

PRA-RANCANGAN PABRIK NATRIUM HIDROKSIDA METODE
ELEKTROLISIS SEL MEMBRAN KAPASITAS 22.000 TON/TAHUN



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kimia Berkelanjutan

Jurusan Teknik Kimia
Politeknik Negeri Ujung Pandang

NIRWANA NUR BADRA C

43121018

SISKA WANGI

43121024

PROGRAM STUDI D-4 TEKNOLOGI REKAYASA KIMIA BERKELANJUTAN
JURUSAN TEKNIK KIMIA
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR 2025

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **Pra Rancangan Pabrik Natrium Hidroksida Metode Elektrolisis Sel Membran Kapasitas 22.000 Ton/Tahun** oleh Siska wangi Nim 431 21 024 Telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 27 Agustus 2025

Menyetujui,

Pembimbing 1

Pembimbing 2



Dr. Ridhawati, S.T., M.T
NIP. 19760419 200501 2 002

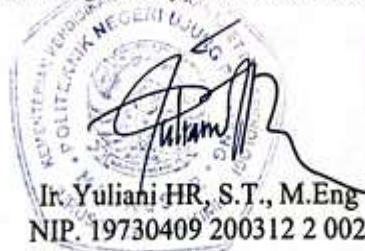


M Badai, S.T., M.T
NIP. 19600722 198811 1 001

Mengetahui

Koordinator Program Studi

D-4 Teknologi Rekayasa Kimia Berkelanjutan



Ir. Yuliani HR, S.T., M.Eng
NIP. 19730409 200312 2 002

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	1
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR GAMBAR	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR SIMBOL, SATUAN, DAN KETERANGAN	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
RINGKASAN	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kapasitas Rancangan.....	3
1.2.1 Ketersediaan bahan baku	3
1.2.2 Kapasitas Produksi.....	4
1.3 Penentuan Lokasi Pabrik	11
1.3.1 Ketersediaan Bahan Baku	12
1.3.2 Utilitas.....	13

1.3.3 Tenaga Kerja.....	13
1.3.4 Pemasaran	13
1.4 Tinjauan Proses	14
1.4.1 Proses Produksi NaOH dari Elektrolisis Garam.....	14
1.4.2 Pemilihan Proses.....	20
BAB II DESKRIPSI PROSES	Error! Bookmark not defined.
2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Konsep Proses	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Dasar Reaksi	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Kondisi Operasi	Error! Bookmark not defined.
2.2.3 Tinjauan Termodinamika.....	Error! Bookmark not defined.
2.3 Langkah Proses.....	Error! Bookmark not defined.
2.4 Diagram alir kuantitatif.....	Error! Bookmark not defined.
BAB III NERACA MASSA	Error! Bookmark not defined.
1. Neraca massa tangki pelarut (TPL-01).....	Error! Bookmark not defined.
2. Neraca massa tangki pemurnian (TPM-01).....	Error! Bookmark not defined.
3. Neraca massa filter press (FP-01)	Error! Bookmark not defined.
4. Neraca massa ion exchanger (IE-01).....	Error! Bookmark not defined.
5. Neraca massa heater (H-01)	Error! Bookmark not defined.
6. Neraca massa membran elektrolisis (ME-01)	Error! Bookmark not defined.
7. Neraca massa evaporator 1 (EV-01).....	Error! Bookmark not defined.
8. Neraca massa evaporator 2 (EV-02).....	Error! Bookmark not defined.
9. Neraca massa evaporator 3 (EV-03).....	Error! Bookmark not defined.
10. Neraca massa <i>Cooler</i> (CLR-01)	Error! Bookmark not defined.
11. Neraca massa <i>Crytallizer</i> (CR-01)	Error! Bookmark not defined.
12. Neraca massa centrifuge (CF-01).....	Error! Bookmark not defined.
13. Neraca massa <i>Rotary dryer</i> (RD-01).....	Error! Bookmark not defined.
BAB IV NERACA PANAS.....	Error! Bookmark not defined.
1. Neraca panas tangki pemurnian (TPL-01)	Error! Bookmark not defined.

2. Neraca panas heater (H-01)	Error! Bookmark not defined.
3. Neraca panas membran sel (ME-01)	Error! Bookmark not defined.
4. Neraca panas evaporator 1 (EV-01)	Error! Bookmark not defined.
5. Neraca panas evaporator 2 (EV-02)	Error! Bookmark not defined.
6. Neraca panas evaporator 3 (EV -03)	Error! Bookmark not defined.
7. Neraca panas <i>Cooler</i> (CL-01)	Error! Bookmark not defined.
8. Neraca panas <i>Crytallizer</i> (CR-01)	Error! Bookmark not defined.
9. Neraca panas <i>Rotary dryer</i> (RD-01)	Error! Bookmark not defined.
BAB V SPESIFIKASI ALAT	Error! Bookmark not defined.
5. 1 Unit pemindah	Error! Bookmark not defined.
5.1.1 Screw conveyer 01	Error! Bookmark not defined.
5.1.2 Screw conveyer 02	Error! Bookmark not defined.
5.1.3 Screw conveyer 03	Error! Bookmark not defined.
5.1.4 Belt conveyer 01	Error! Bookmark not defined.
5.1.5 Bucket elvator 01	Error! Bookmark not defined.
5.1.6 Bucket elvator 02	Error! Bookmark not defined.
5.1.7 Pompa 01	Error! Bookmark not defined.
5.1.8 Pompa 02	Error! Bookmark not defined.
5.1.9 Pompa 03	Error! Bookmark not defined.
5.1.10 Pompa 04	Error! Bookmark not defined.
5.1.11 Pompa 05	Error! Bookmark not defined.
5.1.12 Pompa 06	Error! Bookmark not defined.
5.1.13 Pompa 07	Error! Bookmark not defined.
5.1.14 Pompa 08	Error! Bookmark not defined.
5.1.15 Pompa 09	Error! Bookmark not defined.
5.1.16 Pompa 10	Error! Bookmark not defined.
5. 2 Unit penyimpanan	Error! Bookmark not defined.
5.2.1 Gudang penyimpanan NaCl	Error! Bookmark not defined.
5.2.2 Tangki penyimpanan bahan tambahan NaOH	Error! Bookmark not defined.
5.2.3 Tangki penyimpanan bahan tambahan Na ₂ CO ₃ .	Error! Bookmark not defined.

