

**PRA RANCANGAN
PABRIK PEMBUATAN KLORIN DIOKSIDA DENGAN
MENGUNAKAN NATRIUM KLORAT, HIDROGEN
PEROKSIDA DAN ASAM SULFAT
KAPASITAS 14.500 TON/TAHUN**



SKRIPSI

**Dibuat untuk Memenuhi Syarat Mengikuti Ujian Sarjana
Pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh :

BERLIANA NADILLA PARASHATI

03031382025116

MUHAMMAD DIFA DZIKRA R.G

03031382025092

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN KLORIN DIOKSIDA
KAPASITAS 14.500 TON/TAHUN**

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana

Oleh :

Berliana Nadilla Parashati

NIM. 0303138202116

M. Difa Dzikra R.G

NIM. 03031382025092

Palembang, November 2024

Pembimbing.

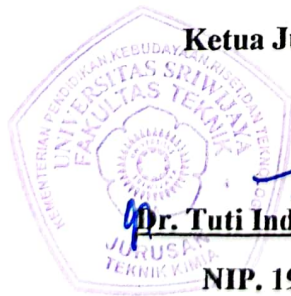


Prof. Dr. Ir. Subriyer Nasir, M.S., IPU

NIP. 196009091987031004

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM

NIP. 197502012000122001

LEMBAR PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

BERLIANA NADILLA PARASHATI 03031382025116
M. DIFA DZIKRA R.G 03031382025092

Judul:

**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN KLOORIN DIOKSIDA
KAPASITAS 14.500 TON/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada Sidang Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 November 2024 oleh Dosen Penguji:

1. Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA
NIP. 196010111985032002
2. Prahady Susmanto, S.T., M.T.
NIP. 198208042012121001
3. Rizka Wulandari Putri, S.T., M.T.
NIP. 199007112019032018

()

()

()^{21/11-24}

Palembang, November 2024

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir






Prof. Dr. Ir. Subriyet Nasir, M.S., IPU

NIP. 196009091987031004

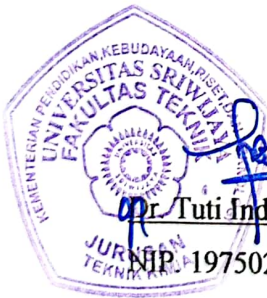
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Klorin Dioksida Kapasitas 14.500 Ton/Tahun” telah dipertahankan oleh Berliana Nadilla Parashati dan M. Difa Dzikra R.G dihadapan Tim Penguji Sidang Akhir jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 November 2024. Dengan ini menyatakan bahwa:

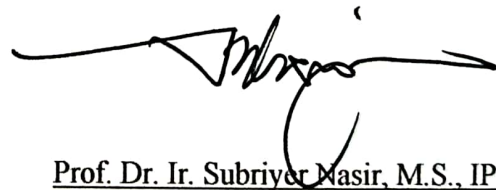
1. Prof. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA
NIP. 196010111985032002
()
2. Prahady Susmanto, S.T., M.T.
NIP. 198208042012121001
()
3. Rizka Wulandari Putri, S.T., M.T.
NIP. 199007112019032018
( ^{21/11-24})

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Kimia

Palembang, November 2024
Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM.
NIP. 197502012000122001



Prof. Dr. Ir. Subriyer Nasir, M.S., IPU
NIP. 196009091987031004

RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN KLOORIN DIOKSIDA DENGAN MENGGUNAKAN NATRIUM KLOORAT, HIDROGEN PEROKSIDA DAN ASAM SULFAT KAPASITAS 14.500 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Oktober 2024

M. Difa Dzikra R.G dan Berliana Nadilla Parashati
Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Subriyer Nasir, M.S., IPU
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya


ABSTRAK

Pabrik pembuatan klorin dioksida yang berkapasitas produksi 14500 ton per tahun direncanakan akan dibangun di Kawasan Industri Cilegon, Banten dikarenakan ketersediaan bahan baku, transportasi dan pemasaran produk, dan tenaga kerja. Klorin dioksida pada pabrik diperoleh dari reaksi natrium klorat, hidrogen peroksida dan asam sulfat menggunakan dua reaktor CSTR dengan konversi 95%. Pabrik ini berbentuk berupa Perseroan Terbatas (PT) dengan menggunakan sistem organisasi *line* dan *staff* yang dipimpin oleh seorang direktur dengan karyawan sebanyak 131 orang. Pabrik klorin dioksida ini layak dipertimbangkan untuk didirikan karena telah memenuhi parameter kelayakan ekonomi:


A. Total Capital Investment	= US\$ 24.171.482,00
B. Selling Price per Year	= US\$ 49.179.543,18
C. Total Production Cost	= US\$ 35.876.897,74
D. Annual Cash Flow	= US\$ 11.289.320,74
E. Pay Out time	= 2,4239 tahun
F. Rate of return on investment	= 38,52%
G. Discounted Cash Flow-ROR	= 45,98%
H. Break Even Point	= 32,13%
I. Service Life	= 11 tahun

