

**PRARANCANGAN PABRIK KALIUM HIDROKSIDA (KOH)
DARI KALIUM KLORIDA (KCl) DENGAN PROSES ELEKTROLISIS
KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN
(Prarancangan *Rotary Dryer* (RD – 301))**

(Skripsi)

**Oleh:
JERI PARSAD AKRAMI
1615041051**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK KALIUM HIDROKSIDA (KOH) DARI KALIUM KLORIDA (KCl) DENGAN PROSES ELEKTROLISIS KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN (Prarancangan Rotary Dryer (RD – 301))

Oleh
JERI PARSAD AKRAMI

Pabrik Kalium Hidroksida (KOH) dari Kalium Klorida dan Air (H₂O) dengan proses elektrolisis, akan didirikan di daerah Karawang, Jawa Barat. Pabrik ini berdiri dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, sarana transportasi yang memadai, tenaga kerja yang mudah didapatkan dan kondisi lingkungan.

Pabrik direncanakan memproduksi Kalium Hidroksida dengan kapasitas 30.000 ton/tahun, dengan waktu operasi 24 jam/hari, 300 hari/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah Kalium Klorida (KCl) dan Air (H₂O).

Penyediaan kebutuhan utilitas pabrik Natrium Hidroksida terdiri dari unit pengadaan air, pengadaan udara instrument, *steam*, pengadaan listrik dan pengolahan limbah. Bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) menggunakan struktur organisasi *line* dan *staff* dengan jumlah karyawan sebanyak 197 orang.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

<i>Fixed Capital Investment</i> (FCI)	= Rp. 791.347.341.298,05
<i>Working Capital Investment</i> (WCI)	= Rp. 139.649.530.817,30
<i>Total Capital Investment</i> (TCI)	= Rp. 930.996.872.115,36
<i>Break Even Point</i> (BEP)	= 57,39 %
<i>Shut Down Point</i> (SDP)	= 46,08 %
<i>Pay Out Time after Taxes</i> (POT) _b	= 1,19 tahun
<i>Pay Out Time before Taxes</i> (POT) _a	= 1,69 tahun
<i>Return on Investment after Taxes</i> (ROI) _a	= 74,32 %
<i>Return on Investment after Taxes</i> (ROI) _b	= 49,05 %
<i>Discounted Cash Flow</i> (DCF)	= 49,42 %

Berdasarkan ringkasan di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik Kalium Hidrosida(KOH) ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai masa depan yang baik.

ABSTRAK

PREDESIGN POTASSIUM HYDROXIDE (KOH) FROM POTASSIUM CHLORIDE (KCl) AND WATER (H₂O) WITH ELECTROLYSIS PROCESS 30.000 TONS/YEAR CAPACITIES (Rotary Dryer Design (RD – 301))

By
JERI PARSAD AKRAMI

A Potassium Hydroxide (KOH) factory from Potassium Chloride and Water (H₂O) with an electrolysis process, will be establish in the Karawang, West Java. This factory was established by considering the availability of raw materials, adequate transportation facilities, easily available labor and environmental conditions.

The factory is planned to produce Potassium Hydroxide with a capacity of 30,000 tons/year, with an operating time of 24 hours/day, 300 days/year. The raw materials used are Potassium Chloride (KCl) and Water (H₂O).

Supplying the utility needs of the Sodium Hydroxide plant consists of water supply units, instrument air supply, steam, electricity supply and waste treatment. The form of the company is a Limited Liability Company (PT) using a line and staff organizational structure with a total of 197 employees.

from the economic analysis obtained:

<i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	= Rp. 791.347.341.298,05
<i>Working Capital Investment (WCI)</i>	= Rp. 139.649.530.817,30
<i>Total Capital Investment (TCI)</i>	= Rp. 930.996.872.115,36
<i>Break Even Point (BEP)</i>	= 57,39 %
<i>Shut Down Point (SDP)</i>	= 46,08 %
<i>Pay Out Time after Taxes (POT)_b</i>	= 1,19 tahun
<i>Pay Out Time before Taxes (POT)_a</i>	= 1,69 tahun
<i>Return on Investment after Taxes (ROI)_a</i>	= 74,32 %
<i>Return on Investment after Taxes (ROI)_b</i>	= 49,05 %
<i>Discounted Cash Flow (DCF)</i>	= 49,42 %

Based on the summary above, it is appropriate to study the establishment of a potassium hydroxide (KOH) factory further, because it is a profitable plant and has a good future.

Judul Skripsi : Prarancangan Pabrik Kalium Hidroksida (KOH) dari Kalium Klorida (KCl) dengan Proses Elektrolisis Kapasitas 30.000 Ton/Tahun (Perancangan *Rotary Dryer* (RD-301))

Nama Mahasiswa : Jeri Parsad Akrami

Nomor Pokok Mahasiswa : 1615041051

Program Studi : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik



Dr. Sri Ismiyati D, S.T., M.Eng.
NIP. 197904192006041001

Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001

2. Ketua Jurusan


Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji


Ketua

: **Dr. Sri Ismiyati D, S.T., M.Eng.**


.....

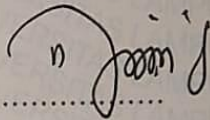
Sekretaris

: **Yuli Darni, S.T., M.T**

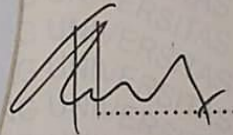

.....

Penguji

Bukan pembimbing I : **Dr. Eng. Dewi A Iryani, S.T., M.T.**


.....

Bukan Pembimbing II : **Dr. Lilis Hermida S.T., M.Sc.**


.....

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 197509282001121001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 3 Februari 2023

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atas pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana diterbitkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pada skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 28 Februari 2023



Jeri Parsad Akrami
NPM. 1615041051

RIWAYAT HIDUP



Jeri Parsad Akrami, penulis laporan ini dilahirkan di Kedondong pada tanggal 29 Oktober 1999, putra pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Suwondo dan Ibu Erni.

Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN 4 Sinar Harapan pada tahun 2010, pendidikan sekolah menengah pertama di MTsN 1 Pesawaran pada tahun 2013 dan pendidikan sekolah menengah atas di MAN 1 Pesawaran pada tahun 2016.

Pada tahun 2016 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Jalur Penerimaan Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan (PMPAP). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam berbagai organisasi antara lain sebagai Staf Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung (Himatemia FT Unila) Periode 2017, Kepala Divisi *Study Chemical Engineering Tools* (SCET) Himatemia FT Unila Periode 2018, Staf Dinas Internal dan Advokasi Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Lampung (BEM FT Unila) Periode 2019.

Pada tahun 2019 melakukan Kerja Praktik (KP) di PT. Tanjung Enum Lestari *Pulp & Paper* Muara Enim Sumatera Selatan dengan Tugas Khusus “Menghitung *Heat Efficiency pada Recovery Boiler*”. Pada tahun 2020, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Karang Agung, Kecamatan Way Tenong, Kabupaten Lampung Barar. Pada tahun 2021, penulis melakukan penelitian dengan judul “Optimasi Kadar Air Bahan Terhadap *Yield* Minyak Atsiri Serai Wangi (*Cymbopogon Winterianus*) Dengan Metode *Hydrosteam Distillation*” di Laboratorium Energi Baru Terbarukan, Teknik Kimia, Universitas Lampung.

MOTTO

“Allah Never Leaves You, Even Though Sometimes We Stay Away”

(Jerí P.A)

“Rahasia Untuk Maju Adalah Memulai”

(Mark Twain)

“Tak Peduli Berapa Kali Kau Jatuh Yang Penting Berapa Kali Kau
Bangkit”

(Anonim)

“Sesungguhnya Allah mencintai seseorang yang apabila bekerja,
mengerjakannya secara profesional”.

(H.R Thabrani)

“jika satu pintu tertutup maka akan ada ribuan jendela yang terbuka,
meski ada tralisnya”

(Jerí P.A)

“sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S Al-Insyirah : 07)

PERSEMBAHAN

Sebuah KaryaKu...

*Dengan sepenuh hati kupersembahkan tugas akhir ini kepada:
Allah SWT*

*Karena kehendak-Nya, semua ini dapat ku peroleh
Atas berkah dan karunia-Nya, aku bisa menyelesaikan karya kecil ini
Atas karunia-Nya dan anugerah-Nya, aku bisa bertahan selama ini.*

*Ayah dan IbuKu,
terima kasih atas segalanya, doa, kasih sayang, pengorbanan, dan
keikhlasannya.*

*Ini hanyalah setitik balasan yang tidak bisa dibandingkan dengan
pengorbanan dan kasih sayang selama ini
Terima kasih atas segalanya.*

*Adikku, M. Rafiq Faiz,
terima kasih atas dukungan, doa dan keceriaannya selama ini.*

*Sahabat-sahabatku dan "dia",
terima kasih atas dukungan, doa, keceriaan dan ketulusannya selama
ini.*

*Para pengajar sebagai tanda hormatku,
terima kasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini, baik itu
berupa ilmu teknik kimia, maupun ilmu kehidupan yang tentunya
sangat berguna dan bermanfaat.*

*Dan tak lupa kupersembahkan kepada Almamaterku tercinta,
semoga kelak berguna dikemudian hari.*

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, atas segala berkat dan rahmat-Nya, sehingga tugas akhir ini dengan judul “Prarancangan Pabrik Kalium Hidriksida Dengan Proses Elektrolisis Kapasitas 30.000 Ton/Tahun” dapat diselesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Suwondo S.Pd. dan Ibu Erni Rusidi selaku kedua orang tua, serta adik saya M. Rafiq Faiz.
2. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung dan Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan ilmu, pengarahan, saran, bimbingan, pengertian dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
3. Ibu Dr. Sri Ismiyati D, S.T., M.Eng.,, selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan ilmu, pengarahan, saran, bimbingan, pengertian dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
4. Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T., selaku Dosen Peguji I dan Dosen Pembimbing Kerja Praktik serta Penelitian yang telah memberikan ilmu, pengarahan, saran, bimbingan, pengertian dan kritik dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
5. Ibu Dr. Lilis Hermida S.T., M.Sc., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan ilmu, pengarahan, saran, dan kritik dalam penyelesaian tugas

akhir. Semoga ilmu bermanfaat yang diberikan dapat berguna di kemudian hari..

6. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Lampung, atas semua ilmu dan bekal masa depan yang akan selalu bermanfaat.
7. Adhitia Yulianto, partner tugas akhir saya, terimakasih atas kerjasamanya dengan penulis selama ini dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir.
8. Amalia Insani (*My weird home*), atas doa dan bantuannya selama ini.
9. Teman-teman kontrakan: Sigit, Neo, Heru, Adhit, Fardo dan Restu, terimakasih atas semua bantuannya selama penulis menyelesaikan tugas akhir.
10. Fikri dan Zahra, terimakasih atas doa dan bantuan finansialnya.
11. Veni, April, Fifi, Tantri dan Pangesti, terimakasih atas semua bantuannya selama penulis kuliah.
12. Cali, Ayusk, Metty, dan Nida, terimakasih atas semua bantuannya selama penulis melaksanakan kerja praktek.
13. Tiara dan Rian, Terimakasih atas atas bantuannya selama penulis melaksanakan penelitian.
14. Teman-teman Teknik Kimia FT Unila angkatan 2016, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas bantuannya selama penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
15. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan mereka terhadap penulis dan semoga skripsi ini dapat dipergunakan sebaik-baiknya.

Bandar Lampung, 28 Februari 2023

Penulis,

Jeri Parsad Akrami

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
LEMBAR PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
SANWACANA	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xxii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kegunaan Produk	2
1.3 Ketersediaan Bahan Baku	3
1.4 Analisis Pasar	3
1.5 Kapasitas Pabrik	5
1.6 Lokasi Pabrik	7
II. PEMILIHAN DAN DESKRIPSI PROSES	8
2.1 Proses Pembuatan Kalium Hidroksida	8
2.1.1 Proses <i>Boiling</i>	8
2.1.2 Proses elektrolisis	9
2.2 Pemilihan Proses	16
2.2.1 Tinjauan Secara Ekonomi	16
2.2.2 Tinjauan Secara Termodinamika	20
2.3 Uraian Proses	29

III.	SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK	33
	3.1 Spesifikasi Bahan Baku	33
	3.2 Spesifikasi Produk	34
IV.	NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI	36
	4.1 Neraca Massa	36
	4.1.1 Naraca Massa pada <i>Mixing Tank</i> (MT – 101)	36
	4.1.2 Neraca Massa pada Reaktor (RE – 201)	37
	4.1.3 Neraca Massa pada <i>Mixed Point</i> (MP – 301)	38
	4.1.4 Neraca Massa pada Evaporator (EV – 301 & EV – 302)	38
	4.1.5 Neraca Massa pada <i>Crystallizer</i> (CR – 301)	39
	4.1.6 Neraca Massa pada <i>Centrifuge</i> (CF – 301)	39
	4.1.7 Neraca Massa pada <i>Rotary Dryer</i> (RD – 301)	39
	4.2 Neraca Energi	40
	4.2.1 Neraca Energi pada <i>Mixing Tank</i> (MT – 101)	40
	4.2.2 Neraca Energi pada Reaktor (RE – 201)	40
	4.2.3 Neraca Energi pada <i>Mixed Point</i> (MP – 301)	41
	4.2.4 Neraca Energi pada Evaporator (EV – 301 & EV – 302)	41
	4.2.5 Neraca Energi pada <i>Crystallizer</i> (CR – 301)	42
	4.2.6 Neraca Energi pada <i>Centrifuge</i> (CF – 301)	42
	4.2.7 Neraca Energi pada <i>Rotary Dryer</i> (RD – 301)	42
	4.2.8 Neraca Energi pada <i>Heater</i> (HE – 101)	43
	4.2.9 Neraca Energi pada <i>Heater</i> (HE – 102)	43
	4.2.10 Neraca Energi pada <i>Condensor</i> (CD – 301)	43
	4.2.11 Neraca Energi pada <i>Heater</i> (HE – 301)	44
V.	SPESIFIKASI ALAT	45
	5.1 Spesifikasi Alat Proses	45
	5.1.1 Gudang Penyimpanan (GD – 101)	45
	5.1.2 <i>Screw Conveyor</i> (SC – 101)	45
	5.1.3 <i>Bucket Elevator</i> (BE – 101)	46
	5.1.4 <i>Hopper</i> (HP – 101)	46
	5.1.5 <i>Mixing Tank</i> (MT – 101)	47
	5.1.6 Pompa Proses (PP – 101)	47
	5.1.7 <i>Heater</i> (HE – 101)	48
	5.1.8 Pompa Proses (PP – 102)	48
	5.1.9 Reaktor Elektrolisis (RE – 201)	49
	5.1.10 Pompa Proses (PP – 301)	49
	5.1.11 <i>Heater</i> (HE – 102)	50
	5.1.12 Pompa Proses (PP – 103)	50
	5.1.13 Evaporator Efek 1 (EV – 301)	51
	5.1.14 Pompa Proses (PP – 302)	52
	5.1.15 Evaporator Efek 2 (EV – 302)	52
	5.1.16 Pompa Proses (PP – 303)	53
	5.1.17 <i>Condensor</i> (CD – 301)	53