5.2.4 Tangki penampungan NaCl	Error! Bookmark not defined.
5.2.5 Tangki penampungan mother liquor	Error! Bookmark not defined.
5.2.6 Silo	Error! Bookmark not defined.
5. 3 Unit proses	Error! Bookmark not defined.
5. 3.1 Tangki pelarut NaCl	Error! Bookmark not defined.
5. 3.2 Tangki pemurnian	Error! Bookmark not defined.
5. 3.3 Filter press	Error! Bookmark not defined.
5. 3.4 Ion exchanger	Error! Bookmark not defined.
5. 3.5 Heater	Error! Bookmark not defined.
5. 3.6 Membran elektrolisis	Error! Bookmark not defined.
5. 3.7 Evaporator 01	Error! Bookmark not defined.
5. 3.8 Evaporator 02	Error! Bookmark not defined.
5. 3.9 Evaporator 03	Error! Bookmark not defined.
5. 3.10 Cooler	Error! Bookmark not defined.
5. 3.11 Crytallizer	Error! Bookmark not defined.
5. 3.12 Centrifuge	Error! Bookmark not defined.
5. 3.13 Rotary dryer	Error! Bookmark not defined.
BAB VI UTILITAS	Error! Bookmark not defined.
6.1 Unit penyediaan steam	Error! Bookmark not defined.
6. 2 Water Treatment Plant (WTP)	Error! Bookmark not defined.
BAB VII INSTRUMENTASI DAN KESELAMATAN KERJA	Error!
Bookmark not defined.	
BAB VIII STRUKTUR ORGANISASI	Error! Bookmark not defined.
BAB IX TATA LETAK PABRIK DAN PEMETAAN	Error! Bookmark not defined.
defined.	
BAB X ANALISA EKONOMI	Error! Bookmark not defined.
BAB XI KESIMPULAN	23
DAFTAR PUSTAKA	24

LAMPIRAN A NERACA MASSA	A1
LAMPIRAN B NERACA PANAS	B1
LAMPIRAN C SPESIFIKASI ALAT	C1
LAMPIRAN D UTILITAS.....	D1
LAMPIRAN E ANALISA EKONOMI	E1

RINGKASAN

Pendirian pabrik kimia natrium hidroksida bertujuan agar hasil dari pendirian pabrik dapat memenuhi kebutuhan pasar dan upaya ini salah satu usaha untuk mengurangi jumlah impor natrium hidroksida. Tetapi kapasitas yang diproduksi dalam negeri masih belum cukup untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri yang dapat dilihat dari data impor Natrium Hidroksida di Indonesia.

Pabrik natrium hidroksida direncanakan didirikan di daerah Bolok, Kec. Kupang Barat, Kab. Kupang, Nusa Tenggara Timur. Dengan luas pabrik 25.000 m². Pembuatan natrium hidroksida dari natrium klorida dilakukan dengan menggunakan metode elektrolisis sel membran. Pada proses sel membran ini beroperasi pada suhu 90°C dan tekanan 1 atm.

Perusahaan berbentuk perseroan terbatas (PT) dimana jumlah karyawan sebanyak 150 orang. Pabrik beroperasi selama 24 jam tiap hari, dan 330 hari tiap tahun dengan pembagian jam kerja dilakukan berdasarkan sistem shift untuk karyawan operasional.

Pada utilitas digunakan kebutuhan air sarana umum sebanyak 3455,74185 lb/jam, kebutuhan air pendingin sebanyak 22290,11368 lb/jam, dan kebutuhan air boiler sebanyak 3471,724 lb/jam.

Analisa ekonomi menunjukkan total investasi Rp 416.867.623.680,82 dan total penjualan sebesar Rp 406.999.862.174,99. Didapatkan *pay out time* (POT)

sebesar 2,23 tahun, ROI sebesar 29 % dan nilai IRR diperoleh 28%. Karena harga IRR yang diperoleh lebih besar daripada bunga pinjaman yaitu 12% per tahun, maka dapat disimpulkan bahwa pabrik natrium hidroksida ini layak untuk didirikan.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia semakin hari semakin meningkat, baik dilihat dari sisi jenis keanekaragamannya maupun jumlahnya. Oleh sebab itu ketersediaan dan kebutuhan bahan baku mengalami peningkatan, ditambah lagi dengan bahan pendukung untuk memenuhi kebutuhan proses yang akan diinginkan. Kebutuhan garam di Indonesia tiap tahunnya yakni sebesar 4,5 juta ton dan konsumsi 800 ribu ton untuk rumah tangga maupun komersial (Kementrian Perindustrian RI, 2022)

Garam memiliki peran penting dalam berbagai industri dan aspek kehidupan sehari-hari. NaCl (natrium klorida), sebagai bahan utama dimanfaatkan dalam sintesis NaOH (natrium hidroksida), Cl (klorin) dan H₂ (hidrogen). Bahan kimia tersebut dipergunakan dalam Industri tekstil, Industri sabun, penjernihan air pada waste water treatment plant (WWTP), industri pulp, industri minyak dan gas, serta penggunaan dalam electroplating.

NaOH adalah senyawa kimia dengan kandungan alkali yang tinggi, sifatnya yang tinggi alkali dapat menyebabkan korosi pada benda dan iritasi kulit terhadap manusia, sehingga produk tersebut perlu penanganan secara hati-hati selama penggunaannya. Dalam bentuk murni, NaOH berbentuk serpihan atau pelet dengan warna putih cerah, bersifat hidroskopis dan mudah larut dalam air

Produksi NaOH dilakukan dengan proses elektrolisis garam, yang menggunakan proses sel membran dalam pembuatan natrium hidroksida (NaOH) dipilih karena beberapa alasan yang mendasarinya. Pertama, Keamanan lingkungan menjadi faktor utama, karena metode ini tidak menggunakan merkuri, yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan dapat mencemari lingkungan. Pendirian pabrik kimia Natrium Hidroksida bertujuan agar hasil dari pendirian pabrik NaOH dapat memenuhi kebutuhan pasar dan upaya ini salah satu usaha untuk mengurangi jumlah impor Natrium Hidroksida. Kebutuhan akan NaOH di dalam negeri diperoleh dari data impor dan data produksi dalam negeri. Tetapi kapasitas yang diproduksi dalam negeri masih belum cukup untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri yang dapat dilihat dari data impor *sodium hydroxide* di Indonesia.

