

**PRARANCANGAN PABRIK NIKEL SULFIDA (NiS)
DARI BIJIH LATERIT DENGAN KAPASITAS 85.000 TON/TAHUN**



SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Pendidikan Sarjana Terapan
(S1-Terapan) Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Berkelanjutan
Jurusan Teknik Kimia
Politeknik Negeri Ujung Pandang

NURUL MUASYARAH 431 20 058
AMIRULLAH 431 20 078

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI REKAYASA KIMIA BERKELANJUTAN
JURUSAN TEKNIK KIMIA
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini dengan judul **Pra Rancangan Pabrik Nikel Sulfida (NiS) Dari Bijih Laterit Kapasitas 85.000 Ton/Tahun** oleh Nurul Muasyarah, NIM 43120058 telah di terima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 7 Oktober 2024

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Lasire, S.T., M.Si.

NIP. 19611231 198803 1 016


Muhammad Saleh, S.T., M.Si.

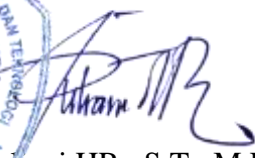
NIP. 19671008 199303 1 001

Mengetahui,

Koordinator Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Kimia Berkelanjutan




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

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR TABEL	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR GAMBAR	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR SIMBOL	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
RINGKASAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	8
1.1 Latar Belakang	8
1.2 Kapasitas Prarancangan	10
1.3 Penentuan Lokasi Pabrik	16
1.4 Tinjauan Pustaka	17
BAB II DESKRIPSI PROSES	Error! Bookmark not defined.
2.1 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk	Error! Bookmark not defined.
2.2 Langkah Proses	Error! Bookmark not defined.
2.3 Diagram Alir	Error! Bookmark not defined.
BAB III NERACA MASSA	Error! Bookmark not defined.
3.1 Mixer (M-01)	Error! Bookmark not defined.
3.2 Reaktor NiSO ₄ (R-01)	Error! Bookmark not defined.

3.3	Filter Press (FP-01)	Error! Bookmark not defined.
3.4	Centrifuge (CF-01)	Error! Bookmark not defined.
3.5	Rotary Dryer (RD-01)	Error! Bookmark not defined.
3.6	Reaktor NiS (R-02)	Error! Bookmark not defined.
3.7	Thickener (TH-01)	Error! Bookmark not defined.
3.8	Sentrifuce Separator (CS-01)	Error! Bookmark not defined.
3.9	Rotary Dryer 2 (RD-02)	Error! Bookmark not defined.
BAB IV NERACA PANAS		Error! Bookmark not defined.
4.1	Heater Bijih Laterit (H-01)	Error! Bookmark not defined.
4.2	Heater H ₂ SO ₄ (H-02)	Error! Bookmark not defined.
4.3	Reaktor NiSO ₄ (R-01)	Error! Bookmark not defined.
4.4	Cooler NiSO ₄ (C-01)	Error! Bookmark not defined.
4.5	Filter Press 1 (FP-01)	Error! Bookmark not defined.
4.6	Centrifuge (CF-01)	Error! Bookmark not defined.
4.7	Rotary Dryer 1 (RD-01)	Error! Bookmark not defined.
4.8	Air Heater (AH-01)	Error! Bookmark not defined.
4.9	Heater H ₂ S (H-03)	Error! Bookmark not defined.
4.10	Heater NiSO ₄ (H-04)	Error! Bookmark not defined.
4.11	Reaktor NiS (R-02)	Error! Bookmark not defined.
4.12	Cooler (C-02)	Error! Bookmark not defined.
4.13	Thickener (TH-01)	Error! Bookmark not defined.
4.14	Centrifuge separator (CS-01)	Error! Bookmark not defined.
4.15	Rotary Dryer 2 (RD-02)	Error! Bookmark not defined.

4.16	Air Heater 2 (AH-02)	Error! Bookmark not defined.
BAB V SPESIFKASI ALAT		
Error! Bookmark not defined.		
5.1	Were House Bijih Laterit (WH-01).....	Error! Bookmark not defined.
5.2	Belt Conveyor 1 (BC-01)	Error! Bookmark not defined.
5.3	Bucket Elevator 1 (BC-01).....	Error! Bookmark not defined.
5.4	Mixer (M-01).....	Error! Bookmark not defined.
5.5	Pompa.....	Error! Bookmark not defined.
5.6	Heater Bijih laterit (HE-01).....	Error! Bookmark not defined.
5.7	Tangki penyimpanan H ₂ SO ₄	Error! Bookmark not defined.
5.8	Heater H ₂ SO ₄ (H-02).....	Error! Bookmark not defined.
5.9	Reaktor NiSO ₄ (R-01)	Error! Bookmark not defined.
5.10	Cooler 1 (C-01)	Error! Bookmark not defined.
5.11	Filter Press 1 (FP-01)	Error! Bookmark not defined.
5.12	Belt Conveyor 2 (BC-02)	Error! Bookmark not defined.
5.13	Centrifuge (CF-01)	Error! Bookmark not defined.
5.14	Belt Conveyor 4 (BC-04)	Error! Bookmark not defined.
5.15	Belt Conveyor 5 (BC-05)	Error! Bookmark not defined.
5.16	Blower (BL-01)	Error! Bookmark not defined.
5.17	Air Heater 1 (AH-01)	Error! Bookmark not defined.
BAB VI UTILITAS.....		
Error! Bookmark not defined.		
6.1	Unit Penyediaan Air	Error! Bookmark not defined.
6.2	Unit Penyediaan Steam	Error! Bookmark not defined.
6.3	Sistem Pengolahan Air	Error! Bookmark not defined.

6.3.1	Spesifikasi Alat Unit Penyedia Air	Error! Bookmark not defined.
6.4	Unit Penyediaan Listrik	Error! Bookmark not defined.
6.5	Unit Penyediaan Bahan Bakar	Error! Bookmark not defined.
BAB VII INSTRUMENTASI DAN KESELAMATAN KERJA		Error!
Bookmark not defined.		
7.1	Instrumentasi	Error! Bookmark not defined.
7.2	Keselamatan Kerja	Error! Bookmark not defined.
BAB VIII ORGANISASI PERUSAHAAN		Error! Bookmark not defined.
8.1	Bentuk Perusahaan	Error! Bookmark not defined.
8.2	Struktur Organisasi	Error! Bookmark not defined.
8.3	Tugas dan Wewenang	Error! Bookmark not defined.
8.4	Kepegawaian dan Sistem Gaji	Error! Bookmark not defined.
8.5	Sistem Kerja	Error! Bookmark not defined.
8.6	Jumlah Karyawan	Error! Bookmark not defined.
8.7	Kesejahteraan Sosial Karyawan	Error! Bookmark not defined.
BAB IX TATA LETAK PABRIK		Error! Bookmark not defined.
BAB X ANALISIS EKONOMI		Error! Bookmark not defined.
10.1	Kajian Ekonomi	Error! Bookmark not defined.
10.2	Analisis Kelayakan Ekonomi	Error! Bookmark not defined.
BAB XI KESIMPULAN		28
11.1	Kesimpulan	28
DAFTAR PUSTAKA		29

