

**PRARANCANGAN PABRIK ALUMINIUM OKSIDA DARI
BAUKSIT DAN NATRIUM HIDROKSIDA DENGAN
KAPASITAS 450.000 TON/TAHUN
Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201)**

(Skripsi)

**Oleh
Rizky Putri Wahyuningsih
(2115041023)**



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**PRARANCANGAN PABRIK ALUMINIUM OKSIDA DARI
BAUKSIT DAN NATRIUM HIDROKSIDA DENGAN
KAPASITAS 450.000 TON/TAHUN**

Tugas Khusus Perancangan Reaktor (RE-201)

Oleh

Rizky Putri Wahyuningsih

(2115041023)

(Skripsi)

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

ABSTRACT

MANUFACTURING OF ALUMINIUM OXIDE FROM BAUKSIT AND NATRIUM HIDROXIDE WITH CAPACITY 450.000 TONS/YEARR (Design of Reactor (RE-201))

By

RIZKY PUTRI WAHYUNINGSIH

Aluminum oxide is an important chemical compound widely used as a raw material for aluminum production, with approximately 10% utilized in the chemical industry, such as for catalysts and adsorbents. Aluminum oxide is generally produced from the reaction between aluminum trihydrate and sodium hydroxide. The increasing demand for aluminum oxide both domestically and internationally, so the opportunity to establish an aluminum chloride factory has good prospects. Provision of factory utilities in the form of water processing and supply systems as well as air and instrumentation supplies. The production capacity of the aluminum oxide factory is planned at 450.000 tons/year with 330 working days in 1 year. The factory location is planned to be established in Sanggau, West Kalimantan. The workforce required is 136 people in the form of a Limited Liability Company (PT) with a line and staff organizational structure.

From the economic analysis are obtained:

<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI) = Rp 3.366.608.398.207
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI) = Rp 841.652.099.552
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI) = Rp 4.208.260.497.759
<i>Break Even Point</i>	(BEP) = 35,84%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP) = 20%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b = 1,90 tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a = 2,34 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b = 34,11%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a = 27%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF) = 27%

Based on the results of the analysis above, the establishment of this aluminum oxide factory is worthy of further study, because it is a factory that is profitable from an economic perspective and has relatively good prospects.

ABSTRAK

PRARANCANGAN PABRIK ALUMINIUM OKSIDA DARI BAUKSIT DAN NATRIUM HIDROKSIDA DENGAN KAPASITAS 450.000 TON/TAHUN (Perancangan Reaktor (RE-201))

Oleh

RIZKY PUTRI WAHYUNINGSIH

Aluminium oksida merupakan senyawa kimia penting yang banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan aluminium dan sekitar 10% digunakan dalam industri kimia, seperti sebagai katalis dan adsorben. Aluminium oksida umumnya dihasilkan dari reaksi antara aluminium trihidrat dengan natrium hidroksida. Penyediaan kebutuhan aluminium oksida dalam negeri dan luar negeri yang semakin meningkat, sehingga peluang untuk didirikannya pabrik aluminium oksida memiliki prospek yang bagus. Penyediaan utilitas pabrik berupa sistem pengolahan dan penyediaan air serta penyedia udara dan instrumentasi. Kapasitas produksi pabrik aluminium oksida direncanakan sebesar 450.000 ton/tahun dengan 330 hari kerja dalam 1 tahun. Lokasi pabrik direncanakan didirikan di Sanggau, Kalimantan Barat. Tenaga kerja yang dibutuhkan sebanyak 184 orang dengan bentuk badan usaha Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi *line* dan *staff*.

Dari analisis ekonomi diperoleh:

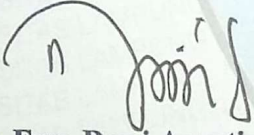
<i>Fixed Capital Investment</i>	(FCI) = Rp 3.366.608.398.207
<i>Working Capital Investment</i>	(WCI) = Rp 841.652.099.552
<i>Total Capital Investment</i>	(TCI) = Rp 4.208.260.497.759
<i>Break Even Point</i>	(BEP) = 35,84%
<i>Shut Down Point</i>	(SDP) = 20%
<i>Pay Out Time before taxes</i>	(POT) _b = 1,90 tahun
<i>Pay Out Time after taxes</i>	(POT) _a = 2,34 tahun
<i>Return on Investment before taxes</i>	(ROI) _b = 34,11%
<i>Return on Investment after taxes</i>	(ROI) _a = 27%
<i>Discounted cash flow</i>	(DCF) = 27%

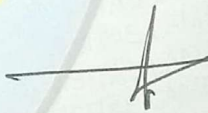
Berdasarkan hasil analisis diatas, maka pendirian pabrik aluminium oksida ini layak untuk dikaji lebih lanjut, karena merupakan pabrik yang menguntungkan dari sisi ekonomi dan mempunyai prospek yang relatif baik.

Judul Skripsi : **PRARANCANGAN PABRIK ALUMINIUM
OKSIDA DARI BAUKSIT DAN NATRIUM
HIDROKSIDA DENGAN KAPASITAS
450.000 TON/TAHUN
(Perancangan Reaktor (RE-201))**

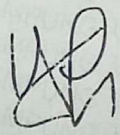
Nama Mahasiswa : Rizky Putri Wahyuningsih
No. Pokok Mahasiswa : 2115041023
Jurusan : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI
Komisi Pembimbing


Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T.
NIP. 197208252000032001


Donny Lesmana, S.T., M.Sc.
NIP. 198410082008121003

Ketua Jurusan Teknik Kimia

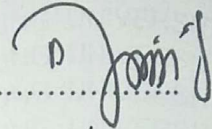

Yuli Darni, S.T., M.T.
NIP. 197407122000032001

MENGESAHKAN

Tim Penguji

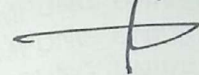
Ketua

: **Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T.**



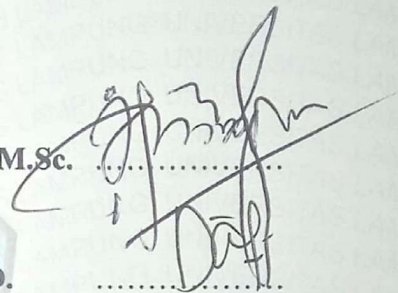
Sekretaris

: **Donny Lesmana, S.T., M.Sc.**



Penguji

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



Bukan Pembimbing II : **Darmansyah, S.T., M.T., Ph.D.**

Dekan Fakultas Teknik



Dr. H. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 8 Januari 2026

PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 20 Januari 2026



Rizky Putri Wahyuningsih

NPM. 2115041023

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Jakarta, anak kedua dari lima bersaudara dari Bapak Marino dan Ibu Sugiarti. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari Pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) Gajah Mada (2008-2009), SDN 1 Kampung Baru (2009-2015), SMPN 22 Bandar Lampung (2015-2018) dan menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 9 Bandar Lampung (2018-2021).

Pada tahun 2021, penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Semen Baturaja Persero Tbk., Sumatera Selatan, dengan tugas khusus “Evaluasi Kinerja Vertical Roller Coal Mill” serta menjalankan penelitian yang berjudul “Pengaruh Penambahan Kulit Pisang atau Batang Pisang Terhadap Kualitas Pupuk Organik Cair dari Bioslurry Cair Luaran Digester Biogas, Urine Sapi, dan Nira Kelapa selama kurang lebih 1 tahun di Laboratorium Teknik Reaksi dan Separasi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi antara lain sebagai Kepala Departemen Dana dan Usaha Himatemia FT Unila Periode 2022-2023, Staff Departemen Akademi dan Riset FOSSI-FT Periode 2022-2023, Staff Kementerian Aksi dan Propaganda Periode 2022-2023, dan Staff Bisnis dan Kemitraan Birohmah Periode 2021-2022.

Motto dan Persembahan

"Sesungguhnya Allah tidak akan merubah nasib suatu kaum kecuali kaum itu
sendiri yang mengubah nasibnya"
(QS. Ar-Ra'd Ayat 11)

"Jika orang lain bisa, mengapa aku tidak"
(Anonim)

Sebuah Karya

Dengan sepenuh hati kupersembahkan tugas akhir ini kepada:

Allah SWT

Hanya dengan berkat Rahmat dan Ridho-nya aku dapat menyelesaikan karyaku ini dan mampu bertahan selama ini.

Kedua Orang Tuaku

Terima kasih atas segala doa, kasih sayang, pengorbanan, keikhlasan serta kesabarannya. Terimakasih untuk tidak menyerah dan terus mendukungku selama ini.

Kakak dan adikku

Terimakasih atas dukungan, doa dan motivasinya selama ini.

Sahabat-sahabatku,

Terimakasih atas dukungan, doa, bantuan dan ketulusannya selama ini.

Para Pengajar sebagai tanda hormatku,

Terima kasih atas ilmu yang telah diberikan selama ini baik itu berupa ilmu keteknikkimiaan maupun ilmu kehidupan yang tentunya sangat berguna dan bermanfaat.

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

SANWACANA

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “Prarancangan Pabrik Aluminium Oksida dari Bauksit dan Natrium Hidroksida dengan Kapasitas 450.000 ton/tahun” ini dapat diselesaikan dengan baik.

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

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

1. Ibu Yuli Darni, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Lampung yang telah memberikan motivasi serta senantiasa mengingatkan dalam penyelesaian tugas akhir.
2. Ibu Dr. Eng. Dewi Agustina I, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
3. Bapak Donny Lesmana, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan dan motivasinya dalam penyelesaian tugas akhir. Semoga ilmu yang diberikan dapat berguna di kemudian hari.
4. Prof. Dr. Joni Agustian, S.T., M.Sc dan Bapak Darmansyah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Peguji I dan Dosen Penguji II yang telah memberikan saran dan kritiknya dalam penyelesaian tugas akhir, serta terima kasih telah mengaktifkan logika berfikir terhadap tugas akhir yang dikerjakan dan memberikan kemudahan untuk menyelesaikan studi di Teknik Kimia Universitas Lampung.
5. Bapak Taharuddin, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi dan semangat selama masa kuliah.