Kebutuhan NaOH di Indonesia cukup tinggi dan mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Namun, produksi NaOH dalam negeri belum mencukupi kebutuhan dalam negeri. Padahal NaOH digunakan hampir semua industri kimia. Dengan didirikannya pabrik NaOH ini diharapkan mampu memberikan keuntungan sebagai berikut :

- a. Pabrik-pabrik industri tekstil (pemrosesan kapasitas dan dalam proses pewarnaan serat sintetik seperti nilon dan polyester), industri sabun dan deterjen, industri minyak dan gas bumi (migas), industri kimia (sebagai bahan baku pembuatan plastik, obat-obatan, pelarut, kain sintetik, zat pewarna, cat, tinta dan lain-lain) akan semakin berkembang memungkinkan kebutuhan akan NaOH semakin meningkat.

- b. Menghemat sumber devisa negara karena dapat mengurangi ketergantungan impor.
- c. Membantu pabrik-pabrik di Indonesia yang memakai NaOH sebagai bahan bakunya, karena selain lebih murah juga kontinuitasnya lebih terjaga.

1.2 Kapasitas Rancangan

1.2.1 Ketersediaan bahan baku

Bahan baku utama pembuatan NaOH ini yaitu NaCl dan air. Bahan baku NaCl dapat diperoleh dari air laut dan garam industri. Indonesia memiliki potensi besar dalam produksi garam berkat garis pantainya yang panjang dan iklim tropis yang mendukung proses penguapan air laut.

Tabel 1. 1 Data produksi garam industri berdasarkan provinsi di Indonesia tahun 2019-2023

Produksi garam (Ton)	2019	2020	2021	2022	2023
Aceh	393.2	8404.87	8517.73	686.63	875.71
Bali	3373.33	2676.11	926.1	1339.57	2805.65
Banten	10.06	73.9	84.9	5.15	1137
D.I.Yogyakarta	11.83	7.24	14.29	9.46	3.02
Gorontalo	2509.82	102.5	405.6	248.56	1596.6
Jawa Barat	445726.69	41489.2	83527.03	65554.34	394348.17
Jawa Tengah	796635.93	375295.5	292001.18	214503.32	652744.53
Jawa Timur	917931.89	398927.05	358878.05	211800.32	802170.46
Produksi garam (Ton)	2019	2020	2021	2022	2023

Kalimantan	-	54	-	-	-
Timur					
Nusa Tenggara Barat	14795.76	19746.96	7274.3	5422.62	20713.46
Nusa Tenggara timur	168637.68	156965.75	115261.79	119036.17	205250.08
Sulawesi Selatan	140335.23	45310.5	5842.35	7176.75	121215.51
Sulawesi tengah	693.7	808.76	394.71	1239.04	276.63
Sulawesi Tenggara	-	4.8	9.71	0.8	0.79
Total (ton)	2491055.12	1049867.15	873137.73	627022.72	2203137.62

Sumber : statistic.kkp.go.id (Kementrian Kelautan dan Perikanan, 2022)

1.2.2 Kapasitas Produksi

Dalam perancangan suatu pabrik, kapasitas produksi mempunyai peran penting karena jumlah dan jenis produk yang dihasilkan harus dapat menghasilkan laba yang maksimal dengan biaya minimal. Dalam penentuan kapasitas produksi dapat ditentukan menurut nilai konsumen setiap tahun dengan melihat perkembangan industri dalam kurun waktu berikutnya.

Tabel 1. 2 Daftar Pabrik Penghasil Natrium Klorida (NaCl) padatan di Indonesia

Nama perusahaan	Lokasi
-----------------	--------

Artha Garam Indonesia	Bekasi, Jawa Barat
LA SALT KUB Mutiara Laut	Jepara
Cheetham Garam Indonesia	Krakatau, Industrial Estate, Cilegon, Jawa Barat
UD Aditya Mandiri	Pati, Jawa Tengah
PT. Unichem Candi Indonesia	Gresik, Jawa Timur

Tabel 1. 3 Data Produksi NaCl tahun 2019-2023

Tahun	Produksi (ton)
2019	2.700.000
2020	1.370.000
2021	1.090.000
2022	1.000.000
2023	2.500.000

Sumber : Badan Pusat Statistik, 2024

Tabel 1. 4 Pabrik yang membutuhkan NaCl

Nama perusahaan	Kebutuhan (ton/tahun)
PT. Asimas Chemical	700.000
PT. Garam	500.000
PT. UNIChemCandi Indonesia	200.000
PT. Angincourt Resources	10.000

Tabel 1. 5 Produksi Na₂CO₃ tahun 2019-2023

Tahun	Produksi (ton)
2019	63.256
2020	63.256
2021	63.256
2022	63.256
2023	118.305

Sumber : Badan Pusat Statistik, 2024

Tabel 1. 6 produksi NaOH di Indonesia tahun 2019-2023

Tahun	Produksi (ton)	%P
2019	523.70	-
2020	448.65	14.331
2021	361.78	19.363
2022	399.33	10.379
2023	386.18	3.293
Rata-rata pertumbuhan per tahun(%)		11.841

Sumber : Bizteka, CCI, 2022

Pada Tabel 1.6 dapat dilihat dalam waktu lima tahun Produksi NaOH mengalami penurunan.

Tabel 1 .7 Konsumsi NaOH di Indonesia tahun 2019-2023

Tahun	Konsumsi (ton)	%P
2019	423.88	-
2020	435.73	2.79
2021	466.14	6.97
2022	391.35	16.04
2023	384.03	1.87
Rata-rata pertumbuhan per tahun(%)		7

Sumber : Badan Pusat Statistik, 2024

Pada Tabel 1.7 dapat dilihat konsumsi NaOH pada tahun 2019-2023. Penggunaan NaOH tersebut digunakan pada industri sabun, MSG, VRSF, dan industri pulp.