5.1.18	<i>Crystallizer</i> (CR – 301)	54
5.1.19	Pompa Proses (PP – 304)	54
5.1.20	<i>Centrifuge</i> (CF – 301)	55
5.1.21	Pompa Proses (PP – 305)	55
5.1.22	<i>Screw Conveyor</i> (SC – 301)	56
5.1.23	<i>Bucket Elevator</i> (BE – 301)	56
5.1.24	<i>Hopper</i> (HP – 301)	57
5.1.25	<i>Rotary Dryer</i> (RD – 301)	57
5.1.26	<i>Heater</i> (HE – 301)	58
5.1.27	<i>Screw Conveyor</i> (SC – 302)	58
5.1.28	<i>Bucket Elevator</i> (BE – 302)	59
5.1.29	<i>Hopper</i> (HP – 302)	59
5.1.30	Gudang Penyimpanan (GD – 102)	60
5.2	Spesifikasi Alat Utilitas	60
5.2.1	Bak Sedimentasi (BS – 401)	60
5.2.2	Pompa Utilitas (PU – 401)	61
5.2.3	Pompa Utilitas (PU – 402)	61
5.2.4	<i>Dissolving Tank</i> Kaporit (DT – 401)	62
5.2.5	Pompa Utilitas (PU – 403)	62
5.2.6	Gudang Penyimpanan Alum (GD – 401)	63
5.2.7	<i>Screw conveyor</i> (SC – 401)	63
5.2.8	<i>Bucket Elevator</i> (BE – 401)	64
5.2.9	<i>Dissolving Tank</i> Alum (DT – 402)	64
5.2.10	Pompa Utilitas (PU – 404)	65
5.2.11	<i>Dissolving Tank</i> NaOH (DT – 403)	65
5.2.12	Pompa Utilitas (PU – 405)	66
5.2.13	<i>Clarifier</i> (CL – 401)	66
5.2.14	Pompa Utilitas (PU – 406)	67
5.2.15	<i>Sand Filter Tank</i> (SF – 401)	67
5.2.16	Pompa Utilitas (PU – 407)	68
5.2.17	<i>Filter Water Tank</i> (FWT – 401)	68
5.2.18	Pompa Utilitas (PU – 408)	69
5.2.19	Pompa Utilitas (PU – 409)	69
5.2.20	<i>Domestic Water Tank</i> (DWT – 401)	70
5.2.21	<i>Hydrant Water Tank</i> (HWT – 401)	70
5.2.22	Pompa Utilitas (PU – 410)	71
5.2.23	<i>Hot Basin</i> (HB – 401)	71
5.2.24	Pompa Utilitas (PU – 411)	72
5.2.25	<i>Storage Tank</i> H ₂ SO ₄ (ST – 401)	72
5.2.26	Pompa Utilitas (PU – 412)	73
5.2.27	<i>Dissolving Tank</i> H ₂ SO ₄ (DT – 404)	73
5.2.28	Pompa Utilitas (PU – 413)	74
5.2.29	<i>Storage Tank</i> <i>Dispersant</i> (ST – 402)	74
5.2.30	Pompa Utilitas (PU – 414)	75
5.2.31	<i>Storage Tank</i> <i>Scale Inhibitor</i> (ST – 403)	75
5.2.32	Pompa Utilitas (PU – 415)	76
5.2.33	<i>Storage Tank</i> <i>Corrosion Inhibitor</i> (ST – 404)	76
5.2.34	Pompa Utilitas (PU – 416)	77

5.2.35	<i>Cooling Tower</i> (CT – 401)	77
5.2.36	Pompa Utilitas (PU – 417)	78
5.2.37	<i>Cold Basin</i> (CB – 401)	78
5.2.38	Pompa Utilitas (PU – 418)	79
5.2.39	<i>Storage Tank</i> Air kondensat (ST – 405)	79
5.2.40	Pompa Utilitas (PU – 419)	80
5.2.41	<i>Cation Exchange</i> (CE – 401)	80
5.2.42	Pompa Utilitas (PU – 420)	81
5.2.43	<i>Anion Exchanger</i> (AE – 401)	81
5.2.44	Pompa Utilitas (PU – 421)	82
5.2.45	<i>Storage Tank</i> Air Demineral (ST – 406)	82
5.2.46	Pompa Utilitas (PU – 422)	83
5.2.47	Pompa Utilitas (PU – 423)	83
5.2.48	<i>Storage Tank Hydrazine</i> (ST – 407)	84
5.2.49	Pompa Utilitas (PU – 424)	84
5.2.50	<i>Deaerator</i> (DA – 401)	85
5.2.51	Pompa Utilitas (PU – 425)	85
5.2.52	<i>Boiler</i> (BO – 401)	86
5.2.53	<i>Steam blower</i> (SB – 401)	86
5.2.54	Blower Udara (BU – 401)	86
5.2.55	<i>Belt Conveyor</i> (BC – 401)	87
5.2.56	<i>Air Dryer</i> (AD – 501)	87
5.2.57	<i>Air Compressor</i> (AC – 501)	87
5.2.58	Blower Udara (BU – 501)	88
5.2.59	Blower Udara (BU – 502)	88
5.2.60	Blower Udara (BU – 503)	89
5.2.61	Blower Udara (BU – 504)	89
5.2.62	<i>Cyclone</i> (CC – 501)	89
5.2.63	Generator Penyedia Listrik (GS – 601)	90
VI.	UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH	91
6.1	Unit Pendukung Proses	91
6.2	Unit Pengolahan Limbah	102
6.3	Laboratorium	103
6.4	Instrumentasi dan Pengendalian Proses	106
VII.	TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK	108
7.1	Lokasi Pabrik	108
7.2	Tata Letak Pabrik	110
7.3	Tata Letak Peralatan Proses	114
VIII.	MANAJEMEN DAN ORGANISASI	116
8.1	Bentuk Perusahaan	116
8.2	Struktur Organisasi Perusahaan	118
8.3	Tugas dan Wewenang	121
8.4	Status Karyawan dan Penggajian	127
8.5	Pembagian Jam Kerja Karyawan	128

8.6 Penggolongan Jabatan dan Jumlah Karyawan	130
8.7 Kesejahteraan Karyawan	133
IX. INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI	135
9.1 Inventasi	135
9.2 Evaluasi Ekonomi	138
9.3 Angsuran Pinjaman	142
X. SIMPULAN DAN SARAN	143
10.1 Simpulan	143
10.2 Saran	143
DAFTAR PUSTAKA	144
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1.1 Data impor kalium hidroksida (Badan Pusat Statistik, 2016; Badan Pusat Statistik, 2017; Badan Pusat Statistik, 2018; Badan Pusat Statistik, 2019)	4
1.2 Data pengekspor kalium hidroksida ke indonesia di tahun 2019 (Badan Pusat Statistik, 2019)	5
1.3 Beberapa data impor kalium hidroksida di negara tetangga (UNdata, 2021).....	6
2.1 Harga komponen bahan baku dan produk (Alibaba, 2021)	16
2.2 Stoikiometri persamaan dengan proses <i>boiling</i>	17
2.3 Stoikiometri persamaan dengan proses elektrolisis	19
2.4 data entalpi dan energi bebas gibbs molar komponen pada kondisi standar (298,15 K) (Dean, 1979)	21
2.5 Data kapasitas panas komponen (Chase, 1998); Smith, 2001)	22
2.6 Nilai kapasitas panas komponen pada proses <i>boiling</i>	23
2.7 Data potensial sel standar (E^0) (O'Brien et al., 2005)	25
2.8 Data entalpi pembentukan komponen pada kondisi standar (298,15 K) (Patnaik, 2003)	25
2.9 Kapasitas panas komponen cair (Yaws, 1999)	25
2.10 Kapasitas panas komponen gas (Yaws, 1999)	25
2.11 Nilai kapasitas panas komponen pada proses elektrolisis	27
2.12 Perbandingan parameter antara proses <i>boiling</i> dan proses elektrolisis ...	29
4.1 Neraca massa pada <i>mixing tank</i> (MT – 101)	36

4.2 Neraca massa pada reaktor (RE – 201)	37
4.3 Neraca massa pada <i>mixed point</i> (MP – 301)	38
4.4 Neraca massa pada evaporator efek 1 (EV – 301)	38
4.5 Neraca massa pada evaporator efek 2 (EV – 302)	38
4.6 Neraca massa pada <i>crystallizer</i> (CR – 301)	39
4.7 Neraca massa pada <i>centrifuge</i> (CF – 301)	39
4.8 Neraca massa pada <i>rotary dryer</i> (RD – 301)	39
4.9 Neraca energi total pada <i>mixing tank</i> (MT – 101)	40
4.10 Neraca energi pada reaktor (RE – 201)	40
4.11 Neraca energi pada <i>mixed point</i> (MP – 301)	41
4.12 Neraca energi pada evaporator efek 1 (EV – 301)	41
4.13 Neraca energi pada evaporator efek 2 (EV – 302)	41
4.14 Neraca energi pada <i>crystallizer</i> (CR – 301)	42
4.15 Neraca energi pada <i>centrifuge</i> (CF – 301)	42
4.16 Neraca energi pada <i>rotary dryer</i> (RD – 301)	42
4.17 Neraca energi total pada <i>heater</i> (HE – 101)	43
4.18 Neraca energi total pada <i>heater</i> (HE – 102)	43
4.19 Neraca Energi Total pada <i>condensor</i> (CD – 301)	43
4.20 Neraca energi total pada <i>heater</i> (HE – 301)	44
5.1.1 Spesifikasi gudang penyimpanan (GD – 101)	45
5.1.2 Spesifikasi <i>screw conveyor</i> (SC – 101)	45
5.1.3 Spesifikasi <i>bucket elevator</i> (BE – 101)	46
5.1.4 Spesifikasi <i>hopper</i> (HP – 101)	46
5.1.5 Spesifikasi <i>mixing tank</i> (MT – 101)	47
5.1.6 Spesifikasi pompa proses (PP – 101)	47
5.1.7 Spesifikasi <i>heater</i> (HE – 101)	48
5.1.8 Spesifikasi pompa proses (PP – 102)	48
5.1.9 Spesifikasi reaktor elektrolisis (RE – 201)	49
5.1.10 Spesifikasi pompa proses (PP – 301)	49
5.1.11 Spesifikasi <i>heater</i> (HE – 102)	50
5.1.12 Spesifikasi pompa proses (PP – 103)	50
5.1.13 Spesifikasi evaporator efek 1 (EV – 301)	51

5.1.14 Spesifikasi pompa proses (PP – 302)	52
5.1.15 Spesifikasi evaporator efek 2 (EV – 302)	52
5.1.16 Spesifikasi pompa proses (PP – 303)	53
5.1.17 Spesifikasi <i>condensor</i> (CD – 301)	53
5.1.18 Spesifikasi <i>crystallizer</i> (CR – 301)	54
5.1.19 Spesifikasi pompa proses (PP – 304)	54
5.1.20 Spesifikasi <i>centrifuge</i> (CF – 301)	55
5.1.21 Spesifikasi pompa proses (PP – 305)	55
5.1.22 Spesifikasi <i>screw conveyor</i> (SC – 301)	56
5.1.23 Spesifikasi <i>bucket elevator</i> (BE – 301)	56
5.1.24 Spesifikasi <i>Hopper</i> (HP – 301)	57
5.1.25 Spesifikasi <i>rotary dryer</i> (RD – 301)	57
5.1.26 Spesifikasi <i>heater</i> (HE – 301)	58
5.1.27 Spesifikasi <i>screw conveyor</i> (SC – 302)	58
5.1.28 Spesifikasi <i>bucket elevator</i> (BE – 302)	59
5.1.29 Spesifikasi <i>Hopper</i> (HP – 302)	59
5.1.30 Spesifikasi gudang penyimpanan (GD – 301)	60
5.2.1 Spesifikasi bak sedimentasi (BS – 401)	60
5.2.2 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 401)	61
5.2.3 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 402)	61
5.2.4 Spesifikasi <i>dissolving tank</i> kaporit (DT – 401)	62
5.2.5 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 403)	62
5.2.6 Spesifikasi gudang penyimpanan alum (GD – 401)	63
5.2.7 Spesifikasi <i>screw conveyor</i> (SC – 401)	63
5.2.8 Spesifikasi <i>bucket elevator</i> (BE – 401)	64
5.2.9 Spesifikasi <i>dissolving tank</i> alum (DT – 402)	64
5.2.10 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 404)	65
5.2.11 Spesifikasi <i>dissolving tank</i> NaOH (DT – 403)	65
5.2.12 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 405)	66
5.2.13 Spesifikasi <i>clarifier</i> (CL – 401)	66
5.2.14 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 406)	67
5.2.15 Spesifikasi <i>sand filter tank</i> (SF – 401)	67

5.2.16 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 407)	68
5.2.17 Spesifikasi <i>filter water tank</i> (FWT – 401)	68
5.2.18 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 408)	69
5.2.19 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 409)	69
5.2.20 Spesifikasi <i>domestic water tank</i> (DWT – 401)	70
5.2.21 Spesifikasi <i>hydrant water tank</i> (HWT – 401)	70
5.2.22 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 410)	71
5.2.23 Spesifikasi <i>hot basin</i> (HB – 401)	71
5.2.24 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 411)	72
5.2.25 Spesifikasi <i>storage tank</i> H ₂ SO ₄ (ST – 401)	72
5.2.26 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 412)	73
5.2.27 Spesifikasi <i>dissolving tank</i> H ₂ SO ₄ (DT – 404)	73
5.2.28 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 413)	74
5.2.29 Spesifikasi <i>storage tank dispersant</i> (ST – 402)	74
5.2.30 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 414)	75
5.2.31 Spesifikasi <i>storage tank scale inhibitor</i> (ST – 403)	75
5.2.32 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 415)	76
5.2.33 Spesifikasi <i>storage tank corrosion inhibitor</i> (ST – 404)	76
5.2.34 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 416)	77
5.2.35 Spesifikasi <i>cooling tower</i> (CT – 401)	77
5.2.36 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 417)	78
5.2.37 Spesifikasi <i>cold basin</i> (CB – 401)	78
5.2.38 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 418)	79
5.2.39 Spesifikasi <i>storage tank</i> air kondensat (ST – 405)	79
5.2.40 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 419)	80
5.2.41 Spesifikasi <i>cation exchanger</i> (CE – 401)	80
5.2.42 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 420)	81
5.2.43 Spesifikasi <i>anion exchanger</i> (AE – 401)	81
5.2.44 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 421)	82
5.2.45 Spesifikasi <i>storage tank</i> air demineral (ST – 406)	82
5.2.46 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 422)	83
5.2.47 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 423)	83

5.2.48 Spesifikasi <i>storage tank hydrazine</i> (ST – 407)	84
5.2.49 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 424)	84
5.2.50 Spesifikasi <i>deaerator</i> (DA – 401)	85
5.2.51 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 425)	85
5.2.52 Spesifikasi <i>boiler</i> (BO – 401)	86
5.2.53 Spesifikasi <i>steam blower</i> (SB – 401)	86
5.2.54 Spesifikasi <i>blower</i> udara (BU – 401)	86
5.2.55 Spesifikasi <i>belt conveyor</i> (BC – 401)	87
5.2.56 Spesifikasi <i>air dryer</i> (AD – 501)	87
5.2.57 Spesifikasi <i>air compressor</i> (AC – 501)	87
5.2.58 Spesifikasi <i>blower</i> udara (BU – 501)	88
5.2.59 Spesifikasi <i>blower</i> udara (BU – 502)	88
5.2.60 Spesifikasi <i>blower</i> udara (BU – 503)	89
5.2.61 Spesifikasi <i>blower</i> udara (BU – 504)	89
5.2.62 Spesifikasi <i>cyclone</i> (CC – 501)	89
5.2.63 Spesifikasi generator penyedia listrik (GS – 601)	90
6.1 Kebutuhan air umum	92
6.2 Kebutuhan air untuk pembangkit <i>steam</i>	92
6.3 Kebutuhan air sebagai pendingin	94
6.4 Tingkatan kebutuhan informasi dan sistem pengendalian	107
7.1 Perencanaan luas area pabrik kalium hidroksida	114
8.1 Jadwal kerja masing-masing regu	129
8.2 Perincian tingkat pendidikan	130
8.3 Jumlah operator berdasarkan jenis alat proses	131
8.4 Jumlah operator berdasarkan jenis alat utilitas	131
8.5 Perincian jumlah karyawan berdasarkan jabatan	132
9.1 Perincian <i>total capital investment</i> pabrik kalium hidroksida	136
9.2 Perincian <i>total production cost</i> pabrik kalium hidroksida	137
9.3 <i>Minimum acceptable percent return on investment</i>	138
9.4 <i>Acceptable payout time</i> untuk tingkat resiko pabrik	139
9.5 Hasil uji kelayakan ekonomi	142

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Grafik data impor kalium hidroksida	6
2.1 Skema pembuatan kalium hidroksida dengan proses <i>boiling</i> (Delima & Septiana, 2017)	9
2.2 Skema proses sel diafragma (Kirk & Othmer, 1998)	12
2.3 Skema proses sel merkuri. (Kirk & Othmer, 1998)	13
2.4 Skema proses sel membran (Diadaptasi dari Kirk & Othmer, 1998).	15
6.1 Diagram <i>cooling water system</i>	96
7.1 Lokasi pendirian pabrik kalium hidroksida (Google Maps, 2022)	110
7.2 <i>Layout</i> area perancangan pabrik kalium hidroksida	113
7.3 <i>Layout</i> tata letak alat proses	115
8.1 Struktur organisasi perusahaan	120
9.1 Variasi tingkat produksi basis tahunan	140
9.2 Kurva <i>cummulative cash flow</i> terhadap umur pabrik	141

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kalium hidroksida atau biasa disebut dengan *potassium hydroxide*, *caustic potash*, *potassia*, dan *potassium hydrate* merupakan salah satu bahan kimia yang banyak digunakan oleh berbagai proses industri di Indonesia (Hapsari & Cahyana, 2018). Kalium hidroksida digunakan secara luas pada bidang industri kimia proses seperti pada industri kalium karbonat, dimana kalium hidroksida merupakan bahan baku utama. Kalium hidroksida juga berfungsi sebagai bahan baku pembantu pada industri pupuk, fosfat, kimia agro (agro chemical), baterai *alkaline*, dan pada industri tekstil. Kalium hidroksida juga digunakan pada industri sabun sebagai bahan pemucat (Ramli, 2011). Di pasaran, KOH biasa dijual dalam fasa padat berbentuk kristal dan juga fasa cair dengan konsentrasi sebesar 45 – 50% (Hapsari & Cahyana, 2018).