PRA RANCANGAN PABRIK NIKEL SULFIDA DARI BIJIH LATERIT DENGAN KAPASITAS 85.000 TON/TAHUN

RINGKASAN

Prarancangan pabrik nikel sulfida dari bijih laterit dimaksudkan untuk memanfaatkan sumber daya energi dan tambang, dimana jumlah cadangan nikel di Indonesia merupakan yang paling besar dibandingkan dengan negara lain yang memiliki nilai jual yang tinggi, karena dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pada pembuatan *stainless steel*, industri baterai, industri otomotif, sebagai katalis untuk industri kimia dan lainnya

Pabrik nikel sulfida direncanakan akan didirikan pada tahun 2028 di Kec. Wawontoa, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan dengan kapasitas 85.000 ton/tahun yang beroperasi selama 330 hari. Proses produksi nikel sulfida dengan metode hidrometalurgi HPAL (*High Pressure Acid Leaching*) dilakukan dengan beberapa tahap yaitu pencampuran, pemanasan, pemisahan, pendinginan dan pengeringan. Pabrik ini merupakan perusahaan yang berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi "*line and staff*", dengan total tenaga kerja 166 orang. Sistem kerja karyawan berdasarkan pembagian menurut jam kerja yang terdiri dari shift dan nonshift.

Hasil perhitungan analisa ekonomi menunjukkan total *capital investment* sebesar Rp. 2.269.310.109.357,11 yang diperoleh dari pinjaman bank 60% dan 40% modal sendiri. Dengan laju pengembalian modal (ROI) sebesar 30,09%, serta waktu pengembalian modal 1 tahun 9 bulan dan nilai Break Event Point (BEP) sebesar 43,68%. Analisis ekonomi menunjukkan bahwa pabrik nikel sulfida dengan kapasitas 85.000 ton/tahun layak didirikan.

Kunci : Bijih Laterit, Nikel Sulfida



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan dari kebutuhan nikel secara global disebabkan adanya pembangunan suatu energi terbarukan seperti industri pembuatan mobil listrik yang membutuhkan nikel sebagai bahan baku utamanya. Indonesia merupakan salah satu negara yang dianugerahi sumber daya energi dan tambang, salah satunya nikel. Jumlah cadangan nikel yang dimiliki oleh Indonesia merupakan yang paling besar jika dibandingkan dengan negara lain. Indonesia memiliki 52% cadangan Nikel di dunia yang dihasilkan dari sumber tambang Bijih Laterit atau 4,5 miliar ton dengan sumber daya 11,7 miliar ton. Sebanyak 90% tersebar di wilayah Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara dan Maluku Utara (Muin, 2022).

Pendirian pabrik Nikel Sulfida dari bahan baku Bijih Laterit ini akan memberikan keuntungan secara bisnis karena harga bahan baku yang murah yaitu US\$ 50-90/ton dengan harga produk yang dihasilkan sebesar US\$ 10-100/kg (Alibaba, 2022). Berdasarkan data dari BPS (Badan Pusat Statistik, 2023) Indonesia masih mengimpor Nikel Sulfida dari tahun ke tahun. Kegunaan Nikel Sulfida pada saat ini yaitu pembuatan *stainless steel*, industri baterai, industri otomotif, pelindung tembaga, pembuatan kawat, bahan dalam pembuatan koin, campuran besi baja, pelapis anti karat dan sebagai katalis untuk industri kimia (Marliah, 2023).

Bahan baku yang digunakan pada pengolahan Nikel Sulfida didapatkan dari Bijih laterit. Proses pengolahan bijih laterit pada perancangan ini menggunakan proses Hidrometalurgi. Pada umumnya pengolahan bijih laterit dapat dilakukan

melalui proses pirometalurgi dan hidrometalurgi. Pirometalurgi merupakan proses pengolahan bijih laterit pada suhu tinggi ($>1000^{\circ}\text{C}$) (Diaz, *et al.*,1988). Proses pirometallurgi membutuhkan energi yang besar untuk menjalankan proses peleburan serta diaplikasikan pada bijih laterit dengan kadar nikel yang tinggi. Sedangkan proses hidrometalurgi hanya memanfaatkan pelarut dalam media asam dengan temperatur rendah dibandingkan proses pirometalurgi. Nikel Sulfida merupakan salah satu bentuk produk nikel yang dapat diproses lebih lanjut di industri *downstream* untuk menghasilkan suatu produk logam nikel yang memiliki kemurnian lebih tinggi sebagai produk akhir. Para ahli memprediksi bahwa permintaan nikel untuk industri baterai mobil listrik akan meningkat dari enam persen pada tahun 2020 menjadi sepertiga dari total permintaan nikel pada tahun 2030. *International Energy Agency* (IEA) memprediksi permintaan nikel terus meningkat setiap tahunnya. Berdasarkan skenario *stated policies*, permintaan nikel akan berkontribusi sebesar 31,4% terhadap energi bersih dunia pada 2040 (Karnadi, 2021).

Pabrik ini direncanakan akan didirikan di Wawontoa, Kab. Luwu Timur, Sulawesi Selatan, karena termasuk dalam tiga provinsi dengan sumber daya dan cadangan nikel terbesar di Indonesia.

Pendirian pabrik Nikel Sulfida ini diperlukan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan mengurangi jumlah impor, menciptakan lapangan pekerjaan baru serta menurunkan jumlah angka pengangguran yang cukup besar di Indonesia, meningkatkan pendapatan negara dari sektor industri. Berdasarkan pertimbangan

tersebut dapat disimpulkan bahwa sangat diperlukan pendirian pabrik Nikel Sulfida di Indonesia.

1.2 Kapasitas Prarancangan

Penentuan kapasitas Prarancangan pabrik nikel sulfida ini ditentukan dengan pertimbangan yaitu kebutuhan nikel sulfida di Indonesia, ketersediaan bahan baku dan kapasitas pabrik yang telah ada.

1.2.1 Ketersediaan Bahan Baku

Cadangan nikel di Indonesia adalah yang paling banyak di dunia 52%. Cadangan nikel di Indonesia 90% tersebar di Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara dan Maluku Utara (Muin, 2022). Sumber daya bijih laterit per 2022 yaitu terukur 2.207.011.075 ton dan cadangan biji laterit terbukti 579.269.471 ton (Iwan Nursahan, 2023).