Kata Kunci: Klorin dioksida, CSTR, Perseroan terbatas

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia


Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM
NIP. 197502012000122001

Palembang, Oktober 2024
Pembimbing Tugas Akhir


Prof. Dr. Ir. Subriyer Nasir, M.S., IPU
NIP. 196009091987031004

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya tugas akhir yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Klorin Dioksida Dengan Menggunakan Natrium Klorat, Hidrogen Peroksida Dan Asam Sulfat Kapasitas 14.500 Ton/Tahun” dapat diselesaikan dengan baik. Penulisan tugas akhir ini dilakukan sebagai syarat untuk menyelesaikan kurikulum akademik yang ada di Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik karena penulis mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, yang dalam kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada:

- 1) Kedua orang tua penulis yang telah memberikan dukungan dan doa demi kelancaran dan kesuksesan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
- 2) Ibu Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 3) Ibu Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T., IPM selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 4) Bapak Prof. Dr. Ir. Subriyer Nasir, M.S., IPU. selaku Dosen Pembimbing tugas akhir.
- 5) Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 6) Seluruh staf administrasi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Penulis berharap tugas akhir ini agar dapat memberikan gambaran mengenai perancangan pabrik, serta dapat dijadikan sebagai referensi ilmu pengetahuan.

Palembang, Oktober 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERBAIKAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PEMBAHASAN UMUM	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Sejarah dan Perkembangan	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik.....	3
1.3.1 Tujuan Pendirian Pabrik.....	3
1.3.2 Manfaat Pendirian Pabrik.....	3
1.4 Proses Pembuatan Klorin Dioksida.....	3
1.4.1 Proses <i>Solvay</i>	3
1.4.2 Proses <i>Mathieson</i>	4
1.4.3 Proses <i>Hydrogen Peroxide-Atmosphere (HP-A)</i>	4
1.5 Sifat Fisika dan Sifat Kimia	5
1.5.1 Natrium Klorat	5
1.5.2 Hidrogen Peroksida.....	6
1.5.3 Asam Sulfat.....	6
1.5.4 Klorin Dioksida.....	6
1.5.5 Oksigen	7
1.5.6 Natrium Sulfat.....	7
1.5.7 Air	7
BAB II PERENCANAAN PABRIK	8
2.1 Alasan Pendirian Pabrik.....	8
2.2 Penentuan Kapasitas.....	8

2.3	Pemilihan Proses	11
2.4	Pemilihan Bahan Baku	11
2.5	Uraian Proses	12
2.5.1	Tahap <i>Pretreatment</i>	12
2.5.2	Tahap Sintesa	12
2.5.3	Tahap Separasi	12
2.5.4	Tahap Purifikasi	13
BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK.....		15
3.1	Pemilihan Lokasi Pabrik	15
3.1.1	Sumber Bahan Baku.....	16
3.1.2	Transportasi dan Pemasaran.....	16
3.1.3	Utilitas.....	16
3.1.4	Tenaga Kerja	17
3.2	Tata Letak Pabrik	17
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS.....		19
4.1	Neraca Massa	19
4.1.1	Neraca Massa <i>Mixing Tank-01</i> (MT-01).....	19
4.1.2	Neraca Massa <i>Mixing Tank-02</i> (MT-02)	20
4.1.3	Neraca Massa Reaktor-01 (R-01).....	20
4.1.4	Neraca Massa Reaktor-02 (R-02).....	20
4.1.5	Neraca Massa <i>Stripper-01</i> (ST-01)	21
4.1.6	Neraca Massa Absorber-01 (AB-01).....	22
4.1.7	Neraca Massa <i>Mixing Point-01</i> (MP-01)	22
4.2	Neraca Panas	23
4.2.1	Neraca Panas <i>Mixing Tank-01</i> (MT-01)	23
4.2.2	Neraca Panas <i>Mixing Tank-02</i> (MT-02)	24
4.2.3	Neraca Panas <i>Heat-exchanger-01</i> (HE-01).....	24
4.2.4	Neraca Panas <i>Heater-01</i> (H-01).....	24
4.2.5	Neraca Panas Reaktor-01 (R-01)	24
4.2.6	Neraca Panas Reaktor-02 (R-02)	25
4.2.7	Neraca Panas <i>Stripper-01</i> (ST-01)	25
4.2.8	Neraca Panas Kompresor-01 (K-01).....	25

4.2.9	Neraca Panas Kompresor-02 (K-02)	25
4.2.10	Neraca Panas Absorber-01 (AB-01)	26
4.2.11	Neraca Panas <i>Cooler</i> -01 (C-01)	26
4.2.12	Neraca Panas <i>Cooler</i> -02 (C-02)	26
4.2.13	Neraca Panas <i>Heater</i> -02 (H-02)	26
4.2.14	Neraca Panas Ekspander-01 (EX-01)	27
4.2.15	Neraca Panas <i>Mixing Point</i> -01 (MP-01)	27
BAB V UTILITAS		28
5.1	Unit Pengolahan Air (<i>Water Treatment Plant</i>)	28
5.1.1	Air pendingin	28
5.1.2	Air umpan <i>boiler</i>	30
5.1.3	Air domestik	30
5.1.4	Air demin	32
5.1.5	Total air yang disuplai unit utilitas	32
5.2	Unit Penyediaan <i>Steam</i>	32
5.3	Unit Penyediaan Tenaga Listrik	33
5.3.1	Kebutuhan Listrik Peralatan	33
5.3.2	Penerangan Pabrik	34
5.4	Unit Penyediaan Bahan Bakar	35
5.4.1	Bahan Bakar Untuk <i>Boiler</i>	35
5.4.2	Bahan Bakar Untuk Generator	36
5.4.3	Total Kebutuhan Bahan Bakar	37
BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN		38
6.1	Silo (SL-01)	38
6.2	Tangki-01 (T-01)	38
6.3	Tangki-02 (T-02)	39
6.4	Tangki-03 (T-03)	39
6.5	Tangki-04 (T-04)	40
6.6	Tangki-05 (T-05)	41
6.7	Tangki-06 (T-06)	41
6.8	<i>Mixing Tank</i> -01 (MT-01)	42
6.9	<i>Mixing Tank</i> -02 (MT-02)	43

