

**PRARANCANGAN PABRIK KALIUM HIDROKSIDA (KOH)  
DARI KALIUM KLORIDA (KCl) DENGAN PROSES ELEKTROLISIS  
KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN  
(Perancangan Reaktor Elektrolisis (RE – 201))**

**(Skripsi)**

**OLEH**

**ADHITIA YULIANTO**



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

## ABSTRAK

### PRARANCANGAN PABRIK KALIUM HIDROKSIDA (KOH) DARI KALIUM KLOORIDA (KCI) DENGAN PROSES ELEKTROLISIS KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN (Perancangan Reaktor Elektrolisis (RE – 201))

Oleh

ADHITIA YULIANTO

Pabrik Kalium hidroksida berbahan baku Kalium klorida dan air, akan didirikan di Kawasan Industri Surya Cipta, Desa Kutamekar, Kecamatan Ciampel, Kabupaten Karawang, Provinsi 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 sebanyak 30.000 ton/tahun, dengan waktu operasi 24 jam/hari, 300 hari/tahun. Bahan baku yang digunakan adalah Kalium klorida sebanyak 6.373,7420 kg/jam dan air sebanyak 17.465,1930 kg/jam.

Jumlah karyawan sebanyak 197 orang dengan bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh seorang direktur. Sistem manajemen perusahaan menggunakan struktur organisasi *line* dan *staff*.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

|   |                          |
|---|--------------------------|
| <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>                             | = 29,03%                 |
| <i>Shut Down Point (SDP)</i>                              | = 16,51%                 |
| <i>Pay Out Time after Taxes (POT)<sub>a</sub></i>         | = 1,85 tahun             |
| <i>Return on Investment after Taxes (ROI)<sub>a</sub></i> | = 44,14%                 |
| <i>Discounted Cash Flow (DCF)</i>                         | = 45,07%                 |

Mempertimbangkan paparan di atas, sudah selayaknya pendirian pabrik Kalium hidroksida ini dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dan mempunyai masa depan yang baik.

## ABSTRACT

### PREDESIGN OF POTASSIUM HYDROXIDE (KOH) PLANT FROM POTASSIUM CHLORIDE (KCl) USING ELECTROLYSIS WITH CAPACITY 30.000 TONS/YEAR (Electrolysis Reactor Design (RE – 201))

By

ADHITIA YULIANTO

The Potassium Hydroxide Factory is manufactured through electrolysis of potassium chloride in an aqueous solution. It will be situated in the Surya Cipta Industrial Area in Kutamekar Village, Ciampel District, Karawang Regency, West Java Province. The factory's location was chosen based on factors such as the availability of raw materials, convenient transportation facilities, the accessibility of labor, and the environmental situation.

The factory is designed to manufacture 30,000 tons of Potassium hydroxide annually, operating 24 hours per day for 300 days. The production process involves using 6,373.7420 kg/hour of potassium chloride and 17,465.1930 kg/hour of water as raw materials.

The company is a Limited Liability Company (PT) with a total of 197 employees, headed by a director. It employs a line and staff organizational structure for its management system.

The economic analysis indicates that:

|   |                          |
|---|--------------------------|
| <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>                             | = 29,03%                 |
| <i>Shut Down Point (SDP)</i>                              | = 16,51%                 |
| <i>Pay Out Time after Taxes (POT)<sub>a</sub></i>         | = 1,85 years             |
| <i>Return on Investment after Taxes (ROI)<sub>a</sub></i> | = 44,14%                 |
| <i>Discounted Cash Flow (DCF)</i>                         | = 45,07%                 |

The summary presented above suggests that further examination of the viability of establishing a Potassium hydroxide factory is warranted due to its profitability and positive future prospects.

**PRARANCANGAN PABRIK KALIUM HIDROKSIDA (KOH)  
DARI KALIUM KLORIDA (KCl) DENGAN PROSES ELEKTROLISIS  
KAPASITAS 30.000 TON/TAHUN  
(Perancangan Reaktor Elektrolisis (RE – 201))**

**Oleh:**

**ADHITIA YULIANTO**

**Skripsi**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA TEKNIK**

Pada

Jurusan Teknik Kimia  
Fakultas Teknik Universitas Lampung



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

Judul Skripsi

**: PRARANCANGAN PABRIK KALIUM  
HIDROKSIDA (KOH) DARI KALIUM  
KLORIDA (KCl) DENGAN PROSES  
ELEKTROLISIS KAPASITAS 30.000  
TON/TAHUN  
(Perancangan Reaktor Elektrolisis (RE – 201))**

Nama Mahasiswa

**: Adhitia Yulianto**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1615041028

Jurusan

**: Teknik Kimia**

Fakultas

**: Teknik**



1. Komisi Pembimbing

**Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T., M.Eng.**  
NIP. 19790419 200604 2 001

**Yuli Darni, S.T., M.T.**  
NIP. 19740712 200003 2 001

2. Ketua Jurusan Teknik Kimia

**Yuli Darni, S.T., M.T.**  
NIP. 19740712 200003 2 001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

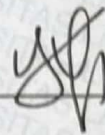
Ketua

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



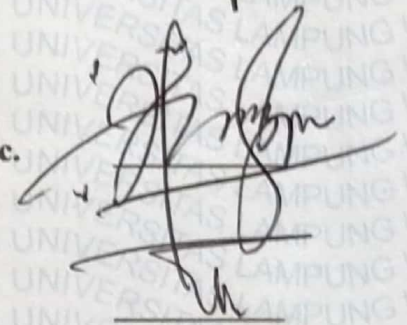
Sekretaris/anggota

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

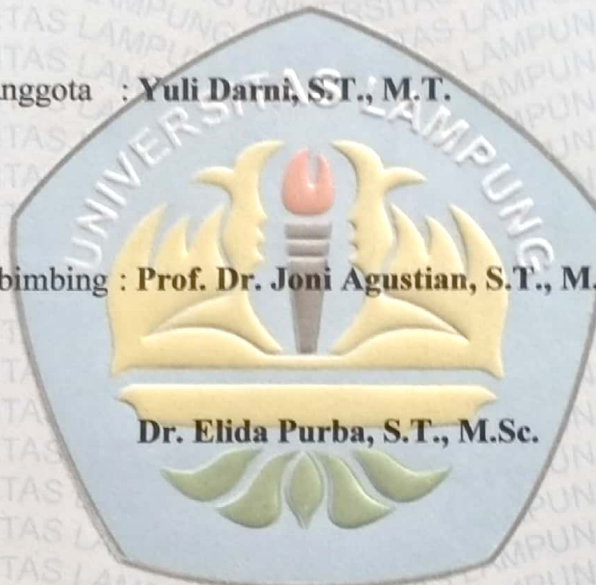


Penguji

Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. Joni Agustian, S.T., M.Sc.**



**Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc.**



**Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung**

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

**NIP. 19750928 200112 1 002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 1 Februari 2023**

## PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Adhitia Yulianto

NPM : 1615041028

Jurusan : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

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.

