{\text{Keuntungan} + \text{Depresiasi}} \times 100\% \quad (6.2)$$

f. *Break Even Point* (BEP)

*Break Even Point* (BEP) merupakan :

- Titik impas produksi yaitu suatu kondisi dimana pabrik tidak mendapatkan keuntungan maupun kerugian.
- Titik yang menunjukkan pada tingkat berapa biaya dan penghasilan jumlahnya sama. Dengan BEP kita dapat menentukan harga jual dan jumlah unit yang dijual secara minimum dan berapa harga serta unit penjualan yang harus dicapai agar mendapat keuntungan.
- Kapasitas produksi pada saat *sales* sama dengan *total cost*. Pabrik akan rugi jika beroperasi di bawah BEP dan akan untung jika beroperasi di atas BEP.

$$\text{BEP} = \frac{Fa + 0,3 Ra}{Sa - Va - 0,7 Ra} \times 100\% \quad (4.3)$$

Keterangan:

Fa : *Annual Fixed Manufacturing Cost* pada produksi maksimum

Ra : *Annual Regulated Expenses* pada produksi maksimum

Va : *Annual Variable Value* pada produksi maksimum

Sa : *Annual Sales Value* pada produksi maksimum

g. *Shut Down Point (SDP)*

*Shut Down Point (SDP)* merupakan:

- Suatu titik atau saat penentuan suatu aktivitas produksi dihentikan. Penyebabnya antara lain *Variable Cost* yang terlalu tinggi, atau bisa juga karena keputusan manajemen akibat tidak ekonomisnya suatu aktivitas produksi (tidak menghasilkan).
- Persen kapasitas minimal suatu pabrik dapat mencapai kapasitas produk yang diharapkan dalam setahun. Apabila tidak mampu mencapai persen minimal kapasitas tersebut dalam satu tahun maka pabrik harus berhenti beroperasi atau tutup.
- Level produksi di mana biaya untuk melanjutkan operasi pabrik akan lebih mahal daripada biaya untuk menutup pabrik dan membayar *Fixed Cost*.
- Merupakan titik produksi dimana pabrik mengalami kebangkrutan sehingga pabrik harus berhenti atau tutup.

$$SDP = \frac{0,3 Ra}{Sa - Va - 0,7 Ra} \times 100\% \quad (4.4)$$

#### h. Discounted Cash Flow Rate Of Return (DCFR)

*Discounted Cash Flow Rate Of Return ( DCFR )* merupakan:

- Analisa kelayakan ekonomi dengan menggunakan DCFR dibuat dengan menggunakan nilai uang yang berubah terhadap waktu dan dirasakan atau investasi yang tidak kembali pada akhir tahun selama umur pabrik.
- Laju bunga maksimal dimana suatu proyek dapat membayar pinjaman beserta bunganya kepada bank selama umur pabrik.
- Merupakan besarnya perkiraan keuntungan yang diperoleh setiap tahun, didasarkan atas investasi yang tidak kembali pada setiap akhir tahun selama umur pabrik.

Berikut adalah persamaan yang digunakan dalam penentuan DCFR.

$$(FC + WC)(1 + i)^N = C \sum_{t=a}^{n-x-1} (1 + i)^{N+WC} + SV$$

Keterangan :

FC : *Fixed capital*

WC : *Working capital*

SV : *Salvage value*

C : *Cash flow*

( *profit after taxes + depresiasi + finance* )

### 3. Hasil Perhitungan

**Tabel 6. 4** *Physical Plant Cost (PPC)*

No	Type of Capital Investment	Harga (Rp)	Harga (\$)
1	Purchased Equipment Cost	Rp 23,235,976,208.70	\$ 1,552,127.95
2	Delivered Equipment Cost	Rp 5,808,994,052.17	\$ 388,031.99
3	Instalasi Cost	Rp 4,107,350,241.56	\$ 274,364.76



4	Pemipaan	Rp 13,179,426,335.02	\$ 880,365.68
5	Instrumentasi	Rp 5,867,520,451.07	\$ 391,941.46
6	Insulasi	Rp 939,484,420.42	\$ 62,756.13
7	Listrik	Rp 2,323,597,620.87	\$ 155,212.79
8	Bangunan	Rp 34,050,000,000.00	\$ 2,274,488.32
9	<i>Land &amp; Yard Improvement</i>	Rp 20,800,000,000.00	\$ 1,389,408.43
Total		<b>Rp 110,312,349,329.81</b>	<b>\$ 7,368,697.52</b>

**Tabel 6. 5** *Direct Plant Cost (DPC)*

No	Type of Capital Investment	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1.	Engineering and Construction	Rp 132,374,819,195.77	\$ 8,842,437.02

**Tabel 6.6** *Fixed Capital Investment (FCI)*

No	Fixed Capital	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Direct Plant Cost	Rp 129,568,229,684.95	\$ 8,842,437.02
2	Contractor's fee	Rp 5,182,729,187.40	\$ 353,697.48
3	Contingency	Rp 12,956,822,968.50	\$ 884,243.70
Total		Rp 147,707,781,840.84	\$ 10,080,378.21