6.10	Reaktor-01 (R-01)	44
6.11	Reaktor-02 (R-02)	45
6.12	<i>Stripper</i> -01 (ST-01)	47
6.13	Absorber-01 (AB-01)	48
6.14	<i>Heat-Exchanger</i> -01 (HE-01).....	48
6.15	<i>Cooler</i> -01 (C-01)	49
6.16	<i>Heater</i> -01 (H-01)	50
6.17	<i>Heater</i> -02 (H-02)	51
6.18	<i>Cooler</i> -02 (H-02)	51
6.19	Kompresor-01 (K-01).....	52
6.20	Kompresor-02 (K-02).....	52
6.21	Ekspander-01 (EX-01)	53
6.22	Pompa-01 (P-01)	54
6.23	Pompa-02 (P-02)	55
6.24	Pompa-03 (P-03)	56
6.25	Pompa-04 (P-04)	57
6.26	Pompa-05 (P-05)	58
6.27	Pompa-06 (P-06)	59
6.28	Pompa-07 (P-07)	60
6.29	Pompa-08 (P-08)	61
6.30	Pompa-09 (P-09)	62
6.31	Pompa-10 (P-10)	63
6.32	Pompa-11 (P-11)	64
6.33	<i>Bucket Elevator</i> -01 (BE-01).....	65
BAB VI ORGANISASI PERUSAHAAN		66
7.1	Bentuk Perusahaan	66
7.2	Struktur Organisasi.....	67
7.2.1	Organisasi Garis dan Staf (Line and Staff)	67
7.3	Tugas dan Wewenang	68
7.3.1	Dewan Komisaris	68
7.3.2	Direktur Utama.....	69
7.3.3	Manajer Produksi dan Teknik	69

7.3.4	Manajer Keuangan dan Pemasaran	71
7.3.5	Manajer Umum dan Kepegawaian.....	72
7.3.6	Kepala Seksi.....	73
7.3.7	Sekretaris.....	73
7.3.8	Operator atau Pegawai	73
7.4	Sistem Kerja.....	73
7.4.1	Waktu Kerja Karyawan Shift	73
7.4.2	Waktu Kerja Karyawan Non-shift.....	74
7.5	Penentuan Jumlah Buruh.....	74
7.5.1	Pengelompokkan Buruh Pabrik.....	75
7.5.2	Metode Penentuan Jumlah Buruh	75
BAB VII ANALISA EKONOMI.....		80
8.1	Keuntungan (Profitabilitas).....	81
8.1.1	Total Penjualan Produk	81
8.1.2	Perhitungan <i>Annual Cash Flow</i>	81
8.2	Lama Waktu Pengembalian Modal	82
8.2.1	Perhitungan Depresiasi.....	82
8.2.2	Lama Pengangsuran Pengembalian Modal	83
8.2.3	<i>Pay Out Time</i>	84
8.3	Modal Total Akhir	84
8.3.1	<i>Net Profit Over Total Life of Project (NPOTLP)</i>	84
8.3.2	<i>Total Capital Sink</i>	84
8.4	Laju Pengembalian Modal	84
8.4.1	<i>Rate of Return Investment (ROR)</i>	84
8.4.2	<i>Discounted Cash Flow Rate of Return (DCF-ROR)</i>	87
8.5	<i>Break Even Point (BEP)</i>	87
BAB IX KESIMPULAN		91
DAFTAR PUSTAKA.....		92

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perbandingan Proses Pembuatan Klorin Dioksida	5
Tabel 2.1 Data Impor Klorin Dioksida Indonesia.....	8
Tabel 2.2 Data Pertumbuhan Rata-Rata Klorin Dioksida.....	9
Tabel 5.1. Data Kebutuhan Air Pendingin Peralatan	28
Tabel 5.2. Data Kebutuhan Steam	30
Tabel 5.3. Data Kebutuhan Listrik	33
Tabel 5.4. Kebutuhan Penerangan	34
Tabel 7.1. Pembagian Jam Kerja Pekerja Shift	74
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Karyawan	76
Tabel 8.1. Tabel Penjualan Produk	81
Tabel 8.2. Rincian Angsuran Pengembalian Modal (US\$)	83
Tabel 8.3. Kesimpulan Analisa Ekonomi	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Regresi Linier Kapasitas Pabrik Klorin Dioksida	9
Gambar 3.1 Tata letak Lokasi Pabrik Kimia	15
Gambar 3.2 Prediksi Jarak Antara Pabrik Dengan Salah Satu Pabrik Bahan Baku	15
Gambar 3.3 Prediksi Jarak Antara Pabrik dan Dermaga Pelabuhan.....	16
Gambar 3.4 Tata Letak Peralatan Pabrik Klorin Dioksida	18
Gambar 3.5 Tata Letak Area Pabrik Klorin Dioksida.....	18
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan	79
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Event Point</i> (BEP) Pabrik Pembuatan Klorin Dioksida Kapasitas 14.500 ton/tahun	88