6. Ibu Dr. Sri Ismiyati, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing penelitian dan kerja praktik atas bimbingan dan masukannya dalam pelaksanaan penelitian sampai penyusunan laporan, serta sudah memberikan banyak ilmu dalam hal berpikir dalam menyelesaikan suatu masalah.
7. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Lampung yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis.
8. Kedua orang tua saya yang selalu berusaha memberikan yang terbaik untuk saya dan selalu sabar sehingga saya bisa menjadi seorang Sarjana.
9. Prima Koja Pratama terimakasih saya ucapkan sudah menjadi partner Tugas Akhir yang sangat baik, memberikan dukungan serta motivasi, dan menemani perjalanan selama di Teknik Kimia ini.
10. Dita, Mutia, Salsa, dan Rani yang sudah membantu dan memberikan dukungan selama perkuliahan.
11. Teman-teman Firdaus Squad yang sudah menjadi teman seperjuangan sekaligus keluarga selama perkuliahan di Teknik Kimia.
12. Teman-teman Teknik Kimia 2021 Universitas Lampung.

Semoga Allah SWT. Membalas semua kebaikan kalian dengan yang lebih baik dan semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Aamiin

Bandar Lampung, 21 Januari 2026

Penulis

Rizky Putri Wahyuningsih

NPM. 2115041023

DAFTAR ISI

ABSTRACT	i
ABSTRAK	iii
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
SANWACANA	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik.....	1
1.2 Kegunaan Produk	3
1.3 Ketersediaan Bahan Baku	3
1.4 Perancangan Kapasitas Produksi.....	3
1.5 Lokasi Pabrik	7
BAB II PEMILIHAN DAN URAIAN PROSES	
2.1 Alumina	9
2.2. Pemilihan Proses	13
2.3. Uraian Singkat.....	24
BAB III SPESIFIKASI BAHAN	
3.1. Bahan Baku.....	28
3.2. Produk.....	29
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	
4.1 Neraca Massa	31
4.2 Neraca Energi.....	42
BAB V SPESIFIKASI ALAT PROSES	
5.1. Spesifikasi Peralatan Proses	47
5.2. Spesifikasi Peralatan Utilitas	67

BAB VI UTILITAS DAN PENGOLAHAN LIMBAH

6.1. Unit Penyedia Air.....	85
6.2. Unit Penyedia Steam	93
6.3. Unit Pembangkit Tenaga Listrik	94
6.4. Unit Penyedia Bahan Bakar	94
6.5. Unit Penyedia Udara Tekan	96
6.6. Unit Pengolahan Limbah.....	96
6.7. Unit Laboratorium.....	98

BAB VII TATA LETAK PABRIK

7.1 Lokasi Pabrik	101
7.2 Tata Letak Pabrik	102
7.3 Tata Letak Peralatan Proses	107

BAB VIII SISTEM MANAJEMEN DAN ORGANISASI PERUSAHAAN

8.1 Bentuk Perusahaan	109
8.2 Struktur Organisasi Perusahaan.....	111
8.3 Tugas dan Wewenang	114
8.4 Status Karyawan dan Sistem Penggajian.....	121
8.5 Pembagian Jam Kerja Karyawan.....	122
8.6 Jumlah Tenaga Kerja.....	125
8.7 Kesejahteraan Karyawan	128
8.8 Manajemen Produksi.....	133

BAB IX INVESTASI DAN EVALUASI EKONOMI

9.1. Investasi	137
9.2. Evaluasi Ekonomi	141
9.3. Discounted Cash Flow (DCF)	144

BAB X SIMPULAN DAN SARAN

10.1 Simpulan	145
10.2 Saran	145

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. 1 Impor Aluminium Oksida	4
Tabel 1. 2 Ekspor Aluminium Oksida.....	5
Tabel 1. 3 Data Negara Pengimpor Terbesar Alumina dari Indonesia	6
Tabel 1. 4 Data Kapasitas Produksi Alumina yang telah berdiri di Indonesia	6
Tabel 1. 5 Data Konsumsi Alumina di Indonesia	6
Tabel 2. 1 Energi gibbs pembentukan dan panas pembentukan standar	18
Tabel 2. 2 Perbandingan Proses	23
Tabel 4. 1 Neraca Massa pada <i>Solution Tank</i> (ST-101).....	32
Tabel 4. 2 Neraca Massa pada <i>Ball Mill</i> (BM-101).....	32
Tabel 4. 3 Neraca Massa pada <i>Reactor</i> (RE-201).....	33
Tabel 4. 49 Neraca Energi pada <i>Evaporator effect 2</i> (EV-501)	45
Tabel 5.1. 1 Spesifikasi <i>Hopper</i> NaOH (HP-101).....	47
Tabel 5.1. 2 Spesifikasi <i>Solution Tank</i> (ST-101).....	48
Tabel 5.1. 3 Spesifikasi <i>Ball Mill</i> (BM-101).....	48
Tabel 5.1. 4 Spesifikasi <i>Hopper</i> Bauksit (HP-201)	49
Tabel 5.1. 5 Spesifikasi <i>Reactor</i> (RE-201)	50
Tabel 5.1. 6 Spesifikasi <i>Blow Off Tank</i> (BT-201).....	51
Tabel 5.1. 7 Spesifikasi <i>Cooler</i> (CO-301)	51
Tabel 5.1. 8 Spesifikasi <i>Centrifuge</i> (CF-301)	52
Tabel 5.1. 9 Spesifikasi <i>Precipitator</i> (PR-401).....	52
Tabel 5.1. 10 Spesifikasi <i>Evaporator</i> (EV-501)	53
Tabel 5.1. 11 Spesifikasi <i>Filter Press</i> (FP-501).....	54
Tabel 5.1. 12 Spesifikasi <i>Ball Mill</i> (BM-601).....	54
Tabel 5.1. 13 Spesifikasi <i>Suspension Preheater</i> (SP-601).....	55
Tabel 5.1. 14 Spesifikasi <i>Rotary Kiln</i> (RK-601).....	55
Tabel 5.1. 15 Spesifikasi <i>Rotary Cooler</i> (RC-601).....	56

Tabel 5.1. 16 Spesifikasi <i>Ball Mill</i> (BM-602).....	57
Tabel 5.1. 17 <i>Storage Alumina</i> (S-601)	57
Tabel 5.1. 18 <i>Storage Bauksit</i> (S-102).....	58
Tabel 5.1. 19 <i>Storage NaOH</i> (S-101).....	58
Tabel 5.1. 20 Spesifikasi <i>Belt Conveyor</i> (BC-101).....	59
Tabel 5.1. 21 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-101).....	60
Tabel 5.1. 22 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-102).....	60
Tabel 5.1. 23 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-601).....	61
Tabel 5.1. 24 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-602).....	61
Tabel 5.1. 25 Spesifikasi <i>Apron Conveyor</i> (AC-601).....	62
Tabel 5.1. 26 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-101)	62
Tabel 5.1. 27 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-501)	63
Tabel 5.1. 28 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-601)	63
Tabel 5.1. 29 Spesifikasi <i>Jaw Crusher</i> (JC-101)	64
Tabel 5.1. 30 Spesifikasi <i>Truck Tambang</i>	64
Tabel 5.1. 31 Spesifikasi <i>Vibrating Screen</i> (VS-101).....	64
Tabel 5.1. 32 Spesifikasi <i>Blower Proses</i> (BL-201).....	65
Tabel 5.1. 33 Spesifikasi <i>Blower Proses</i>	65
Tabel 5.1. 34 Spesifikasi <i>Pompa Proses</i> (PP-101)	65
Tabel 5.1. 35 Spesifikasi <i>Pompa Pada Proses</i>	66
Tabel 5.2. 1 Spesifikasi <i>Bak Sedimentasi</i> (B-201).....	67
Tabel 5.2. 2 Spesifikasi <i>Clarifier</i> (CL-201).....	67
Tabel 5.2. 3 Spesifikasi <i>Sand Filter</i> (SF- 201).....	68
Tabel 5.2. 4 Spesifikasi <i>Tangki Air Filter</i> (ST-204)	69
Tabel 5.2. 5 Spesifikasi <i>Tangki Dispersant</i> (ST-202)	69
Tabel 5.2. 6 Spesifikasi <i>Tangki Inhibitor</i> (ST-203)	70
Tabel 5.2. 7 Spesifikasi <i>Cooling Tower</i> (CT-201)	70
Tabel 5.2. 8 Spesifikasi <i>Tangki Air Proses</i> (ST-204)	71
Tabel 5.2. 9 Spesifikasi <i>Cation Exchanger</i> (CE-201)	72
Tabel 5.2. 10 Spesifikasi <i>Anion Exchanger</i> (AE-201)	73