Kalium (potassium) pertama kali ditemukan oleh Sir Humphry Davy pada tahun 1807, dimana ia berhasil mengisolasi kalium untuk pertama kalinya di Royal Institution, London. Kalium adalah logam pertama yang diisolasi/diperoleh dengan elektrolisis (Rhousesanda, 2021). Krogt (2010) menjelaskan bahwa kalium diperoleh dari abu bahan tanaman. Abunya dilarutkan dan larutannya diuapkan sampai kering. Nama kalium (dalam bahasa Inggris “potassium”) berasal dari kata bahasa Inggris “potash”, yang memiliki arti alkali yang diekstraksi dari air yang bercampur dengan abu dari kayu atau pohon yang terbakar (Rhousesanda, 2021).

Proses produksi kalium hidroksida dapat menggunakan 2 cara yaitu dengan proses *boiling* dan proses elektrolisis. Proses *boiling* secara keseluruhan merupakan proses yang sederhana dan mudah untuk dilakukan, bahan baku yang digunakan pun harganya relatif murah dan cukup mudah didapatkan. Akan tetapi proses ini sudah banyak ditinggalkan pada akhir abad ke-19 karena konsentrasi KOH yang dihasilkan kecil dan beralih ke proses elektrolisis yang menghasilkan konsentrasi KOH lebih besar (O'Brien et al., 2005).

Konsumsi kalium hidroksida dari tahun ke tahun diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan pesatnya industri kimia. Dengan pertimbangan di atas, maka pabrik kalium hidroksida berpotensi untuk didirikan di Indonesia dengan alasan:

1. Pembangunan sektor industri sebagai salah satu sektor yang diandalkan untuk mencapai sasaran dan tujuan pembangunan nasional dalam bidang ekonomi.
2. Indonesia belum ada pabrik kalium hidroksida sehingga diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri.
3. Sebagian besar kebutuhan kalium hidroksida di Indonesia diimpor dari Jepang, Korea, Taiwan, China, Jordania, Jerman, Malaysia, dan Prancis (Badan Pusat Statistik, 2019).
4. Pendirian pabrik dapat mengurangi ketergantungan impor Indonesia dan menghemat devisa negara.
5. Pendirian pabrik dapat memicu berkembangnya industri kimia lainnya yang menggunakan kalium hidroksida sebagai bahan baku.
6. Pendirian pabrik dapat memperluas kesempatan kerja di Indonesia.

1.2 Kegunaan Produk

Kalium hidroksida merupakan senyawa anorganik dengan rumus kimia KOH. Penggunaan larutan kalium hidroksida pada industri sangatlah luas, mulai dari makanan, kebutuhan rumah tangga dan farmasi hingga pertanian dan pembuatan kaca. Selain itu juga digunakan sebagai elektrolit dalam produksi baterai *alkaline* dan untuk pembuatan biodiesel serta bahan untuk menghilangkan es (*deicers*) pada

landasan pacu bandara (Vynova Group, 2019). Kalium hidroksida dalam industri kimia digunakan sebagai bahan baku pembuatan kalium karbonat dan kalium permanganat, pestisida, pupuk, dan produk lainnya seperti sabun, detergen, *scrub*, dan sebagai pembersih, pewarna dan bahan pencelup di industri karet (Kirk & Othmer, 1998).

Kalium hidroksida memiliki indeks garam yang rendah dan kelarutan yang tinggi sehingga dapat berfungsi dalam pembuatan campuran pupuk cair. Cairan KOH diketahui dapat meningkatkan hasil tanaman dan meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan (Vynova Group, 2019). Kalium hidroksida paling banyak digunakan sebagai bahan baku formulasi produk perawatan pribadi seperti *lotion* cair, sabun, dan sampo karena bersifat tidak mudah larut dalam air pada saat proses saponifikasi (Mitsui, 1997). Mulyawan dan Suriana (2013) menjelaskan bahwa pada produksi sabun cair, sabun gel dan sabun muka kalium hidroksida yang digunakan memiliki fasa *aqueous* dan bersifat basa kuat dengan konsentrasi 36 – 50%.

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang akan digunakan dalam pabrik kalium hidroksida ini adalah kalium klorida dan air. Kalium klorida diperoleh dari PT. Timuraya Tunggal dengan kapasitas produksi 82.500 ton/tahun. Sedangkan air dapat diperoleh dari sumber air di sekitar pabrik, yaitu sungai Citarum dengan debit air rata-rata harian sebesar 78,74 m³/s.

1.4 Analisis Pasar

Munawaroh dan Lovisa (2019) berpendapat bahwa analisis pasar merupakan langkah untuk mengetahui seberapa besar minat pasar terhadap suatu produk dalam

hal ini adalah kalium hidroksida. Analisis pasar pada perancangan suatu pabrik atau industri dapat dicari dengan beberapa metode diantaranya analisis kebutuhan pasar produk, ketersediaan bahan baku, serta perbandingan pabrik sejenis (Proxsis East, 2015). Salah satu metode untuk analisis pasar suatu produk adalah dengan menganalisis kebutuhan pasar produk. Kebutuhan pasar produk dapat dianalisis menggunakan beberapa aspek diantaranya analisis keseimbangan permintaan dan penawaran yang meliputi harga produk, teknologi dan perkiraan harga di masa mendatang, serta analisis sistem perekonomian terbuka yang meliputi ekspor dan impor produk (Siagian, 2000).

Kebutuhan kalium hidroksida di Indonesia dipenuhi dari luar negeri. Data impor kalium hidroksida Indonesia ditampilkan pada Tabel 1.1 dan negara pengekspor kalium hidroksida ke Indonesia ditampilkan pada Tabel 1.2.

Tabel 1.1 Data impor kalium hidroksida

Tahun	Jumlah Impor Kalium Hidroksida (kg)
2015	16.008.628 ^{a)}
2016	18.205.029 ^{a),b)}
2017	18.204.568 ^{b),c)}
2018	18.591.108 ^{c),d)}
2019	20.036.177 ^{d)}

Sumber: ^{a)}Badan Pusat Statistik (2016),

^{b)}Badan Pusat Statistik (2017),

^{c)}Badan Pusat Statistik (2018),

^{d)}Badan Pusat Statistik (2019).

Tabel 1.2 Data pengeksport kalium hidroksida ke Indonesia di tahun 2019

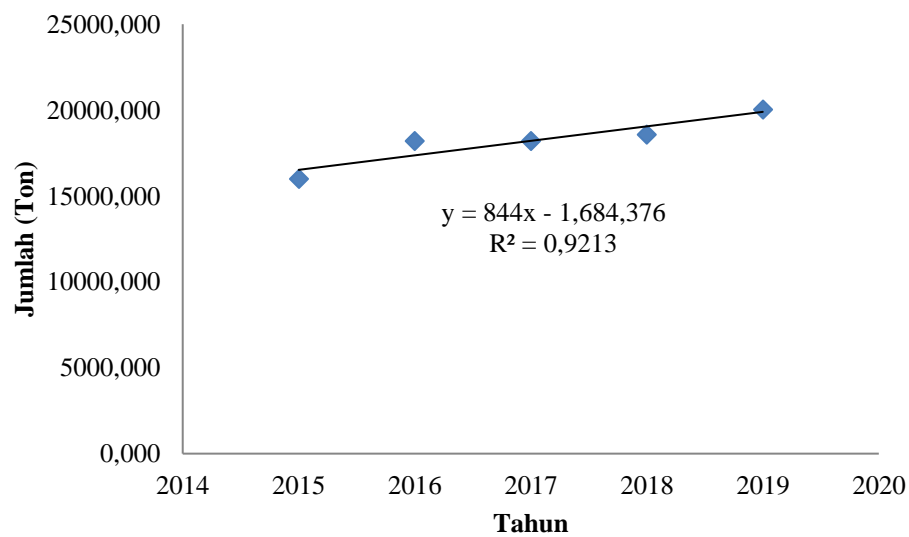
Negara	Jumlah Impor Kalium Hidroksida (kg)
Jepang	120.456
Rep. Korea	13.883.480
Taiwan	900.000
China	4.710.500
Thailand	48.000
Singapura	10.183
Malaysia	86.515
India	559
Jordania	105.000
Amerika Serikat	2.738
Prancis	50.002
Jerman	71.506
Swedia	9.900
Spanyol	1.178
Polandia	157
Rep. Ceko	36.000
Total	20.036.177

Sumber: Badan Pusat Statistik (2019).

Berdasarkan data di atas dapat disimpulkan bahwa Indonesia dari tahun ke tahun kebutuhan akan kalium hidroksida semakin meningkat serta untuk memenuhi kebutuhan tersebut Indonesia harus mengimpor dari banyak negara. Hal tersebut menunjukkan bahwa minat pasar Indonesia terhadap kalium hidroksida cukup tinggi dan terus meningkat, maka dengan ini pendirian pabrik kalium hidroksida di Indonesia perlu didirikan untuk mengurangi ketergantungan impor Indonesia dan menghemat devisa negara serta untuk memenuhi kebutuhan di Indonesia.

1.5 Kapasitas Pabrik

Berdasarkan kebutuhan impor kalium hidroksida di Indonesia dari Tabel 1.1 diperoleh persamaan regresi linear $y = 844x - 1.684.376$. Apabila diproyeksikan pada tahun 2026 diperkirakan kebutuhan kalium hidroksida sekitar 25.811 ton/tahun (Gambar 1.1).



Gambar 1.1 Grafik data impor kalium hidroksida.

Selanjutnya, selain kebutuhan dalam negeri, kami juga melihat kebutuhan kalium hidroksida di beberapa negara tetangga, hal tersebut berfungsi untuk melihat potensi ekspor untuk produksi produk kalium hidroksida. Merujuk pada UNdata (2021) data negara tetangga yang mengimpor kalium hidroksida adalah sebagai berikut:

Tabel 1.3 Beberapa data impor kalium hidroksida di negara tetangga

Negara	Jumlah Impor KOH (Ton/Tahun)
Australia	4.705,659
Selandia Baru	1.950,928
Singapura	18.827,580
Filipina	8.107,616
Thailand	13.046,807
Malaysia	50.011,471
Total	96.650,061

Sumber: UNdata (2021).

Berdasarkan data diatas, kebutuhan kalium hidroksida di beberapa negara tetangga cukup besar sehingga sangat berpotensi untuk melakukan ekspor ke beberapa

negara tersebut. Sehingga, kapasitas pabrik yang kami rancang yaitu sebesar 30.000 ton/tahun, jumlah tersebut kami gunakan untuk memenuhi kebutuhan kalium hidroksida di dalam negeri dan ke beberapa negara tetangga.

1.6 Lokasi Pabrik

Pendirian suatu pabrik tak lepas dari lokasi berdirinya karena berpengaruh kepada keberlangsungan pabrik tersebut. Lokasi pabrik yang tepat akan menghasilkan biaya produksi dan distribusi yang minimal sehingga pabrik tersebut dapat berjalan efisien, ekonomis dan juga menguntungkan. Pabrik kalium hidroksida ini direncanakan didirikan di daerah Karawang, Jawa Barat dengan dasar pertimbangan sebagai berikut:

1. Bahan baku

Lokasi sumber bahan baku merupakan salah satu faktor yang terpenting dalam pendirian pabrik. Semakin dekat pabrik penyedia bahan baku, maka biaya untuk transportasi akan minimum. Bahan baku kalium klorida (KCl) yang diperoleh dari PT. Timuraya Tunggal.

2. Kebutuhan air

Pada proses produksi memerlukan air sebagai bahan baku, maka lokasi pabrik lebih baik berdekatan dengan sumber air. Kebutuhan air tersebut diperoleh dari Sungai Citarum dengan debit air rata-rata harian sebesar 78,74 m³/s.

3. Fasilitas transportasi

Fasilitas transportasi pada kawasan yang dipilih sebagai tempat pendirian pabrik memiliki pengaruh yang cukup besar pada perekonomian pabrik, diantaranya adalah berpengaruh terhadap pengiriman bahan baku, serta pendistribusian produk. Karena kawasan yang dipilih merupakan kawasan industri maka akan dengan mudah dijangkau oleh kendaraan-kendaraan besar yang akan digunakan untuk membawa bahan baku atau produk yang akan dihasilkan.

II. PEMILIHAN DAN DESKRIPSI PROSES

2.1 Proses Pembuatan Kalium Hidroksida

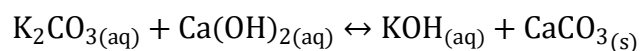
Proses pembuatan kalium hidroksida atau KOH dapat dilakukan dengan beberapa metode proses yaitu proses *boiling* dan proses elektrolisis.

2.1.1 Proses *Boiling*

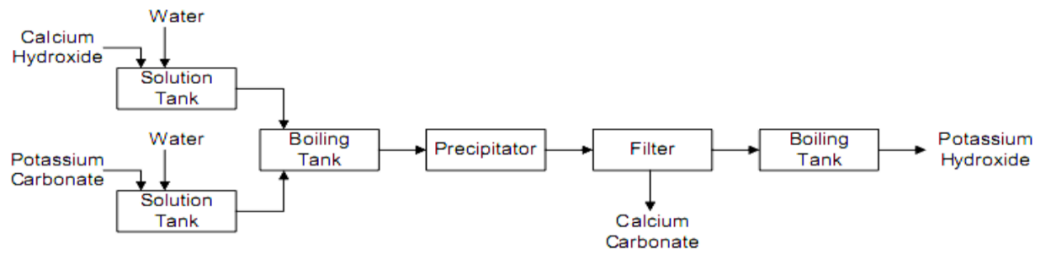
Proses *boiling* merupakan metode yang pertama kali digunakan untuk pembuatan kalium hidroksida (KOH) (Persian Utab, 2020). Proses ini menggunakan bahan baku kalium karbonat (K_2CO_3) dan kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$) dimana kedua bahan baku merupakan larutan jenuh yang sebelumnya dicampur dan dipanaskan untuk menguapkan sebagian air yang terkandung, sehingga akan membentuk larutan KOH dan endapan kalsium karbonat ($CaCO_3$) (Hapsari & Cahyana, 2018).

Reaksi utama dari proses *boiling* ini adalah reaksi pendidihan atau penguapan kadar air yang berlangsung dalam tangki *boiling* pada suhu $105^\circ C$ dan tekanan 1 atm (Delima & Septiana, 2017).

Reaksi yang terjadi pada proses *boiling* yaitu:



Dengan konversi reaksi: 45 – 50% (Carus, 1965).



Gambar 2.1 Skema pembuatan kalium hidroksida dengan proses *boiling* (Sumber: Delima & Septiana, 2017).

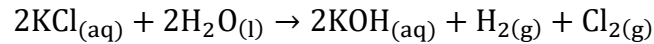
Campuran produk kemudian dipisahkan menjadi dua bagian antara padatan dan cairan pada *precipitator*, kemudian cairan difiltrasi untuk memisahkan padatan yang masih terbawa oleh cairan dengan larutan kalium hidroksida. Larutan kalium hidroksida kemudian diuapkan untuk mengurangi kadar air sampai didapat kalium hidroksida dengan konsentrasi 45 – 50%.

Proses *boiling* secara keseluruhan merupakan proses yang sederhana dan mudah untuk dilakukan. Akan tetapi proses ini sudah banyak ditinggalkan pada akhir abad ke-19 karena alasan ekonomis, dikarenakan bahan baku yang dipergunakan relatif banyak dan tidak efisien serta konsentrasi KOH yang dihasilkan kecil (O'Brien et al., 2005).

2.1.2 Proses elektrolisis

Proses elektrolisis mulai dikembangkan pada akhir abad 19 sekitar tahun 1800an, namun setelah 90 tahun kemudian barulah metode elektrolisis sukses digunakan secara komersial. Pada tahun 1833 Faraday merumuskan hukum yang mengatur elektrolisis untuk larutan *aqueous*, kemudian Cook and Watt (1851) dan Stanley (1853) mengeluarkan paten untuk memproduksi klorin dari air garam (O'Brien et al., 2005).