DAFTAR NOTASI

1. EXPANDER DAN KOMPRESSOR

BHP	:	Brake Horse Power, power yang dibutuhkan, HP
k	:	Konstanta Kompresi
n	:	Jumlah stage
η	:	Efisiensi kompresor
P_{IN}	:	Tekanan masuk, bar
P_{OUT}	:	Tekanan keluar, bar
T_1	:	Temperatur masuk kompresor, °C
T_2	:	Temperatur keluar kompresor, °C
P_W	:	Power kompresor, HP
Q	:	Kapasitas kompresor, lb/menit
R_c	:	Rasio kompresi
W	:	Laju alir massa, lb/jam
ρ	:	Densitas, kg/m ³

2. HEAT EXCHANGER (HEATER, COOLER, HEAT EXCHANGER)

W, w	:	Laju alir massa di shell, tube, kg/jam
T_1, t_1	:	Temperatur masuk shell, tube, °C
T_2, t_2	:	Temperatur keluar shell, tube, °C
Q	:	Beban panas, kW
U_o	:	Koefisien overall perpindahan panas, W/m ² .°C
ΔT_{lm}	:	Selisih log mean temperatur, °C
A	:	Luas area perpindahan panas, m ²

ID	:	Diameter dalam tube, m
OD	:	Diameter luar tube, m
L	:	Panjang tube, m
p_t	:	Tube pitch, m
A_o	:	Luas satu buah tube, m^2
N_t	:	Jumlah tube, buah
V, v	:	Laju alir volumetrik shell, tube, m^3/jam
u_t, U_s	:	Kelajuan fluida shell, tube, m/s
D_b	:	Diameter bundel, m
D_s	:	Diameter shell, m
N_{RE}	:	Bilangan Reynold
N_{PR}	:	Bilangan Prandtl
N_{NU}	:	Bilangan Nusselt
h_i, h_o	:	Koefisien perpindahan panas shell, tube, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
l_b	:	Jarak baffle, m
D_e	:	Diameter ekivalen, m
k_f	:	Konduktivitas termal, $W/m \cdot ^\circ C$
ρ	:	Densitas, kg/m^3
μ	:	Viskositas, cP
C_p	:	Panas spesifik, $kJ/kg \cdot ^\circ C$
h_{id}, h_{od}	:	Koefisien dirt factor shell, tube, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
k_w	:	Konduktivitas bahan, $W/m \cdot ^\circ C$
ΔP	:	Pressure drop, psi

3. MIXING TANK

C	: Corrosion maksimum, in
Dt	: Diameter tangki, m
Di	: Diameter impeller, m
E	: Joint efisiensi
G	: Lebar baffle pengaduk, m
H	: Tinggi head, m
H _L	: Tinggi liquid, m
H _s	: Tinggi silinder, m
H _T	: Tinggi tangki, m
N	: Kecepatan putaran pengaduk, rpm
P	: Tekanan desain, psi
r	: Panjang blade pengaduk, m
rb	: Posisi baffle dari dinding tangki, m
r _i	: jari-jari vessel, in
S	: Working stress allowable, psi
T	: tebal dinding tangki, m
V _s	: Volume silinder, m ³
V _E	: Volume elipsoidal, m ³
V _t	: Volume tangki total, m ³
Wb	: Lebar baffle, m
ρ	: Densitas, kg/m ³
μ	: Viskositas, kg/m .s

4. POMPA

A	: Area alir pipa, in ²
BHP	: Brake Horse Power, HP
D _{opt}	: Diameter optimum pipa, in
f	: Faktor friksi
g	: Percepatan gravitasi ft/s ²
g _c	: Konstanta percepatan gravitas, ft/s ²
H _d , H _s	: Head discharge, suction, ft
H _f	: Total friksi, ft
H _{fc}	: Friksi karena kontraksi tiba-tiba, ft
H _{fe}	: Friksi karena ekspansi tiba-tiba, ft
H _{ff}	: Friksi karena fitting dan valve, ft
H _{fs}	: Friksi pada permukaan pipa, ft
ID	: Diameter dalam, in
K _C , K _E	: Konstanta kompresi, ekspansi, ft
L	: Panjang pipa, m
L _e	: Panjang ekivalen pipa, m
MHP	: Motor Horse Power, HP
NPSH	: Net positive suction head, ft.lbf/lb
N _{RE}	: Bilangan Reynold
OD	: Diameter luar, in
P _{uap}	: Tekanan uap, psi
Q _f	: Laju alir volumetrik, ft ³ /s

V_d	:	Discharge velocity, ft/s
V_s	:	Suction velocity, ft/s
ε	:	Equivalent roughness, ft
η	:	Efisiensi pompa
μ	:	Viskositas, kg/ms
ρ	:	Densitas, kg/m ³