Tabel 5.2. 11 Spesifikasi Tangki NaOH (ST-205).....	73
Tabel 5.2. 12 Spesifikasi Tangki H ₂ SO ₄ (ST-205)	74
Tabel 5.2. 13 Spesifikasi Tangki <i>Hidrazin</i> (ST-206)	74
Tabel 5.2. 14 Spesifikasi <i>Deaerator</i> (DA-201).....	75
Tabel 5.2. 15 Spesifikasi Pompa Utilitas 1	76
Tabel 5.2. 16 Spesifikasi Pompa Utilitas	76
Tabel 5.2. 17 Spesifikasi <i>Boiler</i> (BO-201).....	77
Tabel 5.2. 18 Spesifikasi Tangki Bahan Bakar (ST-211)	78
Tabel 5.2. 19 Spesifikasi <i>Air Dryer</i> (AD – 301).....	78
Tabel 5.2. 20 Spesifikasi <i>Cyclone</i> (CY-301)	79
Tabel 5.2. 21 Spesifikasi <i>Blower</i> 1 (BL – 301).....	79
Tabel 5.2. 22 Spesifikasi <i>Blower</i> 2 (BL – 302).....	80
Tabel 5.2. 23 Spesifikasi <i>Blower</i> 3 (BL – 303).....	80
Tabel 5.2. 24 Spesifikasi Generator Listrik (GS-401)	81
Tabel 5.2. 25 Spesifikasi <i>Belt Conveyor</i> (BC-601).....	81
Tabel 5.2. 26 Spesifikasi <i>Ball Mill</i> (BM – 601).....	82
Tabel 5.2. 27 Spesifikasi <i>Screw Conveyor</i> (SC-101).....	82
Tabel 5.2. 28 Spesifikasi <i>Solid Storage</i> (BN-601).....	83
Tabel 5.2. 29 Spesifikasi <i>Blower</i> (BL – 601).....	84
Tabel 5.2. 30 Spesifikasi <i>Bucket Elevator</i> (BE-601)	84
Tabel 6. 1 Kebutuhan Air Umum.....	86
Tabel 6. 2 Kebutuhan Air Pendingin.....	87
Tabel 6. 3 Kebutuhan Air Pembangkit Steam.....	89
Tabel 6. 4 Kebutuhan Air Pembangkit Steam.....	95
Tabel 8. 1 Jadwal Kerja Masing-masing Regu.....	124
Tabel 8. 2 Jumlah Operator Berdasarkan Jenis Alat	125
Tabel 8. 3 Penggolongan Jumlah Tenaga Kerja.....	127
Tabel 9. 1 Total Capital Investment (TCI) Pabrik Alumina	138
Tabel 9. 2 Total Production Cost (TPC) Pabrik Alumina	140
Tabel 9. 3 Minimum Acceptable Perseent Return on Investment	141

Tabel 9. 4 Acceptable Payout Time untuk Tingkat Resiko Pabrik	142
Tabel 9. 5 Hasil Uji Kelayakan Ekonomi	144

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. 1 Kurva Regresi Linear Kebutuhan Impor Alumina di Indonesia	4
Gambar 1. 2 Kurva Regresi Linear Kebutuhan Ekspor Alumina di Indonesia.....	5
Gambar 2. 1 Struktur Kristal Alumina.....	9
Gambar 2. 2 Diagram Alir Proses Bayer	11
Gambar 2. 3 Diagram Alir Proses Acid-Clay	13
Gambar 7. 1 Peta Lokasi Pabrik.....	101
Gambar 7. 2 Tata Letak Pabrik	106
Gambar 7. 3 Tata Letak Alat Proses	108
Gambar 8. 1 Struktur organisasi perusahaan.....	113
Gambar 9. 1 Grafik Analisa Ekonomi.....	143
Gambar 9. 2 Kurva Cumulative Cash Flow (Metode Discounted Cash Flow).....	144

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Indonesia merupakan salah satu negara dengan cadangan bauksit terbesar di dunia, yang tersebar di berbagai wilayah, seperti Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, dan Riau. Bauksit sebagai bahan mentah utama untuk memproduksi berbagai produk kimia dan logam, memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi produk bernilai tambah tinggi. Namun, hingga saat ini, pemanfaatan bauksit dalam negeri masih belum optimal. Sebagian besar bauksit Indonesia diekspor dalam bentuk mentah tanpa melalui proses pengolahan dan pemurnian yang memberikan nilai tambah signifikan (ESDM, 2025).

Untuk meningkatkan daya saing mineral Indonesia di pasar global, pemerintah pada Februari 2023 mengumumkan larangan ekspor bauksit dalam bentuk mentah tidak akan terjadi lagi dan akan meningkatkan daya saing aluminium oksida dan aluminium Indonesia di dunia, sehingga membuka peluang bagi pendirian pabrik alumina dalam negeri sebagai basis produksi ekspor dan Indonesia dapat lebih dominan dalam memasok alumina dunia.

Berdasarkan data ekspor Alumina di Indonesia yang terus mengalami peningkatan dari tahun 2019 hingga 2023, dapat diperkirakan pada tahun 2030 ekspor akan meningkat signifikan hingga 1.687.222 ton/tahun dengan China, Malaysia dan India merupakan negara dengan tingkat kebutuhan Alumina yang sangat tinggi dari tahun 2019-2023. Kondisi tersebut menunjukkan peluang pasar ekspor yang sangat besar dan berkelanjutan. Dengan melihat ketersediaan bahan baku bauksit nasional, potensi pasar global, serta kebijakan hilirisasi dari pemerintah, maka pendirian pabrik ini dapat meningkatkan devisa negara sekaligus memperkuat posisi Indonesia sebagai produsen dan eksportir alumina di pasar global (WITS, 2025).

Industri pengolahan aluminium oksida secara umum dibagi menjadi 2 jenis, yaitu *smelter grade alumina* dan *chemical grade alumina*. *Smelter grade alumina* mengolah aluminium oksida menjadi bahan industri aluminium, dan industri metalurgi lainnya. *Chemical grade alumina* mengolah aluminium oksida menjadi bahan-bahan kimia, seperti pigmen pelapis titania, *absorbent*, pengolahan air minum, dan katalis pada industri petrokimia. Lebih dari 90% dari seluruh produksi aluminium oksida di dunia digunakan untuk bahan baku *smelter grade alumina*, dan 10% lainnya digunakan untuk *chemical grade alumina* (Misra, 2018).

Adapun faktor-faktor yang menjadi landasan pendirian pabrik aluminium oksida sebagai berikut:

1. Aluminium oksida sebagian besar digunakan dalam industri peleburan aluminium dan sisanya untuk produk lainnya seperti refraktori, keramik, bahan pengisi (*filler*), katalis, bahan pemurnian, *polishing* dan abrasif. Pendirian pabrik aluminium oksida di Indonesia diharapkan dapat memenuhi kebutuhan aluminium oksida di Indonesia dan dapat memenuhi kebutuhan ekspor dunia dari aluminium oksida.
2. Pada Februari 2023, pemerintah mengumumkan larangan ekspor bauksit dalam bentuk mentah dan akan meningkatkan daya saing aluminium oksida dan aluminium Indonesia di dunia, sehingga prospek produksi aluminium oksida di masa mendatang akan lebih baik.
3. Pada tahun 2023, bauksit Indonesia tercatat sekitar 7,5 milyar ton bijih, sedangkan cadangannya diperkirakan mencapai 2.777.981.035 ton. Berdasarkan data US Geological Survey (USGS) tahun 2023, Indonesia tercatat sebagai produsen bauksit ke-7 dunia dengan produksi sebesar 28 juta ton.

4. Berdasarkan data ekspor Alumina di Indonesia yang terus mengalami peningkatan dari tahun 2019 hingga 2023, dapat diperkirakan pada tahun 2030 ekspor akan meningkat signifikan hingga 1.687.222 ton/tahun.

1.2 Kegunaan Produk

1.2.1 Aluminium Oksida (Al_2O_3)

Aluminium oksida merupakan produk intermediate yang kegunaannya sangat bervariasi. Secara umum, kegunaan aluminium oksida dibagi kedalam 2 jenis:

1. *Smelter Grade Alumina*/Aluminium oksida untuk bahan metalurgi

Data menunjukkan lebih dari 90% produksi aluminium oksida digunakan untuk pembuatan aluminium. Hal ini dikarenakan merubah bauksit menjadi Alumina adalah langkah awal dalam proses pembuatan Aluminium.

2. *Chemical Grade Alumina*/Aluminium oksida untuk industri kimia

Meskipun produksi logam aluminium mengkonsumsi 90% dari semua aluminium oksida, penerapan aluminium oksida juga digunakan dalam industri kimia untuk pengisi, adsorben, katalis, keramik, komponen utama pembuatan kaca, dan refraktori. Aluminium oksida dalam industri kimia juga dapat digunakan sebagai bahan untuk mengurangi kehilangan panas pada suhu tinggi.

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Ketersediaan bahan baku sangat menunjang keberlangsungan proses produksi. Bahan baku utama untuk pembuatan aluminium oksida adalah bauksit dan NaOH. Bauksit diperoleh dari Pertambangan Mandiri di Sanggau (Kalimantan Barat). Selain itu, bahan baku lainnya yaitu Natrium Hidroksida (NaOH) yang diperoleh dari PT.Asahimas Chemical dengan kapasitas produksi 700.000 ton/tahun yang berlokasi di Cilegon, Banten.

