

PRARANCANGAN PABRIK NIKEL SULFAT ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) DARI MIXED HYDROXIDE PRECIPITATE (MHP) KAPASITAS 100.000

Muhammad Reza Fahlevi¹, Fadli², Ummu Kalsum³, Fitra Jaya⁴
Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Makassar
E-mail: *muhammad.reza.f112@gmail.com¹, fadlialvaro19@gmail.com²

ABSTRAK

Bijih nikel laterit diolah melalui dua metode utama: pirometalurgi dan hidrometalurgi. Pirometalurgi digunakan untuk bijih saprolit berkadar tinggi guna menghasilkan feronikel (FeNi), nikel pig iron (NPI), dan nikel matte. Hidrometalurgi memanfaatkan pelindian untuk memperoleh produk antara seperti mixed sulfide precipitate (MSP) dan mixed hydroxide precipitate (MHP), yang selanjutnya dimurnikan menjadi logam atau senyawa nikel murni. Prarancangan ini bertujuan memproduksi nikel sulfat heksahidrat ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) berkapasitas 100.000 ton/tahun melalui proses solvent extraction berbasis pelindian MHP. Tahapan utama meliputi pelindian MHP dengan asam sulfat, pemurnian larutan dari logam pengotor, serta pemisahan selektif kobalt dan nikel menggunakan ekstraktan organofosforik (P204, P507, Cyanex-272) dalam kerosin. Produk nikel diperoleh melalui stripping dan kristalisasi. Reaktor utama adalah Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) pada suhu $\pm 60^\circ\text{C}$. Kebutuhan bahan baku MHP ± 133.000 ton/tahun dengan penunjang H_2SO_4 , CaCO_3 , HCl, NaOH, dan ekstraktan organik. Sistem utilitas meliputi pengolahan air, pembangkit steam, listrik, penyimpanan bahan kimia, dan pengolahan limbah. Evaluasi ekonomi menunjukkan modal tetap Rp 208 miliar, modal kerja Rp 89 miliar, biaya produksi Rp 6,56 triliun/tahun, dan pendapatan Rp 6,95 triliun/tahun. Laba sebelum dan sesudah pajak Rp 312 miliar dan Rp 213 miliar, ROI masing-masing 74,93% dan 51,08%, Payback Period 1,25 dan 1,78 tahun, BEP 48,00%, serta SDP 27,49%. Analisis teknis dan ekonomi menyimpulkan pabrik ini layak diteruskan ke tahap berikutnya.

Kata kunci

Nikel laterit, MHP, solvent extraction, nikel sulfat heksahidrat, Cyanex-272.

ABSTRACT

Lateritic nickel ore can be processed through two main approaches: pyrometallurgy and hydrometallurgy. Pyrometallurgy is applied to high-grade saprolite ore to produce ferronickel (FeNi), nickel pig iron (NPI), and nickel matte. Hydrometallurgy utilizes leaching to obtain intermediate products such as mixed sulfide precipitate (MSP) and mixed hydroxide precipitate (MHP), which are further refined into pure nickel metals or compounds. This preliminary design aims to produce nickel sulfate hexahydrate ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) with a capacity of 100,000 tons/year via a solvent extraction process based on MHP leaching. The main stages include MHP leaching with sulfuric acid, purification of the solution from impurity metals, and selective separation of cobalt and nickel using organophosphoric extractants (P204, P507, Cyanex-272) diluted in kerosene. Nickel is recovered through stripping and crystallization. The primary reactor is a Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) operated at approximately 60°C . The process requires about 133,000 tons/year of MHP and supporting chemicals including H_2SO_4 , CaCO_3 , HCl, NaOH, and organic extractants. Utility systems consist of water treatment, steam generation, power supply, chemical storage, and waste treatment units. Economic evaluation indicates a fixed capital investment of IDR 208 billion, working capital of IDR 89 billion, annual production cost of IDR 6.56 trillion, and annual revenue of IDR 6.95 trillion. Pre- and post-tax profits are IDR 312 billion and IDR 213 billion, with ROIs of 74.93% and 51.08%, payback periods of 1.25 and 1.78 years, a BEP of 48.00%, and an SDP of 27.49%. Technical and economic analyses conclude that the plant is feasible for further development.

Keywords

Lateritic nickel, MHP, solvent extraction, nickel sulfate hexahydrate, Cyanex-272.