## 1. Penentuan Total *Production Cost* (TPC)

**Tabel 6. 7** *Direct Manufacturing Cost* (DMC)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material</i>	Rp 985,247,424,000.00	\$ 65,813,032.65
2	<i>Labor</i>	Rp 866,500,000.00	\$ 57,880.88
3	<i>Supervisor</i>	Rp 86,650,000.00	\$ 5,788.09
4	<i>Maintenance</i>	Rp 22,636,094,082.48	\$ 1,512,056.73
5	<i>Plant Supplies</i>	Rp 3,395,414,112.37	\$ 226,808.51
6	<i>Royalty and Patents</i>	Rp 26,946,720,000.00	\$ 1,800,000.00
7	<i>Utilities</i>	Rp 2,474,749,578.00	\$ 165,309.52
	Total	<b>Rp 1,041,653,551,772.85</b>	<b>\$ 69,580,876.38</b>

**Tabel 6. 8** *Indirect Manufacturing Cost* (IMC)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Payroll Overhead	Rp 129,975,000.00	\$ 8,682.13
2	Laboratory	Rp 86,650,000.00	\$ 5,788.09
3	Plant Overhead	Rp 433,250,000.00	\$ 28,940.44
4	Packaging and Shipping	Rp 67,366,800,000.00	\$ 4,500,000.00
	Total	<b>Rp 68,016,675,000.00</b>	<b>\$ 4,543,410.66</b>

**Tabel 6. 9 Fixed Manufacturing Cost (FMC)**

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	Depreciation	Rp 15,090,729,388.32	\$ 1,008,037.82
2	Property Taxes	Rp 3,018,145,877.66	\$ 201,607.56
3	Insurance	Rp 1,509,072,938.83	\$ 100,803.78
Total		<b>Rp 19,617,948,204.81</b>	<b>\$ 1,310,449.17</b>

**Tabel 6. 10 Manufacturing Cost (MC)**

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Direct Manufacturing Cost (DMC)</i>	Rp 1,041,653,551,772.85	\$ 69,580,876.38
2	<i>Indirect Manufacturing Cost (IMC)</i>	Rp 68,016,675,000.00	\$ 4,543,410.66
3	<i>Fixed Manufacturing Cost (FMC)</i>	Rp 19,617,948,204.81	\$ 1,310,449.17
Total		<b>Rp 1,129,288,174,977.66</b>	<b>\$ 75,434,736.21</b>

**Tabel 6. 11 Working Capital (WC)**

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material Inventory</i>	Rp 89,567,947,636.36	\$ 5,983,002.97
2	<i>In Process Inventory</i>	Rp 141,161,021,872.21	\$ 9,429,342.03
3	<i>Product Inventory</i>	Rp 102,662,561,361.61	\$ 6,857,703.29
4	<i>Extended Credit</i>	Rp 122,485,090,909.09	\$ 8,181,818.18
5	<i>Available Cash</i>	Rp 102,662,561,361.61	\$ 6,857,703.29
Total		<b>Rp 558,539,183,140.87</b>	<b>\$ 37,309,569.76</b>

**Tabel 6. 12 General Expense (GE)**

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Administration</i>	Rp 26,946,720,000.00	\$ 1,800,000.00
2	<i>Sales Expense</i>	Rp 67,366,800,000.00	\$ 4,500,000.00
3	<i>Research</i>	Rp 53,893,440,000.00	\$ 3,600,000.00
4	<i>Finance</i>	Rp 14,188,929,540.48	\$ 947,798.96
Total		<b>Rp 162,395,889,540.48</b>	<b>\$ 10,847,798.96</b>

**Tabel 6. 13 Total Production Cost (TPC)**

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Manufacturing Cost (MC)</i>	Rp 1,129,288,174,977.66	\$ 75,434,736.21
2	<i>General Expenses(GE)</i>	Rp 162,395,889,540.48	\$ 10,847,798.96
Total		<b>Rp 1,291,684,064,518.14</b>	<b>\$ 86,282,535.17</b>

**Tabel 6. 14 Fixed Cost (Fa)**

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Depresiasi</i>	Rp 15,090,729,388.32	\$ 1,008,037.82
2	<i>Property Taxes</i>	Rp 3,018,145,877.66	\$ 201,607.56
3	<i>Asuransi</i>	Rp 1,509,072,938.83	\$ 100,803.78
Total		<b>Rp 19,617,948,204.81</b>	<b>\$ 1,310,449.17</b>

**Tabel 6. 15** Variable Cost (Va)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Raw Material</i>	Rp 985,247,424,000.00	\$ 65,813,032.65
2	<i>Packaging and Shipping</i>	Rp 67,366,800,000.00	\$ 4,500,000.00
3	<i>Utilities</i>	Rp 2,471,349,578.00	\$ 165,082.40
4	<i>Royalty &amp; Patent</i>	Rp 26,946,720,000.00	\$ 1,800,000.00
Total		Rp 1,082,032,293,578.00	\$ 72,278,115.05