1.4 Perancangan Kapasitas Produksi

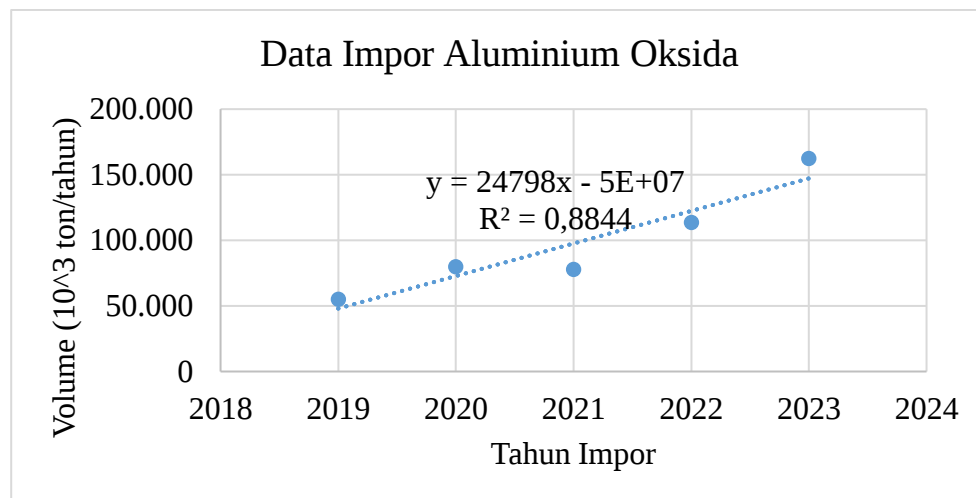
Saat ini kebutuhan aluminium oksida di pasar global masih dalam skala besar, untuk itu terdapat peluang ekonomi bagi Indonesia dalam mendirikan industri aluminium oksida sebagai pemasok alumina global. Penentuan kapasitas pabrik perlu dilakukan analisa akan konsumsi alumina, jumlah produksi, ekspor dan impor, serta ketersediaan bahan baku. Pabrik aluminium oksida direncanakan beroperasi pada tahun 2030. Perkembangan ekspor, impor dan produksi di Indonesia pada tahun 2019-2023 tersaji pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. 1 Impor Aluminium Oksida

Tahun	Volume (ton)
2019	55.001
2020	79.799
2021	77.597
2022	113.395
2023	162.193

Sumber: (WITS, 2025)

Berdasarkan data pada Tabel 1.1 diperoleh persamaan regresi linear seperti pada Gambar 1.1



Gambar 1. 1 Kurva Regresi Linear Kebutuhan Impor Alumina di Indonesia

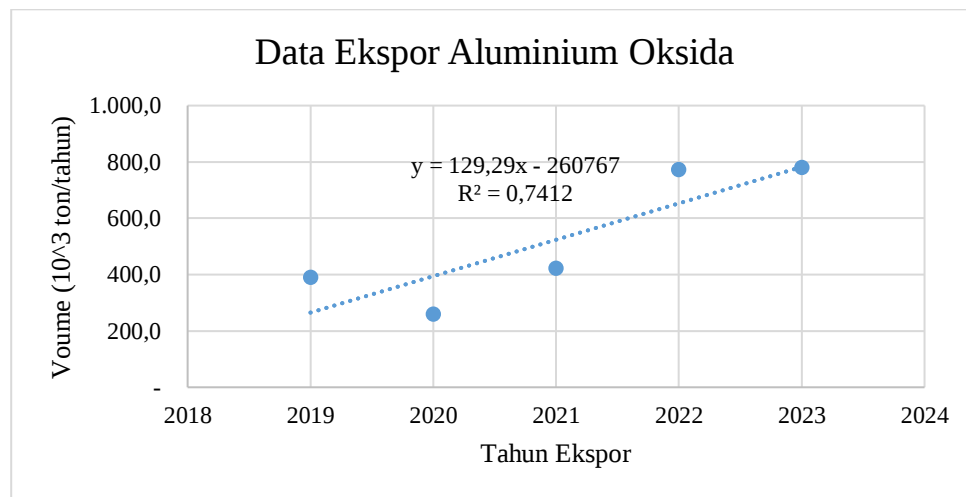
Kebutuhan impor pada tahun 2030 dapat diasumsikan berdasarkan persamaan linear yang telah diperoleh yaitu $y = 24798x - 5.10^7$ adalah 340.003 ton/tahun.

Tabel 1. 2 Ekspor Aluminium Oksida

Tahun	Volume (ton)
2019	388.396,02
2020	258.888,15
2021	420.608,23
2022	771.954,89
2023	778.302,72

Sumber: (WITS, 2025)

Berdasarkan data pada Tabel 1.2 diperoleh persamaan regresi linear seperti pada Gambar 1.2



Gambar 1. 2 Kurva Regresi Linear Kebutuhan Ekspor Alumina di Indonesia

Kebutuhan ekspor pada tahun 2030 dapat diasumsikan berdasarkan persamaan linear yang telah diperoleh yaitu $y = 129.288x - 260.767.423,13$ adalah 1.687.222 ton/tahun.

Banyak negara lain yang mengimpor alumina dari Indonesia untuk keperluan industrinya, Indonesia banyak mengeksport alumina ke negara berikut.

Tabel 1. 3 Data Negara Pengimpor Terbesar Alumina dari Indonesia

Negara	Jumlah Alumina (ton/tahun)				
	2019	2020	2021	2022	2023
China	55.238,52	46.752,10	65.501,33	90.046,53	108.351,72
India	147.644,92	125.956,41	170.991,20	371.879,26	363.898,63
Malaysia	172.988,34	76.318,67	145.944,34	158.140,82	143.401,75

Tabel 1. 4 Data Kapasitas Produksi Alumina yang telah berdiri di Indonesia

Nama Perusahaan	Lokasi	Kapasitas Produksi (Ton/tahun)
PT. Well Harvest Winning Alumina ¹	Kalimantan Barat	1.000.000

Sumber: ¹⁾ PT.WHWA, 2025

Pabrik aluminium oksida yang ada di Indonesia ada 1, dengan total produksi sebesar 1.000.000 ton/tahun.

Tabel 1. 5 Data Konsumsi Alumina di Indonesia

Nama Perusahaan	Lokasi	Konsumsi Alumina (Ton/tahun)
PT. Indonesia Asahan Aluminium (INALUM)	Sumatra Utara	550.000

Sumber: ¹⁾ PT.INALUM, 2025

Kapasitas Produksi = (Konsumsi+Ekspor) - (Impor+Produksi dalam Negeri)

= (550.000 + 1.687.222) ton/tahun – (340.003 + 1.000.000) ton/tahun

= 897.219 ton/tahun

Berdasarkan UU Nomor 5 Tahun 1999 Tentang Larangan Praktek Monopoli dan Persaingan Usaha Tidak Sehat menyebutkan, pelaku usaha menguasai lebih dari 50% pangsa pasar satu jenis barang atau jasa tertentu mengakibatkan terjadinya praktek monopoli dan atau persaingan usaha tidak sehat. Oleh karena itu, kapasitas pabrik aluminium oksida direncanakan sebesar 50% dari peluang pada tahun 2030.

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas Pabrik} &= 50\% \times 897.219 \\ &= 448.609,54 \text{ ton}\end{aligned}$$

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kapasitas pabrik aluminium oksida sebesar 450.000 ton/tahun.

1.5 Lokasi Pabrik

Lokasi pabrik merupakan salah satu faktor penting dalam pendirian suatu pabrik untuk keberlangsungan operasi pabrik. Banyak pertimbangan yang menjadi dasar dalam menentukan lokasi pabrik, antara lain: penyediaan bahan baku, pemasaran produk, fasilitas transportasi, dan utilitas. Pabrik aluminium oksida ini diproyeksikan akan didirikan di Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat dengan kantor pusat terletak di Jakarta. Jakarta merupakan pilihan strategis sebagai pusat ekspor dan impor alumina dalam dan luar negeri.

Dasar pemilihan lokasi pabrik ini bertujuan untuk mendapatkan keuntungan secara teknis dan ekonomis berdasarkan pertimbangan-pertimbangan dibawah ini:

1. Penyediaan Bahan Baku

Bahan baku merupakan kebutuhan utama bagi kelangsungan suatu pabrik sehingga bahan baku sangat diprioritaskan. Bahan baku produksi aluminium oksida, berupa bauksit direncanakan diperoleh dari proses penambangan di sekitar lokasi pabrik yang terletak di Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat, sedangkan bahan baku Natrium Hidroksida (NaOH) diperoleh dari PT. Asahimas Chemical Tbk. yang terletak di Cilegon, Banten. Letak antara pabrik

dan sumber bahan baku yang dekat diharapkan agar penyediaan bahan baku dapat tercukupi, lancar dan berkesinambungan.

2. Letak Pabrik Dengan Daerah Pemasaran

Pabrik aluminium oksida ditujukan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri maupun luar negeri. Sanggau, Kalimantan Barat merupakan daerah kawasan industri yang mempunyai posisi strategis sehingga mempunyai daerah pemasaran yang cukup baik.

3. Sarana dan Transportasi

Sanggau, Kalimantan Barat memiliki akses transportasi yang strategis untuk pemasaran karena wilayahnya yang dilintasi sungai Kapuas, yang menjadi jalur penghubung ke Pelabuhan laut.

4. Utilitas

Utilitas yang diperlukan seperti air, bahan baku, dan tenaga listrik dapat dipenuhi:

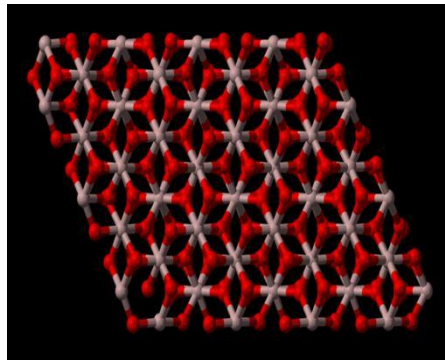
- a. Penyediaan air, diperoleh dari Sungai Kapuas.
- b. Penyediaan tenaga listrik diperoleh dari PLN Kalimantan Barat dan Generator Pabrik.
- c. Penyediaan batubara diperoleh dari PT. Bukit Asam.

BAB II

PEMILIHAN DAN URAIAN PROSES

2.1 Alumina

Alumina adalah salah satu bahan kimia dengan volume produksi terbesar di pasaran saat ini, sekitar satu juta ton diproduksi setiap tahun di negara ini dengan kemurnian 98%. Banyak dari output ini digunakan untuk produksi aluminium, tetapi jumlah yang meningkat digunakan dalam keramik, refraktori, abrasif, pelapis kertas, barang karet, pengering, katalis, obat-obatan dan banyak produk lainnya. Aluminium Oksida (alumina) merupakan senyawa kimia dengan rumus kimia Al_2O_3 . Alumina terdiri memiliki bentuk kristal seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Struktur Kristal Alumina

Proses pembuatan aluminium oksida dapat dilakukan dengan 2 proses yaitu Proses *Acid - Clay* dan Proses *Bayer*. Fasa produk yang dihasilkan dari tiap proses bisa saja sama tergantung yang diinginkan oleh pabrik. Berikut merupakan pemilihan proses untuk pembuatan aluminium oksida.