Tabel 1. 8 Data Ekspor NaOH di Indonesia tahun 2019-2023

Tahun	Ekspor (ton/tahun)	%P
2019	490.318	-
2020	354.650	27.669
2021	133.945	62.232
2022	106.518	20.476
2023	154.389	44.942
Rata-rata pertumbuhan per tahun(%)		39

Sumber : Badan Pusat Statistik, 2024

Tabel 1. 9 Data Impor NaOH di Indonesia tahun 2019-2023

Tahun	Impor (ton/tahun)	%P
2019	48,476	-
2020	65,909	35,962
2021	63,652	-3,424
2022	56,577	-11,115
2023	66,198	17,003
Rata-rata pertumbuhan per tahun (%)		9,606

Sumber : Badan Pusat Statistik, 2024

Pada Tabel 1.8 dan 1.9 data ekspor dan impor NaOH selama 5 tahun terakhir di tahun 2023. Jumlah impor NaOH di dalam negeri kian meningkat. Maka, pembuatan pabrik NaOH dalam negeri sangat menguntungkan. Adapun pabrik NaOH yang ada di Indonesia dapat dilihat pada tabel 1.10.

Tabel 1. 10 Pabrik NaOH Padatan dan kapasitas produksi di Indonesia.

Pabrik NaOH	Kapasitas Produksi (ton/tahun)
PT.Asahimas Chemical	700.000
PT.Sulfindo adiusaha	215.000
Total Produksi	915.000

Pabrik NaOH dari garam NaCl yang akan didirikan pada tahun 2030 dapat di tentukan kapasitas berdasarkan impor dan ekspor.

a. Data Impor, Ekspor NaOH dan Nilai konsumsi.

Berikut adalah data impor NaOH dari badan pusat statistik (BPS, 2024). Data ini bertujuan untuk menghitung kapasitas pabrik yang di butuhkan agar dapat memenuhi kebutuhan NaOH dalam negeri. Data impor NaOH di Indonesia pada tahun 2019-2023, sehingga perkiraan kapasitas pabrik pada tahun 2030 dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut.

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

Dimana:

M = Nilai impor pada tahun 2030 (ton/tahun)

P = Nilai impor pada tahun terakhir (ton/tahun)

I = Rata-rata kenaikan impor tiap tahun (%)

n = Selisih Tahun

Sehingga, perkiraan produksi pada tahun 2030 sebagai berikut:

$$m_2 = 386.18 (1 + (-12\%))^{2030-2023}$$

$$= 386.18 (1 + (-12\%))^7$$

$$= 157.822 \text{ ton/tahun}$$

Perkiraan kebutuhan pada tahun 2030 sebagai berikut:

$$m_5 = 384.03 (1 + (-7\%))^{2030-2023}$$

$$= 384.03 (1+(-7\%))^7$$

$$= 231.071 \text{ ton/tahun}$$

Perkiraan jumlah Impor dan Ekspor pada tahun 2030 sebagai berikut:

$$m_1 = 66.198 (1+(-9,6\%))^{2030-2023}$$

$$= 466.14 (1+(-9,6\%))^7$$

$$= 32.645 \text{ ton/tahun}$$

$$m_4 = 154.38 (1+(-39\%))^{2030-2023}$$

$$= 154.38 (1+(-39\%))^7$$

$$= 4,85 \text{ ton/tahun}$$

Perkiraan kapasitas produksi pabrik dapat di tentukan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$m_1 + m_2 + m_3 = m_4 + m_5$$

Keterangan:

m_1 = nilai impor pada tahun 2030 (ton/tahun)

m_2 = produksi pabrik dalam negeri (ton/tahun)

m_3 = kapasitas pabrik yang akan didirikan (ton/tahun)

m_4 = nilai ekspor pada tahun 2030 (ton/tahun)

m_5 = nilai kebutuhan dalam negeri tahun 2030 (ton/tahun)

Sehingga, untuk perkiraan kapasitas pabrik NaOH pada tahun 2030 dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut:

$$m_3 = (m_4 + m_5) - (m_1 + m_2)$$

$$\begin{aligned} m_3 &= (4,85 + 231,071) - (32,645 + 157,822) \\ &= 73.221 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas di peroleh kapasitas pabrik pada tahun 2030 sebesar 73.221 ton/tahun.

Berdasarkan tabel 1.10 total produksi sebesar 915.000 ton/tahun. Dari Ketersediaan bahan baku yang ada di indonesia khususnya di Nusa Tenggara Timur, maka pabrik yang akan di dirikan pada tahun 2030 mengambil 30% dari total produksi sehingga:

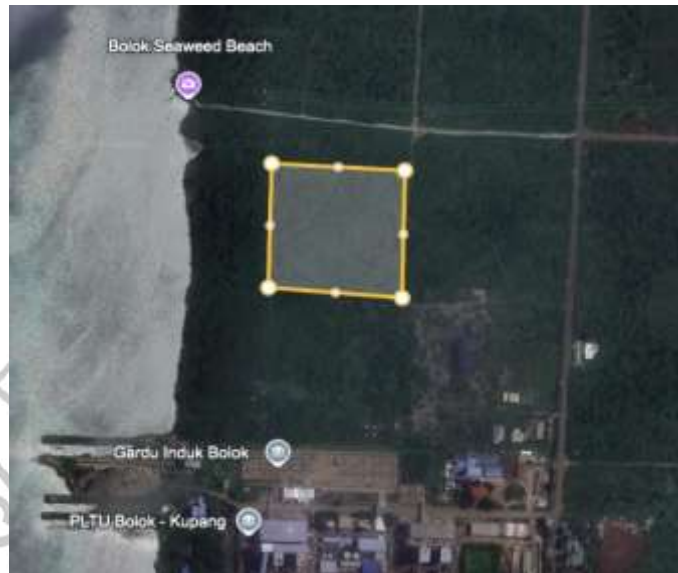
$$73.221 \text{ ton/tahun} \times 30 \% = 21.966 \text{ ton/tahun}$$

Dengan pertimbangan ketersediaan bahan baku di dalam negeri, maka kapasitas produksi pabrik yang akan didirikan sebesar 22.000 ton/tahun.

1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Penentuan lokasi pabrik sangat berpengaruh terhadap keberhasilan pabrik yang akan didirikan, baik dari produksi maupun distribusinya. Pabrik NaOH (Natrium Hidroksida) berlokasi di daerah Bolok, Kec. Kupang Barat, Kab. Kupang, Nusa

Tenggara Timur. Dengan luas pabrik 25.000 m² atau 10°14'08"S 123°29'25"E kiri ke kanan garis lintang atau latitude, atas ke bawah garis bujur atau longitude.