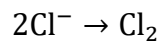
Proses elektrolisis pada pembuatan KOH menggunakan kalium klorida (KCl) secara industri biasa disebut dengan istilah industri *chlor-alkali* karena proses tersebut akan menghasilkan gas klorin (Brinkmann et al., 2014). Proses elektrolisis tersebut diawali dengan melarutkan KCl padatan dengan air pada *mixer* yang nantinya akan diumpungkan pada reaktor elektrolisis. Reaksi yang terjadi pada proses elektrolisisnya yaitu:



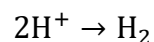
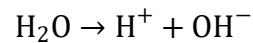
Dengan konversi reaksi: 88,2 – 95,7% (Lynch et al., 1980).

Pada bagian anoda, KCl akan terionisasi menjadi ion K^+ dan ion Cl^- dimana ion K^+ ini nantinya akan berikatan dengan ion OH^- yang merupakan hasil ionisasi H_2O pada katoda untuk membentuk KOH. Sementara ion Cl^- pada anoda akan bergabung membentuk gas klorin (Cl_2) dan ion H^+ pada katoda akan bergabung untuk membentuk gas hidrogen (H_2).

Reaksi yang terjadi pada anoda:



Reaksi yang terjadi pada katoda:



Proses elektrolisis dengan menggunakan KCl merupakan proses yang saat ini digunakan oleh hampir semua pabrik kimia dalam memproduksi KOH. Salah satu hal yang membuat proses ini banyak digunakan adalah karena proses ini menghasilkan KOH yang memiliki konsentrasi lebih tinggi daripada KOH yang dihasilkan dengan proses boiling (O'Brien et al., 2005).

Selain itu, pemilihan proses elektrolisis sebagai metode untuk membuat kalium hidroksida dipilih karena beberapa pertimbangan antara lain:

- Pada proses elektrolisis konsumsi energinya lebih efisien. Hal ini dapat dilihat untuk besar energi yang sama, larutan KOH yang dihasilkan akan memiliki konsentrasi yang lebih besar atau lebih pekat.

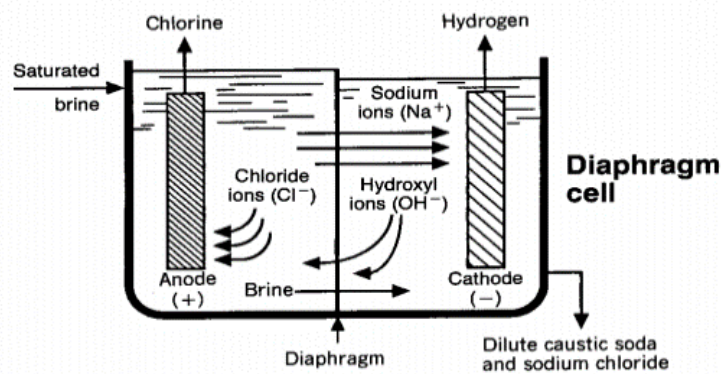
- Bahan baku yang digunakan pada proses elektrolisis merupakan senyawa netral yaitu KCl, sehingga pretreatment di awal hampir tidak ada dan walaupun ada prosesnya tidak terlalu rumit.
- Produk samping yang dihasilkan dari proses memiliki nilai jual yang cukup tinggi.

Adapun proses elektrolisis juga terbagi menjadi beberapa proses lagi. Hal ini berkaitan dengan sel pemisah yang digunakan selama proses berlangsung. Proses-proses tersebut antara lain elektrolisis KCl dengan menggunakan sel diafragma, elektrolisis dengan menggunakan sel merkuri, dan elektrolisis dengan menggunakan membran sel.

a. Elektrolisis KCl dengan menggunakan sel diafragma

Teknik elektrolisis sel diafragma dikembangkan pada tahun 1880-an di Amerika Serikat dan merupakan teknik komersial pertama yang digunakan pada industri *chlor-alkali* dari air garam (Brinkmann et al., 2014).

Pada proses ini, diafragma dipasang agar *anolyte* dan *catolyte* tidak saling bercampur selama proses elektrolisis berlangsung. Umumnya diafragma yang digunakan menggunakan bahan *asbestos*. Selain dengan diafragma, proses ini juga menjaga level *anolyte* agar selalu lebih tinggi dibandingkan dengan *catolyte*. Hal ini dilakukan supaya hanya ion K^+ saja yang dapat pindah ke katoda untuk berikatan dengan ion OH^- dan mencegah ion H^+ bergerak ke anoda. Jika ion H^+ bergerak ke anoda dan berikatan dengan ion Cl^- maka nantinya dapat terbentuk HCl yang dapat mengurangi efisiensi arus pada katoda (O'Brien et al., 2005).



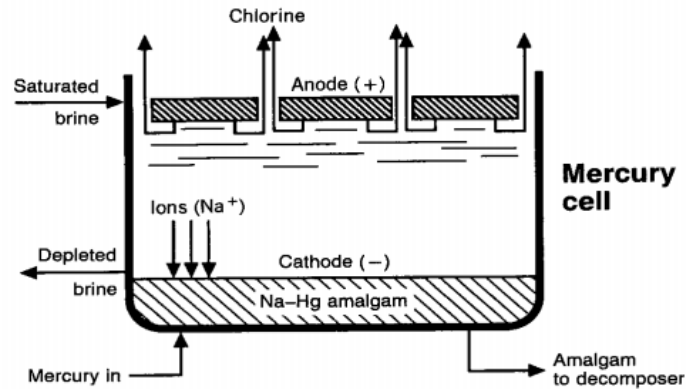
Gambar 2.2 Skema proses sel diafragma (Sumber: Kirk & Othmer, 1998).

Proses elektrolisis menggunakan sel diafragma, larutan garam KCl jenuh masuk kedalam *anolyte* kemudian terjadi reaksi elektrolisis dimana produk kalium hidroksida terbentuk pada bagian *catolyte*. Selama proses reaksi berlangsung energi listrik yang digunakan sekitar 2,90 – 3,60V dari energi listrik tersebut menghasilkan suhu operasi 80 – 90°C pada tekanan 1 atm. Pada umumnya sel diafragma menghasilkan 10 – 12% berat KOH dan 15 – 17% berat KCl, yang kemudian produk akan uapkan hingga konsentrasi KOH menjadi 50% berat. Jika produk tidak dilakukan pemurnian lebih lanjut produk mengandung sekitar 7% berat KCl (Brinkmann et al., 2014).

Keuntungan menggunakan sel diafragma adalah syarat kualitas untuk larutan garam (*brine*) dan konsumsi energi listrik yang digunakan rendah. Namun karena produk yang dihasilkan memiliki konsentrasi rendah maka membutuhkan lebih banyak *steam* untuk meningkatkan konsentrasi produk pada evaporator dan karena produk mengandung banyak pengotor sehingga perlu dilakukan pemurnian lebih lanjut (Brinkmann et al., 2014).

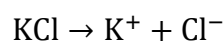
b. Elektrolisis KCl dengan menggunakan sel merkuri

Proses elektrolisis menggunakan sel merkuri pada industri *chlor-alkali* pertama dikembangkan oleh Hamilton Y. Castner dan Karl Kellner, pada tahun 1892 (O'Brien et al., 2005).

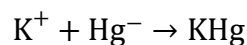


Gambar 2.3 Skema proses sel merkuri (Sumber: Kirk & Othmer, 1998).

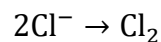
Proses ini memiliki dua alat utama, yaitu *electrolyzer* dan dekomposer. Proses elektrolisis menggunakan sel merkuri, larutan jenuh garam dengan konsentrasi sekitar 25% berat KCl masuk kedalam sel dengan suhu sekitar 60 – 70°C dan energi listrik yang digunakan sekitar 3,15 – 4,80V, kemudian larutan mengalir disepanjang dasar *electrolyzer* yang didesain sedikit miring. Pada dasar *electrolyzer* terdapat lapisan tipis merkuri (Hg) yang mengalir sepanjang *electrolyzer* bersama dengan larutan garam. Kemudian menyatakan bahwa aliran arus listrik mengurai larutan garam yang mengalir diantara elektroda, yang selanjutnya terjadi reaksi sebagai berikut (Brinkmann et al., 2014):



Pada bagian katoda ion K^+ bereaksi dengan ion Hg^- .



Sedangkan pada bagian anoda ion Cl^- membentuk gas Cl_2 .



Amalgam K–Hg selanjutnya disirkulasikan ke dekomposer untuk mengionisasi ion K^+ dan mengikat ion OH^- membentuk senyawa KOH. Pada dekomposer akan terjadi proses pembentukan gas H_2 sementara merkuri selanjutnya akan terendapkan sebelum diresirkulasi ke *electrolyzer*. Reaksi yang terjadi pada dekomposer adalah:



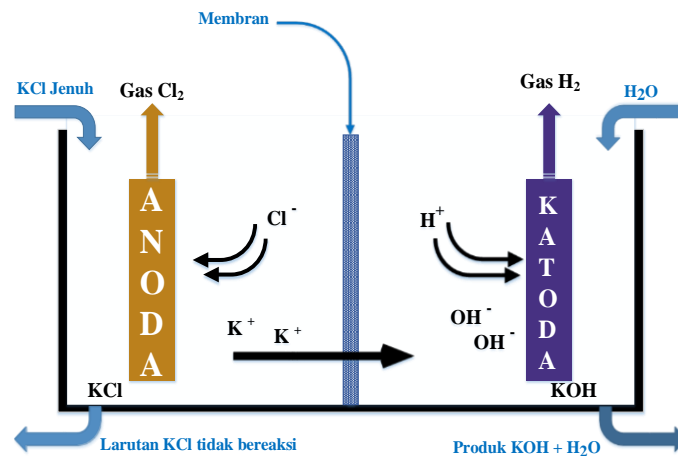
Proses menggunakan sel merkuri memiliki kelebihan produk yang dihasilkan memiliki konsentrasi 50% berat KOH tanpa harus melewati evaporator. Brinkmann et al. (2014) menyatakan bahwa sel merkuri membutuhkan arus listrik yang lebih besar dibandingkan dengan sel diafragma dan juga membutuhkan bahan baku dengan sedikit atau tanpa pengotor logam (membutuhkan larutan garam dengan kemurnian tinggi). Selain itu proses ini juga menghasilkan limbah yang mengandung merkuri ke lingkungan (Kirk dan Othmer, 2002).

c. Elektrolisis KCl dengan menggunakan sel membran

Proses sel membran pada industri *chlor-alkali* mulai dikembangkan pada awal tahun 1970-an. Pengembangan sel membran didasarkan atas kekhawatiran terhadap limbah merkuri yang mencemari lingkungan. Brinkmann et al. (2014) menyatakan bahwa pada tahun 1975 proses sel membran dipasang untuk pertama kali di Jepang. Sejak tahun 1990-an teknik sel membran dianggap sebagai teknik mutakhir untuk memproduksi *chlor-alkali* (Ullmann's, 2005).

Sel membran merupakan proses alternatif dari proses sel diafragma dan sel merkuri dan juga merupakan modifikasi dari sel diafragma, dimana diafragma diganti menggunakan membran penukar ion permeselektif (*permselective ion-exchange membrane*), biasanya membran yang digunakan berbahan polimer perfluorinasi (Brinkmann et al., 2014).

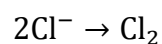
Elektrolisis KCl dengan proses sel membran memiliki cara kerja yang sama dengan proses elektrolisis sel diafragma, hanya saja level pada *anolyte* tidak perlu dijaga agar lebih tinggi daripada *catolyte* karena bahan untuk proses ini yang digunakan mampu untuk meloloskan ion K^+ dari *anolyte* ke *catolyte* dan menahan ion OH^- untuk tidak masuk *anolyte*. Reaksi yang terjadi pada anoda dan katoda untuk proses ini sama dengan reaksi pada anoda dan katoda proses elektrolisis pada umumnya (O'Brien et al., 2005).



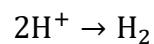
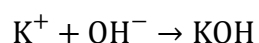
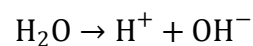
Gambar 2.4 Skema proses sel membran (Sumber: Diadaptasi dari Kirk & Othmer, 1998).

Proses pada sel membran pertama larutan garam jenuh masuk ke dalam sel pada bagian anoda, kemudian larutan garam terurai pada bagian anoda dan air terelektrolisis pada bagian katoda. Reaksi yang terjadi yaitu:

Reaksi yang terjadi pada anoda:



Reaksi yang terjadi pada katoda:



Kemudian produk KOH yang terbentuk bermigrasi ke arah katoda. Produk KOH yang terbentuk memiliki konsentrasi sekitar 30 – 33% berat. Kemudian produk yang terbentuk akan ditingkatkan konsentrasinya pada evaporator hingga mencapai konsentrasi sekitar 50% berat (Brinkmann et al., 2014).

Teknik sel membran memiliki keuntungan menghasilkan produk yang sangat murni sehingga tidak perlu proses pemurnian lebih lanjut. Energi yang digunakan lebih sedikit daripada menggunakan proses sel merkuri yaitu sekitar

2,35 – 4,00V dan konsentrasi yang dihasilkan juga lebih tinggi dibandingkan proses diafragma. Selain itu, proses ini tidak menggunakan merkuri dan *asbestos* proses sel membran lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan sel diafragma dan sel merkuri. Sedangkan kekurangan dari proses ini yaitu karena produk yang dihasilkan memiliki konsentrasi 30 – 33% berat sehingga harus di tingkatkan hingga 50% berat menggunakan evaporator, dan juga garam yang digunakan harus memiliki kemurnian yang tinggi (Brinkmann et al., 2014).

2.2 Pemilihan Proses

Pemilihan proses dapat dilakukan dengan analisis baik secara ekonomi maupun termodinamika.

2.2.1 Tinjauan Secara Ekonomi

Tinjauan ekonomi ini bertujuan untuk mengetahui keuntungan yang dihasilkan oleh pabrik per kg produk yang dihasilkan pada masing-masing proses yang akan digunakan. Berikut harga untuk masing-masing komponen baik bahan baku maupun produk:

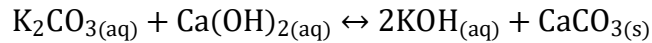
Tabel 2.1 Harga komponen bahan baku dan produk

Komponen	Harga (US\$)/kg	Harga (Rp)/kg
Ca(OH) ₂	0,24 – 0,45	5.000
K ₂ CO ₃	0,80 – 1,40	15.950
CaCO ₃	0,20 – 0,30	3.700
KCl	0,62 – 0,97	11.500
KOH	1,10 – 1,52	19.000

Sumber: Alibaba (2021).