Tabel 1.1 Jumlah Sumber Daya dan Cadangan Bijih Laterit yang Terukur Per Tahun 2022

No.	Provinsi	Sumber daya (Ton)	Cadangan (Ton)
1	Kalimantan Selatan	185.925.533	153.841.144
2	Sulawesi Selatan	9.020.000	9.702.375
3	Sulawesi Tenggara	702.902.230	78.405.575
4	Sulawesi Tengah	157.743.583	108.964.622
5	Maluku	365.659.431	24.125.130
6	Maluku Utara	673.639.298	193.490.625
7	Papua Barat	71.388.000	10.740.000
8	Papua	40.733.000	-

Sumber: Kementerian ESDM (2022)

1.2.2 Kapasitas Pabrik yang Telah Ada

Dalam penentuan kapasitas pabrik, hal penting yang harus diperhatikan selain ketersediaan bahan baku adalah kapasitas pabrik yang telah ada. Hal ini guna memperkirakan kapasitas pendirian pabrik agar tidak terlalu jauh berbeda dari kapasitas pabrik yang telah ada.

Berdasarkan data yang diperoleh dari DMB, Tekmira (2020) adapun pabrik nikel sulfida yang telah berdiri di Indonesia adalah pabrik dari perusahaan PT Vale Indonesia Tbk. Dengan kapasitas produksi 70.000 ton/tahun, yang berlokasi di Morowali, Luwu Utara, Kolaka, Sulawesi Selatan.

Tabel 1.2 Data Pabrik Nikel Sulfida Yang Ada Di Dunia

No	Nama pabrik	Lokasi	Kapasitas Produksi (ton/tahun)
1	Goro Nickel Project	New Caledonia	60.000
2	Ambatovy Nickel Project	Madagaskar	60.000
3	Taganito HPAL Nickel Corporation	Filipina	36.000
4	Coral Bay Nickel Corporation	Filipina	24.000
5	Ramu Nickel Project	Papua Nugini	33.000
6	Gordes Nickel Project	Turki	10.000

Sumber: J. Gabb (2018)

1.2.3 Kapasitas Produksi

Kebutuhan nikel sulfida di Indonesia saat ini cukup besar. Menurut Badan Pusat Statistik 2024 industri yang memproduksi nikel sulfida belum bisa memenuhi kebutuhan di dalam negeri sehingga dilakukan impor dari negara lain untuk

memenuhi kebutuhan dalam negeri. Data impor, ekspor dan produksi dapat dilihat pada tabel 1.4.

Tabel 1.3 Data Impor, Ekspor dan Produksi Nikel Sulfida di Indonesia Pada Tahun 2019 - 2023

Tahun	Impor (Ton/tahun)	Ekspor (Ton/tahun)	Produksi (Ton/tahun)
2019	10.469,678	91.530,714	71.025
2020	4.824,111	93.239,330	72.237
2021	4.975,044	166.440,559	65.388
2022	5.818,088	1.257.570,576	60.090
2023	29.213,540	2.384.426,387	70.728

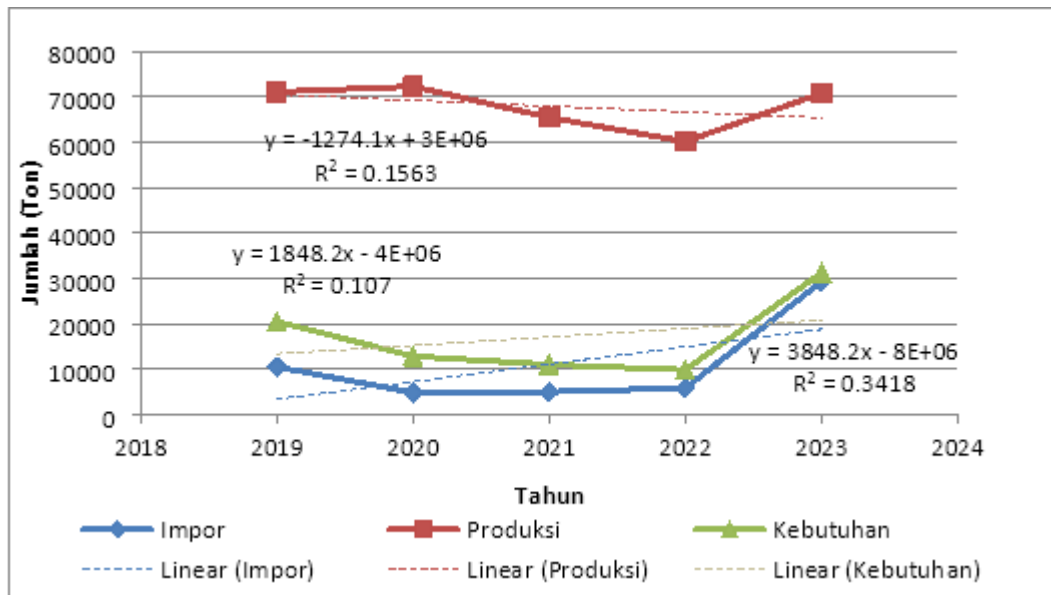
Sumber: Badan Pusat Statistik, 2024

1) Perhitungan Kapasitas Pabrik Berdasarkan Metode Regresi Linear

Tabel 1.4 Data Impor, Produksi dan Kebutuhan Nikel Sulfida di Indonesia Pada Tahun 2019 - 2023

Tahun	Impor (Ton/tahun)	Produksi (Ton/tahun)	Kebutuhan (Ton/tahun)
2019	10.469,678	71.025	81.494,678
2020	4.824,111	72.237	77.061,111
2021	4.975,044	65.388	70.363,044
2022	5.818,088	60.090	65.908,088
2023	29.213,540	70.728	77.557,54

Berdasarkan data impor, produksi dan kebutuhan yang telah diperoleh maka dapat diperkirakan jumlah kapasitas produksi di Indonesia pada tahun 2028 dengan menggunakan metode linearisasi yang dapat dilihat pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Perolehan Data Impor, Produksi dan Kebutuhan Nikel Sulfida Dalam Satuan Ton/Tahun Di Indonesia Tahun 2019 – 2023

Berdasarkan grafik yang diperoleh pada Gambar 1.1 nilai regresi R untuk setiap data < 0,9. Hal ini menunjukkan bahwa grafik tidak linear, maka metode interpolasi linear tidak dapat digunakan untuk menghitung kapasitas produksi.