1. PENDAHULUAN

Permintaan nikel sulfat berkualitas tinggi terus meningkat, terutama sebagai bahan baku katoda baterai lithium-ion untuk kendaraan listrik. Di Indonesia, meskipun cadangan nikel laterit sangat besar, produksi nikel sulfat masih bergantung pada impor, yang volumenya berfluktuasi dan menunjukkan ketidakstabilan pasokan. Hal ini menimbulkan ketergantungan tinggi pada pasar luar negeri dan risiko terhadap ketersediaan bahan baku strategis. Tantangan utamanya adalah bagaimana membangun fasilitas produksi dalam negeri yang mampu memenuhi permintaan domestik dan mendukung hilirisasi industri nikel, sekaligus memastikan efisiensi proses, kualitas produk tinggi, dan kepatuhan terhadap regulasi pasar.

Prarancangan pabrik ini bertujuan menghasilkan nikel sulfat heksahidrat ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dengan kemurnian tinggi melalui proses solvent extraction berbasis pelindian MHP. Pabrik dirancang untuk memenuhi kebutuhan industri baterai nasional, mengurangi ketergantungan impor, meningkatkan nilai tambah mineral nikel, serta memperkuat rantai pasok domestik bahan baku katoda. Selain itu, proyek ini diharapkan mendorong perkembangan industri kimia berwawasan lingkungan, membuka lapangan kerja, dan mendukung strategi energi terbarukan.

Produksi nikel sulfat dari MHP dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain presipitasi, ion exchange, dan solvent extraction. Proses presipitasi sederhana dan berbiaya rendah namun kurang selektif, sedangkan ion exchange menawarkan selektivitas tinggi namun mahal dan kurang cocok untuk skala besar. Proses solvent extraction dipilih karena memiliki selektivitas tinggi terhadap nikel, menghasilkan kemurnian produk $>99,5\%$, efisien untuk skala industri, serta memungkinkan pemulihan nikel hampir sepenuhnya. Dalam rancangan ini, proses dimulai dengan pelindian MHP menggunakan asam sulfat, diikuti pemurnian bertahap (Fe/Al removal, ekstraksi pengotor divalen, pemisahan kobalt), ekstraksi nikel dengan Cyanex 272, stripping, oil removal, evaporasi, kristalisasi, pengeringan, dan pengemasan.

Kapasitas pabrik ditentukan dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, potensi pasar, dan regulasi persaingan usaha. Ketersediaan MHP nasional pada 2024 mencapai >300.000 ton/tahun, yang sebagian besar digunakan untuk industri baterai.

Tabel 1. Data Inpor Nikel Sulfat Dalam Negeri

Tahun	Impor (Ton/Tahun)	% P
2021	535,45	-
2022	481,55	-10,06642973
2023	419,29	-12,92861415
2024	2.668,49	536,4255153
i = pertumbuhan rata-rata/tahun		1,71

Berdasarkan data di atas, rata-rata pertumbuhan tahunan impor nikel sulfat dalam empat tahun terakhir menunjukkan fluktuasi tajam, yang mencerminkan ketidakstabilan pasokan dan tingginya ketergantungan pada pasar luar negeri. Kondisi ini mengindikasikan perlunya pembangunan fasilitas produksi nikel sulfat di dalam negeri untuk mengurangi volatilitas pasokan, menekan ketergantungan impor, dan memperkuat kemandirian rantai pasok bahan baku baterai seiring meningkatnya permintaan dari industri kendaraan listrik.

Pabrik nikel sulfat ini direncanakan akan mulai dibangun pada tahun 2030. Untuk menentukan kapasitas produksinya, digunakan pendekatan metode pertumbuhan diskonto (*discounted growth method*), yaitu dengan memperkirakan kebutuhan nikel sulfat pada tahun perencanaan berdasarkan tren historis. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$F_n = F_i (1+i)^n$$

Keterangan:

F_n : estimasi kebutuhan nikel sulfat pada tahun ke- n

F_i = kebutuhan nikel sulfat pada tahun dasar

i = tingkat pertumbuhan tahunan kebutuhan

n = selisih tahun antara tahun dasar dan tahun perencanaan

dimana :

$n = 2030 - 2024$ (6 tahun)

$i = 1,71$

$F_i = 2.668,49$

Sehingga dari data yang ada dapat kita olah dengan menggunakan konsep discounted method dan menghasilkan perhitungan sebagai berikut:

$$F_n = F_i (1+i)^n$$

$$F_n = 2.668,49 (1+1,71)^6$$

$$F_n = 1.060.380$$

Analisis kapasitas pasar dilakukan agar pabrik dapat memenuhi kebutuhan domestik tanpa melampaui batas penguasaan pasar yang diatur dalam UU No. 5 Tahun 1999 (maksimal 75% pangsa pasar). Berdasarkan pertimbangan ini, pabrik dirancang untuk mengambil 10% dari proyeksi kapasitas pasar tahun 2030, yaitu sebesar 100.000 ton/tahun.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam prarancangan pabrik nikel sulfat heksahidrat ini adalah studi literatur serta perhitungan teknik dan ekonomi yang bersifat deskriptif dan kuantitatif. Penelitian tidak dilakukan melalui percobaan laboratorium, melainkan melalui analisis data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber terpercaya, seperti jurnal ilmiah, buku teknik kimia, literatur proses industri kimia, serta data pasar yang relevan.