**Tabel 6. 16** Regulated Cost (Ra)

No	Type of Expenses	Biaya (Rp)	Biaya (\$)
1	<i>Gaji Karyawan</i>	Rp 716,500,000.00	\$ 47,861.11
2	<i>Payroll Overhead</i>	Rp 107,475,000.00	\$ 7,179.17
3	<i>Plant Overhead</i>	Rp 71,650,000.00	\$ 4,786.11
4	<i>Supervision</i>	Rp 358,250,000.00	\$ 23,930.56
5	<i>Laboratory</i>	Rp 71,650,000.00	\$ 4,786.11
6	<i>General Expense</i>	Rp 162,394,186,699.57	\$ 10,847,685.21
7	<i>Maintenance</i>	Rp 22,636,094,082.48	\$ 1,512,056.73
8	<i>Plant Supplies</i>	Rp 3,395,414,112.37	\$ 226,808.51
Total		<b>Rp 189,751,219,894.42</b>	<b>\$ 12,675,093.51</b>

Sa (sales) = Rp 1,347,336,000,000.00 atau \$ 90,000,000.00

Berdasarkan rincian perhitungan tersebut maka didapatkan data untuk menguji apakah pabrik layak dibangun, berikut perhitungannya :

1) *Percent Return On Investment (ROI)*

$$ROI = \frac{\text{keuntungan}}{\text{Fixed Capital}} \times 100\%$$

ROI sebelum pajak = 36.88 %

ROI setelah pajak = 23.97 %

Syarat ROI sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan resiko rendah minimum adalah 11% . (Aries and Newton, 1955).

2) *Pay Out Time (POT)*

$$POT = \frac{\text{Fixed Capital}}{\text{Keuntungan Tahunan} + \text{Depresiasi}} \times 100\%$$

POT sebelum pajak = 2.13 tahun

POT setelah pajak = 2.94 tahun

Syarat POT sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan resiko rendah maksimum adalah 5 tahun . (Aries and Newton, 1955).

### 3) Break Even Point (BEP)

$$\text{BEP} = \frac{Fa + 0,3 Ra}{Sa - Va - 0,7 Rv} \times 100\%$$

$$\text{BEP} = 57.93 \%$$

BEP untuk pabrik kimia pada umumnya adalah ( 40 – 60 ) %.

### 4) Shut Down Point (SDP)

$$\text{SDP} = \frac{0,3 Ra}{Sa - Va - 0,7 Rv} \times 100\%$$

$$\text{SDP} = 43.10\%$$

### 5) Discounted Cash Flow Rate (DCFR)

$$(FC + WC)(1 + i)^N = C \sum_{T=a}^{n-x-1} (1 + i)^N + WC + SV$$

Umur pabrik = 10 tahun

*Fixed Capital Investment* = Rp 150,907,293,883.17

*Working Capital* = Rp 558,454,041,095.42

*Salvage Value (SV)* = Rp 15,090,729,388.32

*Cash flow (CF)* = *Annual profit* + *depresiasi* + *finance*

$$= \text{Rp } 65,453,416,992.01$$

Dengan *trial & error*

diperoleh nilai: 0.22

DCFR : 22%

Minimum nilai DCFR = 1,5 x suku bunga deposito bank

$$= 1,5 \times 3,50\%$$

$$= 5,25\% \text{ (memenuhi syarat)}$$

(Didasarkan pada suku bunga deposito di bank saat ini adalah 3,5 %,)

## 6.2 Analisis Keuntungan

### a. Keuntungan Sebelum Pajak

$$\text{Total penjualan} = \text{Rp } 1,347,336,000,000.00$$

$$\text{Total biaya produksi} = \text{Rp } 1,291,684,064,518.14$$

$$\text{Keuntungan} = \text{Total penjualan} - \text{Total biaya produksi}$$

$$= \text{Rp } 1,347,336,000,000.00 - \text{Rp } 1,291,684,064,518.14$$

$$= \text{Rp } 55,651,935,481.86$$

### b. Keuntungan Sesudah Pajak

$$\text{Pajak} = 35\% \times \text{Rp } 55,651,935,481.86 \text{ (PERPU Nomor 1 Tahun 2020)}$$