Gambar 1. 1 Lokasi Pabrik NaOH

Sumber : Google Earth, 2024

Penentuan lokasi pabrik perlu pertimbangan atas keberlangsungan dan perkembangan suatu pabrik. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam pemilihan lokasi pabrik NaOH sebagai berikut :

1.3.1 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku utama pada produksi NaOH adalah NaCl yang dimana ketersediaan bahan baku berada dekat dengan lokasi produksi. PT. Cheetham Garam Indonesia dengan kapasitas produksi sebesar 115.500 ton/tahun, untuk bahan baku tambahan yaitu NaOH 48% diperoleh di PT. Bumi Mulia Chemindo Sidoarjo Jawa Timur Kapasitas produksi sebesar 12.000 ton/tahun, untuk perolehan Na₂CO₃ di PT. Petrokimia Gresik dengan kapasitas produksi sebesar 300.000

ton/tahun. Penggunaan bahan baku yang berada dalam negeri tanpa menggunakan bahan impor diharapkan dapat menentukan biaya operasional pabrik.

1.3.2 Utilitas

Kebutuhan listrik dapat disuplai dari PLTU Bolok Kupang Nusa Tenggara Timur yang berada dekat dari lokasi pabrik. Sumber untuk mendapatkan air seperti air sungai Oebelo yang nantinya akan diproses melalui pengolahan air dengan jarak 0,21 km dari lokasi pabrik. Lokasi yang dipilih merupakan salah satu daerah penghasil garam di Kupang yang sedang direncanakan untuk membangun industri garam. Lokasi ini dinilai cukup strategis dalam pelayaran domestik maupun internasional dengan melewati jalur transportasi darat juga mampu ditempuh melalui jalur laut. Jarak lokasi pelabuhan Tenau Kupang ditempuh 5,3 km. Letaknya yang strategis tersebut lebih memudahkan dalam pemasaran produk nantinya.

1.3.3 Tenaga Kerja

Tenaga kerja merupakan salah satu faktor utama dalam mendirikan pabrik. Kriteria pemilihan tenaga yang dibutuhkan adalah tenaga kerja yang berpendidikan kejuruan, menengah dan sarjana. Perekrutan tenaga kerja memprioritaskan lulusan industri dengan pendidikan yang cukup maju, sehingga memperoleh tenaga kerja di sekitar lokasi pabrik dan dapat menjamin terlaksananya pendirian pabrik NaOH.

1.3.4 Pemasaran

Pendirian pabrik NaOH bertujuan untuk memenuhi permintaan dalam negeri maupun luar negeri. Beberapa industri yang terdapat di kota Nggolomo menggunakan NaOH diantaranya PT. Inti Daya Kencana, PT. Timor *Livestock* Lestari, Lab. Prodia Kupang, Tiberias Nagekeo dan lain sebagainya.

1.4 Tinjauan Proses

1.4.1 Proses Produksi NaOH dari Elektrolisis Garam

Proses elektrolisis berperan penting dalam industri soda kaustik. Dimana larutan garam (NaCl) dielektrolisis sehingga diperoleh kaustik soda (NaOH) serta hidrogen di sisi katode dan gas klor (Cl_2) di sisi anode. Jika di dinginkan klor dan natrium hidroksida sebagai produk akhir, maka rancangan sel harus dibuat sedemikian rupa sehingga kedua bahan tersebut tidak bercampur.

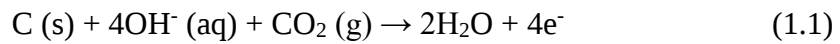
Terdapat tiga jenis rancangan sel pada proses elektrolisis yang banyak digunakan dalam industri soda kaustik, yaitu :

1. Sel diafragma (1890)
2. Sel merkuri (1892)
3. Sel membran (1970)

Pada tahun 1800-an, dikembangkan suatu metode untuk memproduksi natrium hidroksida dan klorin yaitu pembuatan natrium hidroksida dan klorin dari larutan garam secara elektrolisis. Akan tetapi terdapat permasalahan utama selama proses elektrolisis larutan garam tersebut yaitu sulitnya memisahkan klorin yang dihasilkan di anoda dengan natrium hidroksida yang dihasilkan di katoda. Natrium hidroksida dan klorin dapat bereaksi membentuk natrium hipoklorit (NaClO), dan reaksi lebih lanjutnya menghasilkan natrium klorat (NaClO_3) pada temperatur operasi diatas 400°C . untuk mencegah hal tersebut, maka ruangan antara katoda dan anoda dipisahkan menggunakan sekat yang disebut diafragma, sehingga sel ini dinamakan sel diafragma (O'Brien, 2004).

Sel diafragma terbuat dari suatu selaput berpori yang dapat dilalui ion-ion, namun tetap dapat menahan percampuran produk. Pada sel diafragma yang lama,

anoda yang digunakan terbuat dari grafit dan katodanya berupa kotak baja dengan sisi yang berpori. Jika elektroda yang digunakan dari grafit, maka akan terjadi reaksi sebagai berikut:



Sel diafragma yang menggunakan anoda terbuat dari titanium yang dilapisi platinum, ruthenium, iridium jarang menyebabkan diafragma tersumbat sehingga sel dapat beroperasi selama 12-24 tanpa pergantian diafragma. Pada pertengahan 1980-an, dikembangkan diafragma yang bebas dari asbes, yaitu polimer fluorocarbon, terutama PTFE (politetrafluoroetilen). Dengan harapan bahwa diafragma yang dikembangkan tersebut dapat memperpanjang umur pemakaian diafragma dan dapat mengatasi keberatan para pencinta lingkungan mengenai adanya kemungkinan asbes yang masuk ke lingkungan (O'Brien, 2004).