A. Pembuatan Kalium Hidroksida dengan Proses *Boiling*

Reaksi pada proses *boiling* sebagai berikut:



Dengan konversi reaksi: 47% (Carus, 1965). Berdasarkan persamaan stoikiometri maka diperoleh:

Tabel 2.2 Stoikiometri persamaan dengan proses *boiling*

Komponen		Mol Awal	Mol Reaksi	Mol Akhir
K ₂ CO ₃	A	n _{A0}	-n _{A0} · X	n _A = n _{A0} · (1 - X)
Ca(OH) ₂	B	n _{B0}	-n _{A0} · X	n _B = n _{B0} - n _{A0} · X
KOH	C	-	2n _{A0} · X	n _C = 2n _{A0} · X
CaCO ₃	D	-	n _{A0} · X	n _D = n _{A0} · X
Jumlah		n_{T0}		n_T = n_{T0} + n_{A0} · X

Basis 1 kg KOH yang terbentuk, maka akan diperoleh mol KOH akhir (n_C) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Mol KOH} &= \frac{\text{massa KOH terbentuk}}{\text{BM KOH}} \\ &= \frac{1 \text{ kg}}{56,11 \text{ g/mol}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \\ &= 17,8221 \text{ mol} \end{aligned}$$

Sehingga, mol K₂CO₃ mula-mula (n_{A0}) dapat diperoleh melalui:

$$\begin{aligned} n_C &= 2n_{A0} \cdot X \\ 17,8221 \text{ mol} &= 2n_{A0} \cdot 0,47 \\ 17,8221 \text{ mol} &= 0,94 \cdot n_{A0} \\ n_{A0} &= \frac{17,8221 \text{ mol}}{0,94} \\ n_{A0} &= 18,9597 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa K}_2\text{CO}_3 \text{ mula-mula} &= \text{mol K}_2\text{CO}_3 \times \text{BM K}_2\text{CO}_3 \\ &= 18,9597 \text{ mol} \times 138 \text{ g/mol} \\ &= 2.616,4411 \text{ gram} = 2,616 \text{ kg} \end{aligned}$$

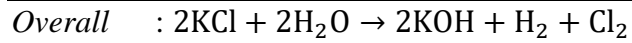
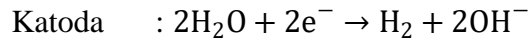
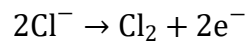
$$\begin{aligned} \text{Total harga K}_2\text{CO}_3 &= \text{harga K}_2\text{CO}_3 \times \text{massa K}_2\text{CO}_3 \\ &= \text{Rp}15.950/\text{kg} \times 2,616 \text{ kg} \\ &= \text{Rp}41.732,24 \end{aligned}$$

$$\text{Mol CaCO}_3 \text{ yang terbentuk} = n_{A0} \cdot X$$

$$\begin{aligned}
 &= 18,9597 \text{ mol} \cdot 0,47 \\
 &= 8,9111 \text{ mol} \\
 \text{Massa CaCO}_3 \text{ yang terbentuk} &= \text{mol CaCO}_3 \times \text{BM CaCO}_3 \\
 &= 8,9111 \text{ mol} \times 100,09 \text{ g/mol} \\
 &= 891,9088 \text{ gram} = 0,8919 \text{ kg} \\
 \text{Total harga CaCO}_3 &= \text{harga CaCO}_3 \times \text{massa CaCO}_3 \\
 &= \text{Rp}3.700/\text{kg} \times 0,8919 \text{ kg} \\
 &= \text{Rp}3.300,06 \\
 \text{Untuk mencari mol Ca(OH)}_2 \text{ mula-mula (n}_{B0}\text{) dapat diperoleh melalui:} \\
 n_B &= n_{B0} - n_{A0} \cdot X \\
 \text{Dengan } n_B &= 0, \text{ karena Ca(OH)}_2 \text{ habis bereaksi, maka:} \\
 n_B &= n_{B0} - n_{A0} \cdot X \\
 0 &= n_{B0} - (18,9697 \text{ mol} \cdot 0,47) \\
 n_{B0} &= 8,9111 \text{ mol} \\
 \text{Massa Ca(OH)}_2 \text{ mula-mula} &= \text{mol Ca(OH)}_2 \times \text{BM Ca(OH)}_2 \\
 &= 8,9111 \text{ mol} \times 74,093 \text{ g/mol} \\
 &= 660,2477 \text{ gram} = 0,6602 \text{ kg} \\
 \text{Total harga Ca(OH)}_2 &= \text{harga Ca(OH)}_2 \times \text{massa Ca(OH)}_2 \\
 &= \text{Rp}5.000/\text{kg} \times 0,6602 \text{ kg} \\
 &= \text{Rp}3.301,24 \\
 \text{Total harga bahan baku} &= \text{Total harga K}_2\text{CO}_3 + \text{Total harga Ca(OH)}_2 \\
 &= \text{Rp}41.732,24 + \text{Rp}3.301,24 \\
 &= \text{Rp}45.033,48 \\
 \text{Total harga produk} &= \text{Total harga CaCO}_3 + \text{Total harga KOH} \\
 &= \text{Rp}3.300,06 + \text{Rp}19.000,00 \\
 &= \text{Rp}22.300,06 \\
 \text{Keuntungan} &= \text{total harga produk} - \text{total harga bahan baku} \\
 &= \text{Rp}22.300,06 - \text{Rp}45.033,48 \\
 &= - \text{Rp}22.733,42
 \end{aligned}$$

B. Pembuatan Kalium Hidroksida dengan Proses Elektrolisis

Reaksi pada proses elektrolisis sebagai berikut:



Dengan konversi reaksi: 88,20% (Lynch et al., 1980). Berdasarkan persamaan stoikiometri maka diperoleh:

Tabel 2.3 Stoikiometri persamaan dengan proses elektrolisis

Komponen		Mol Awal	Mol Reaksi	Mol Akhir
KCl	A	n_{A0}	$-n_{A0} \cdot X$	$n_A = n_{A0} \cdot (1 - X)$
H ₂ O	B	n_{B0}	$-n_{A0} \cdot X$	$n_B = n_{B0} - n_{A0} \cdot X$
KOH	C	-	$n_{A0} \cdot X$	$n_C = n_{A0} \cdot X$
H ₂	D	-	$\frac{1}{2}n_{A0} \cdot X$	$n_D = \frac{1}{2}n_{A0} \cdot X$
Cl ₂	E	-	$\frac{1}{2}n_{A0} \cdot X$	$n_E = \frac{1}{2}n_{A0} \cdot X$
Jumlah		n_{T0}		$n_T = n_{T0}$

Basis 1 kg KOH yang terbentuk, maka akan diperoleh mol KOH akhir (n_C) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Mol KOH} &= \frac{\text{massa KOH terbentuk}}{\text{BM KOH}} \\ &= \frac{1 \text{ kg}}{56,11 \text{ g/mol}} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \\ &= 17,8221 \text{ mol} \end{aligned}$$

Sehingga, mol KCl mula-mula (n_{A0}) dapat diperoleh melalui:

$$\begin{aligned} n_C &= n_{A0} \cdot X \\ 17,8221 \text{ mol} &= n_{A0} \cdot 0,8820 \\ n_{A0} &= \frac{17,8221 \text{ mol}}{0,8820} \\ n_{A0} &= 20,2065 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\text{Massa KCl mula-mula} = \text{mol KCl} \times \text{BM KCl}$$

$$= 20,2065 \text{ mol} \times 74,55 \text{ g/mol}$$

$$= 1.506,3948 \text{ gram} = 1,5064 \text{ kg}$$

$$\text{Total harga KCl} = \text{harga KCl} \times \text{massa KCl}$$

$$= \text{Rp}11.500/\text{kg} \times 1,5064 \text{ kg}$$

$$= \text{Rp}17.323,54$$

Total harga H₂O = Rp0,00 (karena H₂O yang digunakan diambil dari Sungai Citarum).

$$\text{Mol Cl}_2 \text{ yang terbentuk} = \frac{1}{2} n_{A0} \cdot X$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 20,2065 \text{ mol} \cdot 0,8820$$

$$= 8,9111 \text{ mol}$$

$$\text{Massa Cl}_2 \text{ yang terbentuk} = \text{mol Cl}_2 \times \text{BM Cl}_2$$

$$= 8,9111 \text{ mol} \times 70,9 \text{ g/mol}$$

$$= 631,7947 \text{ gram} = 0,6318 \text{ kg}$$

Total harga Cl₂ dan H₂ = Rp0,00.

$$\text{Total harga bahan baku} = \text{Total harga KCl} + \text{Total harga H}_2\text{O}$$

$$= \text{Rp}17.323,54 + \text{Rp}0,00$$

$$= \text{Rp}17.323,54$$

$$\text{Total harga produk} = \text{Total harga KOH} + \text{Total harga Cl}_2 + \text{Total harga H}_2$$

$$= \text{Rp}19.000,00 + \text{Rp}0,00 + \text{Rp}0,00$$

$$= \text{Rp}19.000,00$$

$$\text{Keuntungan} = \text{total harga produk} - \text{total harga bahan baku}$$

$$= \text{Rp}19.000,00 - \text{Rp}17.323,54$$

$$= \text{Rp}1.676,46$$

2.2.2 Tinjauan Secara Termodinamika

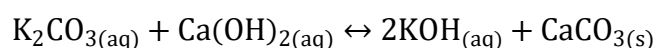
Tinjauan termodinamika bertujuan untuk mengetahui seberapa besar energi yang dibutuhkan atau dilepaskan pada suatu reaksi. Tinjauan termodinamika dapat dianalisis dari perubahan entalpi (ΔH) dan perubahan energi bebas gibbs (ΔG) pada suatu reaksi, dalam hal ini yaitu reaksi pembentukan kalium hidroksida (Hapsari & Cahyana, 2018).

Perubahan entalpi menunjukkan seberapa besar panas yang dibutuhkan atau dilepaskan suatu reaksi. Jika perubahan entalpi suatu sistem bernilai positif ($+\Delta H$) reaksi tersebut membutuhkan atau menyerap panas dari lingkungannya yang biasa disebut reaksi endoterm, sedangkan jika perubahan entalpi pada suatu sistem bernilai negatif ($-\Delta H$) maka reaksi tersebut melepaskan panas dari sistem ke lingkungannya yang biasa disebut reaksi eksoterm (Sunarya, 2014). Jadi besar kecilnya panas yang perlu disuplai pada suatu reaksi dapat diketahui dari nilai perubahan entalpi reaksi tersebut.

Suatu reaksi dapat berlangsung secara spontan atau tidak spontan dapat dilihat dari seberapa besar perubahan energi gibbsnya. Jika perubahan energi perubahan energi bebas gibbs reaksi bernilai negatif ($-\Delta G$) maka reaksi dapat berlangsung spontan, sedangkan jika perubahan energi bebas gibbs bernilai positif ($+\Delta G$) maka reaksi tidak dapat berlangsung secara spontan sehingga membutuhkan energi tambahan agar reaksi dapat berlangsung spontan (Vernandes, 2017).

A. Pembuatan Kalium Hidroksida dengan Proses *Boiling*

Reaksi pada proses *boiling* sebagai berikut:



Berikut ini adalah data pendukung untuk perhitungan proses *boiling*.

Tabel 2.4 data entalpi dan energi bebas gibbs molar komponen pada kondisi standar (298,15 K)

Komponen	Fasa	ΔH_f^0 (kJ/mol)	ΔG_f^0 (kJ/mol)
Ca(OH) ₂	Padat	-986,1688	-898,514
CaCO ₃	Padat	-1.206,91664	-1.128,8432
K ₂ CO ₃	Padat	-1.150,1816	-1.064,4096
KOH	Padat	-425,84752	-379,0704

Sumber: Dean (1979).

Tabel 2.5 Data kapasitas panas komponen

Komponen	A	B	C	D	E
Ca(OH) ₂ ^{a)}	130,8253	-82,6922	122,769	-50,3921	-2,513146
CaCO ₃ ^{b)}	12,572	0,002637	0	-312.000	0
K ₂ CO ₃ ^{a)}	97,08093	94,22326	-2,05329	0,709644	-0,94786
KOH ^{a)}	80,78258	-112,233	301,1543	-147,9923	-0,468867

Sumber: ^{a)} Chase (1998), dengan $C_p = A + Bt + Ct^2 + Dt^3 + \frac{E}{t^2}$

dimana $t = \text{suhu (K)}/1000$

^{b)} Smith (2001), dengan $C_p = R(A + BT + DT^{-2})$

dimana $R = \text{tetapan gas}$, $T = \text{suhu (K)}$

- Pada kondisi standar ($T = 298,15 \text{ K}$)

$$\begin{aligned} \Delta H^0 &= \sum v \cdot \Delta H_{f(\text{produk})}^0 - \sum v \cdot \Delta H_{f(\text{reaktan})}^0 && \text{(Bird, 1987)} \\ &= [(v_{\text{KOH}} \cdot \Delta H_{f\text{KOH}}^0) + (v_{\text{CaCO}_3} \cdot \Delta H_{f\text{CaCO}_3}^0)] - \\ &\quad [(v_{\text{K}_2\text{CO}_3} \cdot \Delta H_{f\text{K}_2\text{CO}_3}^0) + (v_{\text{Ca(OH)}_2} \cdot \Delta H_{f\text{Ca(OH)}_2}^0)] \\ &= [(2 \cdot (-425,84752 \text{ kJ/mol})) + (1 \cdot (-1206,91664 \text{ kJ/mol}))] - \\ &\quad [(1 \cdot (-1150,1816 \text{ kJ/mol})) + (1 \cdot (-986,1688 \text{ kJ/mol}))] \\ &= 77,73872 \text{ kJ/mol} = 77.738,72 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G^0 &= \sum v \cdot \Delta G_{f(\text{produk})}^0 - \sum v \cdot \Delta G_{f(\text{reaktan})}^0 && \text{(Bird, 1987)} \\ &= [(v_{\text{KOH}} \cdot \Delta G_{f\text{KOH}}^0) + (v_{\text{CaCO}_3} \cdot \Delta G_{f\text{CaCO}_3}^0)] - \\ &\quad [(v_{\text{K}_2\text{CO}_3} \cdot \Delta G_{f\text{K}_2\text{CO}_3}^0) + (v_{\text{Ca(OH)}_2} \cdot \Delta G_{f\text{Ca(OH)}_2}^0)] \\ &= [(2 \cdot (-379,0704 \text{ kJ/mol})) + (1 \cdot (-1.128,8432 \text{ kJ/mol}))] - \\ &\quad [(1 \cdot (-1.064,4096 \text{ kJ/mol})) + (1 \cdot (-898,514 \text{ kJ/mol}))] \\ &= 75,9396 \text{ kJ/mol} = 75.939,6 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

- Pada kondisi operasi ($T = 378,15 \text{ K}$, $P = 1 \text{ atm}$)
 - Menghitung ΔH

Berdasarkan data pada Tabel 2.5 diperoleh nilai C_p masing-masing komponen pada kondisi operasi sebagai berikut:

Tabel 2.6 Nilai kapasitas panas komponen pada proses *boiling*

Komponen	v	Persamaan yang terbentuk	Hasil Nilai Cp (J/mol.K)
K ₂ CO ₃	-1	$97,08093 + [94,22326\left(\frac{378,15}{1000}\right)] + [-2,05329\left(\frac{378,15}{1000}\right)^2]$ $+ [0,709644\left(\frac{378,15}{1000}\right)^3] + \frac{-0,94786}{\left(\frac{378,15}{1000}\right)^2}$	125,8277
Ca(OH) ₂	-1	$130,8253 + (-82,6922\left(\frac{378,15}{1000}\right)) + 122,769\left(\frac{378,15}{1000}\right)^2$ $+ (-50,3921\left(\frac{378,15}{1000}\right)^3) + \frac{-2,513146}{\left(\frac{378,15}{1000}\right)^2}$	96,81122
KOH	2	$80,78258 + [-112,233\left(\frac{378,15}{1000}\right)] + [301,1543\left(\frac{378,15}{1000}\right)^2]$ $+ [-147,9923\left(\frac{378,15}{1000}\right)^3] + \frac{-0,468867}{\left(\frac{378,15}{1000}\right)^2}$	140,2491
CaCO ₃	1	$8,314 [12,572 + 0,002637(378,15) + (-312.000(378,15)^{-2})]$	94,67421

Sehingga diperoleh:

$$\Delta C_p = \sum_i v_i C_{p_i} \quad (\text{Smith et al., 2001})$$

$$\begin{aligned}
 &= (v_{K_2CO_3} C_{p_{K_2CO_3}}) + (v_{Ca(OH)_2} C_{p_{Ca(OH)_2}}) + (v_{KOH} C_{p_{KOH}}) \\
 &\quad + (v_{CaCO_3} C_{p_{CaCO_3}}) \\
 &= (-1 \times 125,8277 \text{ J/mol.K}) + (-1 \times 96,81122 \text{ J/mol.K}) \\
 &\quad + (2 \times 140,2491 \text{ J/mol.K}) + (1 \times 94,67421 \text{ J/mol.K}) \\
 &= 12,2844 \text{ J/mol.K}
 \end{aligned}$$

$$\Delta H = \Delta H^0 + \Delta C_p (T - T_0) \quad (\text{Smith et al., 2001})$$

$$\begin{aligned}
 &= 77.738,72 \text{ J/mol} + [12,2844 \text{ J/mol.K} \times (378,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K})] \\
 &= 78.721,4699 \text{ J/mol}
 \end{aligned}$$

- Menghitung ΔG

Dengan konstanta kesetimbangan pada kondisi standar diperoleh:

$$K_{c1} = e^{-\Delta G^0/RT} \quad (\text{Bird, 1987})$$

$$\begin{aligned}
 &= e^{-\frac{75.939,6 \text{ J/mol}}{8,314 \text{ J/mol.K} \cdot 298,15 \text{ K}}} \\
 &= 4,9570 \cdot 10^{-14}
 \end{aligned}$$

Maka, konstanta kesetimbangan pada kondisi operasi dapat diperoleh:

$$\ln \frac{K_{c1}}{K_{c2}} = \frac{\Delta H^0}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (\text{Bird, 1987})$$

$$\ln \frac{4,9570 \cdot 10^{-14}}{K_{c2}} = \frac{77.738,72 \text{ J/mol}}{8,314 \text{ J/mol.K}} \left(\frac{1}{378,15 \text{ K}} - \frac{1}{298,15 \text{ K}} \right)$$

$$\ln \frac{4,9570 \cdot 10^{-14}}{K_{c2}} = -6,6347$$

$$\frac{4,9570 \cdot 10^{-14}}{K_{c2}} = e^{-6,6347}$$

$$\frac{4,9570 \cdot 10^{-14}}{K_{c2}} = 0,0013$$

$$K_{c2} = \frac{4,9570 \cdot 10^{-14}}{0,0013}$$

$$= 3,813 \cdot 10^{-11}$$

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln K_c \quad (\text{Bird, 1987})$$

$$= 75.939,6 \text{ J/mol} + (8,314 \text{ J/mol.K} \cdot 378,15 \text{ K} \cdot \ln 3,813 \cdot 10^{-11})$$

$$= 516,4389 \text{ J/mol}$$

Keterangan:

ΔG^0 = energi bebas gibbs reaksi standar (J/mol)

ΔG = energi bebas gibbs reaksi (J/mol)

ΔG_f^0 = energi bebas gibbs pembentukan standar (kJ/mol)

ΔH^0 = entalpi reaksi standar (J/mol)

ΔH = entalpi reaksi (J/mol)

ΔH_f^0 = entalpi pembentukan molar standar (kJ/mol).