Process engineering flow diagram prarancangan pabrik ini menggambarkan alur produksi nikel sulfat dari bahan baku mixed hydroxide precipitate (MHP) dan asam sulfat menggunakan proses solvent extraction dengan kapasitas 100.000 ton/tahun. Diagram tersebut mencakup tahap pelindian MHP, pemurnian larutan dari logam pengotor,

Biaya Operasional	Rendah sedang	- Sedang – tinggi (resin mahal dan perlu regenerasi)	Sedang, tetapi efisien dalam jangka panjang
Kompleksitas Proses	Sederhana	Kompleks – kontrol kimia dan peralatan	Sedang – memerlukan kontrol fasa dan pH
Kecepatan Proses	Lambat (tergantung kinetika kristalisasi)	Sedang (tergantung siklus resin)	Cepat (transfer massa efisien)
Pemulihan Nikel	Tidak selalu lengkap	Tinggi bila dikontrol baik	Sangat tinggi (>95%)
Lingkungan	Limbah padat dari presipitat	Limbah resin	Limbah pelarut organik yang bisa didaur ulang

Berdasarkan perbandingan ketiga proses untuk menghasilkan nikel sulfat, proses yang dipilih adalah proses solvent ekstraksi dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Selektivitas Tinggi: Solvent extraction dapat dirancang menggunakan pelarut spesifik (misalnya Cyanex 272, D2EHPA) yang sangat selektif terhadap nikel, memungkinkan pemisahan efisien dari kobalt, besi, mangan, dll.
2. Kemurnian Produk Tinggi: Produk akhir nikel sulfat dapat mencapai kemurnian tinggi (>99,5%), penting untuk aplikasi baterai lithium-ion.
3. Skalabilitas Industri: Mudah diintegrasikan ke dalam alur produksi besar dengan sistem mixer-settler atau kolom ekstraksi kontinyu.
4. Kapasitas Produksi Besar: Cocok untuk pengolahan ratusan hingga ribuan ton per tahun, tidak seperti ion exchange yang lebih cocok untuk volume kecil-menengah.
5. Efisiensi Pemulihan Tinggi: Solvent extraction dapat memulihkan nikel hampir sepenuhnya dari larutan, meminimalkan kerugian logam berharga.
6. Kontrol Proses Lebih Baik: Parameter seperti pH, konsentrasi pelarut, dan rasio fasa dapat diatur untuk mengoptimalkan efisiensi dan selektivitas

3.2 Uraian proses yang Terpilih

Produksi nikel sulfat heksahidrat dimulai dengan pelindian (leaching) MHP menggunakan H_2SO_4 98% pada pH 1,5–2,5 dan suhu $\pm 60^\circ\text{C}$ di Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR). Tahap ini melarutkan Ni^{2+} dan Co^{2+} , sementara sebagian besar pengotor tetap dalam bentuk padat. Hasil pelindian dipisahkan di Thickener-101, menghasilkan underflow berupa lumpur limbah dan overflow berupa larutan kaya ion logam terlarut. Larutan tersebut kemudian melalui Fe/Al removal di reaktor kedua dengan penambahan CaCO_3 30% pada pH 4,0–4,6 dan suhu $\pm 60^\circ\text{C}$ di CSTR. Pada tahap ini juga dialirkan udara untuk mengoksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} sehingga lebih mudah mengendap sebagai $\text{Fe}(\text{OH})_3$, sekaligus mengeluarkan sisa gas hasil reaksi. Endapan dipisahkan di Thickener-102 sehingga diperoleh larutan jernih kaya Ni^{2+} dan Co^{2+} .