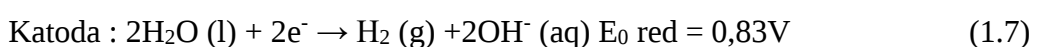
Reaksi utama terjadi pada anoda dengan reaksi :



Dan reaksi pada katoda :

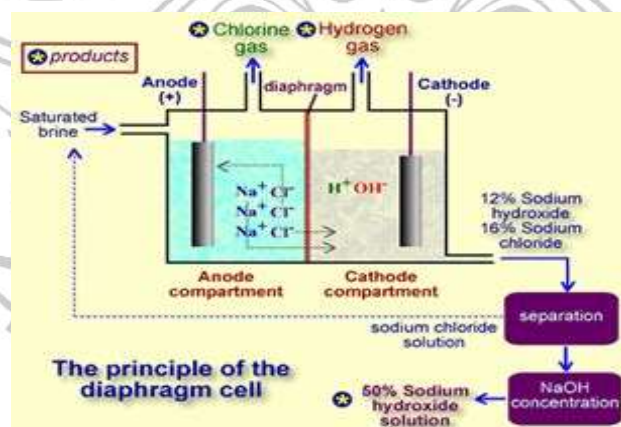


Dari harga potensial diatas, reaksi keseluruhan yang terjadi di katoda dan anoda yaitu:



$$E_0 \text{ sel} = 2,19 \text{ V}$$

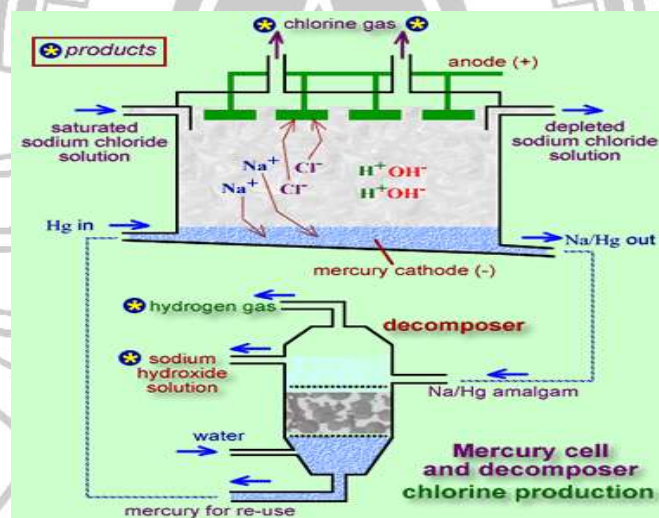
Pada sel diafragma, hasil dari ruangan katoda merupakan suatu campuran, yaitu 10-12% NaOH dan 14-16% NaCl (aq). Larutan ini perlu dipekatkan terlebih dahulu, biasanya sampai 50% dan ini menelan banyak energi. Untuk menghasilkan 1 ton natrium hidroksida 50%, air yang harus diuapkan bisa mencapai sekitar 2600 kg. Ion klorida yang masih tertinggal sedikit terkadang tidak dapat diterima bagi industri. Sodium klorat juga merupakan masalah jika natrium hidroksida itu hendak digunakan pada pembuatan gliserin, sodium sulfat, sodium hidrosulfat, dan bahan kimia lainnya (O'Brien, 2004). Larutan dari ruangan katoda dipekatkan dengan menguapkan air agar konsentrasi NaOH bertambah dan pemurnian NaOH dilakukan dengan pengkristalan NaCl (s). Hasil akhir dalam proses klor-alkali tersebut adalah 50% NaOH (aq) dengan sekitar 1% NaCl berupa pengotoran. $\text{Cl}_2(\text{g})$ dapat mengandung sekitar 1,5% $\text{O}_2(\text{g})$ disebabkan proses oksidasi (O'Brien, 2004).



Gambar 1. 2 Diafragma sel

Proses elektrolisis dengan sel merkuri anodenya terbuat dari grafit atau titanium, tetapi katodenya adalah kolam aliran raksa (merkuri). Katode merkuri mempunyai overpotential yang lebih tinggi untuk mereduksi H_2O menjadi OH dan

$\text{H}_2(\text{g})$. Sel merkuri cukup banyak memberi keuntungan daripada sel diafragma, terutama karena dapat menghasilkan NaOH dengan kemurnian tinggi tanpa prosedur lanjutan yang terlalu banyak. Proses dengan menggunakan sel merkuri menghasilkan konsentrasi larutan kaustik soda tertinggi diantara ketiga jenis sel-sel yang lain. Satu kerugian yang penting adalah sel merkuri memerlukan voltase yang lebih tinggi (kira-kira 4,5 V) dibandingkan sel diafragma dan juga memerlukan energi listrik yang cukup banyak, yaitu sekitar 3100 kWh/ton Cl_2 dalam sebuah sel merkuri, dibandingkan dengan 2700 kWh dalam sel diafragma. Kerugian lain yang cukup serius dari sel merkuri ini adalah perlunya pengendalian limbah merkuri ke lingkungan.



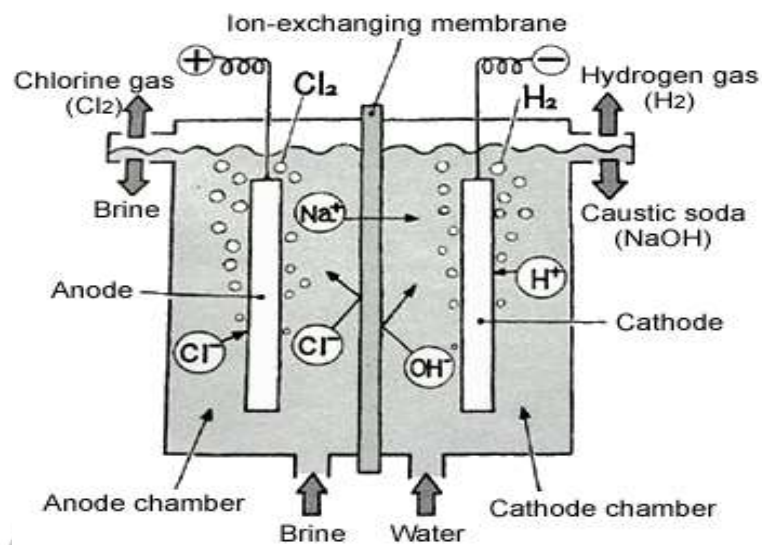
Gambar 1. 3 Merkuri sel

Pada elektrolisis dengan sel membran, ruangan antara anoda dan katoda dipisahkan oleh membran semipermeabel. Pada sel diafragma, migrasi ion dikendalikan oleh laju aliran cairan yang melewati diafragma dan diatur dengan kontrol tingkat cairan yang hati-hati di antara ruangan. Sel membran memisahkan

ruangan antara katoda dan anoda dengan lembaran plastik aktif dan berpori. Membran ini memungkinkan ion natrium melewatinya dan ion hidroksil tidak dapat melewatinya (Austin, 1945 dalam Albana, 2022).