Bandarlampung, 1 Februari 2023



**Adhitia Yulianto**  
NPM. 1615041028

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Adhitia Yulianto, dilahirkan di Pringombo pada tanggal 28 Juli 1998. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara, pasangan Bapak Purgianto dan Ibu Lestari.

Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 2 Pringsewu pada tahun 2010, penulis melanjutkan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 2 Pringsewu dan menyelesaikannya pada tahun 2013, selanjutnya penulis melanjutkan sekolah ke SMA Negeri 1 Pringsewu dan Lulus pada tahun 2016. Penulis diterima sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung tahun 2016 melalui jalur SBMPTN.

Pada Tahun 2019, penulis melakukan Kerja Praktek di PT Semen Baturaja I (Persero) Tbk. dengan Tugas Khusus “Analisis Kinerja Alat *Grate Cooler* pada Proses Produksi Semen di PT. Semen Baturaja I (Persero) Tbk.”. Kemudian pada Tahun 2021 penulis melakukan penelitian yang berjudul “Optimasi *Drying Rate* Ekstraksi Minyak Atsiri Serai Wangi (*Cymbopogon winterianus*) dengan Metode *Hydrosteam Distillation*”.

Penulis telah mengikuti kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode I tahun 2020 selama 40 hari di Pekon Tugu Mulya, Kecamatan Kebun Tebu, Kabupaten Lampung Barat. Penulis menyelesaikan skripsi sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung.



Selama menjalani masa perkuliahan, Penulis aktif dalam beberapa organisasi kemahasiswaan. Di tingkat jurusan Penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (Himatemia) FT Unila sebagai staff Departemen Kesekretariatan pada tahun 2017–2018. Ditingkat fakultas Penulis aktif di Forum Silaturahmi Studi Islam (FOSSI) FT Unila sebagai Staff Departemen Kaderisasi pada tahun 2017 dan sebagai Kepala Departemen Pengembangan Diri pada tahun 2018. Di tingkat universitas Penulis aktif di Paduan Suara Mahasiswa Universitas Lampung (PSM Unila) sebagai staff Departemen Kesekretariatan pada periode tahun 2017/2018 dan sebagai Sekretaris Umum pada periode tahun 2018/2019.

## MOTTO

**“Allah mencintai pekerjaan yang apabila bekerja ia menyelesaikannya  
dengan baik”**

**( HR. Thabrani )**

*“You can't change the past, but you can make a better tomorrow.”*

( - )

*“Once the tiresome journey is over, we'll be something the world has never  
seen.”*

- Seventeen

## **PERSEMBAHAN**

*Bismillahirrahmanirohim*

Puji syukur kepada Allah SWT atas kasih, rahmat, dan karunia yang telah dilimpahkan kepada penulis. Shalawat serta salam kita haturkan kepada nabi besar

Muhammad SAW.

Ku persembahkan lembaran-lembaran sederhana ini, kepadamu:

**Orangtuaku tercinta,**

Terima kasih atas doa, kasih sayang, dukungan serta kesabarannya menunggu sampai saat-saat ini tiba. *Words cannot describe how grateful I am to be your daughter, thank you so much for everything, I love you.*

**Kakakku tersayang,**

Terima kasih atas setiap usahamu untuk membuatku tetap tegar menghadapi segala permasalahan, memberikan sudut pandang baru sebagai pertimbangan setiap keputusanku dalam hidup. Aku mungkin tidak bisa mencapai tahap ini

tanpamu.

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, atas segala rahmat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“Prarancangan Pabrik Kalium Hidroksida (KOH) Dari Kalium Klorida (KCl) dengan Proses Elektrolisis Kapasitas 30.000 Ton/Tahun”** yang diajukan untuk memenuhi syarat mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung.

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

1. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T., sebagai Ketua Jurusan Teknik Kimia dan sebagai Dosen Pembimbing 2, atas kesediaan waktu yang telah diluangkan, kesediaan memberikan bimbingan serta saran dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Muhammad Hanif, S.T., M.T. dan/atau Donny Lesmana, S.T, M.Sc., sebagai Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan sarannya selama berada di kampus.
3. Ibu Dr. Sri Ismiyati Damayanti, S.T. M.Eng., sebagai Dosen Pembimbing 1, atas kesediaan waktu yang telah diluangkan, kesediaan memberikan bimbingan serta saran dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.
4. Prof. Dr. Joni Agustian, S.T., M.Sc., sebagai Dosen Penguji 1, atas segala ilmu, kesabaran, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
5. Ibu Dr. Elida Purba, S.T., M.Sc., sebagai Dosen Penguji 2, atas segala ilmu, kesabaran, saran, dan kritiknya dalam pengerjaan tugas akhir.
6. Seluruh Dosen dan Staf Teknik Kimia yang telah banyak memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dan membantu kelancaran dalam pengerjaan.

7. Jeri Parsad Akrami, sebagai partner tugas akhir, yang menjadi teman diskusi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Teman-teman seperjuangan angkatan 2016 (CHEMENG 16), SENSASI 16, Terimakasih yang sebanyak-banyaknya untuk kalian semua yang telah memberikan kepercayaan lebih kepada saya dan membantu saya dalam segala hal. Kalianlah keluarga terbaik yang pernah saya punya di tempat perjuangan ini. Sukses untuk kita semua dan semoga kita dapat dipertemukan kembali dalam keadaan yang lebih baik suatu saat nanti. Tak akan ada apa-apanya saya tanpa kehadiran kalian semua.
9. Putri Ariyanti dan Krisanti Winina Putri yang selalu memberikan dukungan moral dan banyak bantuan materi, pikiran tenaga, dan waktu untuk membantu penulis dalam menyusun dan menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
10. Adik-adik dan kakak-kakak tingkat di Jurusan Teknik Kimia, yang banyak memberikan warna-warni selama berada di kampus.
11. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga Allah SWT membalas jasa dan kebaikan yang telah diberikan kepadaku. Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini karena keterbatasan dan pengetahuan yang penulis miliki, maka dari itu kritik, saran, dan masukan yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan untuk tugas akhir ini.