2) Perhitungan Kapasitas Pabrik Berdasarkan Metode Discounted

Untuk memprediksi data pendirian nikel sulfida di tahun 2028 maka menggunakan metode pertumbuhan rata-rata pertahun (metode *discounted*) pada persamaan 1.1 (Ulrich, 1984).

$$F = P (1 + i)^n \quad (1.1)$$

Keterangan :

F : Nilai pada tahun ke-n

P : Besar data pada tahun sekarang (ton/tahun)

i : rata-rata pertumbuhan per tahun (%)

n : Selisih tahun (Tahun ke-n)

Untuk menentukan persen pertumbuhan (%P) sebagai berikut :

$$\%P = \frac{\text{kebutuhan Tahun yang akan datang} - \text{kebutuhan Tahun sekarang}}{\text{kebutuhan Tahun sekarang}} \times 100 \quad (1.2)$$

Tabel 1.5 Persen Pertumbuhan Rata-Rata Untuk Setiap Data

Tahun	Impor (Ton/tahun)	%P	Produksi (Ton/tahun)	%P	Kebutuhan (Ton/tahun)	%P
2019	10.469,678	0	71.025	0	81.494,678	0
2020	4.824,111	-0,54	72.237	0,02	77.061,111	-0,05
2021	4.975,044	0,03	65.388	-0,09	70.363,044	-0,09
2022	5.818,088	0,17	60.090	-0,08	65.908,088	-0,06
2023	29.213,54	4,02	70.728	0,18	77.557,54	0,52
I (Rerata)		0,92		0		0,08

Sumber: Badan Pusat Statistik, 2024 & (Pahlevi, 2022)

Menurut Badan Pusat Statistik, rata-rata lima tahun terakhir Indonesia mengimpor nikel sulfida sebanyak 11.060, ton/tahun maka perkiraan kapasitas pabrik baru pada tahun 2028 dapat diperkirakan dengan menggunakan Persamaan 1.3.

$$m = P (1 + i)^n \quad (1.3)$$

Keterangan :

m : Nilai pada tahun ke-n

P : Besar data pada tahun sekarang (ton/tahun)

i : rata-rata pertumbuhan per tahun (%)

n : Selisih tahun (Tahun ke-n)

Sehingga,

Perkiraan impor pada tahun 2028 sebagai berikut:

$$m_1 = 29.213,54 (1+(0,92\%))^{2028-2023}$$

$$m_1 = 763.563,29 \text{ ton/tahun}$$

Perkiraan produksi pada tahun 2028 sebagai berikut:

$$m_2 = 70.728 (1+(0\%))^{2028-2023}$$

$$m_2 = 72.357 \text{ ton/tahun}$$

Perkiraan kebutuhan pada tahun 2028 sebagai berikut:

$$m_3 = 99.941,54 (1+(0,08\%))^{2028-2023}$$

$$m_3 = 145.448,65 \text{ ton/tahun}$$

Maka peluang kapasitas produksi pabrik nikel sulfida pada tahun 2028 dapat ditentukan menggunakan Persamaan 1.4.

$$m_4 = m_2 - (m_3 + m_1) \quad (1.4)$$

Keterangan:

m_1 : Nilai impor tahun 2028

m_2 : Nilai produksi pabrik dalam negeri tahun 2028

m_3 : Nilai kebutuhan dalam negeri tahun 2028

m_4 : Kapasitas pabrik yang akan didirikan

Sehingga,

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

$$m_4 = 72.357 - (145.448,65 + 763.563,29)$$

$$m_4 = - 836.654 \text{ ton/tahun}$$

Dengan demikian dari perhitungan di atas diperoleh peluang kapasitas prarancangan pabrik nikel sulfida ditahun 2028 sebesar - 836.654 ton/tahun. Namun, pada prarancangan pabrik nikel sulfida ini diambil kapasitas sebesar 85.000 ton/tahun untuk memenuhi 10% dari peluang kapasitas pabrik pada tahun 2028.

1.3 Penentuan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik merupakan hal yang sangat penting. Pabrik Nikel Sulfida ini berlokasi di Kec. Wawontoa, Kab. Luwu Timur, Sulawesi Selatan. Dalam penentuan rencana lokasi berdiri pabrik Nikel Sulfida bergantung pada beberapa faktor yang dipertimbangkan. Berikut lokasi pabrik dapat di lihat pada gambar 1.2.



Sumber : Google Earth 2024

Gambar 1.2 Lokasi Pabrik Nikel Sulfida

- a) Letak pabrik terhadap bahan baku

Bahan baku didapatkan dari PT. Anam Tbk yang merupakan perusahaan tambang bijih laterit terbesar di Indonesia.

- b) Pemasaran

Kawasan di Wawontoa, Sulawesi Selatan ini sangat strategis untuk dijadikan kawasan pengembangan Internasional karena dekat dengan pelabuhan Bungku Tengah/Marsaoleh.

c) Ketersediaan Utilitas

Fasilitas utilitas pabrik meliputi penyediaan air, bahan bakar dan listrik. Penyediaan air dapat diperoleh dari danau Towuti di Towuti. Kebutuhan bahan bakar didapatkan dari Perusahaan tambang batu bara Morowali dan untuk listrik dapat dipenuhi dari PLTU PT.IMIP.

1.4 Tinjauan Pustaka

1.4.1 Produk

Nikel merupakan komoditas tambang yang saat ini menjadi primadona di pasar internasional. Nikel Sulfida (NiS) atau nikel *matte* merupakan hasil produksi dari proses *Smelting* (peleburan). Produksi nikel *matte* relatif masih di bawah target, saat ini produksi nikel *matte* di Indonesia dihasilkan oleh satu Perusahaan pemegang kontrak karya (KK) yaitu PT. Vale Indonesia (Nusantara_mining, 2021). Nikel sulfida adalah senyawa anorganik kristal berwarna hijau tua hingga hitam yang menghasilkan gas beracun saat dipanaskan. Nikel sulfida digunakan dalam baterai litium, sebagai katalis dalam industry petrokimia dan digunakan dalam pembuatan bijih nikel (PubChem, 2021).

1.4.2 Bahan Baku

Secara umum, bijih nikel digolongkan ke dalam dua jenis, yaitu bijih nikel sulfida dan bijih nikel oksida (nikel laterit). Bijih laterit berbeda dengan bijih nikel sulfida yang dapat dilakukan proses konsentrasi, sedangkan untuk meningkatkan kadar nikel yang terkandung pada bijih laterit perlu dilakukan proses ekstraksi (Pramudita, 2021). Bijih laterit sulit dilakukan proses konsentrasi karena unsur-unsur penyusun bijihnya yang kompleks. Maka dari itu perusahaan-perusahaan

ekstraksi nikel cenderung memproduksi nikel dari bijih sulfida dari pada bijih laterit.