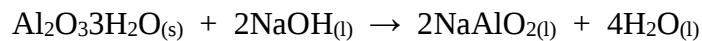
2.1.1 Proses Bayer

Proses ini merupakan hasil penelitian dari Karl Josef Bayer tahun 1888, seorang kimiawan Austria. Proses pengolahan (ekstraksi) bauksit menjadi alumina yang

digunakan di dunia sekitar 98% menggunakan proses Bayer. Pada Proses Bayer, dilakukan pencucian bijih bauksit dengan menggunakan larutan kaustik, seperti sodium hidroksida (NaOH). Pencucian ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan silika dan pengotor-pengotor lainnya dalam bauksit. Bauksit dengan kadar silika reaktif yang rendah (max. 5 %) dapat diproses menggunakan Proses Bayer. Sedangkan pada bauksit dengan kadar silika reaktif yang relatif tinggi (10–15%) harus dilakukan tahap pencucian awal untuk mengurangi kandungan silika di dalamnya (*desilication*).

Bauksit sebagai bahan baku utama dalam proses ini direaksikan dengan menggunakan larutan NaOH pada suhu 140°C.

Reaksi terjadi secara endotermis dengan persamaan reaksinya adalah:



$$(\Delta H^\circ_R = +5.231,04 \text{ kJ/mol})$$

Setelah proses digestion, slurry yang bertekanan 3,54 atm akan dialirkan menuju *blow off tank* untuk diturunkan tekanannya menjadi tekanan atmosferis 1 atm. Hasil reaksi ini berupa *slurry* yang mengandung larutan sodium aluminat dan residu kaustik, "*red mud*". *Slurry* kemudian didinginkan dan dipisahkan dari kandungan impuritis-impuritis padat yang terkandung dalam bauksit melalui tahap filtrasi ataupun klarifikasi dalam *Centrifuge*. Sementara itu sodium aluminat terus dialirkan ke dalam tangki presipitator untuk menghasilkan alumina hidrat. *Slurry* ini diperoleh dengan pengendapan lalu penyaringan. Endapan yang terbentuk selanjutnya disaring dalam alat pemisah seperti *Filter Press* dengan tujuan untuk mempercepat pemisahan antara padatan dan cairan sehingga akan dihasilkan filtrat yang terbebas dari padatan (*cake*). Sebagian filtrat NaOH keluaran *Filter Press* dipekatkan dalam *Evaporator* untuk direcycle dalam *Solution Tank*. Proses ini bertujuan untuk mengurangi *fresh feed* umpan NaOH. Hasil *cake* keluaran *Filter Press* kemudian memasuki tahap kalsinasi

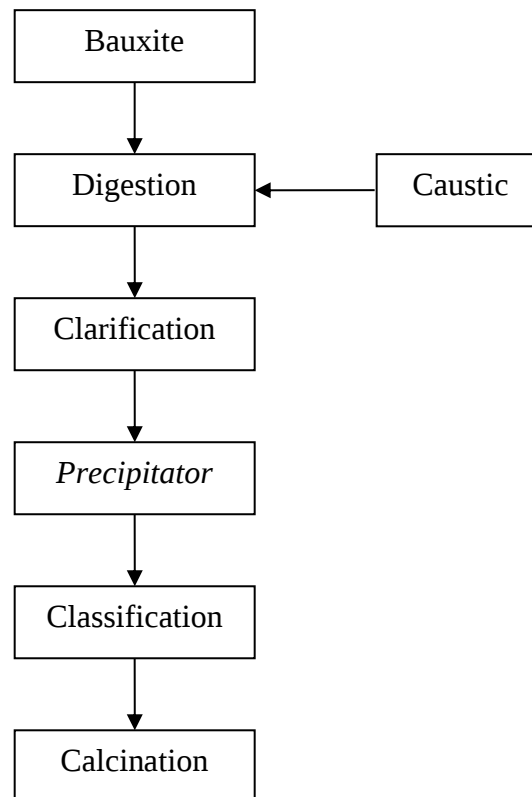
dalam *Rotary Kiln* dan didinginkan dalam *Rotary Cooler*, sehingga aluminium hidroksida akan terdekomposisi menjadi alumina pada suhu 1250°C (US. Patent No. 4.915.930).

Reaksi yang terjadi pada tahap kalsinasi adalah :



Selain terjadi reaksi pembentukan Alumina sebagai produk juga terjadi reaksi samping berupa pembentukan Na_2O dari NaOH yang terikut dalam umpan kiln.

Reaksinya adalah :

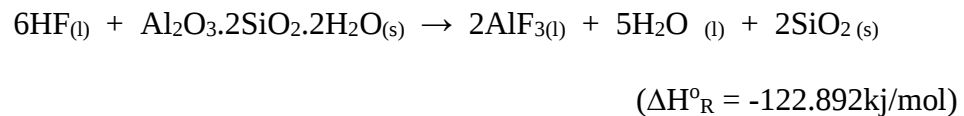


Gambar 2. 2 Diagram Alir Proses Bayer

2.1.2. Proses Acid - Clay

Tanah liat merupakan sumber bahan baku alumina yang secara praktis didapatkan dengan mudah karena ketersediaannya yang cukup banyak di alam. Proses ini dilakukan dengan cara mengekstrak alumina dari material tanah liat (*clay*) dengan kandungan alumina yang lebih rendah (30 – 40 %) dan memiliki kandungan silika yang tinggi dibandingkan bauksit. Sejak tahun 1964 sudah banyak proses yang telah dilakukan untuk mengembangkan secara komersial proses ini.

Pada proses ini biasanya tanah liat terlebih dahulu dihancurkan kemudian dibakar dengan temperatur 1200°F. Pembakaran bertujuan agar mineral-mineral yang terdapat dalam tanah liat dapat dilarutkan dengan garam asam. Asam-asam inorganik yang biasa digunakan pada proses ini adalah HF ataupun H_2SiF_6 (*acid-fluorocilid*). Clay yang telah dibakar kemudian direaksikan dengan asam dalam digester dengan persamaan reaksi:

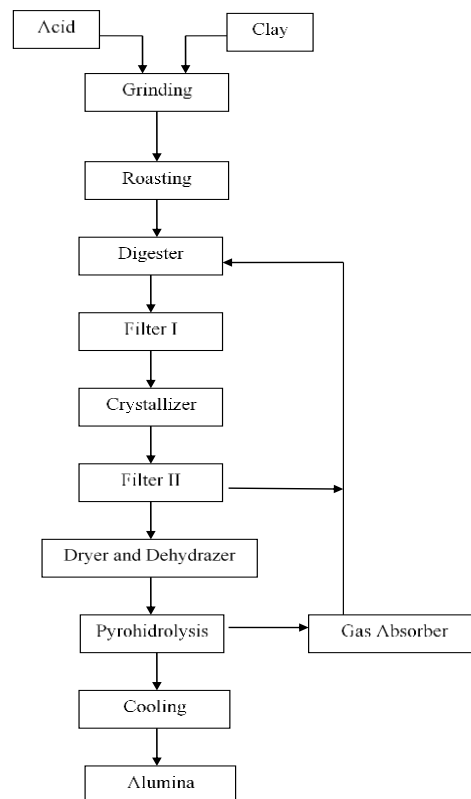
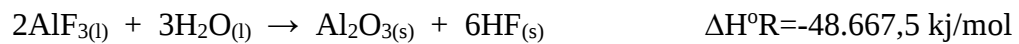


Reaksi antara *clay* dan larutan asam terjadi pada temperatur *boiling point* campuran antara 180-210°F dengan tekanan atmosferis. Reaksi pada proses ini menghasilkan yield sebesar 90%. Reaksi bersifat eksotermis. Residu silika beserta garam-garam mineral dan besi pada proses dipisahkan dengan cara filtrasi. Filtrat AlF_3 kemudian dikirim ke *crystallizer* untuk membentuk AlF_3 sebagai kristal hidrat dengan rumus molekulnya adalah $\text{AlF}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Proses terjadi pada tekanan atmosferis dengan temperatur 140-212°F dan waktu tinggal 2-6 jam. Proses ini menghasilkan yield 70-90%. Slurry kristalisasi kemudian dikirim ke dalam filter kedua dimana $\text{AlF}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ *crystal* kemudian dipisahkan dengan larutan induknya. AlF_3 yang masih terdapat dalam larutan induk diambil kembali dengan cara diabsorb menggunakan aliran “*fresh water*” kemudian keluarannya di *recycle* ulang ke dalam digester untuk meningkatkan kadar AlF_3

dalam digester. Kristal dari *crystallizer* dikirim ke dalam oven dryer untuk mengeringkan kristal.

Pirohidrolisis terjadi pada temperatur 800-1370°C dimana AlF_3 dikontakkan dengan steam panas yang menyuplai jumlah panas yang dibutuhkan dalam proses. Produk alumina kemudian didinginkan dan siap digunakan (US. Patent No. 3.961.030).

Reaksinya adalah:



Gambar 2. 3 Diagram Alir Proses Acid-Clay

2.2. Pemilihan Proses

Dalam pemilihan proses dipertimbangkan beberapa faktor seperti bahan baku yang digunakan, suhu operasi, panas reaksi pada keadaan standar, kemurnian produk, biaya bahan baku (perhitungan ekonomi kasar) dan harga pembuatan alumina/kg.