Bandarlampung, 1 Februari 2023  
Penulis

**Adhitia Yulianto**

## DAFTAR ISI

|   | Halaman     |
|---|-------------|
| <b>COVER</b> .....                              | <b>i</b>    |
| <b>ABSTRAK</b> .....                            | <b>ii</b>   |
| <b>ABSTRACT</b> .....                           | <b>iii</b>  |
| <b>COVER DALAM</b> .....                        | <b>iv</b>   |
| <b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....                 | <b>v</b>    |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....                  | <b>vi</b>   |
| <b>PERNYATAAN</b> .....                         | <b>vii</b>  |
| <b>RIWAYAT HIDUP</b> .....                      | <b>viii</b> |
| <b>MOTTO</b> .....                              | <b>x</b>    |
| <b>PERSEMBAHAN</b> .....                        | <b>xi</b>   |
| <b>SANWACANA</b> .....                          | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                         | <b>xiv</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                       | <b>xix</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                      | <b>xxiv</b> |
| <b>I. PENDAHULUAN</b> .....                     | <b>1</b>    |
| 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           |
| <b>II. PEMILIHAN DAN DESKRIPSI PROSES</b> ..... | <b>8</b>    |
| 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        |
| <b>III.</b> | <b>SPEKIFIKASI BAHAN BAKU DAN PRODUK .....</b>               | <b>33</b> |
| 3.1         | Spesifikasi Bahan Baku .....                                 | 33        |
| 3.2         | Spesifikasi Produk .....                                     | 34        |
| <b>IV.</b>  | <b>NERACA MASSA DAN NERACA ENERGI .....</b>                  | <b>36</b> |
| 4.1         | Neraca Massa .....   | 36        |
| 4.1.1       | Neraca 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 &<br>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 &<br>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        |
| <b>V.</b>   | <b>SPEKIFIKASI ALAT .....</b>                                | <b>45</b> |
| 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 <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ST – 401)    | 72 |
| 5.2.26 | Pompa Utilitas (PU – 412)  | 73 |
| 5.2.27 | <i>Dissolving Tank</i> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (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 Scale Inhibitor</i> (ST – 403)     | 75         |
| 5.2.32       | Pompa Utilitas (PU – 415)                          | 76         |
| 5.2.33       | <i>Storage Tank 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 Air kondensat</i> (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 Air Demineral</i> (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 – 401)              | 90         |
| <b>VI.</b>   | <b>UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH</b>              | <b>91</b>  |
| 6.1          | Unit Pendukung Proses                              | 91         |
| 6.2          | Unit Pengolahan Limbah                             | 102        |
| 6.3          | Laboratorium                                       | 103        |
| 6.4          | Instrumentasi dan Pengendalian Proses              | 106        |
| <b>VII.</b>  | <b>TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK</b>                | <b>108</b> |
| 7.1          | Lokasi Pabrik                                      | 108        |
| 7.2          | Tata Letak Pabrik                                  | 110        |
| 7.3          | Tata Letak Peralatan Proses                        | 114        |
| <b>VIII.</b> | <b>MANAJEMEN DAN ORGANISASI</b>                    | <b>116</b> |
| 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        |
| <b>IX. INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI .....</b>                                | <b>135</b> |
| 9.1 Inventasi .....  | 135        |
| 9.2 Evaluasi Ekonomi .....   | 138        |
| 9.3 Angsuran Pinjaman .....  | 142        |
| <b>X. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>   | <b>143</b> |
| 10.1 Simpulan .....  | 143        |
| 10.2 Saran .....   | 143        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>  | <b>144</b> |
| <b>LAMPIRAN A PERHITUNGAN NERACA MASSA DAN NERACA<br/>ENERGI</b>               |            |
| <b>LAMPIRAN B PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN PROSES</b>                     |            |
| <b>LAMPIRAN C PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN UTILITAS</b>                   |            |
| <b>LAMPIRAN D PERHITUNGAN INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI</b>                   |            |
| <b>LAMPIRAN E TUGAS KHUSUS PERANCANGAN REAKTOR<br/>ELEKTROLISIS (RE – 201)</b> |            |

## DAFTAR TABEL

| Tabel   | Halaman |
|---|---------|
| 1.1 Data impor kalium hidroksida<br>(Badan Pusat Statistik, 2016; Badan Pusat Statistik, 2017;<br>Badan Pusat Statistik, 2018; Badan Pusat Statistik, 2019) ..... | 4       |
| 1.2 Data pengekspor kalium hidroksida ke indonesia di tahun 2019<br>(Badan Pusat Statistik, 2019) .....   | 5       |
| 1.3 Beberapa data impor kalium hidroksida di negara tetangga<br>(UNdata, 2021).....   | 6       |
| 2.1 Harga komponen bahan baku dan produk<br>(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<br>standar (298,15 K)<br>(Dean, 1979) .....   | 21      |
| 2.5 Data kapasitas panas komponen<br>(Chase, 1998); Smith, 2001) .....  | 22      |
| 2.6 Nilai kapasitas panas komponen pada proses <i>boiling</i> .....   | 23      |
| 2.7 Data potensial sel standar ( $E^0$ )<br>(O'Brien et al., 2005) .....  | 25      |
| 2.8 Data entalpi pembentukan komponen pada kondisi standar (298,15 K)<br>(Patnaik, 2003) .....  | 25      |
| 2.9 Kapasitas panas komponen cair<br>(Yaws, 1999) .....   | 25      |
| 2.10 Kapasitas panas komponen gas<br>(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 <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (ST – 401) .....    | 72 |
| 5.2.26 Spesifikasi pompa utilitas (PU – 412) .....  | 73 |
| 5.2.27 Spesifikasi <i>dissolving tank</i> H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (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><br>(Delima & Septiana, 2017) ..... | 9       |
| 2.2 Skema proses sel diafragma<br>(Kirk & Othmer, 1998) .....   | 12      |
| 2.3 Skema proses sel merkuri.<br>(Kirk & Othmer, 1998) .....  | 13      |
| 2.4 Skema proses sel membran<br>(Diadaptasi dari Kirk & Othmer, 1998).....                            | 15      |
| 6.1 Diagram <i>cooling water system</i> .....   | 96      |
| 7.1 Lokasi pendirian pabrik kalium hidroksida<br>(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 diatas, 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). Muliawan 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 m<sup>3</sup>/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

| <b>Tahun</b> | <b>Jumlah Impor Kalium Hidroksida (kg)</b> |
|--------------|--|
| 2015         | 16.008.628 <sup>a)</sup>                   |
| 2016         | 18.205.029 <sup>a),b)</sup>                |
| 2017         | 18.204.568 <sup>b),c)</sup>                |
| 2018         | 18.591.108 <sup>c),d)</sup>                |
| 2019         | 20.036.177 <sup>d)</sup>                   |

Sumber: <sup>a)</sup>Badan Pusat Statistik (2016),

<sup>b)</sup>Badan Pusat Statistik (2017),

<sup>c)</sup>Badan Pusat Statistik (2018),

<sup>d)</sup>Badan Pusat Statistik (2019).