5. REAKTOR

CA0	:	konsentrasi awal umpan masuk, kmol/m ³
C	:	Tebal korosi yang diizinkan, mm
FA0	:	Laju alir umpan, kmol/jam
Hr	:	Tinggi Reaktor, m
ID	:	Inside Diameter, m
k	:	Konstanta laju reaksi, m ³ /kmol.s
N	:	Bilangan Avogadro
OD	:	Outside Diameter, m
P	:	Tekanan, atm
Qf	:	Laju volumetrik feed, m ³ /jam
Re	:	Bilangan Reynold
S	:	Working Stress yang diizinkan, atm
T	:	Temperatur. °C
t	:	Tebal dinding vessel, mm
Vt	:	Volume reaktor, m ³
X	:	Konversi

ρ : Densitas, kg/m^3
 σ : Diameter Partikel, cm

6. TANKI

C_c : Tebal korosi maksimum, in
 D : Diameter tangki, m
 E_j : Efisiensi pengelasan
 P : Tekanan desain, psi
 S : Tegangan kerja diizinkan, psi
 t : Tebal dinding tangki, cm
 V : Volume tangki, m^3
 W : Laju alir massa, kg/jam
 ρ : Densitas

7. EXPANDER DAN KOMPRESSOR

BHP : Brake Horse Power, power yang dibutuhkan, HP
 k : Konstanta Kompresi
 n : Jumlah stage
 η : Efisiensi kompresor
 P_{IN} : Tekanan masuk, bar
 P_{OUT} : Tekanan keluar, bar
 T_1 : Temperatur masuk kompresor, $^{\circ}\text{C}$
 T_2 : Temperatur keluar kompresor, $^{\circ}\text{C}$
 P_w : Power kompresor, HP
 Q : Kapasitas kompresor, lb/menit

R_c	:	Rasio kompresi
W	:	Laju alir massa, lb/jam
ρ	:	Densitas, kg/m ³

8. STRIPPER DAN ABSORBER

C	=	Tebal korosi yang diizinkan, m
E	=	Effisiensi pengelasan, dimensionless
D_g	=	Difusivitas gas, m ² /s
D_L	=	Difusivitas liquid, m ² /s
ID, OD	=	Inside diameter, Outside diameter, m
HAB	=	Tinggi absorber, m
HtOG	=	Heights of transfer unit, dimensionless
FGa	=	Koefisien volumetrik gas, Km ³ /m ³ s
FLa	=	Koefisien volumetrik liquid, Km ³ /m ³ s
G	=	Laju alir massa gas, Kg/h
L	=	Laju alir massa liquid, Kg/h
NtoG	=	Number of transfer unit, dimensionless
P	=	Tekanan operasi, atm
Q_v	=	Volumeter gas, m ³ /s
S	=	Working stress yang diizinkan, psi
T	=	Temperatur Operasi, °C
t	=	Tebal dinding kolom, m
ρ_G	=	Densitas gas, Kg/m ³
μ_G	=	Viskositas gas, Kg/m s

ρ_L	=	Densitas liquid, Kg/m ³
μ_L	=	Viskositas liquid, Kg/m s
σ	=	Surface tension, N/m
α_A	=	Interfacial Area, m ² /m ³
φ_{Lt}	=	Hold up liquid total, dimensionless

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I PERHITUNGAN NERACA MASSA	94
LAMPIRAN II PERHITUNGAN NERACA PANAS.....	115
LAMPIRAN III SPESIFIKASI PERALATAN	148
LAMPIRAN IV PERHITUNGAN EKONOMI	265
LAMPIRAN V TUGAS KHUSUS.....	281

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Berkembangnya pasar di dunia dapat mempengaruhi laju produksi barang atau jasa di berbagai sektor termasuk industri kimia. Industri kimia merupakan sektor yang memegang peranan penting dalam industri, karena bahan kimia dapat dimanfaatkan dalam beberapa bidang, seperti kesehatan, lingkungan, bahkan pada industri kimia itu sendiri. Pembangunan industri kimia oleh suatu negara akan meningkatkan perekonomian di negara tersebut. Sektor industri merupakan salah satu sektor yang penting untuk membantu meningkatkan perekonomian dan pemenuhan kebutuhan material di Indonesia. Jika kebutuhan bahan kimia suatu industri tidak tersedia di suatu daerah maka harus dipenuhi dengan cara mengimpor barang yang berpotensi meningkatkan devisa negara. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor maka negara dapat untuk membangun pabrik dan memproduksi bahan-bahan tersebut secara mandiri.

Bahan kimia yang banyak digunakan dalam berbagai sektor salah satunya adalah senyawa klorin dioksida (ClO_2). Klorin dioksida adalah salah satu senyawa yang banyak dibutuhkan saat ini dan masih di *import* dari negara lain. Penggunaan klorin dioksida juga semakin dibutuhkan sebagai disinfektan pada masa virus COVID-19 karena klorin dioksida lebih ampuh sebagai disinfektan dibandingkan dengan natrium hipoklorit (Hatanaka dkk, 2021). Klorin dioksida juga banyak digunakan pada proses *bleaching*, khususnya untuk selulosa kualitas tinggi. Klorin dioksida lebih sering dipakai sebagai pemutih dibanding klorin (Cl_2), karena penggunaan klorin dioksida tidak menghasilkan bahan organik terklorinasi yang menyebabkan pencemaran lingkungan (Folke dkk, 2020).