T = suhu (K)

R = tetapan gas ideal (8,314 J/mol.K)

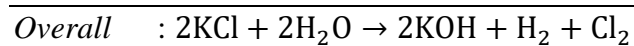
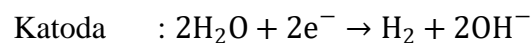
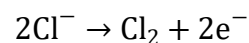
K_c = konstanta kesetimbangan

v = koefisien reaksi

C_p = kapasitas panas (J/mol.K)

B. Pembuatan Kalium Hidroksida dengan Proses Elektrolisis

Reaksi pada proses elektrolisis sebagai berikut:



Berikut ini adalah data pendukung untuk perhitungan proses elektrolisis.

Tabel 2.7 Data potensial sel standar (E^0)

Setengah Reaksi Reduksi	E^0 (V)
$2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$	1,3595 V
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	0,0004 V

Sumber: O'Brien et al. (2005)

Tabel 2.8 Data entalpi pembentukan komponen pada kondisi standar (298,15 K)

Komponen	Koefisien reaksi (ν_i)	ΔH_f^0 (kJ/kmol)
KCl	2	-436.809,6
H ₂ O	2	-285.850,88
KOH	2	-424.759,68
H ₂	1	0
Cl ₂	1	0

Sumber: Patnaik (2003).

Tabel 2.9 Kapasitas panas komponen cair

Komponen	A	B	C	D
KCl _(l)	188,929	$-1,9 \times 10^{-1}$	$8,79 \times 10^{-5}$	$-8,91 \times 10^{-9}$
H ₂ O _(l)	92,053	$-4,00 \times 10^{-2}$	$-2,11 \times 10^{-4}$	$5,35 \times 10^{-7}$
KOH _(l)	71,429	$4,22 \times 10^{-2}$	$-4,8 \times 10^{-5}$	$1,72 \times 10^{-8}$

Sumber: Yaws (1999), dengan $C_p = (A + BT + CT^2 + DT^3)$
dimana T = suhu (K)

Tabel 2.10 Kapasitas panas komponen gas

Komponen	A	B	C	D	E
Cl _{2(g)}	27,213	$3,98 \times 10^{-2}$	$-3,34 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-8}$	$-2,7 \times 10^{-12}$
H _{2(g)}	25,399	$2,02 \times 10^{-2}$	$-3,85 \times 10^{-5}$	$3,19 \times 10^{-8}$	$-8,76 \times 10^{-12}$

Sumber: Yaws (1999), dengan $C_p = (A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4)$
dimana T = suhu (K)

- Pada keadaan standar (T = 298,15 K)

$$\begin{aligned}
 E^0 &= \Delta E_{\text{Katoda}}^0 - \Delta E_{\text{Anoda}}^0 && \text{(O'Brien et al., 2005, Sibug, 2016)} \\
 &= 0,0004\text{V} - 1,3595\text{V} \\
 &= -1,3591\text{V}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta G^0 &= -nFE^0 && \text{(O'Brien et al., 2005, Sibug, 2016)} \\
 &= -2 \cdot 96.500 \text{ C/mol} \cdot -1,3591\text{V} \\
 &= 262.306,3 \text{ J/mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H^0 &= \sum_i^{\text{Produk}} v_i \Delta H_{\text{fi}}^0 - \sum_i^{\text{Reaktan}} v_i \Delta H_{\text{fi}}^0 && \text{(Himmelblau et al, 2004)} \\
 &= [(v_{\text{KOH}} \cdot \Delta H_{\text{f KOH}}^0) + (v_{\text{H}_2} \cdot \Delta H_{\text{f H}_2}^0) + (v_{\text{Cl}_2} \cdot \Delta H_{\text{f Cl}_2}^0)] - \\
 &\quad [(v_{\text{KCl}} \cdot \Delta H_{\text{f KCl}}^0) + (v_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta H_{\text{f H}_2\text{O}}^0)] \\
 &= [(2 \times -424.759,68 \text{ kJ/kmol}) + (1 \times 0) + (1 \times 0)] - \\
 &\quad [(2 \times -436.809,6 \text{ kJ/kmol}) + (2 \times -285.850,88 \text{ kJ/kmol})] \\
 &= 595.801,6 \text{ kJ/kmol} = 595.801,6 \text{ J/mol}
 \end{aligned}$$

ΔH^0 yang diperoleh merupakan nilai untuk 2 kmol KCl yang bereaksi maka untuk 1 kmol KCl yang bereaksi yaitu sebesar 297.900,8 J/mol.

- Pada kondisi operasi ($T = 363,15 \text{ K}$, $P = 1 \text{ atm}$)

- Menghitung ΔG

Dengan konstanta kesetimbangan pada kondisi standar diperoleh:

$$\begin{aligned}
 K_{\text{eq}} &= e^{-\Delta G^0/RT} && \text{(O'Brien et al., 2005, Sibug, 2016)} \\
 &= e^{-\frac{262.306,3 \text{ J/mol}}{8,314 \text{ J/mol.K} \cdot 298,15 \text{ K}}} \\
 &= 1,1050 \cdot 10^{-46}
 \end{aligned}$$

Maka, konstanta kesetimbangan pada kondisi operasi dapat diperoleh:

$$\ln \frac{K_{\text{eq1}}}{K_{\text{eq2}}} = \frac{\Delta H^0}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad \text{(Bird, 1987)}$$

$$\ln \frac{1,1050 \cdot 10^{-46}}{K_{\text{eq2}}} = \frac{297.900,8 \text{ J/mol}}{8,314 \text{ J/mol.K}} \left(\frac{1}{363,15 \text{ K}} - \frac{1}{298,15 \text{ K}} \right)$$

$$\ln \frac{1,1050 \cdot 10^{-46}}{K_{\text{eq2}}} = -21,5107$$

$$\frac{1,1050 \cdot 10^{-46}}{K_{\text{eq2}}} = e^{-21,5107}$$

$$\frac{1,1050 \cdot 10^{-46}}{K_{\text{eq2}}} = 4,5502 \cdot 10^{-10}$$

$$K_{\text{eq2}} = \frac{1,1050 \cdot 10^{-46}}{4,5502 \cdot 10^{-10}}$$

$$= 2,4285 \cdot 10^{-37}$$

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln K_{eq} \quad (\text{O'Brien et al., 2005, Sibug, 2016})$$

$$= -1,3591V + \left(\frac{8,314 \text{ J/mol.K} \cdot 363,15 \text{ K}}{2 \cdot 96.500 \text{ C/mol}} \cdot \ln 2,4285 \cdot 10^{-37} \right)$$

$$= -1,3591V + (-1,3189V)$$

$$= -2,6780V$$

$$\Delta G = -nFE \quad (\text{O'Brien et al., 2005, Sibug, 2016})$$

$$= -2 \cdot 96.500 \text{ C/mol} \cdot -2,6780V$$

$$= 516.852,6050 \text{ J/mol}$$

- Menghitung ΔH

Berdasarkan data pada Tabel 2.9 dan Tabel 2.10 diperoleh nilai Cp masing-masing komponen pada kondisi operasi sebagai berikut:

Tabel 2.11 Nilai kapasitas panas komponen pada proses elektrolisis

Komponen	v	Persamaan yang terbentuk	Hasil Nilai Cp (J/mol.K)
KCl	-2	$188,929 + [-1,9 \times 10^{-1}(363,15)] + [8,79 \times 10^{-5}(363,15)^2] + [-8,91 \times 10^{-9}(363,15)^3]$	131,0959
H ₂ O	-2	$92,053 + [-4,00 \times 10^{-2}(363,15)] + [-2,11 \times 10^{-4}(363,15)^2] + [5,35 \times 10^{-7}(363,15)^3]$	75,3227
KOH	2	$71,429 + [4,22 \times 10^{-2}(363,15)] + [-4,8 \times 10^{-5}(363,15)^2] + [1,72 \times 10^{-8}(363,15)^3]$	81,2475
H ₂	1	$25,399 + [2,02 \times 10^{-2}(363,15)] + [-3,85 \times 10^{-5}(363,15)^2] + [3,19 \times 10^{-8}(363,15)^3] + [-8,76 \times 10^{-12}(363,15)^4]$	29,3374
Cl ₂	1	$27,213 + [3,98 \times 10^{-2}(363,15)] + [-3,34 \times 10^{-5}(363,15)^2] + [1,6 \times 10^{-8}(363,15)^3] + [-2,7 \times 10^{-12}(363,15)^4]$	37,9810

Sehingga diperoleh:

$$\Delta C_p = \sum_i v_i C_{p_i} \quad (\text{Smith et al., 2001})$$

$$= (v_{\text{KCl}} C_{p_{\text{KCl}}}) + (v_{\text{H}_2\text{O}} C_{p_{\text{H}_2\text{O}}}) + (v_{\text{KOH}} C_{p_{\text{KOH}}}) + (v_{\text{H}_2} C_{p_{\text{H}_2}}) \\ + (v_{\text{Cl}_2} C_{p_{\text{Cl}_2}})$$

$$= (-2 \times 131,0959 \text{ J/mol.K}) + (-2 \times 75,3227 \text{ J/mol.K}) \\ + (2 \times 81,2475 \text{ J/mol.K}) + (1 \times 37,9810 \text{ J/mol.K}) \\ + (1 \times 29,3374 \text{ J/mol.K}) \\ = -183,0237 \text{ J/mol.K}$$

$$\Delta H = \Delta H^0 + \Delta C_p (T - T_0) \quad (\text{Smith et al., 2001})$$

$$= 297.900,8 \text{ J/mol} + [-183,0237 \text{ J/mol.K} \times (363,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K})] \\ = 286.004,2595 \text{ J/mol}$$

Keterangan:

ΔG^0	= energi bebas gibbs reaksi standar (J/mol)
ΔG	= energi bebas gibbs reaksi (J/mol)
ΔH^0	= entalpi reaksi standar (J/mol)
ΔH	= entalpi reaksi (J/mol)
ΔH_f^0	= entalpi pembentukan molar standar (kJ/kmol).
T	= suhu (K)
n	= jumlah mol elektron
F	= tetapan faraday (96.500 C/mol)
E^0	= potensial sel standar (V)
E	= potensial sel (V)
E_{Anoda}^0	= potensial sel standar pada anoda (V)
E_{Katoda}^0	= potensial sel standar pada katoda (V)
R	= tetapan gas ideal (8,314 J/mol.K)
K_{eq}	= konstanta kesetimbangan
v	= koefisien reaksi
C_p	= kapasitas panas (J/mol.K)

Dari uraian diatas dapat dilihat perbandingannya pada Tabel 2.12 berikut ini:

Tabel 2.12 Perbandingan parameter antara proses *boiling* dan proses elektrolisis

Parameter	Jenis – Jenis Proses	
	<i>Boiling</i>	Elektrolisis
Bahan Baku	K ₂ CO ₃ dan Ca(OH) ₂	KCl dan H ₂ O.
Proses	Pelarutan dan pengendapan	Pemisahan dan Elektrolisis
Produk Samping	CaCO ₃	H ₂ dan Cl ₂
Suhu Operasi	105°C (1 atm)	90°C (1 atm)
Konversi Reaksi	47%	88,20%
Keuntungan	– Rp22.733,42	Rp1.676,46
Termodinamika	Reaksi bersifat endotermis dan reaksi berlangsung tidak spontan	Reaksi bersifat endotermis dan reaksi berlangsung tidak spontan

Dari perbandingan tinjauan proses pada Tabel 2.12, maka proses yang kami pilih adalah proses pembuatan kalium hidroksida dengan proses elektrolisis dengan beberapa faktor pendukung sebagai berikut:

1. Proses elektrolisis menggunakan bahan baku yang lebih sedikit.
2. Proses elektrolisis memiliki konversi reaksi yang tinggi.
3. Dari segi ekonomi proses elektrolisis lebih menguntungkan karena harga bahan baku yang lebih ekonomis.
4. Dari segi termodinamika proses elektrolisis lebih efisien karena energi yang dibutuhkan lebih rendah.

2.3 Uraian Proses

Dalam proses produksi kalium hidroksida terdapat tiga tahap proses utama, yaitu:

- a. Tahap pengolahan awal bahan baku (*pre-treatment*)

Bahan baku utama pada proses produksi KOH yaitu kalium klorida dan air. Kalium klorida diperoleh dari PT. Timuraya Tunggal dengan kemurnian bahan baku sebesar 97% (KCl 97%, MgCl₂ 0,80%, CaCl₂ 0,07%, H₂O 2,13%) (Timuraya, 2013), sedangkan air diperoleh dari aliran Sungai Citarum dengan debit air rata-rata harian sebesar 78,74 m³/s. Bahan baku kalium klorida yang diperoleh masih dalam fasa padat, sedangkan diperlukan kalium klorida dalam

fasa cair agar reaksi dalam reaktor dapat berlangsung sehingga perlu dilakukan pelarutan kalium klorida dengan air.

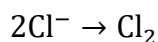
Bahan baku kalium klorida yang berfasa padat disimpan di gudang penyimpanan kemudian dengan menggunakan *screw conveyor* dan *bucket elevator* dibawa menuju *mixing tank* untuk dilarutkan dengan air hingga kelarutan kalium mencapai 315 g/1000 ml H₂O (Brinkmann et al., 2014). *Mixing tank* yang digunakan yaitu jenis tangki silinder berpengaduk dengan atap dan alas *torispherical dished head*, menggunakan pengaduk *tipe marine propeller 3 blade* yang dioperasikan pada suhu 90°C secara kontinyu. Setelah dilarutkan, kalium klorida dengan konsentrasi 315 g/1000 ml H₂O kemudian diumpankan dengan pompa menuju reaktor elektrolisis. Bahan baku lain yaitu air sebelum diumpankan menuju reaktor dipanaskan terlebih dahulu sesuai dengan kondisi operasi dalam reaktor yaitu 90°C. Air dipanaskan menggunakan *heat exchanger*. *Heat exchanger* yang digunakan memiliki tipe *shell and tube* dengan fluida pemanas *steam*. Setelah suhu air sudah tercapai baru kemudian air diumpankan dengan pompa menuju reaktor elektrolisis.

b. Tahap proses utama

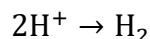
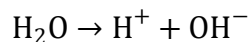
Reaksi pembentukan KOH berlangsung dalam reaktor elektrolisis. Bahan baku kalium klorida diumpankan ke dalam reaktor bagian anoda dan air diumpankan pada bagian katoda yang kemudian dikontakkan dengan listrik. Reaktor yang digunakan menggunakan tipe *cell membrane*, yang berfungsi agar ion H⁺ dan Cl⁻ tidak bereaksi membentuk HCl, dimana HCl ini sangat berbahaya terhadap reaktor karena memiliki sifat yang sangat korosif (O'Brien et al., 2005). Sel membran yang digunakan dalam reaktor ini adalah membran penukar ion permeselektif (*permselective ion-exchange membrane*) yang berfungsi untuk memisahkan reaksi di anoda dan di katoda. Membran ini hanya mengizinkan ion K⁺ untuk melewatinya. Pemakaian ini dimaksudkan untuk mencegah ion Cl⁻ untuk ikut menyebrang ke katoda ataupun ion OH⁻ menyebrang ke anoda. Reaksi yang terjadi yaitu:



Reaksi yang terjadi pada anoda;



Reaksi yang terjadi pada katoda:



Reaktor beroperasi pada suhu dan tekanan tetap yaitu pada suhu 90°C dan tekanan 1 atm dengan konversi 88,20% (Lynch et al., 1980). Adapun produk-produk yang keluar dari reaktor adalah larutan kalium hidroksida, gas hidrogen dan gas klorin. Produk utama berupa kalium hidroksida keluar dari reaktor dengan konsentrasi 30% (Brinkmann et al., 2014; O'Brien et al., 2005). Selanjutnya kalium hidroksida dialirkan ke proses pemurnian produk untuk meningkatkan kemurnian produk dari kalium hidroksida agar memenuhi standar yang telah ditentukan dengan pompa menuju evaporator.