**Tabel 1.2** Data pengeksport kalium hidroksida ke Indonesia di tahun 2019

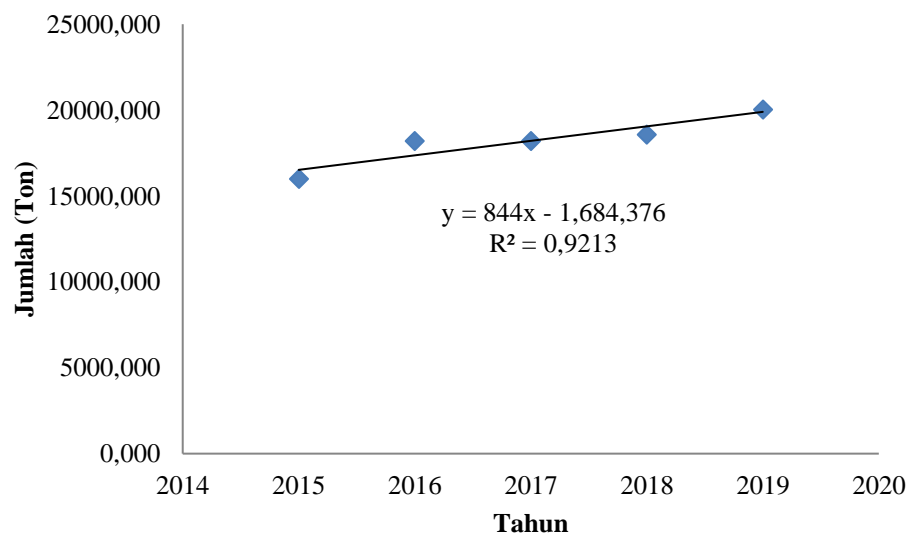
| <b>Negara</b>   | <b>Jumlah Impor Kalium<br/>Hidroksida (kg)</b> |
|-----------------|--|
| Jepang          | 120.456  |
| Rep. Korea      | 13.883.480                                     |
| Taiwan          | 900.000  |
| China           | 4.710.500                                      |
| Thailand        | 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   |
| <b>Total</b>    | <b>20.036.177</b>                              |

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                   |
| <b>Total</b>  | <b>96.650,061</b>            |

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 m<sup>3</sup>/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

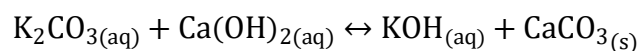
Proses pembuatan kalium hidroksida atau KOH dapat dilakukan dengan beberapa metode proses yaitu proses *boiling* dan proses elektrolisis.

#### 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).

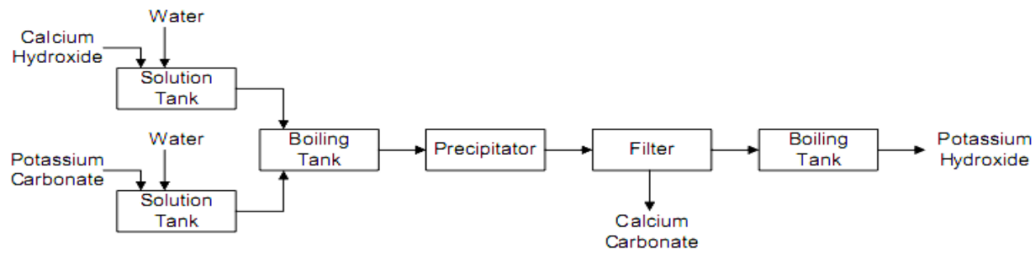
Reaksi utama dari proses *boiling* ini adalah reaksi pendidihan atau penguapan kadar air yang berlangsung dalam tangki *boiling* pada suhu  $105^\circ C$  dan tekanan 1 atm (Delima & Septiana, 2017).

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).

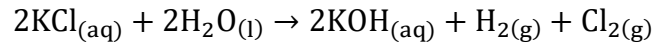
Campuran produk kemudian dipisahkan menjadi dua bagian antara padatan dan cairan pada *precipitator*, kemudian cairan difiltrasi untuk memisahkan padatan yang masih terbawa oleh cairan dengan larutan kalium hidroksida. Larutan kalium hidroksida kemudian diuapkan untuk mengurangi kadar air sampai didapat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

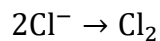
Proses elektrolisis pada pembuatan KOH menggunakan kalium klorida (KCl) secara industri biasa disebut dengan istilah industri *chlor-alkali* karena proses tersebut akan menghasilkan gas klorin (Brinkmann et al., 2014). Proses elektrolisis tersebut diawali dengan melarutkan KCl padatan dengan air pada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



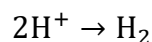
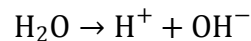
Dengan konversi reaksi: 88,2 – 95,7% (Lynch et al., 1980).

Pada bagian anoda, KCl akan terionisasi menjadi ion  $\text{K}^+$  dan ion  $\text{Cl}^-$  dimana ion  $\text{K}^+$  ini nantinya akan berikatan dengan ion  $\text{OH}^-$  yang merupakan hasil ionisasi  $\text{H}_2\text{O}$  pada katoda untuk membentuk KOH. Sementara ion  $\text{Cl}^-$  pada anoda akan bergabung membentuk gas klorin ( $\text{Cl}_2$ ) dan ion  $\text{H}^+$  pada katoda akan bergabung untuk membentuk gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ).

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.

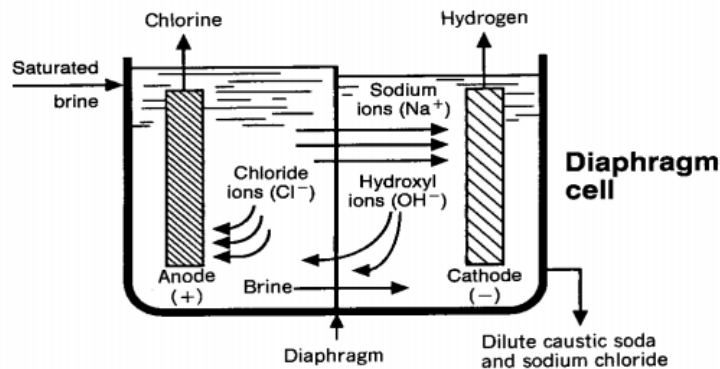
- Bahan baku yang digunakan pada proses elektrolisis merupakan senyawa netral yaitu KCl, sehingga pretreatment di awal hampir tidak ada dan walaupun ada prosesnya tidak terlalu rumit.
- Produk samping yang dihasilkan dari proses memiliki nilai jual yang cukup tinggi.

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).



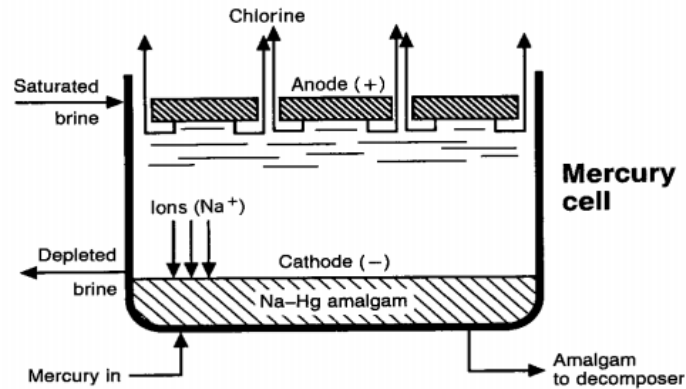
**Gambar 2.2** Skema proses sel diafragma (Sumber: Kirk & Othmer, 1998).