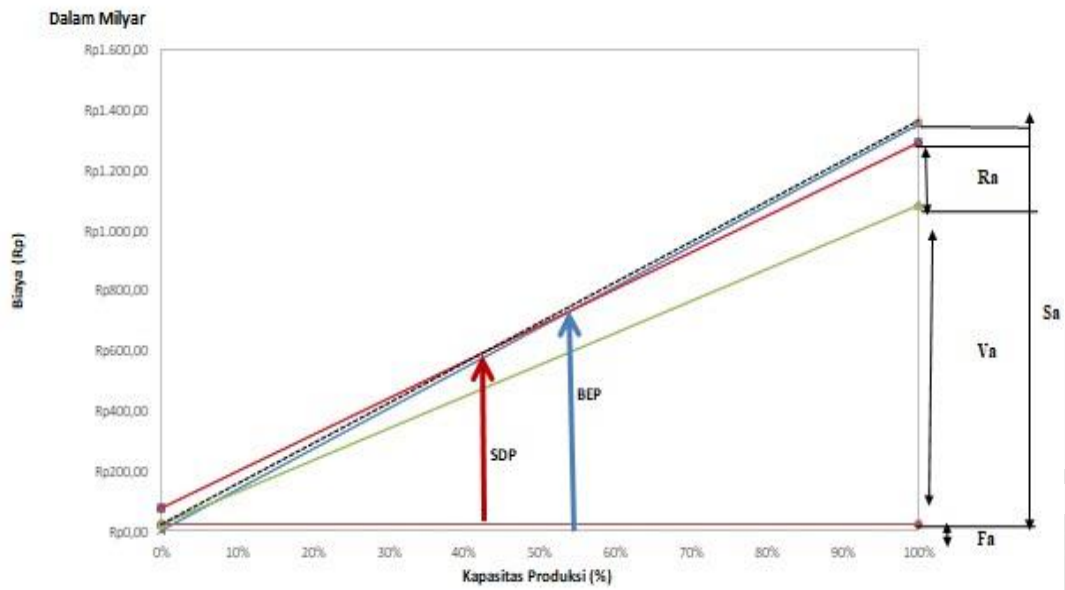
$$= \text{Rp } 19,575,898,412.97$$

$$\text{Keuntungan} = \text{Keuntungan sebelum pajak} - \text{pajak}$$

$$= \text{Rp } 55,651,935,481.86 - \text{Rp } 19,575,898,412.97$$

$$= \text{Rp } 36,173,758,063.21$$





Gambar 6.2 Grafik Analisa Ekonomi

## BAB VII PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Pabrik karbon dioksida dari *flue gas* dengan kapasitas 100.000 ton/tahun akan didirikan pada tahun 2025 guna memenuhi kebutuhan pasar di Indonesia. Dalam perancangan pabrik karbon dioksida ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan karbon dioksida dari *flue gas* dengan kapasitas 100.000 ton/tahun bertujuan untuk mengurangi nilai impor karbon dioksida dari luar negeri.
2. Berdasarkan tinjauan kondisi operasi, pemilihan bahan baku, dan jenis produk, maka karbon dioksida dari *flue gas* ini tergolong pabrik dengan resiko rendah (*lowrisk*).
3. Berdasarkan hasil analisis ekonomi adalah sebagai berikut:
  - Keuntungan yang diperoleh sebelum pajak Rp 55,651,935,481.86 dan keuntungan yang diperoleh setelah pajak (35%) sebesar Rp 19,575,898,412.97 *Return On Investment* (ROI)
  - Persentase ROI sebelum pajak sebesar 36.88 % dan persentase ROI setelah pajak sebesar 23.97 %. Syarat ROI sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan resiko rendah minimum adalah 11% .
  - *Pay Out Time* (POT)  
POT sebelum pajak adalah 2.13 tahun sedangkan POT setelah pajak adalah 2.94 tahun. Syarat POT sebelum pajak untuk pabrik kimia dengan resiko rendah maksimum adalah 5 tahun.
  - *Break Event Point* (BEP) pada 57.93 % BEP untuk pabrik kimia pada umumnya adalah 40-60%.
  - *Shut down Point* (SDP) yang didapatkan sebesar 43.10% .

- *Discounted Cash Flow Rate* (DCFR) sebesar 22%. Suku bunga deposito di bank saat ini adalah 5,25%.

Dari hasil analisis ekonomi di atas dapat disimpulkan bahwa pabrik karbon dioksida dari *flue gas* dengan kapasitas 100.000 ton/tahun ini layak untuk didirikan.

## 5.2 Saran

Perancangan suatu pabrik kimia diperlukan pemahaman konsep-konsep dasarnya yang dapat meningkatkan kelayakan pendirian suatu pabrik kimia di antaranya sebagai berikut:

1. Perancangan pabrik kimia tidak lepas dari produksi limbah, sehingga diharapkan berkembangnya pabrik-pabrik kimia yang lebih ramah lingkungan.
2. Sebaiknya pabrik karbon dioksida ini dapat direalisasikan di Indonesia, karena ketersediaan bahan baku yang mudah didapat dan tingkat konsumsi yang semakin meningkat dari tahun ke tahun.