1. Perhitungan Ekonomi

- Perhitungan ekonomi kasar berdasarkan bahan baku yang dibutuhkan:

Proses Bayer

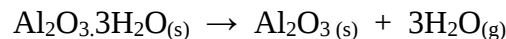
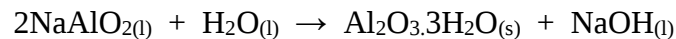
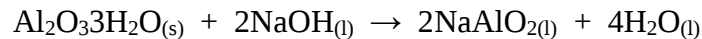
Harga bahan baku :

NaOH = Rp 3.249,47/kg (BM: 40 kg/kgmol)

Al₂O₃·3H₂O = Rp 1.299,78/kg (BM: 156 kg/kgmol)

Al₂O₃ = Rp 11.373,14/kg (BM: 102 kg/kgmol)

Reaksi:



(US. Patent No. 4.915.930)

Diketahui kapasitas produksi: 450.000.000 kg/tahun (BM Al₂O₃ = 102 kg/kgmol)

$$450.000.000 \text{ kg/thn} = \frac{450.000.000 \text{ kg/thn}}{102 \text{ kg/kgmol}} = 4.411.764,70 \text{ kgmol/thn}$$

Dari stoikiometri untuk memperoleh alumina sebesar 4.411.764,70 kgmol/thn dibutuhkan:

$$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = (1/1 \times 4.411.764,70 \text{ kgmol/thn}) : 0,7$$

$$= 6.302.521,00 \text{ kg mol/thn}$$

$$= 6.302.521,00 \text{ kgmol/thn} \times 156 \text{ kg/kgmol}$$

$$= 983.193.277,31 \text{ kg/thn}$$

$$\text{Price/year} = \text{Rp } 1.299,78/\text{kg} \times 983.193.277,31 \text{ kg/thn alumina}$$

$$= \text{Rp } 1.277.942.823.529,41/\text{thn}$$

$$\text{NaOH} = 2/1 \times 6.302.521,00 \text{ kgmol/thn}$$

$$= 12.605.042,01 \text{ kgmol/thn}$$

$$= 12.605.042,01 \text{ kgmol/thn} \times 40 \text{ kg/kgmol}$$

$$= 504.201.680,67 \text{ kg/thn}$$

$$\text{Price/year alumina} = \text{Rp } 3.249,47/\text{kg} \times 504.201.680,67 \text{ kg/thn}$$

$$= \text{Rp } 1.638.388.235.294,12/\text{thn}$$

$$\text{Total Biaya Bahan Baku} = \text{Rp } 2.916.331.058.823,53/\text{thn}$$

Harga produksi alumina dengan proses bayer:

$$\text{Alumina} = \frac{\text{Rp } 2.916.331.058.823,53 / \text{thn}}{450.000.000 \text{ kg/thn}} = \text{Rp } 6.480,73/\text{kg}$$

$$\text{Jadi, harga produksi alumina} = \text{Rp } 6.480,73/\text{kg}.$$

$$\text{Profit/keuntungan} = \text{harga jual produk} - \text{harga bahan baku}$$

$$= \text{Rp } 11.373,14 - \text{Rp } 6.480,73$$

$$= \text{Rp } 4.892,40/\text{kg}$$

$$= \$135.504.201,68 / \text{tahun}$$

Proses Acid Clay

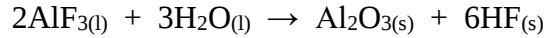
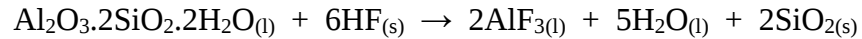
Harga bahan baku :

$$\text{HF} = \text{Rp } 2.437,10/\text{kg} \text{ (BM: } 20 \text{ kg/kgmol)}$$

$$\text{Clay} = \text{Rp } 3.086,99/\text{kg} \text{ (BM: } 180 \text{ kg/kgmol)}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{Rp } 11.373,14/\text{kg} \text{ (BM: } 102 \text{ kg/kgmol)}$$

Reaksi:



(US. Patent No. 3.961.030)

Diketahui kapasitas produksi: 450.000.000 kg/tahun (BM $\text{Al}_2\text{O}_3 = 102$ kg/kgmol)

$$450.000.000 \text{ kg/thn} = \frac{450.000.000 \text{ kg/thn}}{102 \text{ kg/kgmol}} = 4.411.764,70 \text{ kgmol/thn}$$

Dari stoikiometri untuk memperoleh alumina sebesar 4.411.764,70 kgmol/thn dibutuhkan:

$$\begin{aligned} \text{Clay} &= 1/1 \times 4.411.764,70 \text{ kgmol/thn} : 0,81 \\ &= 5.252.100,84 \text{ kgmol/thn} \\ &= 5.525.100,84 \text{ kgmol/thn} \times 180 \text{ kg/kgmol} \\ &= 945.378.151,26 \text{ kg/thn} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Price/year} &= \text{Rp } 3.086,99/\text{kg} \times 945.378.151,26 \text{ kg/thn alumina} \\ &= \text{Rp } 2.918.379.044.117,65/\text{thn} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HF} &= 6/1 \times 5.525.100,84 \text{ kgmol/thn} \\ &= 31.512.605,04 \text{ kgmol/thn} \\ &= 31.512.605,04 \text{ kgmol/thn} \times 20 \text{ kg/kgmol} \\ &= 630.252.100,84 \text{ kg/thn} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Price/year} &= \text{Rp } 2.437,10/\text{kg} \times 630.252.100,84 \text{ kg/thn alumina} \\ &= \text{Rp } 1.533.988.970.588,24/\text{thn} \end{aligned}$$

$$\text{Total Biaya Bahan Baku} = \text{Rp } 4.454.368.014.705,88/\text{thn}$$

Harga produksi alumina dengan proses acid clay:

$$\text{Alumina} = \frac{\text{Rp}3.870.692.205.882,350 / \text{thn}}{450.000.000 \text{ kg/thn}} = \text{Rp } 9.898,59/\text{kg}$$

Jadi, harga produksi alumina = Rp 9.898,59/kg.

$$\begin{aligned} \text{Profit/keuntungan} &= \text{harga jual produk} - \text{harga bahan baku} \\ &= \text{Rp } 11.373,14 - \text{Rp } 9.898,59 \\ &= \text{Rp } 1474,54/\text{kg} \\ &= \$40.840.336,13 / \text{tahun} \end{aligned}$$

- Aspek Termodinamika

Kelayakan teknik terhadap suatu reaksi biasanya ditinjau dari energi bebas gibbs (ΔG).

$$\Delta G^\circ_f \text{ Reaksi} = \Sigma \Delta G^\circ_f \text{ Produk} - \Sigma \Delta G^\circ_f \text{ Reaktan}$$

Berikut data energi bebas gibbs pembentukan (ΔG°_f) dan panas pembentukan standar (ΔH°_f) pada keadaan $T = 298 \text{ K}$:

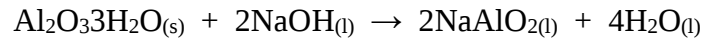
Tabel 2. 1 Energi gibbs pembentukan dan panas pembentukan standar

Komponen	ΔG°_f (kkal/mol)	ΔH°_f (kkal/mol)
$\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s})$	-1582,27	-1.675,71
$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	-237,14	-285,45
$\text{Al}_2\text{O}_3.3\text{H}_2\text{O}(\text{s})$	-2.310,12	-2.586,54
$\text{NaAlO}_2(\text{l})$	-1.069,24	-1.133,19
$\text{NaOH}(\text{l})$	-379,73	-425,93
$\text{HF}(\text{l})$	-274,64	-272,54
SiO_2	-856,44	-910,85
$\text{Al}_2\text{O}_3.2\text{SiO}_2.2\text{H}_2\text{O}$	-6.443,04	-6.820,46
AlF_3	-1.431,09	-1.510,40

Sumber: Barin, Thermochemical Data of Pure Substances (1989)

a. Reaksi menggunakan bahan baku bauksit dan natrium hidroksida

- Reaksi 1



$$\Delta H^\circ_f 298 = \Sigma \Delta H^\circ_f \text{ Produk} - \Sigma \Delta H^\circ_f \text{ Reaktan}$$

$$\Delta H^\circ_f 298 = (\Delta H^\circ_f \text{ NaAlO}_2 + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H^\circ_f \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \Delta H^\circ_f \text{ NaOH})$$

$$= (2 \times (1.133,19) + (4 \times (-285,45))) - (-2.586,54 + 2 \times (-425,93))$$

$$= +4.562,98 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_T = \Delta H_{298} + \int_{T_o}^T C_p dT$$

$$\Delta H_T = (+4.562,98) + (-21,29) (413,15 - 298,15)$$

$$\Delta H_T = +2.114,05 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta S^\circ_f 298 = \Sigma \Delta S^\circ_f \text{ Produk} - \Sigma \Delta S^\circ_f \text{ Reaktan}$$

$$\Delta S^\circ_f 298 = (\Delta S^\circ_f \text{ NaAlO}_2) + \Delta S^\circ_f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta S^\circ_f \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \Delta S^\circ_f \text{ NaOH})$$

$$= (2 \times (-1069,24) + (4 \times (-236,83))) - (-2586,54 + 2 \times (-2310,12))$$

$$= 0,16 \text{ kJ/mol}$$

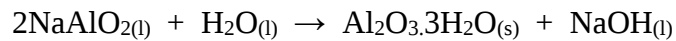
$$\Delta S_T = \Delta S_{298} + \int_{T_o}^T \Delta C_p dT / RT$$

$$\Delta S_T = 713,13 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_T = \Delta H_T - T \cdot \Delta S_T$$

$$\Delta G_T = -292.506 \text{ KJ/mol.K}$$

- Reaksi 2



$$\Delta H^\circ_f 298 = \Sigma \Delta H^\circ_f \text{ Produk} - \Sigma \Delta H^\circ_f \text{ Reaktan}$$

$$\Delta H^\circ_f 298 = (\Delta H^\circ_f \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + \Delta H^\circ_f \text{ NaOH}) - (\Delta H^\circ_f \text{ NaAlO}_2 + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O})$$

$$= (-2.586,55 + ((-851,86)) - 2 \times (2.266,39) + (-285,77))$$

$$= -4.562,98 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_T = \Delta H_{298} + \int_{T_o}^T C_p dT$$