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).

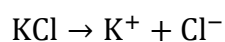
b. Elektrolisis KCl dengan menggunakan sel merkuri

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).

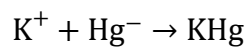


**Gambar 2.3** Skema proses sel merkuri (Sumber: Kirk & Othmer, 1998).

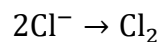
Proses ini memiliki dua alat utama, yaitu *electrolyzer* dan dekomposer. Proses elektrolisis menggunakan sel merkuri, larutan jenuh garam dengan konsentrasi sekitar 25% berat KCl masuk kedalam sel dengan suhu sekitar 60 – 70°C dan energi listrik yang digunakan sekitar 3,15 – 4,80V, kemudian larutan mengalir 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  $\text{K}^+$  bereaksi dengan ion  $\text{Hg}^-$ .



Sedangkan pada bagian anoda ion  $\text{Cl}^-$  membentuk gas  $\text{Cl}_2$ .



Amalgam K–Hg selanjutnya disirkulasikan ke dekomposer untuk mengionisasi ion  $\text{K}^+$  dan mengikat ion  $\text{OH}^-$  membentuk senyawa KOH. Pada dekomposer akan terjadi proses pembentukan gas  $\text{H}_2$  sementara merkuri selanjutnya akan terendapkan sebelum diresirkulasi ke *electrolyzer*. Reaksi yang terjadi pada dekomposer adalah:



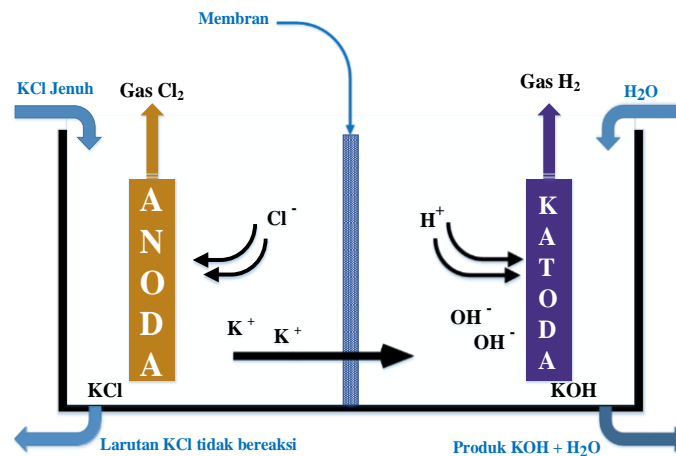
Proses menggunakan sel merkuri memiliki kelebihan produk yang dihasilkan memiliki konsentrasi 50% berat KOH tanpa harus melewati evaporator. Brinkmann et al. (2014) menyatakan bahwa sel merkuri membutuhkan arus listrik yang lebih besar dibandingkan dengan sel diafragma dan juga membutuhkan bahan baku 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).

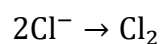
Elektrolisis KCl dengan proses sel membran memiliki cara kerja yang sama dengan proses elektrolisis sel diafragma, hanya saja level pada *anolyte* tidak perlu dijaga agar lebih tinggi daripada *catolyte* karena bahan untuk proses ini yang digunakan mampu untuk meloloskan ion  $K^+$  dari *anolyte* ke *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).



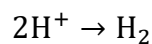
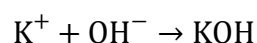
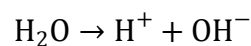
**Gambar 2.4** Skema proses sel membran (Sumber: Diadaptasi dari Kirk & Othmer, 1998).

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

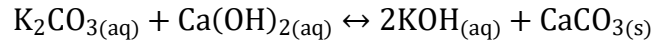
| Komponen                       | Harga (US\$)/kg | Harga (Rp)/kg |
|--------------------------------|-----------------|---------------|
| Ca(OH) <sub>2</sub>            | 0,24 – 0,45     | 5.000         |
| K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | 0,80 – 1,40     | 15.950        |
| CaCO <sub>3</sub>              | 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 <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | A | n <sub>A0</sub>       | -n <sub>A0</sub> · X | n <sub>A</sub> = n <sub>A0</sub> · (1 - X)                 |
| Ca(OH) <sub>2</sub>            | B | n <sub>B0</sub>       | -n <sub>A0</sub> · X | n <sub>B</sub> = n <sub>B0</sub> - n <sub>A0</sub> · X     |
| KOH                            | C | -                     | 2n <sub>A0</sub> · X | n <sub>C</sub> = 2n <sub>A0</sub> · X                      |
| CaCO <sub>3</sub>              | D | -                     | n <sub>A0</sub> · X  | n <sub>D</sub> = n <sub>A0</sub> · X                       |
| <b>Jumlah</b>                  |   | <b>n<sub>T0</sub></b> |                      | <b>n<sub>T</sub> = n<sub>T0</sub> + n<sub>A0</sub> · X</b> |

Basis 1 kg KOH yang terbentuk, maka akan diperoleh mol KOH akhir (n<sub>C</sub>) 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 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> mula-mula (n<sub>A0</sub>) dapat diperoleh melalui:

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

$$\begin{aligned} \text{Massa K}_2\text{CO}_3 \text{ mula-mula} &= \text{mol K}_2\text{CO}_3 \times \text{BM K}_2\text{CO}_3 \\ &= 18,9597 \text{ mol} \times 138 \text{ g/mol} \\ &= 2.616,4411 \text{ gram} = 2,616 \text{ kg} \\ \text{Total harga K}_2\text{CO}_3 &= \text{harga K}_2\text{CO}_3 \times \text{massa K}_2\text{CO}_3 \\ &= \text{Rp}15.950/\text{kg} \times 2,616 \text{ kg} \\ &= \text{Rp}41.732,24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mol CaCO}_3 \text{ yang terbentuk} &= n_{A0} \cdot X \\
 &= 18,9597 \text{ mol} \cdot 0,47 \\
 &= 8,9111 \text{ mol} \\
 \text{Massa CaCO}_3 \text{ yang terbentuk} &= \text{mol CaCO}_3 \times \text{BM CaCO}_3 \\
 &= 8,9111 \text{ mol} \times 100,09 \text{ g/mol} \\
 &= 891,9088 \text{ gram} = 0,8919 \text{ kg} \\
 \text{Total harga CaCO}_3 &= \text{harga CaCO}_3 \times \text{massa CaCO}_3 \\
 &= \text{Rp}3.700/\text{kg} \times 0,8919 \text{ kg} \\
 &= \text{Rp}3.300,06
 \end{aligned}$$