Akan tetapi, berdasarkan data *U.S. Departement of Interior* dan *U.S Geological Survey* dalam *Mineral Commodity Summerise 2009*, sumber daya dan cadangan nikel di dunia didominasi dengan bijih nikel laterit, yaitu sebesar 60% dan sisanya merupakan bijih nikel sulfida. Indonesia sendiri memiliki sumber daya dan cadangan bijih nikel yang mencapai 12% dari cadangan nikel dunia yang berupa bijih nikel laterit (Mifta, 2020).

Nikel laterit dicirikan oleh adanya material yang berwarna coklat kemerahan hal ini dikarenakan terdapat kandungan Ni dan Fe. Endapan bijih nikel laterit Indonesia tersebar di Pegunungan Meratus dan Pulau Laut Kalimantan, dengan timur pulau Sulawesi, di Maluku Utara terdapat di Pulau Obi, Pulau Gebe dan Halmahera, serta di Papua terdapat di pulau Gag, pulau Waige, Pegunungan Cyclops dan pegunungan tengah Papua. Nikel laterit digolongkan menjadi dua jenis, yaitu saprolit dengan kadar nikel tinggi dan limonit yang berkadar nikel rendah (Subagja dalam Yuwandono, 2017). Perbedaan yang menonjol pada kedua bijih ini adalah kandungan bijih besi (Fe) dan magnesium (Mg), bijih saprolite mempunyai kadar Fe rendah dan Mg tinggi. Dan berkebalikan terhadap limonit (Budi, 2016).

1.4.3 Bahan Penunjang

1) Asam Sulfat H_2SO_4

Asam sulfat adalah cairan yang korosif, tidak berwarna, tidak berbau, sangat reaktif, dan memiliki kemampuan untuk melarutkan berbagai logam. Dengan segala

perbandingan, cairan ini dapat larut dengan air. Asam sulfat dapat memproduksi sulfur trioksida. Ketika terdekomposisi pada suhu 300°C atau lebih, asam sulfat memiliki titik lebur 10,31°C dan titik didih 336,85°C tergantung pada proses pemekatannya.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Indrawati, 2022 melakukan studi bagaimana pengaruh jenis asam (anorganik dan organik) terhadap proses peleburan bijih nikel laterit dengan kadar rendah yang berasal dari Pomala. Hasil penelitian yang diperoleh sebesar 0,905% hal ini menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan penggunaan asam organik seperti asam asetat. Penggunaan asam sulfat (anorganik) menghasilkan yield nikel yang paling tinggi.

2) Hidrogen Sulfida (H₂S)

Hidrogen Sulfida (H₂S) merupakan gas yang tak berwarna, beracun, mudah terbakar dan beraroma seperti telur busuk. Gas ini timbul akibat adanya aktivitas biologis. Ketika bakteri mengurai bahan organik secara anerobik (penguraian dalam keadaan tanpa oksigen) dan dapat pula ditemukan pada gunung berapi. Hidrogen Sulfida merupakan hidrida kovalen yang secara kimiawi terkait dengan air (H₂O) karena oksigen dan sulfur berada dalam golongan yang sama pada tabel periodik. Hidrogen sulfida merupakan asam lemah, terpisah dalam larutan *aqueous* (mengandung air) menjadi kation Hidrogen H⁺ dan anion hidrosulfid.

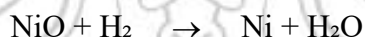
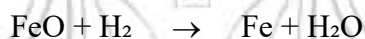
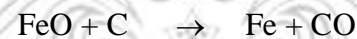
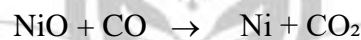
1.4.4 Macam-Macam Proses

Terdapat beberapa macam proses untuk memperoleh nikel dari bijihnya, diantaranya yaitu:

1) Pyrometalurgy

Dasar pengolahan ini adalah perbedaan sifat termodinamika unsur-unsur penyusun batuan. Proses ini meliputi pengeringan, reduksi, peleburan, dan pemurnian.

Bijih laterit diperoleh dari penambangan kemudian dikalsinasi. Kalsinasi adalah proses dekomposisi termal darisenyawa-senyawa di dalam bijih laterit pada suhu 1500°C menjadi senyawa yang lebih sederhana, seperti NiO dan FeO. Kemudian, bijih hasil proses kalsinasi mengalami reduksi pada suhu 900°C. Proses ini berdasarkan pada perbedaan reaktivitas nikel dengan penyusun utama lainnya (Fe). Reduksi akan memisahkan unsur-unsur untuk membentuk paduan. Adapun reaksi reduksi yang terjadi pada suhu 900°C adalah:



Proses pemisahan lebih lanjut adalah dengan *smelting* atau peleburan. Proses ini berdasarkan pada perbedaan titik didih senyawa nikel dengan unsur lainnya. *Smelting* dan pemurnian merupakan proses akhir untuk mendapatkan matte dengan kandungan nikel yang lebih tinggi (Liew dalam Pratama 2015).

2) Hidrometalurgy

Hidrometalurgi merupakan salah satu bagian dari ilmu metalurgi yang mempelajari mengenai tentang perolehan pengolahan logam mencakup dalam tahapan dari pengolahan bijih mineral, ekstraksi logam, sampai ke pengolahannya untuk menyesuaikan sifat-sifat dan perilakunya sesuai dengan dipersyaratkan

dalam pemakaian untuk pembuatan produk rekayasa tertentu. Secara harfiah Hidrometalurgi dapat diartikan sebagai cara pengolahan logam dari batuan atau bijihnya dengan menggunakan pelarut berair (*aqueous solution*). Atau secara detailnya proses Hidrometalurgi adalah suatu proses atau suatu pekerjaan dalam metalurgi, dimana dilakukan pemakaian suatu zat kimia yang cair untuk mendapatkan suatu partikel tertentu (Pratama J. P., 2022). Hidrometalurgi juga dapat didefinisikan sebagai suatu proses ekstraksi metal dengan larutan reagen encer (< 1 gram/mol) dan pada suhu $< 100^{\circ}\text{C}$, Reaksi kimia yang dipilih biasanya yang sangat selektif (Amaliah, 2023). Secara garis besar hidrometalurgi memiliki tiga proses tahapan yaitu (Baihaqi, 2018):

- a) *Leaching* atau pengikisan logam dari batuan dengan bantuan reduktan organik.
- b) Pemekatan larutan hasil leaching dan pemurniannya.
- c) *Recovery* ialah proses pengutipan logam dari larutan hasil *leaching*.

Adapun beberapa proses yang menggunakan teknologi hidrometalurgi ini, antara lain *Heap leaching*, *Caron*, *Hight preasure acid leaching*.