Pendirian pabrik klorin dioksida dapat menjadi sarana untuk memajukan dan juga mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi pada sektor industri yang ada di Indonesia. Pendirian pabrik klorin dioksida ini juga diharapkan dapat menambah ketersediaan pekerjaan dan menekan angka impor dari negara lain. Perkembangan industri di bidang pembangunan pabrik klorin dioksida ini juga diharapkan dapat menjadi pemicu pembangunan pabrik bahan kimia lain dan juga sebagai pendukung untuk pertumbuhan industri-industri lainnya di Indonesia.

1.2 Sejarah dan Perkembangan

Klorin dioksida ditemukan pada tahun 1811 oleh Sir Humphry Davy dan sejak pertengahan abad ke-20, telah banyak digunakan dalam industri kertas sebagai pemutih dan pengolahan air minum. Klorin dioksida pertama kali digunakan untuk mendisinfeksi air di sebuah spa di Ostend, Belgia. Perkembangan yang lebih baru memperluas penerapannya pada pemrosesan makanan, desinfeksi tempat dan kendaraan, pemberantasan jamur, desinfeksi udara dan pengendalian bau, perawatan kolam renang, pembersihan luka, dan aplikasi gigi.

Klorin dioksida dengan cepat menjadi bahan pemutih yang lebih dipilih dalam industri *pulp* dan kertas karena dapat meminimalkan dampak lingkungan dari proses pemutihan. Tidak seperti klorin yang dapat bereaksi dengan bahan organik untuk membentuk spesies terklorinasi yang dapat mencemari lingkungan (Lei dkk, 2020). Klorin dioksida merupakan senyawa yang berbeda dari unsur klor, baik dalam struktur kimianya maupun perilakunya. Ciri penting adalah kelarutannya yang tinggi dalam air. Klorin dioksida sekitar 10 kali lebih larut dalam air dibanding klorin sehingga lebih mudah untuk mendisinfeksi air (Andrés dkk, 2022).

Berdasarkan draft Panduan Penilaian Karsinogen dari *Environmental Protection Agency* (EPA), klorin dioksida diklasifikasikan sebagai Kelompok D yaitu tidak bersifat karsinogenik terhadap manusia dan hewan. Klorin dioksida merupakan alternatif pengganti klorin sebagai disinfektan untuk pasokan air publik di Amerika Serikat, dan digunakan untuk desinfeksi air minum di beberapa negara Eropa, kolam renang, dan sistem pendingin air komersial. *Food and Drug Administration* (FDA) dari Amerika Serikat mengizinkan penggunaan klorin dioksida sebagai agen antimikroba dalam air yang digunakan pengolahan daging, dan dalam air yang digunakan untuk mencuci buah dan sayuran pada konsentrasi maksimum yang ditetapkan oleh kode peraturan federal.

Klorin dioksida dapat diproduksi dengan beberapa cara, di antaranya, Proses *solway*, proses *mathiesson*, proses *Hydrogen Peroxide-Atmosphere*, dan mengoksidasi larutan natrium klorit dengan klorin atau asam klorida. Proses yang sering ditemui adalah proses *solway*, proses *mathiesson*, dan proses *Hydrogen Peroxide-Atmosphere* (HP-A). Proses HP-A bekerja dalam kondisi atmosferik dibanding dua proses lain yang bekerja dalam kondisi vakum.

1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik

1.3.1. Tujuan Pendirian Pabrik

1. Mengurangi ketergantungan impor klorin dioksida dari negara lain.
2. Menciptakan lapangan pekerjaan bagi masyarakat Indonesia.
3. Meningkatkan produktivitas pada sumber daya manusia dan memanfaatkan sumber daya alam yang ada.
4. Meningkatkan perkembangan perekonomian nasional melalui sektor industri.
5. Meningkatkan ilmu pengetahuan dan teknologi pada bidang industri kimia.

1.3.2. Manfaat Pendirian Pabrik

1. Membuka lapangan pekerjaan dan meningkatkan kualitas sumber daya manusia di Indonesia.
2. Mengundang konsumen-konsumen klorin dioksida dari luar negeri untuk membeli produk klorin dioksida dari Indonesia.
3. Menjadikan Indonesia sebagai negara yang mampu bersaing dalam bidang industri.
4. Meningkatkan kontribusi Indonesia dalam pasar internasional dari produksi klorin dioksida.
5. Kawasan industri menyediakan sarana dan prasarana untuk menunjang berbagai kebutuhan masyarakat.

1.4 Proses Pembuatan Klorin Dioksida

Klorin dioksida merupakan senyawa dengan rumus ClO_2 , berbentuk gas berwarna hijau kekuningan di atas $11\text{ }^\circ\text{C}$, cairan berwarna coklat kemerahan antara $11\text{ }^\circ\text{C}$ dan $-59\text{ }^\circ\text{C}$, dan kristal berwarna jingga terang di bawah $-59\text{ }^\circ\text{C}$. Klorin dioksida digunakan sebagai bahan pemutih di pabrik pembuatan kertas, dan di fasilitas pengolahan air umum untuk membuat air yang aman untuk diminum. Klorin dioksida biasanya ditangani sebagai *aqueous solution*.