Untuk mencari mol  $\text{Ca(OH)}_2$  mula-mula ( $n_{B0}$ ) dapat diperoleh melalui:

$$n_B = n_{B0} - n_{A0} \cdot X$$

Dengan  $n_B = 0$ , karena  $\text{Ca(OH)}_2$  habis bereaksi, maka:

$$\begin{aligned}
 n_B &= n_{B0} - n_{A0} \cdot X \\
 0 &= n_{B0} - (18,9697 \text{ mol} \cdot 0,47) \\
 n_{B0} &= 8,9111 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Ca(OH)}_2 \text{ mula-mula} &= \text{mol Ca(OH)}_2 \times \text{BM Ca(OH)}_2 \\
 &= 8,9111 \text{ mol} \times 74,093 \text{ g/mol} \\
 &= 660,2477 \text{ gram} = 0,6602 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total harga Ca(OH)}_2 &= \text{harga Ca(OH)}_2 \times \text{massa Ca(OH)}_2 \\
 &= \text{Rp}5.000/\text{kg} \times 0,6602 \text{ kg} \\
 &= \text{Rp}3.301,24
 \end{aligned}$$

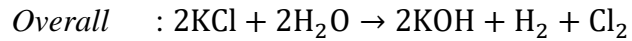
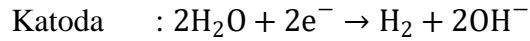
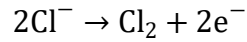
$$\begin{aligned}
 \text{Total harga bahan baku} &= \text{Total harga K}_2\text{CO}_3 + \text{Total harga Ca(OH)}_2 \\
 &= \text{Rp}41.732,24 + \text{Rp}3.301,24 \\
 &= \text{Rp}45.033,48
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total harga produk} &= \text{Total harga CaCO}_3 + \text{Total harga KOH} \\
 &= \text{Rp}3.300,06 + \text{Rp}19.000,00 \\
 &= \text{Rp}22.300,06
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Keuntungan} &= \text{total harga produk} - \text{total harga bahan baku} \\
 &= \text{Rp}22.300,06 - \text{Rp}45.033,48 \\
 &= - \text{Rp}22.733,42
 \end{aligned}$$

## 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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub>   | D | -                          | $\frac{1}{2}n_{A0} \cdot X$ | $n_D = \frac{1}{2}n_{A0} \cdot X$ |
| Cl <sub>2</sub>  | E | -                          | $\frac{1}{2}n_{A0} \cdot X$ | $n_E = \frac{1}{2}n_{A0} \cdot X$ |
| <b>Jumlah</b>    |   | <b><math>n_{T0}</math></b> |                             | <b><math>n_T = n_{T0}</math></b>  |

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:

$$n_C = n_{A0} \cdot X$$

$$17,8221 \text{ mol} = n_{A0} \cdot 0,8820$$

$$n_{A0} = \frac{17,8221 \text{ mol}}{0,8820}$$

$$n_{A0} = 20,2065 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa KCl mula-mula} &= \text{mol KCl} \times \text{BM KCl} \\
 &= 20,2065 \text{ mol} \times 74,55 \text{ g/mol} \\
 &= 1.506,3948 \text{ gram} = 1,5064 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total harga KCl} &= \text{harga KCl} \times \text{massa KCl} \\
 &= \text{Rp}11.500/\text{kg} \times 1,5064 \text{ kg} \\
 &= \text{Rp}17.323,54
 \end{aligned}$$

Total harga H<sub>2</sub>O = Rp0,00 (karena H<sub>2</sub>O yang digunakan diambil dari Sungai Citarum).

$$\begin{aligned}
 \text{Mol Cl}_2 \text{ yang terbentuk} &= \frac{1}{2} n_{A0} \cdot X \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 20,2065 \text{ mol} \cdot 0,8820 \\
 &= 8,9111 \text{ mol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Cl}_2 \text{ yang terbentuk} &= \text{mol Cl}_2 \times \text{BM Cl}_2 \\
 &= 8,9111 \text{ mol} \times 70,9 \text{ g/mol} \\
 &= 631,7947 \text{ gram} = 0,6318 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Total harga Cl<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> = Rp0,00.

$$\begin{aligned}
 \text{Total harga bahan baku} &= \text{Total harga KCl} + \text{Total harga H}_2\text{O} \\
 &= \text{Rp}17.323,54 + \text{Rp}0,00 \\
 &= \text{Rp}17.323,54
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total harga produk} &= \text{Total harga KOH} + \text{Total harga Cl}_2 + \text{Total harga H}_2 \\
 &= \text{Rp}19.000,00 + \text{Rp}0,00 + \text{Rp}0,00 \\
 &= \text{Rp}19.000,00
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Keuntungan} &= \text{total harga produk} - \text{total harga bahan baku} \\
 &= \text{Rp}19.000,00 - \text{Rp}17.323,54 \\
 &= \text{Rp}1.676,46
 \end{aligned}$$

### 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 ( $\Delta H$ ) dan perubahan energi bebas gibbs ( $\Delta G$ ) pada

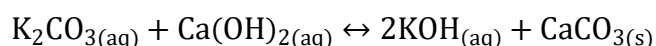
suatu reaksi, dalam hal ini yaitu reaksi pembentukan kalium hidroksida (Hapsari & Cahyana, 2018).

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  | $\Delta H_f^0$ (kJ/mol) | $\Delta G_f^0$ (kJ/mol) |
|--------------------------------|-------|-------------------------|-------------------------|
| Ca(OH) <sub>2</sub>            | Padat | -986,1688               | -898,514                |
| CaCO <sub>3</sub>              | Padat | -1.206,91664            | -1.128,8432             |
| K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | 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) <sub>2</sub> <sup>a)</sup>            | 130,8253 | -82,6922 | 122,769  | -50,3921  | -2,513146 |
| CaCO <sub>3</sub> <sup>b)</sup>              | 12,572   | 0,002637 | 0        | -312.000  | 0         |
| K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> <sup>a)</sup> | 97,08093 | 94,22326 | -2,05329 | 0,709644  | -0,94786  |
| KOH <sup>a)</sup>                            | 80,78258 | -112,233 | 301,1543 | -147,9923 | -0,468867 |