- a) *Heap leaching*

Heap lieaching adalah *leaching* dimana bijih atau padatan yang merupakan hasil penghancuran (*Crushing*). Proses HL memperkirakan bahwa umpan/*feed* yang masuk seluruhnya berupa *saprolite*. Solusi dari bagian ini digunakan sepenuhnya bijih laterit, pencucian terhadap tumpukan dilakukan dengan tiga tahap, bagian tercuci (tahap tiga) dari tumpukan dicuci dengan air. Air untuk reagen pelarut asam sulfat encer disemprotkan dari atas dan pelarut

yang sudah menjadi larutan kaya kadar logam. Proses ini dilakukan secara berulang-ulang dengan melewati kembali reagen ke bagian terbaru tumpukan untuk memaksimalkan konsentrasi nikel/logam dan meminimalisir asam sulfat yang bebas. Agar distribusi pelarut rata dan sirkulasi udara baik, untuk menetralkan sebagian asam bebas yang tersisa. Total waktu pelindian untuk satu tumpukan diasumsikan 540 hari dan tinggi tumpukan diasumsikan 6 meter. Asumsi tersebut memberikan tumpukan 660 m² (Amaliah, 2023).

Heap leaching awalnya hanya berlaku untuk bijih laterit tertentu, seperti bijih laterit atau bijih saprolitik tinggi. Akan tetapi proses tersebut dalam proses studi pengolahan untuk bijih limonit, dengan menggunakan proses aglomerasi dengan asam sulfat untuk meningkatkan permeabilitas bijih. Setelah aglomerasi atau persiapan bijih sesuai kebutuhan kemudian biji ditumpuk menjadi tumpukan dan diairi dengan asam sulfat (Francisco Reyes, 2014). Lindi dikumpulkan, diasamkan kembali dan didaur ulang untuk membangun tenor larutan sebelum larutan melalui proses pemulihan logam. Perolehan resapan khas nikel 65-85% telah dilaporkan selama 120-150 hari dengan konsumsi asam berada di atas kisaran 200-600 kg/ton bijih (Amaliah, 2023).

b) *Proses Caron*

Proses caron ditemukan dan dikembangkan pertama kali oleh Prof Caron dari Universitas Delf, Belanda pada tahun 1920-an. Proses ini dapat dioperasikan pada bahan baku bijih limonit dengan beberapa toleransi terhadap bijih saprolit. Hal ini didasarkan pada reduksi selektif nikel dan kobalt menjadi logam, diiringi dengan pelarutan dalam larutan amoni/amonium karbonat.

Sejumlah bagian kecil besi tereduksi membentuk paduan dengan nikel dan kobalt, dimana sisanya tereduksi menjadi magnetik. Proses Caron merupakan metode ekstraksi bijih logam pada kondisi suhu proses yang tinggi. Ini termasuk proses awal termal dan pencucian dengan asam amoniak pada akhir proses. Akibatnya, biaya modal yang lebih besar diperlukan untuk proses ini. Pada proses Caron, umpannya adalah limonit. Limonit yang masuk dikeringkan melalui panas *sensible* gas dalam tahap selanjutnya. Di bawah atmosfer, limonit kering dipanaskan sampai sekitar 800°C. Ini menghasilkan logam dari sebagian besar nikel dan kobalt, serta sebagian besi. Udara ditambahkan untuk membakar karbon monoksida menjadi karbon dioksida, dan gas panas yang meninggalkan *roaster* digunakan sebagai sumber panas pengeringan pada saat limonit dimasukkan.

Penggunaan mesin pengering berputar (*rotary Dryer*) yang berbahan dasar baja karbon pada proses pengeringan bijih laterit yang masuk. Fungsi pengeringan total membutuhkan lima pengering terbesar yang terdaftar dalam database peralatan. Tahap pemanggangan reduktif dilakukan dalam tanur putar, yang diperkirakan memiliki sepuluh pengering putar, masing-masing dengan lapisan tahan api, menurut database peralatan. Gas alam digunakan sebagai bahan bakar untuk pengering dan *rotary kiln*, yang juga berfungsi sebagai reduktor selama proses pemanggangan. Pendinginan kalsin tereduksi panas dilakukan dalam lima unit yang menyerupai pengering putar, yang didinginkan dengan air di luarnya.

Kalsin yang didinginkan antara 150-200°C dicampur dengan larutan daur ulang ammonia berair dan ammonium karbonat, kemudian dilarutkan pada larutan dan udara. Sehingga logam nikel dan kobalt menjadi ikatan amina kompleks dan oksida besi yang tak larut. Kobalt diperoleh kembali sebagai kobalt sulfida setelah pemisahan cairan padat, dan nikel diperoleh kembali sebagai nikel karbonat dasar melalui pengupasan uap.

c) Proses HPAL (*High pressure acid leaching*)

Salah satu metode hidrometalurgi yang paling populer di industri untuk mengekstraksi nikel dan kobalt dari bijih limonit adalah HPAL yang mengekstraksi lebih banyak dari pada metode sebelumnya. Namun proses ekstraksi bijih bahan baku tidak boleh banyak mengandung magnesium dan aluminium karena akan meningkatkan konsumsi asam. Ukuran partikel akan mempengaruhi luas permukaan permukaan bijih yang akan bereaksi dengan *leaching agent*, penurunan ukuran partikel akan meningkatkan kontak partikel dengan *leaching agent* sehingga akan meningkatkan %yield yang dihasilkan menurut (Kusuma dalam Prambodo, 2020) Bijih dilindih dalam *autoklaf* dengan asam sulfat pada temperatur 240-270°C. Hal ini menyebabkan sebagian besar bijih terlarut kedalam larutan. Temperature tinggi memastikan waktu reaksi berlangsung cepat (60-90 menit) dan mengendapkan sebagian besar besi terlarut sebagai hematit atau jarosite, dan aluminium sebagai alunite.

Selama proses HPAL, lebih dari 95% nikel dan 90% magnesium dan mangan dilarutkan ke dalam larutan karena kondisi pelindian yang agresif. Sebagian besar besi, aluminium, silika, dan kromium dilaporkan ke padatan,

tetapi sejumlah kecil tetap dalam larutan yang membuat kompleksitas pemrosesan hilir.

Salah satu keuntungan utama proses HPAL adalah pengendapan besi sebagai hematit dan jarosite karena mengurangi konsumsi asam dan membuat besi mudah diendapkan dan dipisahkan dari larutan kaya nikel. Seperti yang ditunjukkan kemudian, kontrol besi dalam proses pelindian asam lainnya, seperti pelindian atmosfer dan timbunan, lebih sulit dan tidak menghasilkan regenerasi asam pada tingkat yang sama.

Bubur *autoklaf* buangan mengandung 5-7 g/L nikel dan 45-60 g/L asam sulfat bebas dalam larutan. Batu kapur menetralkan asam bebas ini dan besi hidroksida diendapkan sebelum pemisahan padat-cair (Kyle, 2010).