$$\Delta H_T = (+4.562,98) + (195,06) (413,15 - 298,15)$$

$$\Delta H_T = +4.215,12 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta S^\circ_f 298 = \Sigma \Delta S^\circ_f \text{ Produk} - \Sigma \Delta S^\circ_f \text{ Reaktan}$$

$$\Delta S^\circ_f 298 = (\Delta S^\circ_f \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) + \Delta S^\circ_f \text{ NaOH}) - (\Delta S^\circ_f \text{ NaAlO}_2 + \Delta S^\circ_f \text{ H}_2\text{O})$$

$$= (-2.586,54 + ((-851,86)) - 2 \times (2.266,39) + (-285,77))$$

$$= -0,16 \text{ kJ/mol}$$

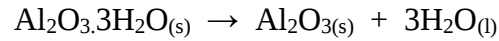
$$\Delta S_T = \Delta S_{298} + \int_{T_o}^T \Delta C_p dT / RT$$

$$\Delta S_T = 3.076,69 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_T = \Delta H_T - T \cdot \Delta S_T$$

$$\Delta G_T = -1.051.552 \text{ Kj/mol.K}$$

- Reaksi 3



$$\Delta H^\circ_f 298 = \Sigma \Delta H^\circ_f \text{ Produk} - \Sigma \Delta H^\circ_f \text{ Reaktan}$$

$$\Delta H^\circ_f 298 = (\Delta H^\circ_f \text{ Al}_2\text{O}_3 + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H^\circ_f \text{ Al}_2\text{O}_3.3\text{H}_2\text{O})$$

$$= (-1666,48 + (3 \times (-285,77))) - (-2586,55)$$

$$= +182,91 \text{ kj/mol}$$

$$\Delta H_T = \Delta H_{298} + \int_{T_o}^T C_p dT$$

$$\Delta H_T = (+182,91) + (2,45) (413,15 - 298,15)$$

$$\Delta H_T = +3.193,96 \text{ kj/mol}$$

$$\Delta S^\circ_f 298 = \Sigma \Delta S^\circ_f \text{ Produk} - \Sigma \Delta S^\circ_f \text{ Reaktan}$$

$$\Delta S^\circ_f 298 = (\Delta S^\circ_f \text{ Al}_2\text{O}_3) + \Delta S^\circ_f \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta S^\circ_f \text{ Al}_2\text{O}_3.3\text{H}_2\text{O})$$

$$= (-1666,48 + (3 \times (-285,77))) - (-2586,54)$$

$$= 0,56 \text{ kj/mol}$$

$$\Delta S_T = \Delta S_{298} + \int_{T_o}^T \Delta C_p dT / RT$$

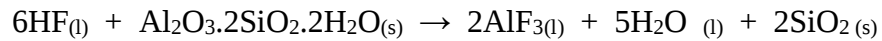
$$\Delta S_T = 238,37 \text{ kj/mol}$$

$$\Delta G_T = \Delta H_T - T \cdot \Delta S_T$$

$$\Delta G_T = -359.886 \text{ Kj/mol.K}$$

b. Reaksi menggunakan bahan baku Clay dan Asam Fluoride

- Reaksi 1



$$\Delta H^\circ_f 298 = \Sigma \Delta H^\circ_f \text{ Produk} - \Sigma \Delta H^\circ_f \text{ Reaktan}$$

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_f 298 &= (\Delta H^\circ_f \text{ AlF}_3 + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O} + \Delta H^\circ_f \text{ SiO}_2) - (\Delta H^\circ_f \text{ HF} + \\ &\Delta H^\circ_f \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \\ &= +2.185,95 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\Delta H_T = \Delta H_{298} + \int_{T_o}^T C_p dT$$

$$\Delta H_T = (+2.185,95) + (-166,77) (1.048,15 - 298,15)$$

$$\Delta H_T = -122.892 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta S^\circ_f 298 = \Sigma \Delta S^\circ_f \text{ Produk} - \Sigma \Delta S^\circ_f \text{ Reaktan}$$

$$\begin{aligned} \Delta S^\circ_f 298 &= (\Delta S^\circ_f \text{ AlF}_3 + \Delta S^\circ_f \text{ H}_2\text{O} + \Delta S^\circ_f \text{ SiO}_2) - (\Delta S^\circ_f \text{ HF} + \Delta S^\circ_f \\ &\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \\ &= -0,48 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

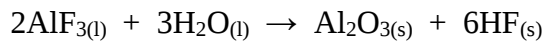
$$\Delta S_T = \Delta S_{298} + \int_{T_o}^T \Delta C_p dT / RT$$

$$\Delta S_T = -19,62 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_T = \Delta H_T - T \cdot \Delta S_T$$

$$\Delta G_T = -102.326 \text{ KJ/mol.K}$$

- Reaksi 2



$$\Delta H^\circ_f 298 = \Sigma \Delta H^\circ_f \text{ Produk} - \Sigma \Delta H^\circ_f \text{ Reaktan}$$

$$\Delta H^\circ_f 298 = (\Delta H^\circ_f \text{ Al}_2\text{O}_3 + \Delta H^\circ_f \text{ HF}) - (\Delta H^\circ_f \text{ AlF}_3 + \Delta H^\circ_f \text{ H}_2\text{O})$$

$$= (-1666,48 + 6 \times (-272,54)) - (2 \times (-1510,40) + 3 \times (-285,77))$$

$$= +580,06 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_T = \Delta H_{298} + \int_{T_o}^T C_p dT$$

$$\Delta H_T = (+576,35) + (24,53) (1.048,15 - 298,15)$$

$$\Delta H_T = -48.667,50 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta S^\circ_f 298 = \Sigma \Delta S^\circ_f \text{ Produk} - \Sigma \Delta S^\circ_f \text{ Reaktan}$$

$$\Delta S^\circ_f 298 = (\Delta S^\circ_f \text{ Al}_2\text{O}_3) + \Delta S^\circ_f \text{ HF} - (\Delta S^\circ_f \text{ AlF}_3 + \Delta S^\circ_f \text{ H}_2\text{O})$$

$$= (-1666,48 + 6 \times (-272,54)) - (2 \times (-1510,40) + 3 \times (-285,77))$$

$$= 0,79 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta S_T = \Delta S_{298} + \int_{T_o}^T \Delta C_p dT / RT$$

$$\Delta S_T = 1,34 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta G_T = \Delta H_T - T \cdot \Delta S_T$$

$$\Delta G_T = -50.071,50 \text{ KJ/mol.K}$$

Tabel 2. 2 Perbandingan Proses

No	KOMPONEN	Proses	
		Bayer	Acid-Clay
1	Temperatur (°C)	1250	800-1370
2	Tekanan (atm)	3,54 atm	1 atm
3	ΔH reaksi (kJ/mol)	+3.194,471 kJ/mol	+15.153,33 kJ/mol
4	ΔG reaksi (kJ/mol)	-1.051.552	-50.071,5
5	Proses	Kalsinasi	Pirohydrolysis
6	Bahan Baku	Bauksit dan NaOH	clay dan acid (HF)

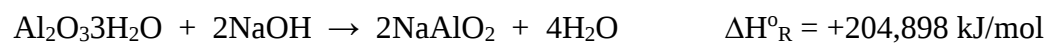
7	Konversi	98%	80-90%
8	Kemurnian produk	$\pm 98\%$ dengan kandungan alumina $> 53\%$	Kandungan alumina $< 50\%$ sehingga menghasilkan kemurnian alumina dalam produk lebih kecil
9	Keuntungan (Rp/tahun)	1.638.388.235.294,12	1.533.988.970.588,24
10	Harga Produksi Alumina/Kg	Rp 6.480,73	Rp 9.898,596

Dalam prarancangan pabrik alumina ini dipilih Proses Bayer. Dasar pemilihan adalah sebagai berikut:

- Berdasarkan tinjauan termodinamika, kedua proses memiliki nilai energi bebas *Gibbs* (ΔG) negatif sehingga reaksi bersifat spontan. Namun, nilai ΔG Proses Bayer lebih negatif, hal ini dapat menunjukkan adanya gaya pendorong reaksi dan kestabilan untuk membentuk produk alumina yang lebih tinggi. Oleh karena itu, secara termodinamika Proses Bayer lebih unggul dibandingkan Proses *Acid Clay*.
- Kondisi operasi pada proses Bayer relatif lebih rendah sehingga memiliki nilai keamanan operasional yang tinggi, hemat energi, dan mengurangi tingkat bahaya.
- Biaya atau harga produksi alumina dengan Proses Bayer cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan proses *acid* karena bahan baku bauksit yang digunakan lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan *clay*.
- Konversi proses Bayer paling tinggi jika dibanding dengan proses *acid*.

2.3. Uraian Singkat

Proses pembuatan alumina, diawali dengan proses pelarutan NaOH dalam *Solution Tank* (ST-101) hingga konsentrasinya 12,9% kemudian dilanjutkan proses reaksi. Proses dilakukan dalam *Reactor* digester berpengaduk pada temperatur 140 °C dan tekanan 3,54 atm. Reaksi berjalan secara endotermis, sehingga untuk mempertahankan reaksi digunakan jaket pemanas dengan *steam* sebagai pemanasnya. Produk dari reaksi berupa larutan sodium aluminat (NaAlO_2) didinginkan pada suhu 70 °C kemudian dipisahkan dari pengotornya, *red mud*, dengan cara filtrasi menggunakan *Centrifuge* (CF-301). Larutan sodium aluminat yang telah disaring kemudian diendapkan di tangki *presipitator* (PR-401) secara kontinyu menggunakan 20 buah tangki. Setelah dilakukan pengendapan selama 1 jam, akan diperoleh aluminium hidroksida ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Slurry aluminium hidroksida tersebut kemudian disaring untuk dipisahkan dengan filtratnya dalam *Filter Press* (FP-501). Kemudian filtrate dari *Filter Press* (FP-501) akan dialirkan dalam *Evaporator* (EV-501) untuk menguapkan sebagian air. Tujuan penggunaan *Evaporator* juga untuk recycle ke dalam *Solution Tank* mengurangi *fresh feed* NaOH yang akan masuk *Reactor*. Slurry yang terbentuk dalam *Precipitator* setelah melalui pemisahan *Filter Press* kemudian dikalsinasi pada 1250°C untuk menghasilkan alumina yang berbentuk serbuk. Alumina diproduksi dengan mereaksikan bauksit dan larutan NaOH 12,9% dalam suatu *Reactor*.