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

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

<sup>b)</sup> 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  $\Delta H$

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 <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | -1 | $97,08093 + [94,22326\left(\frac{378,15}{1000}\right)] + [-2,05329\left(\frac{378,15}{1000}\right)^2]$<br>$+ [0,709644\left(\frac{378,15}{1000}\right)^3] + \frac{-0,94786}{\left(\frac{378,15}{1000}\right)^2}$   | 125,8277                 |
| Ca(OH) <sub>2</sub>            | -1 | $130,8253 + (-82,6922\left(\frac{378,15}{1000}\right)) + 122,769\left(\frac{378,15}{1000}\right)^2$<br>$+ (-50,3921\left(\frac{378,15}{1000}\right)^3) + \frac{-2,513146}{\left(\frac{378,15}{1000}\right)^2}$     | 96,81122                 |
| KOH                            | 2  | $80,78258 + [-112,233\left(\frac{378,15}{1000}\right)] + [301,1543\left(\frac{378,15}{1000}\right)^2]$<br>$+ [-147,9923\left(\frac{378,15}{1000}\right)^3] + \frac{-0,468867}{\left(\frac{378,15}{1000}\right)^2}$ | 140,2491                 |
| CaCO <sub>3</sub>              | 1  | $8,314 [12,572 + 0,002637(378,15) + (-312.000(378,15)^{-2})]$  | 94,67421                 |

Sehingga diperoleh:

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

$$= (v_{K_2CO_3} C_{p_{K_2CO_3}}) + (v_{Ca(OH)_2} C_{p_{Ca(OH)_2}}) + (v_{KOH} C_{p_{KOH}})$$

$$+ (v_{CaCO_3} C_{p_{CaCO_3}})$$

$$= (-1 \times 125,8277 \text{ J/mol.K}) + (-1 \times 96,81122 \text{ J/mol.K})$$

$$+ (2 \times 140,2491 \text{ J/mol.K}) + (1 \times 94,67421 \text{ J/mol.K})$$

$$= 12,2844 \text{ J/mol.K}$$

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

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

$$= 78.721,4699 \text{ J/mol}$$

- Menghitung  $\Delta G$

Dengan konstanta kesetimbangan pada kondisi standar diperoleh:

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

$$= e^{-\frac{75.939,6 \text{ J/mol}}{8,314 \text{ J/mol.K} \cdot 298,15 \text{ K}}}$$

$$= 4,9570 \cdot 10^{-14}$$

Maka, konstanta kesetimbangan pada kondisi operasi dapat diperoleh:

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} K_{c2} &= \frac{4,9570 \cdot 10^{-14}}{0,0013} \\ &= 3,813 \cdot 10^{-11} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta G &= \Delta G^0 + RT \ln K_c \quad (\text{Bird, 1987}) \\ &= 75.939,6 \text{ J/mol} + (8,314 \text{ J/mol.K} \cdot 378,15 \text{ K} \cdot \ln 3,813 \cdot 10^{-11}) \\ &= 516,4389 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Keterangan:

$\Delta G^0$  = energi bebas gibbs reaksi standar (J/mol)

$\Delta G$  = energi bebas gibbs reaksi (J/mol)

$\Delta G_f^0$  = energi bebas gibbs pembentukan standar (kJ/mol)

$\Delta H^0$  = entalpi reaksi standar (J/mol)

$\Delta H$  = entalpi reaksi (J/mol)

$\Delta H_f^0$  = entalpi pembentukan molar standar (kJ/mol).

T = suhu (K)

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

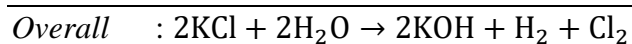
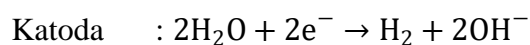
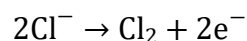
$K_c$  = konstanta kesetimbangan

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 ( $\nu_i$ ) | $\Delta H_f^0$ (kJ/kmol) |
|------------------|------------------------------|--------------------------|
| KCl              | 2                            | -436.809,6               |
| H <sub>2</sub> O | 2                            | -285.850,88              |
| KOH              | 2                            | -424.759,68              |
| H <sub>2</sub>   | 1                            | 0                        |
| Cl <sub>2</sub>  | 1                            | 0                        |

Sumber: Patnaik (2003).

**Tabel 2.9** Kapasitas panas komponen cair

| Komponen                        | A       | B                      | C                      | D                      |
|---------------------------------|---------|------------------------|------------------------|------------------------|
| KCl <sub>(l)</sub>              | 188,929 | $-1,9 \times 10^{-1}$  | $8,79 \times 10^{-5}$  | $-8,91 \times 10^{-9}$ |
| H <sub>2</sub> O <sub>(l)</sub> | 92,053  | $-4,00 \times 10^{-2}$ | $-2,11 \times 10^{-4}$ | $5,35 \times 10^{-7}$  |
| KOH <sub>(l)</sub>              | 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 <sub>2(g)</sub> | 27,213 | $3,98 \times 10^{-2}$ | $-3,34 \times 10^{-5}$ | $1,6 \times 10^{-8}$  | $-2,7 \times 10^{-12}$  |
| H <sub>2(g)</sub>  | 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 ( $T = 298,15 \text{ K}$ )

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

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

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

$\Delta H^0$  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  $\Delta G$

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$= -2,6780V$$

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

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

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

- Menghitung  $\Delta H$

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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub>   | 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 <sub>2</sub>  | 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:

$$\begin{aligned}\Delta C_p &= \sum_i v_i C_{p_i} && \text{(Smith et al., 2001)} \\ &= (v_{\text{KCl}} C_{p_{\text{KCl}}}) + (v_{\text{H}_2\text{O}} C_{p_{\text{H}_2\text{O}}}) + (v_{\text{KOH}} C_{p_{\text{KOH}}}) + (v_{\text{H}_2} C_{p_{\text{H}_2}}) \\ &\quad + (v_{\text{Cl}_2} C_{p_{\text{Cl}_2}}) \\ &= (-2 \times 131,0959 \text{ J/mol.K}) + (-2 \times 75,3227 \text{ J/mol.K}) \\ &\quad + (2 \times 81,2475 \text{ J/mol.K}) + (1 \times 37,9810 \text{ J/mol.K}) \\ &\quad + (1 \times 29,3374 \text{ J/mol.K}) \\ &= -183,0237 \text{ J/mol.K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H &= \Delta H^0 + \Delta C_p (T - T_0) && \text{(Smith et al., 2001)} \\ &= 297.900,8 \text{ J/mol} + [-183,0237 \text{ J/mol.K} \times (363,15 \text{ K} - 298,15 \text{ K})] \\ &= 286.004,2595 \text{ J/mol}\end{aligned}$$

Keterangan:

|                       |  |
|-----------------------|--|
| $\Delta G^0$          | = energi bebas gibbs reaksi standar (J/mol)    |
| $\Delta G$            | = energi bebas gibbs reaksi (J/mol)            |
| $\Delta H^0$          | = entalpi reaksi standar (J/mol)               |
| $\Delta H$            | = entalpi reaksi (J/mol)                       |
| $\Delta H_f^0$        | = 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)                            |
| $E_{\text{Anoda}}^0$  | = potensial sel standar pada anoda (V)         |
| $E_{\text{Katoda}}^0$ | = potensial sel standar pada katoda (V)        |
| R                     | = tetapan gas ideal (8,314 J/mol.K)            |
| $K_{\text{eq}}$       | = 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 <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> dan Ca(OH) <sub>2</sub>          | KCl dan H <sub>2</sub> O.                                       |
| Proses          | Pelarutan dan pengendapan                                       | Pemisahan dan Elektrolisis                                      |
| Produk Samping  | CaCO <sub>3</sub>   | H <sub>2</sub> dan Cl <sub>2</sub>                              |
| 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%, MgCl<sub>2</sub> 0,80%, CaCl<sub>2</sub> 0,07%, H<sub>2</sub>O 2,13%) (Timuraya, 2013), sedangkan air diperoleh dari aliran Sungai Citarum dengan debit air rata-rata harian sebesar 78,74 m<sup>3</sup>/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.