Setelah pemurnian larutan lebih lanjut, nikel dan kobalt kemudian diekstraksi dari cairan pelindian yang telah diklarifikasi dengan berbagai teknik untuk menghasilkan produk seperti campuran sulfida atau campuran hidroksida, atau produk yang lebih dimurnikan seperti logam dan oksida. Perolehan total nikel di tahap ini berkisar antara 90-95%.

Adapun perbandingan pembuatan nikel sulfida dapat dilihat pada tabel 1.6.

Tabel 1.6 Perbandingan Proses Hidromelurgi Pengolahan Bijih Nikel Laterit Menjadi Nikel Sulfida

Kriteria	Jenis Proses		
	<i>Heap Leaching</i>	<i>Caron</i>	HPAL
<i>Raw Material</i>	Limonit	Saprolit	Limonit
<i>Pressure</i>	Atmosferik	Atmosferik	40-45 bar
<i>Temperature (°C)</i>	30-90	850	220-280
<i>Ni rec (%)</i>	65,5	> 90	95

<i>Co rec (%)</i>	57,1	> 80	90,5
<i>Capital Cost</i>	<i>Moderate</i>	<i>Very High</i>	<i>High</i>
<i>Operation Cost</i>	<i>Low</i>	<i>High</i>	<i>High</i>
<i>Leach time</i>	534 hari	120 menit	120 menit

Sumber : (Amaliah, 2023)

Tabel 1.7 Kelebihan dan Kekurangan Proses Hidrometalurgi Pengolahan Bijih Laterit Menjadi Nikel Sulfida

Jenis Proses	Kelebihan	Kekurangan
<i>Heap Leaching</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya modal yang relatif rendah di bandingkan dengan teknologi proses lainnya • Memerlukan energi yang kecil 	<ul style="list-style-type: none"> • Konsumsi asam yang lebih tinggi dan pelepasan logam yang lebih rendah dari pada HPAL waktu leaching lama • Recovery nikel rendah
<i>Caron</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Teknologinya dapat di terapkan pada bijih lateri dengan kadar rendah • Ammoniak bisa di <i>recycle</i> • Reagennya murah • Dapat menggunakan konstruksi material standar karena memiliki permasalahan korosi yang minim 	<ul style="list-style-type: none"> • Memerlukan energi yang besar • Recoveri nikel yang rendah. Limonit rendah karena memakai limonit dengan kadar Mg rendah
<i>HPAL</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Prosesnya dapat diaplikasikan pada bijih lateri kadar rendah • Keseluruhan ekstraksi nikel dan kobalt, bijihnya lebih baik dari pada proses lainnya dan dapat diperoleh kembali sebagai 	<ul style="list-style-type: none"> • Proses ini tidak dapat di terapkan secara ekonomis pada bijih saprolit yang mengandung konsentrasi nikel tinggi • Ekstraksi asam bertekanan tinggi sangat

<p>produk terpisah jika dibutuhkan .</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Recovery</i> nikel tinggi • Prosesnya dapat digunakan pada lingkungan air asin. 	<p>korosif dan membutuhkan bahan konstruksi dan perawatan yang ekstensif serta mahal.</p>
--	---

Sumber : (Amaliah, 2023)

Berdasarkan data-data diatas, maka dapat disimpulkan bahwa proses hidrometalurgi dengan metode HPAL memiliki beberapa keunggulan dari berbagai sisi dibandingkan dengan proses *pyrometallurgy* dan metode lainnya pada proses hidrometalurgi. Jadi, proses yang digunakan untuk produksi komoditas nikel intermediate berupa nikel sulfida pada perncangan kali ini yaitu hidrometalurgi dengan metode HPAL.

1.4.5 Kegunaan Produk

Nikel sulfida digunakan sebagai bahan *intermediate* untuk menghasilkan logam nikel yang lebih murni, dan digunakan sebagai bahan baku untuk industri dibawahnya untuk menghasilkan nikel melalui proses *roasting*.

Nikel biasanya digunakan sebagai bahan tambahan atau dicampur dengan logam lain. Namun, ia juga dapat digunakan sebagai logam utama, seperti dalam pembuatan baja tahan karat atau bajanir karat, yang dibuat dari campuran nikel dengan krom dan besi. Lebih dari 65% nikel digunakan dalam industri baja tahan karat, dan sekitar 12% digunakan dalam pembuatan alloy super atau nonferrous. Karena produk yang dihasilkan dari industri logam nikel berfungsi sebagai bahan baku untuk berbagai kegiatan, industri ini memainkan peran penting dalam pembangunan dan kemajuan ekonomi nasional (Dwi Ardama Ferhi, 2019).

BAB XI KESIMPULAN

11.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan hasil perhitungan dari bab–bab sebelumnya pada pra rancangan pabrik Nikel Sulfida ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Pra rancangan pabrik Nikel Sulfida dari Bijih Laterit dengan kapasitas 85.000 ton/tahun direncanakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan sebagiannya diekspor ke luar negeri.
2. Dari analisis teknis dan ekonomi yang dilakukan, maka pabrik Nikel Sulfida dari Bijih Laterit dengan kapasitas 85.000 ton/tahun layak didirikan di Kec. Wawontoa, Kabupaten Luwu timur, Sulawesi Selatan.
3. Pra rancangan pabrik Nikel Sulfida dari Bijih Laterit merupakan perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan struktur organisasi *line and staff* dengan jumlah tenaga kerja 166 orang.
4. Dari perhitungan analisa ekonomi, maka Pra rancangan pabrik Nikel Sulfida dari Bijih Laterit ini layak didirikan dengan :

• <i>Fixed Capital Investment (FCI)</i>	= Rp 1.815.448.087.485,69
• <i>Working Capital Investment (WCI)</i>	= Rp 453.825.021.871,42
• <i>Total Capital Investment (TCI)</i>	= Rp 2.269.310.109.357,11
• <i>Total Production Cost (TPC)</i>	= Rp 31.865.076.592.288,60
• <i>Total Sales (TS)</i>	= Rp 179.387.236.116.000,00

- IRR = 93,150%
- Pay Out Time (POT) = 1,9 tahun
- Break Event Point (BEP) = 43,68%