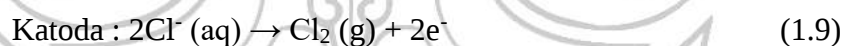
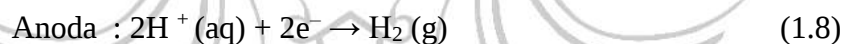
Proses elektrolisis larutan garam menggunakan sel membran merupakan teknologi paling modern dalam industri klor-alkali. Bahan untuk membuat membran polimer terus dikembangkan lebih lanjut. Du pont mengembangkan polimer dari asam perfluorosulfonat dan Ashai mengembangkan suatu membran berlapis banyak yang menggunakan polimer asam perfluorosulfonat yang dilapisi dengan asam perfluorokarboksilat pada satu sisi yang lain. Untuk memberikan kekuatan mekanik, membran pada umumnya diperkuat menggunakan serat PTFE (polytetrafluoroethylene) (Austin, 1945 dalam Albana, 2022).

Dalam sel membran tersebut, ruang anoda dan ruang katoda dipisahkan oleh suatu membran yang dapat dilalui oleh kation (ion positif) disebut juga membran penukar ion. Membran penukar ion tersebut memiliki peranan penting menjadi media yang memungkinkan terjadinya perpindahan ion-ion sodium (Na^+) dari ruang anoda ke ruang katoda. Namun membran tersebut mencegah mengalirnya ion Cl ke ruang katoda dan mencegah sebagian besar ion OH ke ruang anoda sehingga soda kaustik yang dihasilkan tidak bercampur dengan larutan garam.



Gambar 1. 4 Membran Sel

Pada anoda, ion-ion klorida (Cl^-) dalam larutan garam (NaCl) mengalami oksidasi menjadi gas klorin (Cl_2), sedangkan pada katoda ion-ion hydrogen (H^+) dalam air mengalami reduksi menjadi gas hidrogen (H_2). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Selanjutnya, ion-ion natrium (Na^+) yang berpindah dari anoda ke katoda bereaksi dengan ion-ion hidroksida (OH^-) menghasilkan NaOH dengan konsentrasi 32-35%. Untuk mencapai konsentrasi natrium hidroksida 50%, larutan natrium hidroksida yang diproduksi harus dipekatkan dengan penguapan (terkonsentrasi di vaporizer) (O'Brien, 2004). Reaksi elektrolisis larutan garam NaCl secara keseluruhan dapat dituliskan sebagai berikut :



Karena gas Cl_2 bersifat korosif, anoda harus dibuat dari logam yang tidak reaktif seperti titanium, sementara katoda dapat dibuat dari nikel (O'Brien, 2004).

1.4.2 Pemilihan Proses

Untuk menentukan proses yang akan di pilih pada pembuatan Caustic soda dapat di lihat pada tabel 1.11 sebagai berikut :

Tabel 1. 11 Perbandingan proses pembuatan NaOH menggunakan sel elektrolisis.

Parameter	Merkuri	Diafragma	Membran
Konsentrasi Natrium Hidroksida yang di hasilkan	50%	12%	30-32%
Tingkat pencemaran lingkungan	Tinggi	Tinggi	Rendah
Kemurnian Natrium Hidroksida	Tinggi, hanya mengandung < 30 ppm NaCl	Mengandung 1,0-1,5% berat NaCl	Tinggi, hanya mengandung < 50 ppm NaCl
Kualitas masukan bahan baku	Harus dimurnikan terlebih dahulu dengan kemurnian yang lebih rendah dari masukan sel membran	Harus dimurnikan terlebih dahulu dengan kemurnian yang lebih rendah dari masukan sel membran	Harus dimurnikan terlebih dahulu. Kemurnian garam harus > 97%
Penggunaan energi listrik (kWh/Ton)	3100	2700	2200-2500

Sumber: (Austin, 1945 dalam Albana, 2022).

Tabel 1 .12 Kelebihan dan Kekurangan Sel Merkuri, Diafragma dan Membran

Proses	Kelebihan	Kelemahan
Sel Merkuri	Konsentrasi NaOH yang dihasilkan cukup tinggi dengan kandungan NaCl yang sangat kecil dan bahan baku garam yang digunakan lebih melimpah karena relatif lebih kecil.	Penggunaan energi listrik sangat tinggi dan merkuri merupakan logam berat yang sangat berbahaya jika tercemar di lingkungan
Sel Diafragma	Bahan baku NaCl yang dapat digunakan lebih melimpah karena tingkat kemurniannya relatif lebih rendah dan konsumsi energi listriknya tidak terlalu tinggi	Konsentrasi natrium hidroksida yang dihasilkan cukup rendah dan bahan abses pada sel diafragma dapat menyebabkan tingkat pencemaran lingkungan yang tinggi.
Sel Membran	Tidak menggunakan bahan yang berbahaya seperti abses dan merkuri, penggunaan listrik yang relatif lebih rendah dan konsentrasi NaOH yang dihasilkan juga	Bahan baku garam yang digunakan harus dalam kemurnian yang tinggi sehingga membutuhkan langkah pemurnian yang lebih banyak

tinggi dengan kandungan
NaCl yang kecil.

Sumber: (Austin, 1945 dalam Albana, 2022).

Dengan beberapa pertimbangan, maka proses yang akan dipilih yaitu elektrolisis sel membran dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Proses membran tidak menggunakan bahan yang sangat beracun seperti merkuri dan asbes.
- b. Penggunaan listrik yang lebih hemat dibandingkan 2 proses lainnya.
- c. Kemurnian dari produk akhir yang dihasilkan dengan metode sel membran sangat tinggi karena hanya mengandung <50 ppm NaCl.