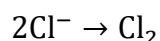
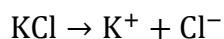
Bahan baku kalium klorida yang berfasa padat disimpan di gudang penyimpanan kemudian dengan menggunakan *screw conveyor* dan *bucket elevator* dibawa menuju *mixing tank* untuk dilarutkan dengan air hingga kelarutan kalium mencapai 315 g/1000 ml H<sub>2</sub>O (Brinkmann et al., 2014). *Mixing tank* 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 H<sub>2</sub>O 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

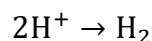
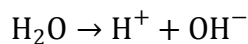
Reaksi pembentukan KOH berlangsung dalam reaktor elektrolisis. Bahan baku kalium klorida diumpankan ke dalam reaktor bagian anoda dan air diumpankan pada bagian katoda yang kemudian dikontakkan dengan listrik. Reaktor yang digunakan menggunakan tipe *cell membrane*, yang berfungsi agar ion H<sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup> 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<sup>+</sup> untuk melewatinya. Pemakaian ini dimaksudkan untuk mencegah ion Cl<sup>-</sup> untuk ikut menyebrang ke katoda ataupun ion OH<sup>-</sup> 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 dipisahkan hingga kelarutan kalium hidroksida 178g/100g H<sub>2</sub>O (Ullmann's, 2005). Tipe evaporator yang digunakan adalah evaporator *shell and tube*. Setelah keluar dari evaporator larutan kalium hidroksida dialirkan menggunakan pompa menuju *crystallizer* yang berfungsi untuk pembentukan kristal kalium hidroksida. *Crystallizer* 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)<sup>1)</sup>
- Berat molekul : 74,55 gram/mol<sup>2)</sup>
- Titik lebur : 772°C<sup>1)</sup>
- Titik didih : 1413°C pada 1,013 kPa<sup>1)</sup>
- Kelarutan dalam air : 34,7 gram/100 gram H<sub>2</sub>O pada 20°C<sup>1)</sup>,  
35,5 gram/100 gram H<sub>2</sub>O pada 25°C<sup>2)</sup>
- Densitas : 1,98 g/cm<sup>3</sup> pada 20°C<sup>1)</sup>
- Sifat bahan : korosif dan toksisitas<sup>2)</sup>

Sumber: <sup>1)</sup>Timuraya (2013),

<sup>2)</sup>PubChem(2021).

##### B. Air Demineralisasi (H<sub>2</sub>O)

- 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/cm<sup>3</sup> pada 20°C

Sumber: Safety Data Sheet (2019).

### 3.2 Spesifikasi Produk

#### A. Kalium Hidroksida (KOH)

- Wujud : Padat<sup>1)</sup>
- Berat molekul : 56,11 gram/mol<sup>1)</sup>
- Titik lebur : 380 – 406°C<sup>1)</sup>
- Tekanan Uap : 60mmHg pada 1.013°C<sup>1)</sup>
- Kelarutan dalam air : 121 g/100 g H<sub>2</sub>O pada 25°C<sup>1)</sup>  
126 g/100g H<sub>2</sub>O pada 30°C<sup>2)</sup>  
178 g/100g H<sub>2</sub>O pada suhu 100°C<sup>2)</sup>
- Densitas : 2,044 g/cm<sup>3</sup> pada 20°C<sup>2)</sup>
- Sifat bahan : korosif, higroskopis, mudah terbakar, dan toksisitas<sup>2)</sup>

Sumber: <sup>1)</sup>Occidental Chemical Corporation (2021),

<sup>2)</sup>PubChem (2021).

#### B. Hidrogen (H<sub>2</sub>)

- 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 (Cl<sub>2</sub>)

- 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/ft<sup>3</sup>
- 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 (KOH) dari Kalium Klorida (KCl) dengan Proses Elektrolisis Kapasitas 30.000 Ton/Tahun dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sesudah pajak sebesar 44,14%.
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak 1,85 tahun.
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 29,03% dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 16,51%, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti memproduksi karena merugi.
4. *Discounted Cash Flow Rate of Return* (DCF) sebesar 45,07%, 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 (KOH) dari Kalium Klorida (KCl) 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=2ahUKEwjT7bm1yZL1AhVe6XMBHVThDYgQFnoECC8QAQ&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](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](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., Kusnayat, 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](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* (4<sup>th</sup> 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* (5<sup>th</sup> 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* (5<sup>th</sup> ed.). Oxford: Butterworth Heinemann.
- Coulson, J. M., Richardson, J. F., & Sinnott, R. K. (2005). *Chemical Engineering Volume 6: Chemical Engineering Design* (4<sup>th</sup> 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](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* (12<sup>th</sup> 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 Kementerian 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+Kementerian+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](https://www.engineeringtoolbox.com/water-liquid-gas-thermal-conductivity-temperature-pressure-d_2012.html)
- Geankolpis, C. J. (1993). *Transport Process and Unit Operation* (3<sup>rd</sup> 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., Hulthen, 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 M<sup>3</sup> (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* (7<sup>th</sup> 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=Fungsi%20Discounted%20Cash%20Flow%20Secara%20garis%20besar%2C%20fungsi,diskonto%2C%20dan%20menyesuaikan%20den%20gan%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* (4<sup>th</sup> 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"* (3<sup>rd</sup> 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* (5<sup>th</sup> 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* (4<sup>th</sup> 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* (7<sup>th</sup> 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* (4<sup>th</sup> 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#](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=2ahUKEwibwPfrtJL1AhVCR2wGHXjpCBEQFn\\_oECAsQAQ&usg=AOvVaw3mhO5qFkFkna5C1BMwTAw7](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=2ahUKEwibwPfrtJL1AhVCR2wGHXjpCBEQFn_oECAsQAQ&usg=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](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\\_t\\_ypr\\_TTAAR](https://www.academia.edu/11346602/Bahan_Penyusun_Pompa_Sentrifugal_t_ypr_TTAAR)
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2001). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics* (6<sup>th</sup> 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 Cl<sub>2</sub> & 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.tyox-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* (7<sup>th</sup> 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](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 Proses 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>