1.4.1 Proses Solvay

Proses Solvay menggunakan natrium klorat dan asam sulfat, dengan metanol sebagai zat pereduksi. Proses Solvay pada umumnya mengkonversi klorat

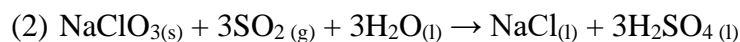
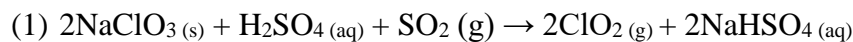
menjadi klorin dioksida sebanyak 89% dengan kebutuhan metanol sebesar 0,20 lbs untuk per klorin dioksida yang akan dihasilkan (US4081520A).



Efisiensi proses Solvay dapat ditingkatkan secara substansial dengan menggunakan normalitas asam total yang tinggi dan melaksanakan reaksi dalam Reaktor-*evaporator-crystallizer*. Reaksi dilakukan pada suhu 64-74°C dengan tekanan 0,15 atm. Kerugian dari proses ini adalah penggunaan metanol yang cenderung merangsang kondisi eksplosif, reaksinya yang lebih lambat dan mungkin membutuhkan suhu yang lebih tinggi sehingga dapat menambah *cost*.

1.4.2. Proses *Mathieson* (US6761872B2)

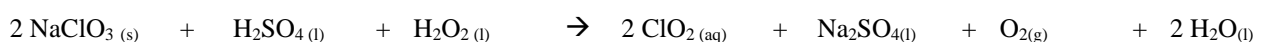
Dalam proses *Mathieson*, campuran sulfur dioksida dimasukkan ke dalam larutan natrium klorat dan asam sulfat. Sulfur dioksida digunakan sebagai reduktor untuk menghasilkan klorin dioksida dengan kandungan klorin yang lebih rendah.



Proses ini juga menghasilkan asam sulfat, sehingga mengurangi kebutuhan asam secara keseluruhan. Gas keluar dari proses *Mathieson* dilewatkan melalui *scrubber* untuk menghilangkan sulfur dioksida yang tidak bereaksi. Namun, proses ini juga menghasilkan klorin sebagai reaksi samping yang tidak diinginkan. Temperatur operasi pada reaktor yaitu 46°C, tekanan 0,7 atm dengan konversi 88%.

1.4.3. Proses *Hydrogen Peroxide-Atmosphere* (HP-A)

Proses HP-A klorin dioksida (ClO_2) diproduksi dengan mereduksi klorat, yang biasanya dipasok dengan garam natrium, dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4). Produk samping dari reaksi ini adalah oksigen (O_2) dan asam sulfat yang mengandung natrium sulfat (Na_2SO_4). Oksigen dilepaskan ke atmosfer dan natrium sulfat yang bersifat asam dapat dikumpulkan dan dijual



Menggunakan hidrogen peroksida sebagai agen pereduksi memberikan sejumlah keuntungan, termasuk kapasitas yang lebih tinggi untuk generator yang sudah ada. Hidrogen peroksida merupakan pereduksi yang lebih mudah digunakan

untuk menghasilkan klorin dioksida murni. Temperatur yang digunakan 70-80 °C, tekanan 1 atm dengan konversi mencapai 95%.

Tabel 1.1 Perbandingan Proses Pembuatan Klorin Dioksida

No	Parameter	Proses Pembuatan		
		Proses Solvay	Proses Mathieson	Proses HP-A
1	Bahan Baku	Natrium Klorat, Asam sulfat dan Metanol	Natrium Klorat, Asam sulfat dan Sulfur dioksida	Natrium Klorat, Asam sulfat dan Hidrogen Peroksida
2	Kondisi Operasi	Suhu 64-74°C dan Tekanan 0,15 atm	Suhu 46 °C dan tekanan 0,7 atm	Suhu 70-80 °C dan Tekanan 1 atm
3	Konversi	89%	88%	95%-99%
4	Harga Agen Pereduksi	US\$724,92/ton CH ₃ OH	US\$192/ton SO ₂	US\$260/ton H ₂ O ₂

Dari perbandingan proses diatas dipilih proses *hydrogen peroxide-atmosphere* (HP-A) karena bahan baku asam sulfat dan hidrogen peroksida yang tersedia di indonesia. Hidrogen peroksida lebih mudah ditangani karena berfasa liquid dibanding sulfur oksida yang berfasa gas dan harganya lebih murah dibanding metanol. Kondisi operasi pada proses HP-A juga lebih aman karena suhu yang tergolong rendah dan tekanan yang tidak memerlukan vessel vakum karena berada di tekanan 1 atm. Tingkat konversinya juga lebih tinggi dibanding dua proses lain sehingga menggunakan proses HP-A lebih menguntungkan dibanding menggunakan proses *solvay* atau proses *mathieson*.