## DAFTAR PUSTAKA

- . Kusumawati. L. & Widyaningrum. 2012. Kinetika Reaksi Absorpsi CO<sub>2</sub> Menggunakan Larutan Kalium Karbonat K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> Dengan Promotor Monosodium Glutamate. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik ITS
- Aronu, U.E, dkk. 2011. *Kinetics of carbon dioxide absorption into aqueous amino acid salt: potassium salt of sarcosine solution. Industrial & Engineering Chemical Research.* 50 (18), 10465-10475.
- Barth, D., Tondre, C., Lappal, G. And Delpuech, J.J. 1984. *Kinetic study of carbon dioxide reaction with tertiary amines in aqueous solution*, Am. Chem. Soc., 85:3660- 3667.
- Benamor, A., Brahim, A dan Aroua, M.K. 2008. *Kinetic of CO<sub>2</sub> absorption and carbamate formation in aqueous solutions of diethanolamine.* Korean Journal of Chemical Engineering. 25(3),451-460.
- Bosoaga A, Masek O, Oakey J. 2009. *CO<sub>2</sub> Capture Technologies for Cement Industry.* Energy Procedia
- Brown, G. G., Katz, D., Foust, A. S., and Schneidewind, C. 1950 “*Unit Operation*”, John Wiley and Sons, Inc., New York,
- Brownell, L.E and Young, E.H. 1959. “*Equipment Design*”, John Willey & Sons, inc., New York.
- C. Coskun; Z. Oktay; N. Ilten .2009. *A new approach for simplifying the calculation of flue gas specific heat and specific exergy value depending on fuel composition*, 34(11), 1898–1902.
- CH. Liao.,& Li ,M. H. 2002. *Kinetics of absorption of carbon dioxide into aqueous solutions of monoethanolamine + N-methyldie-thanolamine.* Chem, Eng, Sci, 57, 4569-4582
- Coulson, J. M., and Richardson, J. F. 2005 “*Chemical Engineering Design*”, Vol 6, 4st ed., Pergamon Press., Oxford.
- Duda, H.W. 1985. *Cement Data Book.* Berlin : Bauverlag
- IPCC.2005. Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Editors B. Metz et al. Intergovernmental Panel on Climate Change: Geneva, Switzerland.
- Kern, D. Q. 1965 “*Process Heat Transfer*”, Mc Graw Hill Book Company, Japan
- Kirk, R.E., and Othmer, D.F. 1981. “*Encyclopedia of Chemical Technology*”, 4th ed.,

- Locher, F.W. dan Kropp, J. 1986. *Cement and Concrete*. In Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Volume A5: 489-533. Germany : VCH
- Lu Jian-gang, C. M.-d., Yan,J.,& Hui, Z. 2009. Membrane-based CO<sub>2</sub> absorption into blended amine solutions. *Journal of Fuel Chemistry And Technology*, 31.
- Marin, O., Bourhis, Y., Perrin, N., DiZanno, F. V. and Anderson, R. 2003. High efficiency Zero Emission Power Generation based on a high temperature steam cycle. 28' Int. Technical Conference On Coal Utilization and Fuel Systems, Clearwater, FL
- Mulder, M. 1997 . *Basic Principles of Membrane Technology*. Netherlands. Kluwer Academic Publisher
- Mutiara, Farisa Ridha. 1967. Evaluasi Efisiensi Panas dan Emisi Gas Rumah Kaca pada *Rotary Kiln* Pabrik Semen. *Jurnal Ilmiah UNY*.
- Perry, R. H., Green, D. W., and James O. M. 2008. "*Perry's Chemical Engineers Handbook*", 8th Edition, McGraw Hill Book Company, New York.
- Peters, M. S. and Timmerhaus, K. D. 1991. "*Plant Design and Economics for Chemical Engineers*", 4th ed., pp. 150-209; 618-686; 708-713, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York.
- Rajabzadeha,S.,Yoshimotoa,S.Teramotoa.M.Al-Marzouqib,M.,& Matsuyama,H. (2009). CO<sub>2</sub> absorption by using PVDF hollow fiber membrane contactors with various membrane structures. *Separation and Purification Technology*.
- Santoso,Widodo.2018.Emisi Gas Rumah Kaca di Industri Semen.Jakarta: Asosiasi Semen Indonesia
- Sehabudin, S. 2011. Penambatan Karbon Dioksida dan Pengaruh Densitas Alga Air Tawar (*Chlorella SP.*) Terhadap Pengurangan Emisi Karbon Dioksida.
- Simanjuntak, V. E., Oktaliansah, E. T., & Redjeki, I. S., 2013. Perbandingan waktu induksi, perubahan tekanan darah, dan pulih sadar antara total intravenous anesthesia propofol target controlled infusion dan manual controlled infusion. *Jurnal Anesthesia Perioperative* : 1 (3), 158- 66
- T. F.Wall. 2007."*Combustion processes for carbon capture,*" *Proceeding of the Combustion Institute*, vol. 31, pp. 31–47

Taylor, H.F.W. 1997. *Cement Chemistry*. London : Thomas Telford Services.

Treyball, R.E. 1980. “*Mass Transfer Operation*”, 3rd ed., Mc Graw Hill Book Company, Singapore.

Ulrich, G. D.1984. “*A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*”, pp. 324-329, John Wiley and Sons, Inc., New York.

Walas, S.M.1988. “*Chemical Process Equipment*”, Butterworth Series in Chemical Engineering.