DAFTAR PUSTAKA

- A. D. Dalvi, W. G. B. a. R. C. O., 2004. *The Past and The Future Of Nikel Laterites. PDAC 2004 Internasional Convention.*
- Amaliah, W. H., 2023. *Prarancangan Pabrik Nikel Sulfida (NiS) dari biji laterit Melalui Metode Hidrometalurgi dengan kapasitas 20.000 TON/TAHUN*, padang: <http://repo.bunghatta.ac.id/id/eprint/11265>.
- Baihaqi, 2018. *Tahapan Proses Ekstraksi Metalurgi*. Diakses di: <https://id.scribd.com/document/372706434/Tahapan-Proses-Ekstraksi-Metalurgi>
- D. Georgiu dan V. G. papangelakis, 1998. Sulphuric acid pressure leaching of a limonite laterite: chemistry and kinetics. *Hydrometallurgy*, Volume 49. Dwi Ardama Ferhi, e. a., 2019. *Inovasi dan Efisiensi Limbah Slag Nikel Yang Bernilai Tambah*. Jakarta: PT ANTAM TBK.
- Francisco Reyes, e. a., 2014. *Model based decision support system for the heap leaching process*. Santiago, Chile, Facultad de Ingeniera y Ciencias, Universidad Adolfo Ibáñez, Diagonal Las Torres 2640, Santiago, Chile, pp. 10664-10669.
- Geankoplis, C. J. (1993). *Transport Processes and Unit Operations (Third Edition)*. Asimon & Schuster Company
- Geoffrey S. Simante, e. a., 2010. The fungal and chemolithotropic leaching and opportunities. *Hydrometallurgy*, Volume 103 (1-4), pp. 150-157.

- Indrawati, I. S. D. E., 2022. Pelindian Nikel Laterit Low-Grade Pomala menggunakan Asam Organik dan Inorganik pada Kondisi Atmosfir. *Hexagon Juernal Teknik an Sains*.
- Iwan Nursahan, dkk. (2023). Dalam *Neraca Sumber Daya dan Cadangan Mineral, Batubara dan Panas Bumi Indonesia Tahun 2022* (hal. 46). Bandung: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Badan Geologi.
- Karnadi, A. (2021, Desember 28). Diambil kembali dari DataIndonesia.id: <https://dataindonesia.id/komoditas/detail/permintaan-nikel-dunia-capai-6-ribu-metrik-ton-pada-2040>
- Kern, D.Q. (1965). *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill.
- Kirk and Othmer, 2004. *Encyclopedia of Chemichal Technology*. 5 ed. New York: John wiley&Sons.
- Kusuma, G. D., 2012. Pengaruh reduksi Roasting dan Konsentrasi Leaching Asam Sulfat terhadap Recovery nikel dari bijih limonite. *skripsi, universitas Indonesia*.
- Kyle, J. H., 2010. Nickel laterite processing technologies – where to next?. *Conference: ALTA 2010 Nickel, Cobalt, Copper, Uranium and REE ConferenceAt: Perth, Western Australia*, p. 13.
- Mackey, Z. P. & P. J., 2013. *New Developments in Pyrometallurgy*. Diakses d:<https://doi.org/10.1007/s11837-013-0766-1>
- Marliah, S. (2023). Diambil dari Gramedia Blog: <https://www.gramedia.com/best-seller/manfaat-nikel-dalam-kehidupan-sehari-hari/>
- Mc Cabe, L., Warren, Julian C. Smith and Peter Harriot. 1985, *Unit Operation of Chemical Engineering*, Volume 5, Reinhold Publishing Cooperation, USA.

Mifta, e., 2020. Analisis Perbandingan Kadar Bijih nikel Laterit antara data Bor dan data produksi penambangan: implikasinya Terhadap Pengolahn Bijih Pada Blok X, PT. Vale Indonesia TBK. Sorowako. *Jurnal Penelitian Enjiniring, Fakultas Teknik UNHAS*, p. 2.

Muin, M. (2022, Januari 31). Diambil dari SINDONEWS.com:

<https://infografis.sindonews.com/photo/13519/indonesia-kuasai-52-persen-cadangan-nikel-di-dunia-1643585182>

Nusantara_mining, 2021. *Grafik Produksi Nikel Matte Indonesia*. Diakses di: <https://images.app.goo.gl/EwrP6ZCBPR2GMhdi8>

Perry, R. h. a. G. W., 2008. *Perry's Chemichal Engineers'handbook*. New york: McGraw-Hill book company.

Perry. (2019). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (D. W. Green, Ed.; 9 Th Edision). Mc Graw Hill

Perry, R. H. (1997). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (7th Edition). Mc Graw-Hill Company

Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). *Plant Design And Economics For Chemical Engineers* (4 Th Ed). Mc. Graw-Hill, Inc. .

Powel, S. T. (1954). *Water Conditioning For Industry*. McGraw.Hill Book Company

Pramudita, R. D., 2021. *mengenal lebih dekat bijih laterit di indonesia*. Diakses di: <https://www.kommpasia.com/rahma28429/5fef24bc8ede48190c13ac12/mengenal-lebih-dekat-nikel-laterit-di-indonesia>

Pratama, I. F. R. & N. S., 2015. *Prarancacngan Pabrik Nikel Sulfida dari Bijih Laterit Dengan Proses Hydrometallurgy Kapasitas 20.000 Ton/Tahun* ,

Surakarta: Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik-Universitas Sebelas Maret.

Pratama, J. P. C. Y., 2022. Proses Hidrometalurgi Ekstraksi Nikel Menggunakan Bijih Laterit Untuk Memproduksi MHP. *Experiment finding*, p. 1.

Pratima Meshram, A. & B. D. P., 2019. Advanced Review on Extraction of Nickel from Primary and Secondary Sources. *Mineral Processing and Extractive metalurgy Review*, p. 14.

Prasetyo, A. B., 2016. Analisis dan SEM Terhadap Hasil Kalsinasi Pada Bijih Nikel Laterit jenis Saprolit. *semnastek*.

PubChem, 2021. *National Library of Medicine*. Online diakses di: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/nNikel-sulfide>

Rahma, 2021. *Kompasiana*. Online diakses di: <https://www.kompasiana.com/rahma28429/5fef24bc8ede48190c13ac12/mengenal-lebih-dekat-bijih-nikel-laterit-di-indonesia>. Diakses 1 mei 2024.

Siregar, N. K., 2017. Ekstraksi Nikel Laterit Soroako Menggunakan Asam Sulfat . *skripsi*, p. 7.

voi.id, 2013. *Jadi Primadona di Pasar Internasional , Apa itu Nikel Matte*. Diakses di: <https://voi.id/ekonomi/306061/jadi-primadona-internasional-apa-itu-nikel-matte>

Yaws, C. L. (1999). *Chemical Properties Handbook* . Mc Graw-Hill.

Yuwandono, R. B., 2017. Analisa Pengaruh Variasi Waktu Tahan Terhadap Kadar Ni dan Fe Serta Morfologi Pada Proses Reduksi Bijih Nikel Laterit Limonit Menggunakan Bed Batubara-Dolomit. *Repository.its.id/Tugas Akhir, Departemen Teknik Material dan Metalurgi*.