1.5 Sifat Fisika dan Sifat Kimia

1.5.1 Natrium klorat

Rumus kimia	: NaClO ₃
Berat molekul	: 106,45 kg/kmol
Fase	: Padat
Warna	: Tidak berwarna

Titik leleh : 248 °C
Kelarutan dalam air : 100 g/100 g (25 °C)

1.5.2 Hidrogen Peroksida

Rumus kimia : H₂O₂
Berat molekul : 34 kg/kmol
Fase : Cair
Warna : Tidak berwarna
Titik didih : 151,4°C
Titik beku : -0,43°C
Berat jenis : 1,454 g/cm³
Kelarutan dalam air : *Miscible*

1.5.3 Asam Sulfat

Rumus kimia : H₂SO₄
Berat molekul : 98 kg/kmol
Fase : Cair
Warna : Tidak berwarna
Titik didih : 337 °C
Titik leleh : 10 °C
Kelarutan dalam air : *Miscible*

1.5.4 Klorin dioksida

Rumus kimia : ClO₂
Berat molekul : 67,45 kg/kmol
Fase : *Aqueos*
Warna : Kekuningan
Titik didih : 11°C
Titik beku : -59°C
Kelarutan dalam air : 0,0101 kg/kg air (30°C)

1.5.5 Oksigen

Rumus molekul	: O ₂
Berat molekul	: 32 kg/kmol
Fase	: Gas
Warna	: Tidak berwarna
Titik didih	: 90,17 K
Titik beku	: 54,36 K
Densitas pada 25°C	: 0,001429 g/mL

1.5.6 Natrium Sulfat

Rumus kimia	: Na ₂ SO ₄
Berat molekul	: 142,04 g/mol
Fase	: Padat
Warna	: Tidak Berwarna
Berat jenis	: 2,742 g/cm ³
Titik didih	: 1.429 °C
Titik leleh	: 884 °C
Kelarutan dalam air	: 0,425 kg/kg air (30°C)

1.5.7 Air

Rumus molekul	: H ₂ O
Berat molekul	: 18,02 kg/kmol
Fase	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Titik didih	: 373,15 K
Titik beku	: 273,15 K
Densitas pada 25°C	: 1 g/mL

DAFTAR PUSTAKA

- Andrés, C. M. C., Lastra, J. M. P. D. L., Andrés Juan, C., Plou, F. J., & Pérez-Lebeña, E. (2022). Chlorine dioxide: friend or foe for cell biomolecules? A chemical approach. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(24), 15660.
- Badan Pusat Statistik. (2024). *Ekspor dan Impor*.
<https://www.archive.bps.go.id/exim/>
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2001). *SNI 03-6575-2001 - Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Buatan pada Bangunan Gedung*.
- Burke, M., Tenney, J., Indu, B., Hoq, M. F., Carr, S., & Ernst, W. R. (1993). Kinetics of hydrogen peroxide-chlorate reaction in the formation of chlorine dioxide. *Industrial & engineering chemistry research*, 32(7), 1449-1456.
- Chapman, M. R., Kwan, M. H., King, G., Jolley, K. E., Hussain, M., Hussain, S., & Blacker, A. J. (2017). Simple and versatile laboratory scale CSTR for multiphasic continuous-flow chemistry and long residence times. *Organic Process Research & Development*, 21(9), 1294-1301.
- Favache, A., & Dochain, D. (2009). Thermodynamics and chemical systems stability: The CSTR case study revisited. *Journal of Process Control*, 19(3), 371-379.
- Folke, J., Renberg, L., & McCubbin, N. (2020). Environmental aspects of ECF vs. TCF pulp bleaching. In *Environmental Fate and Effects of Pulp and Paper* (pp. 681-691). CRC Press.
- Hatanaka, N., Xu, B., Yasugi, M., Morino, H., Tagishi, H., Miura, T., & Yamasaki, S. (2021). Chlorine dioxide is a more potent antiviral agent against SARS-CoV-2 than sodium hypochlorite. *Journal of Hospital Infection*, 118, 20-26.
- Ismail, S. 1996. *Alat Industri Kimia*, Cetakan Ketiga. Palembang: Penerbit Unsri. ISBN 979-587-168-4.
- Kadarjono, A., Yusnitha, E., Santosa, A. S. D., & Winastri, P. D. (2020). Pengaruh Jenis Packing pada Menara Packed-Bed Absorber dalam Penyerapan Gas NOx. *Urania: Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, 26(1).
- Kern, D. Q. (1965). *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill.

- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1993). *Unit Operations of Chemical Engineering* (Fifth Edition). McGraw-Hill.
- Nauman, E. B. (2007). Multiple reactions in batch reactors. In *Chemical reactor design, optimization, and scaleup, 2a* (pp. 41-87). Hoboken: Wiley.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (1998). *Perry's Chemical Engineer's Handbook* (Seventh Edition). McGraw-Hill.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (1999). *Perry's Chemical Engineer's Handbook* (7th Edition). McGraw-Hill.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (8th Edition). McGraw-Hill.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (Fifth Edition).
- Sinnott, R.K. (2005) *Coulson and Richardson's Chemical Engineering Volume 6, Chemical Engineering Design*. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Treyball, R. E. (1981). *Mass Transfer Operations* (3rd Edition). McGraw-Hill Book Co.
- Walas, S. M. (1990). *Chemical Process Equipment Selection and Design* . Butterworth-Heinemann.
- Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. McGraw-Hill.