<https://bpjs-kesehatan.go.id/bpjs/dmdocuments/20e67493084e6d2e600888b1dd9f94f4.pdf>

<http://gdexpo.blogspot.co.id/2009/05/pertama/>

<https://hijauku.com/2013/11/25/90-perusahaan-produksi-63-emisi-grk-global/>

<https://maulhidayat.wordpress.com/2013/01/15/cooler-system/>

<https://www.pupuk-indonesia.com/holding/pupuk-kujang-cikampek/berita/pt-pupuk-kujang-bangun-pabrik-co2-cair-di-cikampek> diakses pada 21 Desember 2021

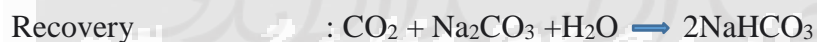
<https://www.coursehero.com/file/p3btva9/c-Dome-Roof-Tank-Digunakan-untuk-menyimpan-bahan-bahan-yang-mudah-terbakar/>

**LAMPIRAN**  
**PERANCANGAN ALAT UTAMA**

Nama Alat	: Absorber
Kode	: ABS
Fungsi	: Menyerap CO <sub>2</sub> yang terkandung dalam <i>flue gas</i>
Jumlah	: 1
Type	: <i>Packed Column</i>
Material	: <i>Carbon Steel</i>
Jenis Bahan Isian	: <i>raschig ring</i> keramik
Ukuran	: 2 inch
Kondisi Operasi	: <i>Continous</i>
Temperatur	: 45°C
Tekanan	: 1.5 atm

Pada proses yang terjadi di dalam absorber, merupakan reaksi endotermis. Reaksi tersebut adalah reaksi pembentukan natrium bikarbonat dari karbon dioksida, air, dan natrium karbonat. Reaksi endotermis memiliki entalpi positif yang berarti reaksi tersebut menyerap panas dan juga mengalami penurunan suhu.

Reaksi kimia yang terjadi pada absorber yaitu:



Pemilihan tipe absorber yaitu: packed column absorber karena absorben dan kondisi operasi yang bersifat sederhana, hanya membutuhkan beberapa stage teoritis. Selain itu biaya pembuatan kolom bahan isian lebih murah daripada kolom dengan tray.

Data-Data:

Gas

*Gas Feed (G')* : 12613.68 kg/jam

*Density of Gas ( $\rho_G$ )* : 0.51 kg/m<sup>3</sup>

*Viscosity of Gas ( $\mu_G$ )* : 6.91 kg/m.s

Berat Molekul (BM) : 0.51 kg/kmol

Liquid

*Gas Feed (L')* : 1261.37 kg/jam

*Density of Gas ( $\rho_L$ )* : 1.72 kg/m<sup>3</sup>

*Viscosity of Gas ( $\mu_L$ )* : 6 x 10<sup>-4</sup> kg/m.s

Berat Molekul (BM) : 0.45 kg/kmol

Rekap Neraca Massa Absorber

Komponen	Input (kg/jam)			Output (kg/jam)	
	Arus 1	Arus 5	Arus 4	Arus 2	Arus 3
CO <sub>2</sub>	13861.19	0	0	1247.51	0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0	39097.12	0	0	8709.61
H <sub>2</sub> O	0	286712.21	1261.37	0	282813.43
NO <sub>x</sub>	7970.18	0	0	7970.2	0
SO <sub>2</sub>	18414.38	0	0	18414.38	0
O <sub>2</sub>	4704.40	0	0	4704.40	0
NO <sub>2</sub>	1594.04	0	0	1594.04	0
NaHCO <sub>3</sub>	0	0	0	0	48161.33
<b>TOTAL</b>	<b>373614.88</b>			<b>373614.88</b>	



1. Diameter Absorber

- a. Menghitung kecepatan masuk gas ( $V_w^*$ )

$V_w^*$  : umpan masuk gas (Coulson, equation 11.118 hal 607)

$V_w^*$  : 0.47 kg/s

- b. Menghitung kecepatan aliran cairan keluar ( $L_w^*$ )

$L_w^*$  : output absorber cairan

$L_w^*$  : 4.76 kg/s

- c. Menghitung faktor laju gas-cair ( $Fl_v$ ) (Coulson, equation 11.82 hal 607)

$$Fl_v = \frac{L_w^*}{V_w^*} \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_L}}$$

$Fl_v$  : 13.63

Berdasarkan figure 11.44 Hal. 603 Coulson, didapatkan nilai  $K_4$  dan  $K_4$

Flooding sebesar:

$K_4$  : 0.07

$K_4$  Flooding : 0.18

$$\% \text{ Flooding} = \sqrt{\frac{K_4}{K_4 \text{ Flooding}}} \times 100\%$$

: 62.36 %

- d. Menghitung luas kolom yang dibutuhkan ( $A_c$  Required)

$A_c$  :  $1.39 / V_w^*$  (Coulson, hal 607)

$A_c$  : 2.94 m<sup>2</sup>

e. Menghitung diameter absorber

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi}}$$

$$D = 1.43 \text{ (Coulson, equation 11.118)}$$

2. Tinggi Packing (Z)

a. Mencari jumlah unit transfer fase gas keseluruhan (Nog)