BAB XI

KESIMPULAN

Dari hasil analisis Pra-Rancangan Pabrik Natrium Hidroksida dapat disimpulkan bahwa rencana pendirian pabrik ini cukup menguntungkan dengan mempertimbangkan beberapa aspek antara lain:

a. Aspek proses

Proses produksi Natrium hidroksida menggunakan metode elektrolisis sel membran lebih ekonomis karena tidak menggunakan bahan yang sangat beracun seperti merkuri dan asbes. Dan penggunaan listrik yang lebih hemat.

b. Aspek lokasi

Lokasi pabrik direncanakan didirikan di Kecamatan Balok Kabupaten Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur. Daerah ini cukup strategis karena berada pada daerah penghasil garam industri yang memadai.

c. Aspek ekonomi

Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pra rancangan pabrik natrium hidroksida metode elektrolisis sel membran dengan kapasitas 22.000 ton/tahun layak didirikan dengan data sebagai berikut :

Return of investment = 29%

Pay out time = 2,23 tahun

Break event point = 39%

Interest rate of return = 28%

DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R. S., & Newton, R. D. (1955). *Chemical Engineering Cost Estimation*. New York: Library Of Congress Catalog Card.
- Austin, G. T. (1945). *Shreve's Chemical Process Industries*. Singapore: McGraw-Hill Book Company.
- Azhaar, D. H., & Hawazin. (2018). *Pabrik natrium hidroksida dari garam NaCl dengan proses elektrolisis sel membran*. Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Bahrudin, Zulfansyah, Aman, Ilyas Arin, Nurfatihayati, (2003). "Penentuan Rasio Ca/MgOptimum pada Proses Pemurnian Garam Dapur", *Jurnal Natur Indonesia*, Vol. 6, No.1, hh. 16-19.
- Bard, A. J, Faulkner, L. R., & Leddy, J. (1985) *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*. John Wiley & Sons
- CCI Indonesia. *Perkembangan Produsen, Produksi, Ekspor, Impor, Suplai Caustic Soda*. CCI Indonesia, <https://cci-indonesia.com/perkembangan-produsen-produksi-ekspor-impor-suplai-caustic-soda/>. Diakses tanggal 23 Desember 2024.
- Coulson, J., & Richardson, J. (Ed: Vol 6). *Chemical Engineering Desing* (R. K Sinnott).
- Dilmore, R. (1993). *Electrochemical Process in Brine Solutions*. Penerbit ABC.
- Fritz Ullmann, M. B. (2005). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vols. 1 to 39. Wiley-VCH.
- Geankoplis, C. J. (1978). *Transport Processes and Unit Operations* Third Edition. USA, Mexico: Pretince-Hall International.

- Google Earth, 2025. Peta Lokasi Bolok, Kec. Kupang Barat, Kab. Kupang, Nusa Tenggara Timur (online), (<https://google.earth.com>). diakses tanggal 14 Januari 2025
- Haryono, H. E., 2019. Kimia Dasar. 1st ed. Yogyakarta: Deepublish.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. *Statistic.kkp.go.id*. 2022, <https://statistic.kkp.go.id>. Diakses tanggal 22 Desember 2024
- Kementrian Perindustrian Republik Indonesia (2022) "Kebutuhan Garam di Indonesia." *Kementrian Perindustrian RI*.
- Kern, D. Q. (1965). *Proses Heat Transfer*. Mc Graw-Hill.
- Lloyd E. Brownell, Edwin H. Young – *Proses Equipment Design*- Wiley-Interscience (1959).
- McGraw-Hill Book Company, Inc. (1956). *The Chemical Process Industries*. International Student Edition. Tokyo: Kogakusha Co., Ltd.
- Merck KGaA. *Lembar Data Keselamatan: Sodium Karbonat Anhidrat untuk Analisis EMSURE ISO*. Versi 8.9, 2024.
- Ministerstwo Srodowiska. Najlepsze Dostepne Techniki (BAT) – Wytyczne dla Branzy Chemicznej w Polsce. Przemysl Chloro-Alkaliczny. Warszawa: Ministerstwo Srodowiska, sierpien 2005.
- Nurhadi, M., 2021. Gas dan Termodinamika. 1st ed. Samarinda: Media Nusa Creative
- O' Brien, R. DI (2004). *Fats and Oils Formulating and Processing for Applications* CRC Press. Washington D.C.
- O'Brien, T. F. (1934). *Handbook of Chlor-Alkali Technology Volume 1: Fundamentals*. United States of America: Business Media, Inc.
- O'Brien, Thomas F. (2007). *Handbook of Chlor Alkali Technology*. United States of America: Springer.

- Perry, R. H. (1997). *Perry's Chemical Engineer's Handbook* (7th edition). McGraw-Hill Company.
- Perry, R.H., dan Green, D.W. 1999. *Perry's Chemical Engineers' Handbook* 7th Edition. New York : McGraw-Hill.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (Eds.). (1984). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (6th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Powel, S. T. (1954). *Water Conditioning For Industry*. McGraw-Hill Company.
- Royal Society of Chemistry. *Chemicals from Salt: Teacher Notes*. n.d.
- Sedivy, V. (2009). Enviromental Balance Of Salt Production Speaks In Favor Of Solar Saltworks. 46.
- Statistik, P. B. (2024). Data Statistik konsumsi, Produksi, Impor, dan Ekspor Sodium Hydroxide. Diakses pada tanggal 20 Desember 2024 <https://www.bps.go.id/id>.
- Statistik, P. B. (2024). Data Statistik konsumsi, Produksi dan Impor Sodium Carbonate. <https://www.bps.go.id/id>. Diakses pada tanggal 20 Desember 2024
- Sutrisno, A., & Nurminabari, A (2013) *Termodinamika dan Termokimia*. Penerbit XYZ.
- Timmerhaus, K. D., & Peters, M. S. (2004). *Plant desing and Economics for Chemical Enggineer 4th Ed*. McGraw-Hill Inc: Singapur For Chemical Engineers.
- Ulrich, G. (1984). *AGuide To Chemical Engineering Proses Desing and Economics*. University Of New Hampshir.
- Ullmann. (2011). *Encyclopedia of Industrial Chemistry*. New York: Wiley .
- Walas, S. M. (1988). *Chemical Proses equipment selection and desing (H. Banner,Ed)*. USA.Inc.

Yaws, C. (1999). *Chemical Properti Handbook, Physical, Thermodynamic, Enviromental, Transport, Safety, and Health Related Proper for Organic and Inorganic Chemicals*. United States Of America: Mc. Graw- Hills Companies.