Produk samping berupa gas hidrogen dan gas klorin dibawa menuju penyimpanan untuk kemudian dijual karena memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Karena konversi reaksi hanya 88,20%, masih ada sisa kalium klorida sebesar 11,80% (Lynch et al., 1980).

c. Tahap pemurnian produk

Kalium hidroksida yang keluar dari reaktor kemudian dialirkan menggunakan pompa menuju evaporator untuk dipekatkan hingga kelarutan kalium hidroksida 178g/100g H₂O (Ullmann's, 2005). Tipe evaporator yang digunakan adalah evaporator *shell and tube*. Setelah keluar dari evaporator larutan kalium hidroksida dialirkan menggunakan pompa menuju *crystalizer* yang berfungsi untuk pembentukan kristal kalium hidroksida. *Crystalizer* beroperasi pada suhu 30°C dengan tekanan 1 atm. Larutan kalium hidroksida keluar *crystallizer* yang berbentuk *slurry* selanjutnya dialirkan menggunakan pompa menuju *centrifuge* untuk memisahkan antara kristal kalium hidroksida dan larutan kalium hidroksida yang tidak berubah menjadi kristal. *Centrifuge* beroperasi pada suhu 30°C dengan tekanan 1 atm. Selanjutnya larutan kalium hidroksida yang tidak berubah menjadi kristal dikembalikan ke evaporator menggunakan pompa,

sedangkan kristal kalium hidroksida dibawa menuju *rotary dryer* untuk mengurangi kadar air didalam produk kristal kalium hidroksida. Kemudian kristal kalium hidroksida dibawa menuju *hopper* untuk selanjutnya dilakukan pengemasan, setelah dikemas produk kalium hidroksida disimpan di gudang penyimpanan sebelum didistribusikan.

III. SPESIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK

3.1 Spesifikasi Bahan Baku

A. Kalium Klorida (KCl)

- Wujud : Padat (pada suhu ruang)¹⁾
- Berat molekul : 74,55 gram/mol²⁾
- Titik lebur : 772°C¹⁾
- Titik didih : 1413°C pada 1,013 kPa¹⁾
- Kelarutan dalam air : 34,7 gram/100 gram H₂O pada 20°C¹⁾,
35,5 gram/100 gram H₂O pada 25°C²⁾
- Densitas : 1,98 g/cm³ pada 20°C¹⁾
- Sifat bahan : korosif dan toksisitas²⁾

Sumber: ¹⁾Timuraya (2013),

²⁾PubChem(2021).

B. Air Demineralisasi (H₂O)

- Wujud : Cair
- Berat molekul : 18,02 gram/mol
- Titik beku : 0 °C pada 1 atm
- Titik didih : 100°C pada 1 atm
- Tekanan Uap : 17,3 mmHg pada 20°C
- Densitas : 1 g/cm³ pada 20°C

Sumber: Safety Data Sheet (2019).

3.2 Spesifikasi Produk

A. Kalium Hidroksida (KOH)

- Wujud : Padat¹⁾
- Berat molekul : 56,11 gram/mol¹⁾
- Titik lebur : 380 – 406°C¹⁾
- Tekanan Uap : 60mmHg pada 1.013°C¹⁾
- Kelarutan dalam air : 121 g/100 g H₂O pada 25°C¹⁾
126 g/100g H₂O pada 30°C²⁾
178 g/100g H₂O pada suhu 100°C²⁾
- Densitas : 2,044 g/cm³ pada 20°C²⁾
- Sifat bahan : korosif, higroskopis, mudah terbakar, dan toksisitas²⁾

Sumber: ¹⁾Occidental Chemical Corporation (2021),

²⁾PubChem (2021).

B. Hidrogen (H₂)

- Wujud : Gas
- Berat molekul : 2,02 gram/mol
- Titik leleh : -259,15°C (-434,5°F)
- Titik didih : -253°C (-423,4°F)
- Temperatur kritis : -240,15°C (-400,3°F)
- Tekanan kritis : 12,76 atm
- Densitas gas : 0,0899 g/liter pada 0°C
- Sifat bahan : korosif dan toksisitas

Sumber: Airgas (2020).

C. Klorin (Cl₂)

- Wujud : Gas
- Berat molekul : 70,9 gram/mol
- Titik leleh : -101°C (-149,8°F)
- Titik didih : -34°C (29,2°F)

- Temperatur kritis : 143,85°C (290,9°F)
- Tekanan kritis : 76,89 atm
- Densitas gas : 0,185 lb/ft³
- Sifat bahan : korosif, mudah terbakar, berbahaya terhadap lingkungan, dan toksisitas

Sumber: Airgas (2021).

X. SIMPULAN DAN SARAN

10.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Kalium Hidroksida dari Kalium Klorida dengan Proses Elektrolisis Kapasitas 30.000 Ton/Tahun dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak sebesar 49,05%.
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak 1,19 tahun.
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 25,11% dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 13,22%, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 49,42%, lebih besar dari suku bunga bank saat ini, sehingga investor akan lebih memilih untuk menanamkan modalnya ke pabrik ini daripada ke bank.

10.2 Saran

Berdasarkan pertimbangan hasil analisis ekonomi di atas, maka dapat diambil simpulan bahwa Prarancangan Pabrik Kalium Hidroksida dari Kalium Klorida dengan Proses Elektrolisis Kapasitas 30.000 Ton/Tahun layak untuk dikaji lebih lanjut dari segi proses maupun ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Advanced Industrial Component. (2019). *AIC shell and tube heat exchangers*. Diakses pada 20 Oktober 2022, dari <https://aicheatexchangers.com/shell-and-tube-heat-exchangers/>
- Airgas. (2020). *Safety Data Sheet (Chloride)*. Diakses pada 24 Agustus 2021, dari <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.airgas.com/msds/001015.pdf&ved=2ahUKEwjT7bm1yZL1AhVe6XMBHVThDYgQFnoECC8QAAQ&usg=AOvVaw0Y8wV7iJHvaQ7U2dtH5z7c>
- Airgas. (2020). *Safety Data Sheet (Hydrogen)*. Diakses pada 24 Agustus 2021, dari https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.airgas.com/msds/001026.pdf&ved=2ahUKEwi456_SxpL1AhWj7nMBHdMrBjUQFnoECAQQAQ&usg=AOvVaw1rjYViqhAk6w6JH33nkhMO
- Alibaba. (2021). *Alibaba.com 'Bahan Kimia'*. Diakses pada 19 Agustus 2021, dari https://m.indonesian.alibaba.com/chemicals_p8?spm=a2706.8172434.mIndustryTab.2.50a948dat2nlpf
- Anang Panca. (2022). *Update Harga Sandwich Panel (Berbagai Ukuran)*. Diakses pada 27 Oktober 2022, dari <https://harga.web.id/harga-sandwich-panel-meter.info>
- Arief, A. I., Kusnaty, A. & Mufidah, I. (2021). *Perancangan Hopper dan Simulasi Aliran Bahan Baku pada Penampung Hammer Mill Di PT. XYZ dengan Metode Reserve Engineering*. Diakses pada 30 Agustus 2022, dari https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/16723/16431&ved=2ahUKEwix9-i0w_r5AhW9zjgGHf-ZDSsQFnoECAoQAQ&usg=AOvVaw1EEcYa04VfUiBk7XS7q0Wn
- Aries, R. S., & Newton, R. D. (1955). *Chemical Engineering Cost Estimation*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Artha Beton. (2022). *Harga Baja Ringan – Jual per Batang (6M) & per Meter*. Diakses pada 27 Oktober 2022, dari <https://arthabeton.co.id/product/harga-baja-ringan/>

- Badan Pusat Statistik. (2016). *Statistik Perdagangan Luar Negeri 2016 Foreign Trade Statistics 2016 Impor/Import*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik. (2017). *Statistik Perdagangan Luar Negeri 2017 Foreign Trade Statistics 2017 Impor/Import*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik. (2018). *Statistik Perdagangan Luar Negeri 2018 Foreign Trade Statistics 2018 Impor/Import*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik. (2019). *Statistik Perdagangan Luar Negeri 2019 Foreign Trade Statistics 2019 Impor/Import*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Rata-rata Suhu dan Kelembaban Udara Menurut Bulan di Provinsi Jawa Barat, 2017*. Diakses pada 15 September 2021, dari <https://jabar.bps.go.id/statictable/2019/05/31/598/rata-rata-suhu-dan-kelembaban-udara-menurut-bulan-di-provinsi-jawa-barat-2017-.html>
- Bank Indonesia. (2022). *BI 7-day (Reverse) Repo Rate*. Diakses pada 27 Oktober 2022, dari <https://www.bi.go.id/id/statistik/indikator/bi-7day-rr.aspx>
- Bank Indonesia. (2022). *Data Inflasi*. Diakses pada 27 Oktober 2022, dari <https://www.bi.go.id/id/statistik/indikator/data-inflasi.aspx>
- Bank Indonesia. (2022). *Kurs Transaksi Bank Indonesia*. Diakses pada 27 Oktober 2022, dari <https://www.bi.go.id/id/statistik/informasi-kurs/transaksi-bi/Default.aspx>
- Bird, T. (1987). *Kimia Fisik untuk Universitas*. Jakarta: PT Gramedia.
- Blank, L., & Tarquin, A. (2008). *Basics of Engineering Economy*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J., & Ratnayaka, D. D. (2017). *Water Filtration: Twort's Water Supply*. USA: Elsevier Ltd.
- Brinkmann, T., Santonja, G. G., Schorcht, F., Roudier, S., & Sancho, L. D. (2014). *JRC Science and Policy Reports: Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Chlor-alkali*. Luxembourg: European Union.
- Brown, G. G. (1950). *Unit Operation*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Process Equipment Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Carus, M. B. (1965). *Removal of Impurities and Recovery of Potassium hydroxide in The Production of Potassium Permanganate* (U.S. Patent No. 3,172,830). United States Patent Office.
<https://patents.google.com/patent/US3172830A/en>
- Cebo Holland. (2021). *Product Data Sheet Potassium chloride*.

- Cebo Holland. (2021). *Product Data Sheet Potassium hydroxide*.
- Chase, M.W., Jr. (1998). *NIST-JANAF Thermochemical Tables* (4th ed.). Diakses pada 15 September 2021, dari <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?Source=1998CHA1-1951&Masj=FFF>
- Chemical Engineering. (2022). *The Chemical Engineering Plant Cost Indeks*. Diakses pada 27 Oktober 2022, dari <https://www.chemengonline.com/pci-home>
- Cheremisinoff, N. P. (2002). *Handbook of Water and Waste Water Treatment Technologies*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Chianese, A., & Herman J. M. K.. (2012). *Industrial Crystallization Process Monitoring and Control*. Germany: Wiley-VCH Verlag & CO.
- Chrome-effect. (2021). *Tinggi Tumpukan Maksimum, Persyaratan Keamanan saat Menyimpan Bahan, Metode untuk Meletakkan Barang harus Menyediakan*. Diakses pada 30 Agustus 2022, dari <https://chrome-effect.ru/id/drywall/maksimalnaya-vysota-shtabelya-trebovaniya-bezopasnosti-pri/>
- Cipta Mutu Prima. (2022). *Persyaratan Bangunan Pabrik*. Diakses pada 2 Agustus 2022, dari <https://ciptamutuprima.com/tag/persyaratan-bangunan-pabrik/>
- Conveyor Equipment Manufactures Association. (2019). *Screw Conveyors for Bulk Materials: ANSI/CEMA Standart No. 350* (5th ed.). Diakses pada 22 Maret 2022, dari <https://cemanet.org/wp-content/uploads/2019/06/ANSI-CEMA-350-FinalReview.pdf>
- Coulson, J. M., Richardson, J. F., Harker, J. H., & Backhurst, J. R. (2002). *Chemical Engineering Volume 2: Particle Technology & Separation Processes* (5th ed.). Oxford: Butterworth Heinemann.
- Coulson, J. M., Richardson, J. F., & Sinnott, R. K. (2005). *Chemical Engineering Volume 6: Chemical Engineering Design* (4th ed.). Oxford: Butterworth Heinemann.
- Couper, J. R. (2003). *Process Engineering Economics*. New York: Marcel Dekker, Inc. Diakses pada 28 Oktober 2022, dari https://books.google.co.id/books?id=qE6lZQnIjDUC&pg=PR1&hl=id&source=gbs_selected_pages&cad=2#v=onepage&q&f=false
- Dean, J. A. (1979). *Lange's Handbook of Chemistry* (12th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Delima, S. S. M., & Septiana, N. E. (2017). *Perancangan Pabrik Kalium Hidroksida dari Kalium Klorida Menggunakan Proses Elektrolisis dengan Kapasitas 30.000 Ton/Tahun*. (Tugas Akhir, Politeknik Negeri Samarinda, 2017). Diakses dari <https://www.scribd.com/document/400937367/potassium-hydroxide-KOH-pdf>

- Dewi, E. N. [Ernia Novika Dewi] (2022, 3 Juni). *Evaluasi Ekonomi Pabrik* [Video]. Youtube. <https://youtu.be/HfvjgAl3YxA>
- Direktorat Pembinaan Kursus dan Kelembagaan, Direktorat Jendral Pendidikan Non formal dan Informal Kementrian Pendidikan Nasional. (2010). Panduan Pelatihan Kewirausahaan. Diakses pada 28 November 2022, dari <https://www.bing.com/search?q=Direktorat+Pembinaan+Kursus+dan+Kelembagaan%2C+Direktorat+Jendral+Pendidikan+Non+formal+dan+Informal+Kementrian+Pendidikan+Nasional%2C+2010&go=Cari&qs=ds&form=QBRE>
- Easy 2 Learn. [Easy 2 Learn (E2L)] (2021, 6 mei). *Agitated Tank Crystallizer (Crystallization Part-2 Mass Transfer Operation-II* [Video]. Youtube. <https://youtu.be/K2XJa48rPJY>
- Elektronika Dasar. (2012). *Pengertian Arus Listrik (Electrical Current)*. Diakses pada 2 September 2022, dari <https://elektronika-dasar.web.id/pengertian-arus-listrik-electrical-current/>
- Engineering ToolBox. (2018). *Water-Thermal Conductivity vs. Temperatures*. Diakses pada 2 September 2022, dari https://www.engineeringtoolbox.com/water-liquid-gas-thermal-conductivity-temperature-pressure-d_2012.html
- Geankolpis, C. J. (1993). *Transport Process and Unit Operation* (3rd ed.). Tokyo: Prentice-Hall International Inc.
- Goodridge, F., & Scott, K. (1995). *Electrochemical Proses Engineering A Guide to the Design of Electrolytic Plant*. New York: Springer Science+Business Media.
- Google Maps. (2022). Karawang Jawa Barat. Diakses pada 30 September 2022, dari <https://www.bing.com/maps?q=kutamekar%2C+karawang&FORM=HDRSC4&cp=-6.352896%7E107.343418&lvl=17.0&style=a>
- Hammer-Olsen, R., Jansson, I., Hulten, T. K. F., Forsberg, M. K., & Rasmuson, A. (2007). *Method of Purifying Postassium hydroxide* (ANO6427PRUS/3561). United States Patent Office. <https://patents.google.com/patent/EP2091868A1/en>
- Hapsari, C. Y., & Cahyana, P.D. (2018). *Prarancangan Pabrik Kalium Hidroksida dari Kalium Klorida dengan Proses Elektrolisis Kapasitas 15.000 Ton/Tahun*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia, 2018). Diakses dari <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/12000>
- HargaBeton.com. (2022). *Harga Asbes per Lembar Semua Ukuran & Merk Oktober 2022*. Diakses pada 27 Oktober 2022, dari <https://hargabeton.com/harga-asbes/>