Data-Data Fraksi Mol:

$$y_1 = 0.3$$

$$y_2 = 0.04$$

$$x_1 = 0$$

$$x_2 = 0.02$$

Nilai  $mG_m/L_m$  didapatkan dari *figure 11.40 Hal 597 Coulson*, dengan membandingkan nilai  $y_1/y_2$ .

$$mG_m/L_m = 0$$

$$Nog = \frac{1}{1 - \frac{G_m}{L_m}} \ln \left[ \left( 1 - \frac{mG_m}{L_m} \right) \frac{y_1}{y_2} + \frac{mG_m}{L_m} \right]$$

$$Nog = 2.1$$

b. Mencari ketinggian unit transfer fase gas keseluruhan (Hog)

$\Psi_h$  ( $H_G$  factor from Coulson, Figure 11.42)

$$\Psi_h = 58 \text{ (1 inch, 25 mm)}$$

$\Phi_h$  ( $H_L$  factor from Coulson, Figure 11.43)

$$\Phi_h = 0.08 \text{ (1 inch, 25 mm)}$$

$f_1$  (liquid viscosity correction factor)

$$f_1 : \frac{\mu_L^{0.16}}{\mu_w}$$

$$f_1 : 0.22$$

$f_2$  (liquid density correction factor)

$$f_2 : \frac{\rho_w^{1.25}}{\rho_L}$$

$$f_2 : 0.21$$

$f_3$  (surface tension correction factor)

$$f_3 : \frac{\sigma_w^{0.8}}{\sigma_L}$$

$$f_3 : 4.8 \times 10^{-6}$$

$(Sc)_v$  (gas schmidt number)

$$(Sc)_v : \frac{\mu_v}{\rho_v \cdot D_v}$$

$$(Sc)_v : 3.3 \times 10^{-4}$$

$H_G$  (height of a gas-phase transfer unit)

$$H_G : \frac{0.01 \psi h (sc)_v^{0.5} \left(\frac{D_c}{0.305}\right)^{1.11} \left(\frac{z}{3.05}\right)^{0.33}}{(Lw \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3)^{0.5}}$$

$$H_G : 1.62 \text{ m}$$

$H_L$  (height of a liquid-phase transfer unit)

$$H_L : 0.305 \Phi h (sc)L^{0.5} k_3 \left(\frac{z}{3.05}\right)^{0.15}$$

$$H_L : 9.7 \text{ m}$$

$H_{OG}$  (ketinggian unit transfer fase gas keseluruhan)

$$H_{OG} : H_G + m \frac{G_m}{L_m} H_L$$

$$H_{OG} : 1.62 \text{ m}$$

c. Mencari tinggi packing (Z)

$$Z : H_{OG} \times N_{OG}$$

$$Z : 3.41 \text{ m}$$

(Coulson, hal. 599)

3. Tinggi dan tebal head & shell

a. Mencari tinggi head (H)

$$H : \frac{1}{8} D \text{ (Brownel, 1959)}$$

$$H : 0.18 \text{ m}$$

b. Mencari tebal shell (ts)

Data:

$$P : 5 \text{ atm (73.38 psi)}$$

$$R : 28.1 \text{ inch}$$

$$S : 13700 \text{ psi}$$

$$E : 0.85 \text{ (Brownell, Tabel 13.2)}$$

$$C : 0.0125 \text{ inch}$$

$$ts : \frac{P \cdot r}{S E - 0.6 P} + C \text{ (Brownell, persamaan 12.13)}$$

$$ts : 0.48 \text{ cm}$$

c. Mencari tebal head (th)

Dari tabel 5.6 Brownell hal.88 ,untuk tebal head dipilih:

$$th : 0.56 \text{ inch}$$

$$th : 1.43 \text{ cm}$$

4. Tinggi absorber ( $H_{AB}$ )

$$H_{AB} : Z+2H$$

$$H_{AB} : 3.77 \text{ m}$$

(Asumsi: Volume ruang kosong 30% volume total)