Kondisi operasi di dalam *Reactor* berlangsung pada tekanan 3,54 atm dan suhu 140°C. Reaksi yang terjadi adalah endotermis.

Pada pembuatan alumina dengan bahan baku bauksit dan NaOH secara garis besar dibagi menjadi beberapa tahap proses, yaitu:

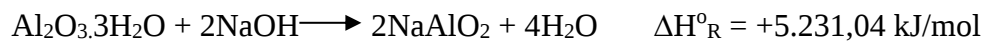
1. Tahap persiapan bahan baku

Dalam proses ini digunakan 2 jenis bahan baku, yaitu bauksit dan NaOH. Bauksit yang diperoleh dari penambangan terlebih dahulu dilakukan tahap pretreatment bahan baku, yaitu pencucian dari pengotornya di dalam *trombol grizzly* (TG-101) dan pengecilan ukuran menggunakan *Jaw Crusher*

(JC-101). Selanjutnya, bauksit diperkecil serta diperhalus ukurannya menjadi ± 100 mesh menggunakan *Ball Mill* (BM-101). Proses ini bertujuan untuk mempermudah proses pelumpuran (*slurry*) dalam *Reactor*. Sementara itu, NaOH diencerkan terlebih dahulu dalam *Solution Tank* (ST-101) dengan menggunakan *recycle* dari *Evaporator* sehingga didapatkan NaOH dengan konsentrasi 12,9 %. Lalu NaOH keluaran ST-101 dialirkan menuju *Hopper*, kemudian diumpankan bersamaan memasuki *Reactor*.

2. Tahap Reaksi

Reaksi antara bauksit dengan larutan NaOH menghasilkan *slurry* sodium aluminat (NaAlO_2) terjadi dalam *Reactor* CSTR. Kondisi operasi *Reactor* bekerja pada temperatur 140°C dan tekanan 3,54 atm. Karena reaksi yang terjadi endotermis digunakan jaket sebagai media pemanas yang terdapat pada *Reactor*. Reaksi yang terjadi:



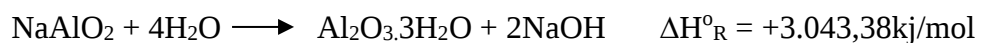
Pada proses ini konversi reaksi sebesar 90% (US Pat. 4915930).

3. Tahap pendinginan dan pemisahan residu (*clarification*)

Larutan sodium aluminat keluaran dari *Reactor* didinginkan sampai suhu 70°C . Pendinginan ini bertujuan untuk *me-recovery* panas reaksi yang dihasilkan dari *Reactor*. Sementara itu *slurry* sodium aluminat (NaAlO_2) dipisahkan dari pengotor-pengotornya dalam suatu *Centrifuge*. Residu padatan dibuang ke unit pengolahan limbah sedangkan filtratnya masuk ke alat proses berikutnya.

4. Tahap Pengendapan

Proses pengendapan terjadi dalam Tangki *Precipitator* yang berlangsung secara kontinu selama 1 jam pada suhu 70°C , tekanan 1 atm. Pada tahap ini terjadi pengendapan NaAlO_2 menjadi alumina trihidrat atau $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dengan reaksi :



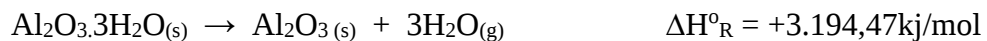
5. Tahap pemisahan larutan kaustik yang terdapat pada alumina trihidrat (*classification*)

Alumina trihidroksida yang terbentuk di tangki *Precipitator* kemudian disaring menggunakan *Filter Press* (FP-501) hal ini dilakukan dengan tujuan memisahkan *cake* $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ yang sudah terbentuk dari larutan NaOH. Filtrate dari *Filter Press* (FP-501) dialirkan ke *Evaporator* (EV-501) untuk diuapkan serta mengambil NaOH yang masih terlarut. NaOH keluaran EV-501 *direcycle* ke dalam *Solution Tank* (ST-101) mengurangi *fresh feed* NaOH yang akan masuk *Reactor*.

6. Tahap Kalsinasi Produk

Cake Alumina trihidroksida dari *Filter Press* (FP-501) dikalsinasi pada suhu 1250°C dalam *Rotary Kiln* (RK-601). Di dalamnya terjadi reaksi dekomposisi aluminium Hidroksida $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ menjadi alumina, Al_2O_3 . Keluaran *Rotary Kiln* (RK-601) kemudian didinginkan dalam *Rotary Cooler* (RC-601) hingga temperaturnya 150°C dan disimpan dalam *Storage* Produk (S-601) sebelum dipasarkan. Alumina berbentuk bubuk putih dengan ukuran $20\ \mu\text{m}$ dijual dalam bentuk curah nantinya.

Reaksi yang terjadi pada tahap kalsinasi adalah :



Selain terjadi reaksi pembentukan Alumina sebagai produk juga terjadi reaksi samping berupa pembentukan Na_2O dari NaOH yang terikut dalam umpan kiln.

Reaksinya adalah :



BAB X

SIMPULAN DAN SARAN

10.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis ekonomi yang telah dilakukan terhadap Prarancangan Pabrik Aluminium Oksida (Al_2O_3) dengan kapasitas 450.000 ton/tahun dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. *Percent Return on Investment* (ROI) sebelum pajak 33,5% dan sesudah pajak sebesar 26,16%.
2. *Pay Out Time* (POT) sesudah pajak 2,31 tahun.
3. *Break Even Point* (BEP) sebesar 36,19% dan *Shut Down Point* (SDP) sebesar 20%, yakni batasan kapasitas produksi sehingga pabrik harus berhenti berproduksi karena merugi.
4. *Interest Rate of Return* (IRR) sebesar 27%, 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 kesimpulan bahwa Prarancangan Pabrik Aluminium Oksida (Al_2O_3) dengan kapasitas 450.000 ton/tahun layak untuk dikaji lebih lanjut dari segi proses maupun ekonominya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba Group. (2025). *Alibaba*. <https://www.alibaba.com>
- Amalia, D. (2014). *Kinetics analysis for aluminium dissolution of West Kalimantan bauxite through digestion process*.
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Statistik Indonesia*. <https://www.bps.go.id>
- Bowles, J. E. (1996). *Foundation analysis and design* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Brown, G. G. (1950). *Unit operations* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- Brownell, L. E., & Young, E. H. (1959). *Process equipment design*. John Wiley & Sons.
- Coulson, J. M., & Richardson, J. F. (1983). *Chemical engineering: Volume 2 – Particle technology and separation processes* (5th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Duda, W. H. (1976). *Cement handbook* (2nd ed.). Allentown.
- Fogler, H. S. (1999). *Elements of chemical reaction engineering*. Prentice Hall.
- Geankoplis, C. J. (1993). *Transport processes and unit operations* (3rd ed.). Allyn & Bacon.
- Google. (2025). *Google Maps*. <https://www.google.com/maps>
- Himmelblau, D. M. (1996). *Basic principles and calculations in chemical engineering* (6th ed.). Prentice Hall.
- Hudson, L. K. (2002). *Aluminium oxide*. In *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*. Wiley-VCH.

- Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P., & Heald, C. C. (2001). *Pump handbook* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Joshi, M. V. (1981). *Process equipment design* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Kern, D. Q. (1983). *Process heat transfer*. McGraw-Hill.
- Kirk, R. E., & Othmer, D. F. (1980). *Encyclopedia of chemical technology* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Levenspiel, O. (1999). *Chemical reaction engineering* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Li, J., Addai-Mensah, J., Thilagam, A., & Gerson, A. R. (2021). *Growth mechanisms and kinetics of gibbsite crystallization: Experimental and quantum chemical study*. Mawson Institute
- Metcalf & Eddy, Inc. (1991). *Wastewater engineering: Treatment, disposal, and reuse* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- McCabe, W. L., & Smith, J. C. (1985). *Operasi teknik kimia*. Erlangga.
- MSDS Rio Tinto Alcan. (2010). *Bauxite material safety data sheet*.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2019). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 81 Tahun 2019 tentang jenis dan tarif atas jenis penerimaan negara bukan pajak yang berlaku pada kementrian energi dan sumber daya mineral*. <https://peraturan.bpk.go.id>
- Perry, R. H., & Green, D. W. (2008). *Perry's chemical engineers' handbook* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Pertamina. (2025). *Pertamina*. <https://www.pertamina.com>
- PLN. (2025). *Perusahaan Listrik Negara*. <https://web.pln.co.id>

- Rase, H. F. (1977). *Chemical reactor design for process plants*. John Wiley & Sons.
- Smadi, E., Saw, W., Chinnici, A., Dally, B., & Nathan, G. J. (2023). *Effect of heating rate on the kinetics of gibbsite calcination*. Elsevier BV
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2006). *Chemical engineering thermodynamics* (7th ed.). McGraw-Hill.
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (1991). *Plant design and economics for chemical engineers* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Treybal, R. E. (1981). *Mass-transfer operations* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Ullmann. (2007). *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*. Wiley-VCH.
- Ulrich, G. D. (1984). *A guide to chemical engineering process design and economics*. John Wiley & Sons.
- Walas, S. M. (1990). *Chemical process equipment*. Butterworth-Heinemann.
- World Bank. (2025). *World Integrated Trade Solution (WITS) trade data*. <https://wits.worldbank.org>
- Yaws, C. L. (1996). *Handbook of chemical compound data for process safety*. Gulf Publishing Company.