- HargaBeton.com. (2022). *Harga Cor Beton Murah per M³ (Kubik) Oktober 2022*. Diakses pada 27 Oktober 2022, dari <https://hargabeton.com/harga-cor-beton/>
- Hasanah, R. (2020). Jenis-Jenis Tangki Penyimpanan Bahan. Diakses pada 30 Agustus 2022, dari <https://kimia.unimudasorong.ac.id/artikel/jenis-jenis-tanki-penyimpanan-bahan>
- Himmelblau, D. M., & Riggs, J. B. (2004). *Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering* (7th ed.). New Jersey: Prentice Hall Professional Technical Reference.
- Hstitanium. (2019). *Keuntungan dari titanium elektroda di titanium anoda mesh diproduksi di Cina*. Diakses pada 31 Agustus 2022, dari <https://www.bjhighstar.com/keuntungan-dari-titanium-elektroda-di-titanium-anoda-mesh-diproduksi-di-cina/>
- Invesnesia. (2022). *Discounted Cash Flow Adalah: Rumus, Cara, Menghitung, Analisis*. Diakses pada 12 November 2022, dari <https://www.invesnesia.com/discounted-cash-flow-adalah-rumus-cara-menghitung-analisis/#:~:text=Funksi%20Discounted%20Cash%20Flow%20Secara%20garis%20besar%2C%20fungsi,diskonto%2C%20dan%20menyesuaikan%20dengan%20time%20value%20of%20money.>
- James, B. (2015). *Mixing 101: Optimal Tank Design*. Diakses pada 22 April 2022, dari <https://dynamixinc.com/optimal-tank-design/>
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2020). *Belajar Merancang Pabrik Kimia : Memilih Teknologi untuk Pabrik dan Lokasi Pabrik*. Diakses pada 8 Oktober 2022, dari <https://bdisurabaya.kemenperin.go.id/2009/04/11/belajar-merancang-pabrik-kimia-memilih-teknologi-untuk-pabrik-dan-lokasi-pabrik/>
- Kern, D. Q. (1965). *Process Heat Transfer*. Tokyo: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Kirk, R. E., & Othmer, D. F. (1998). *Encyclopedia of Chemical Technology* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons Inc.
- Krogt, P. V. D. (2010). *Elementymology & Elements Multidict*. Diakses pada 8 Agustus 2021, dari <https://www.vanderkrogt.net/elements/element.php?sys=K>
- Laili, F. N., & Sofyan, A. (2017). Identifikasi Daya Tampung Beban Pencemaran Sungai Citarum Hilir Di Karawang dengan WASP. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 23(1): 1 – 12. DOI: <https://doi.org/10.5614/j.tl.2017.23.1.1>
- Lenntech. (2022). *Chemical Elements Listed by Atomic Mass*. Diakses pada 22 April 2022, dari <https://www.lenntech.com/periodic/mass/atomic-mass.htm>
- Lestari, A. Y. D. [Ajeng Yulianti Dwi Lestari, S.T., M.T.] (2020, 28 Oktober). *Kuliah 6 PIK : Analisis Ekonomi pada Industri Kimia* [Video]. Youtube. <https://youtu.be/jCW9fMxUzTo>

- Linquip. (2022). *What are Double Pipe Heat Exchangers and Their Working Principles?*. Diakses pada 20 Oktober 2022, dari <https://www.linquip.com/blog/double-pipe-heat-exchangers/>
- Ludwig, E. E. (1997). *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume 1 "Emphasizes how to apply techniques of process design and interpret results into mechanical equipment details"* (3rd ed.). USA: Butterworth-Heinemann.
- Lynch, R. W., Hilliard, G. E., & Dotson, R. L. (1980). *Electrolytic Process for Potassium hydroxide* (U.S. Patent No. 4,233,122). United States Patent Office. <https://patents.google.com/patent/US4233122A/fr>
- Matches. (2014). *Matches' Process Equipment Cost Estimates*. Diakses pada 28 Oktober 2022, dari <http://www.matche.com/equipcost/Default.html>
- McCabe, W. L., Smith, J.C., & Harriott. (1993). *Unit Operation of Chemical Engineering* (5th ed.). New York: McGraw-Hill, Inc.
- Michal, S., Hana, N., & Jan, K. (2017). The Determination of Viscosity at Liquid Mixtures – Comparison of Approaches. *AIP Conference Proceedings*. 1889: 020035-1 – 020035-5. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5004369>
- Mitsui, T. (1997). *New Cosmetic Science*. New York: Elsevier.
- Mulin J.W. (2001). *Crystallization* (4th ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Muliyawan, D., & Suriana, N. (2013). *A-Z Tentang Kosmetik*. Jakarta: PT Elex Media Komputerindo.
- Munawaroh, & Lovisa, T. A. (2019). Pra-Rancangan Pabrik Diklorometana dari Metil Klorida dan Klorin Dengan Kapasitas 8.500 Ton/Tahun. *Jurnal Teknik Kimia Universitas Tanjungpura, Vol. I* (No. 1).
- Muzhzhavlev, K. D., Kosarev, S. P., Schrgolev, V. I., Ivanov, A. B., Romanenko, O. N., Yazev, V. D., & Vasiliev, A. V. (1977). *Diaphragmless electrolyzer for producing magnesium and chlorine* (U.S. Patent No. 4,058,448). United States Patent Office. <https://patents.google.com/patent/US4058448A/en>
- Nafion. (2022). *Nafion™ Membranes for Chlorine and Caustic Production*. Diakses pada 27 Agustus 2022, dari <https://www.nafion.com/en/applications/chlor-alkali-production>
- Nicole. (2019). *Nilai dan Properti Stainless Steel*. Diakses pada 30 Agustus 2022, dari <https://bergsen.com/stainless-steel-grades-properties/>
- O'Brien, T. F., Bommaraju, T. V., & Hine F. (2005). *Handbook of Chlor-Alkali Technology Volume I: Fundamentals*. New York: Springer Science+Business Media, Inc.

- Occidental Chemical Corporation. (2021). *Dry Caustic Potash (all Grades)*. Diakses pada 24 Agustus 2021, dari <https://sdssearch.oxy.com/msds.asp?details=M31867>
- Oshwin Overseas. (2022). *Stainless Steel Seamless Tube manufacturer in India*. Diakses pada 20 Oktober 2022, dari <https://www.oshwin.com/stainless-steel-seamless-tubes.html>
- Paryono, Damar. A., Susilo, S. B., Dahuri, R., & Suseno, H. (2017). Sedimentasi Delta Sungai Citarum, Kecamatan Muara Gembong, Kabupaten Bekasi. *Jurnal Penelitian Pengolahan Daerah Aliran Sungai*, 1(1): 15 – 16. DOI: <https://doi.org/10.20886/jppdas.2017.1.1.15-26>
- Patnaik, P. (2003). *Handbook of Inorganic Chemicals*. New York: McGraw-Hill Companies Inc.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (7th ed.). New York: McGraw-Hill Companies Inc.
- Persian Utab. (2020). *Potassium Hydroxide*. Diakses pada 6 September 2021, dari <https://persianutab.com/potassium-hydroxide/?lang=en>
- Peters, M. S., & Timmerhaus, K.D. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (4th ed.). New York: McGraw-Hill, Inc.
- Powell, S. T. (1954). *Water Conditioning for Industry*. New York: Mc Graw Hill Book Company.
- Praveen, V. (2004). *Cooling Water Treatment Handbook*. India: Albatross Fine Chem Ltd.
- Proxis East. (2015). *PPIC dan Metode Perencanaan Produksi yang Optimal*. Diakses pada 19 Agustus 2021, dari <https://surabaya.proxisgroup.com/ppic-dan-metode-perencanaan-produksi-yang-optimal/>
- PT Indomakmur Inti Lestari. (2020). *Stainless Steel 316 dan Kegunaannya dalam Industri Kelautan*. Diakses pada 28 Juli 2022, dari https://www.indomakmur.com/blog/blog_detail/stainless-steel-316-dan-kegunaannya-dalam-industri-kelautan#
- PT Pertamina. (2022). *Spesifikasi Produk BBM, BBN, dan LPG*.
- PubChem. (2021). *Compound Summary Potassium chloride*. Diakses pada 24 Agustus 2021, dari <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Potassium-chloride>
- PubChem. (2021). *Compound Summary Potassium hydroxide*. Diakses pada 24 Agustus 2021, dari <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Potassium-hydroxide>

- PubChem. (2022). *Compound Summary Aluminum sulfate*. Diakses pada 24 Oktober 2022, dari <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Aluminum-sulfate>
- PubChem. (2022). *Compound Summary Calcium hypochlorite*. Diakses pada 24 Oktober 2022, dari <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Calcium-hypochlorite>
- PubChem. (2022). *Compound Summary Hydrazine*. Diakses pada 24 Oktober 2022, dari <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Hydrazine>
- Purba, M. (2006). *Kimia 3A untuk SMA Kelas XII*. Jakarta: Erlangga.
- Qasim, S. R. (1985). *Wastewater Treatment Plants: Planning, Design, and Operation*. New York: CBS College Publishing.
- Ramli, L. (2011). *Pra Rencana Pabrik Kalium Hidroksida dari Kalium Klorida dengan Proses Elektrolisa*. (Tugas Akhir, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, 2011). Diakses dari <http://eprints.upnjatim.ac.id/id/eprint/2340>
- Rase, H. F. (1977). *Chemical Reactor Design for Process: Principles and Techniques*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Redaksi 1000guru. (2019). *Pompa Sentrifugal: Prinsip Kerja dan Manfaatnya*. Diakses pada 22 Juli 2022, dari <http://majalah1000guru.net/2019/02/pompa-sentrifugal-kerja-manfaat/>
- Rhousanda, L. (2021). *Kimia Unsur*. Diakses pada 8 Agustus 2021, dari <https://id.scribd.com/document/452306150/KIMIA-UNSUR>
- Rumah123.com. (2022). *Tanah dijual di Karawang Barat, Karawang*. Diakses pada 28 Oktober 2022, dari <https://www.rumah123.com/jual/karawang/karawang-barat/tanah/#qid~cb58473c-7915-4e44-ae6c-5a8593805cfb>
- Safety Data Sheet. (2019). *S120 Demineralized Water*. Diakses pada 24 Agustus 2021, dari https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.generalpaint.biz/tdsmsds/us/gen2o/msds/msdsS120_S120_DEMINERALIZED_WATER_ENUS.pdf&ved=2ahUKEwibwPfrtJL1AhVCR2wGHXjpCBEQFnoECAsQAQ&usq=AOvVaw3mhO5qFkFkna5C1BMwTAW7
- Samlawi, A. K., & Siswanto R. (2016). *Material Teknik*. (Diktat Bahan Kuliah, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat 2016). Diakses dari https://mesin.ulm.ac.id/assets/dist/bahan/Material_Teknik_full.pdf
- Sanwa Prefab. (2020). *Gudang penyimpanan merupakan salah satu komponen penting yang wajib ada pada sebuah perusahaan*. Diakses pada 12 Juli 2022, dari <https://sanwaprefab.co.id/bangun-gudang-penyimpanan-dengan-material-prefabrikasi/>

- Severns, W. H. & Degler, H. E. (1939). *Steam, Air and Gas Power*. New York: J. Wiley & Sons Inc.
- Shreiner, R. H., & Pratt, K. W. (2004). *Standard Reference Materials: Primary Standards and Standard Reference Materials for Electrolytic Conductivity*. Washington: U.S. Government Printing Office.
- Siagian, S. D. (2000). *Metode Statistika Untuk Ekonomi dan Bisnis*. Jakarta: Gramedia.
- Sibug, S. [Sarah May Sibug-Torres]. (2016, 14 November). 4.2. *Electrochemical Cells* [Video]. Youtube. <https://youtu.be/ajxLxcAHGX8>
- Sidabutar, A. (2022). *Identifikasi Bahan dari Komponen Penyusun Pompa Sentrifugal Single Stage Single Suction Tipe TTAAR*. Diakses pada 30 Agustus 2022, dari https://www.academia.edu/11346602/Bahan_Penyusun_Pompa_Sentrifugal_typr_TTAAR
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2001). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics* (6th ed.). New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Steffen's Chemistry Pages. (2022). *Density of sulfuric acid and sulfur trioxide*. Diakses pada 24 Oktober 2022, dari <https://wissen.science-and-fun.de/chemistry/chemistry/density-tables/density-of-sulfuric-acid-and-sulfur-trioxide/>
- Sudarmo, U., & Mitayani, N. (2017). *Buku Siswa Kimia untuk SMA/MA Kelas XI Kurikulum 2013 Peminatan MTK dan IPA*. Jakarta: Erlangga.
- Sunarya, Y. (2014). *Kimia Dasar 1 Berdasarkan Prinsip Prinsip Kimia Terkini*. Bandung: Yrama Widya.
- Syahwardini, T. (2014). *Utilitas Pabrik*. Diakses pada 21 Agustus 2022, pada <https://id.scribd.com/doc/240963277/utilitas-Pabrik-ppt#>
- Tiaano. (2019). *Membrane Cell Electrolyzer for Electrolytic Production of Cl₂ & NaOH*. Diakses pada 13 April 2022, dari <https://5.imimg.com/data5/KP/MK/XT/SELLER-4087320/chlorate-cell.pdf>
- Tibrizi, A., & Raharjo, M. I. (2017). *Rangkuman Materi Vessel (Bejana)*. Diakses pada 27 Juli 2022, dari <https://www.coursehero.com/file/41481411/Rangkuman-Vessel-Finalpdf/>
- Towler, G., & Sinnott, R. (2008). *Chemical Engineering Design: Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*. USA: Elsevier Inc.

- Toyox. (2022). *Hybrid Toyosilicone Hose*. Diakses pada 29 Agustus 2022, dari <https://indonesia.toyox-hose.com/product/htsi/>
- Timuraya. (2013). *Potassium Chloride*. Diakses pada 24 Agustus 2021, dari <http://www.timuraya.com/front/detail/product/13>
- Ullmann's. (2005). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (7th ed.). Inggris: Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Ulrich, G. D. (1984). *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 1997 Tentang Dokumen Perusahaan.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas.
- UNdata. (2021). *Commodity: Potassium hydroxide (caustic potash)*. Diakses pada 10 Agustus 2021, dari https://data.un.org/Data.aspx?q=potassium+hydroxide&d=ComTrade&f=_11Code%3a29%3bcmdCode%3a281520
- Vernandes, A. (2017). *Konsep Energi Bebas Gibbs dan Hubungannya dengan Kespontanan Reaksi*. Diakses pada 6 September 2021, dari <https://www.avkimia.com/2017/06/konsep-energi-bebas-gibbs-dan-hubungannya-dengan-kespontanan-reaksi.html?m=1>
- Visual Encyclopedia of Chemical Engineering Equipment. (2022). *Evaporators*. Diakses pada 30 Agustus 2022, dari <https://encyclopedia.che.engin.umich.edu/evaporators/>
- Vynova Group. (2019). *Vynova Pottasium Hydroxide Solution*. Diakses pada 11 September 2021, dari <https://www.vynova-group.com/product/potassium-derivatives/potassium-hydroxide-solution>
- Wagiman. (2020). *Gudang, Pengemasan, dan Cara Penyimpanan*. Diakses pada 11 Juli 2022, pada <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://hpt.faperta.ugm.ac.id/wp-content/uploads/sites/446/2020/10/Pak-Wagiman-Kuliah-4b.-GUDANG-TEKNIK-PENYIMPANAN.pdf&ved=2ahUKEwiM6eqT2pH5AhXvSGwGHRGNCzcQFnoECAsQAQ&usg=AOvVaw3Bc2nHGCVnyPYsbVxwpVRh>
- Walas, S. M. (1990). *Chemical Prosess Equipment Selection and Design*. Boston: Butterworth-Heinemann.

- Walsh, F., & Reade, G. (1994). Design and Performance of Electrochemical Reactors for Efficient Synthesis and Environmental Treatment Part 1. Electrode Geometry and Figures of Merit. *The Analyst*, 119(5): 791–196. DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/an9941900791>
- Wang L. K., Wang, M. H. S., Shammass N. K., & Aulenbach D. B. (2021). *Environmental Flotation Engineering*. Switzerland: Springer Nature.
- Whitman, D. L., & Terry, R. E. (2012). *Fundamentals of Engineering Economics and Decision Analysis*. Switzerland: Springer Cham.
- Wilson, E. T. (2005). *Clarifier Design*. London: Mc Graw Hill Book Company.
- Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Yuniati. (2004). Pelapisan Baja Menggunakan Logam Nikel Sebagai Penghambat Laju Korosi Baja Melalui Proses Electroplating. *Jurnal Polimesin*, 2(1). Diakses pada 1 September 2022, dari <http://e-jurnal.pnl.ac.id/index.php/polimesin/article/view/1406>