$$H_{AB} \times 30\% : 1.13 \text{ m}$$

$$\text{Maka, } Z : (3.41-1.13)\text{m}$$

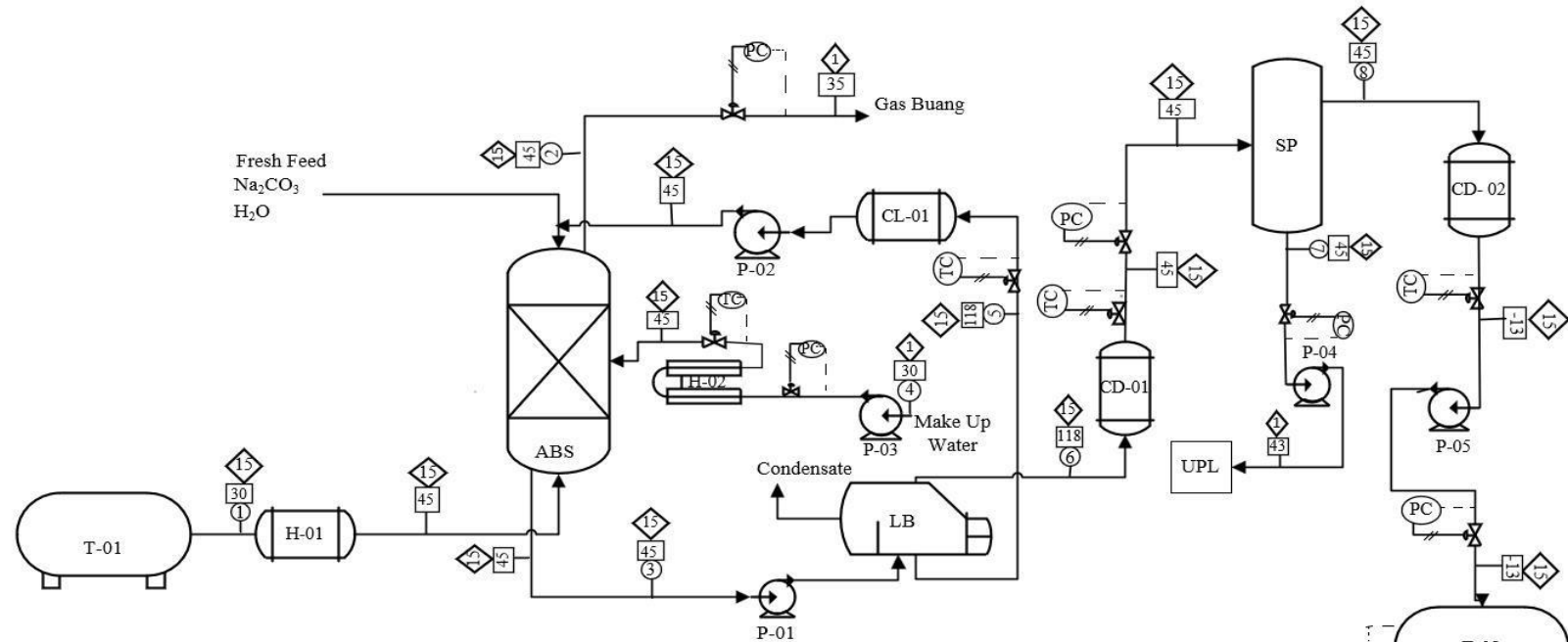
$$Z : 2.28 \text{ m}$$

**Resume Mechanical Design**

Tipe	Packed Tower
Tinggi Packing (m)	2.28
Tinggi Absorber (m)	3.77
Temperatur Operasi (oC)	45
Tekanan Operasi (atm)	5
Diameter Absorber (m)	1.43
Tebal Head ( cm)	1.42
Tebal Shell ( cm)	1.42
Packing	Ceramic Rasching Ring
Bahan konstruksi	Carboon steel
Tinggi Head (m)	0.18



**PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM**  
**PRA RANCANGAN PABRIK CARBON DIOXIDE DARI FLUE GAS**  
**KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN**



Komponen	Nomor Arus (Kg/Jam)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
CO <sub>2</sub>	13861.19	1247.51	0	0	0	12613.68	0	12613.68
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0	0	39097.12	0	8709.61	0	0	0
H <sub>2</sub> O	0	0	286712.21	1261.37	282813.43	1261.368	1248.75	12.61
NO <sub>x</sub>	7970.18	7970.18	0	0	0	0	0	0
SO <sub>2</sub>	18414.38	18414.38	0	0	0	0	0	0
O <sub>2</sub>	4704.40	4704.40	0	0	0	0	0	0
NO <sub>2</sub>	1594.04	1594.04	0	0	48161.33	0	0	0
NaHCO <sub>3</sub>	0	0	0	48161.33	0	0	0	0
Total	46544.19	33930.51	325809.33	49422.70	339684.37	13875.048	1248.75	12626.29

Keterangan Alat	
T	Tangki
ABS	Absorber
MIX	Mixer
LB	Lye Boiler
SP	Separator
CD	Kondensor
P	Pompa
TB	Turbin
CR	Kompresor

Keterangan Instrumen	
FC	Flow Controller
LC	Level Controller
LI	Level Indicator
PC	Pressure Controller
TC	Temperature Controller

Keterangan Instrumen	
◇	Tekanan (atm)
□	Temperatur (C)
○	Nomor arus
⊕	Control Valve
—	Piping
—	Sinyal Pneumatic
---	Sinyal Electric



**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
 2022

**PRARANCANGAN PABRIK CO<sub>2</sub> DARI FLUE GAS**  
**KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN**

DISUSUN OLEH:  
 Supriadi (18521131)  
 Nuzila Helani (18521122)

DOSEN PEMBIMBING:  
 Drs. Jr. Faisal R.M.M.T., Ph.D  
 Dr. Dyak Reno Savitri, S.T., M.Eng.

Activate Wind  
Go to Settings to a