Tahap berikutnya adalah ekstraksi Cu, Mg, dan Zn pada pH 3–4 menggunakan pelarut organik P204 dalam kerosen di mixer-settler. Ion Ni^{2+} dan Co^{2+} tetap berada di fase air. Larutan kemudian memasuki ekstraksi Co pada pH 4–5 menggunakan P507 dalam kerosen untuk memindahkan Co^{2+} ke fase organik, meninggalkan Ni^{2+} di fase air. Ekstraksi Ni dilakukan menggunakan Cyanex 272 pada pH 6 untuk memindahkan Ni^{2+} ke fase organik. Setelah itu, nikel dikembalikan ke fase air pada tahap stripping menggunakan larutan H_2SO_4 pada pH 1–2, menghasilkan larutan NiSO_4 murni. Sisa pelarut organik dihilangkan pada tahap oil separation treatment menggunakan arang aktif di CSTR. Larutan murni nikel sulfat kemudian dikonsentrasikan pada tahap evaporasi dengan mechanical vapor recompression evaporator hingga mencapai kondisi jenuh, lalu dikristalkan di forced circulation crystallizer menjadi kristal $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ berwarna hijau kebiruan. Kristal dipisahkan dari larutan ibu menggunakan centrifuge, dikeringkan di rotary dryer pada suhu terkontrol untuk mencegah hilangnya air kristal, dan dikemas dalam kantong tahan lembap. Produk akhir diuji kemurniannya ($>99,5\%$), kadar air, dan ukuran partikel sebelum distribusi, terutama untuk industri baterai kendaraan listrik.

3.3 Utilitas

Utilitas pabrik dirancang untuk menjamin kelancaran dan efisiensi proses produksi melalui penyediaan air proses dan pendingin, listrik, steam, udara tekan, serta pengolahan limbah. Kapasitas tiap unit ditentukan berdasarkan kebutuhan aktual dengan mempertimbangkan faktor keamanan, efisiensi energi, dan keberlanjutan lingkungan sehingga pabrik dapat beroperasi secara andal dalam mencapai target produksi 100.000 ton nikel sulfat heksahidrat per tahun.

Tabel 3. Kebutuhan Utilitas Utama Pabrik Nikel Sulfat

Utilitas	Kebutuhan Total	Satuan
Air	216241,7964	lb/jam
Steam	1.201.696,94	lb/jam
Listrik	6417	kWH
Bahan Bakar	14.884,29	lb/jam

3.4 Analisis Ekonomi

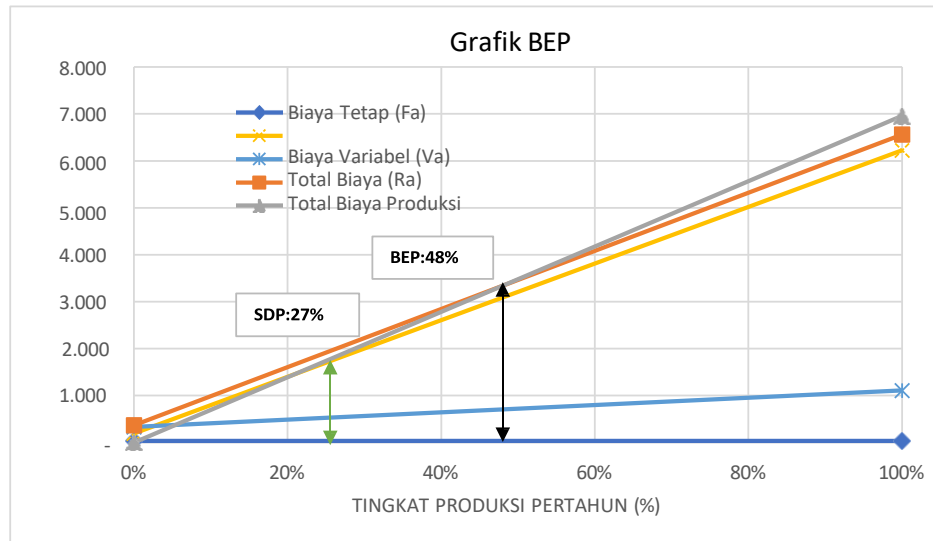
Analisis ekonomi dilakukan untuk menilai kelayakan finansial prarancangan pabrik nikel sulfat heksahidrat, sehingga dapat diketahui apakah investasi yang direncanakan mampu memberikan keuntungan yang memadai dan kembali modal dalam waktu yang wajar. Evaluasi mencakup estimasi modal, biaya produksi, pendapatan, serta indikator profitabilitas seperti ROI, POT, BEP, IRR, dan SDP. Hasil analisis ekonomi ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. Modal, Biaya Produksi dan Laba

Keterangan	Nilai
Modal Tetap	Rp 209 miliar
Modal Kerja	Rp 89 miliar
Total Investasi	Rp 298 miliar
Biaya Produksi Tahunan	Rp 5,45 triliun
Penjualan Tahunan	Rp 6,96 triliun
Laba Sebelum Pajak	Rp 312 miliar
Laba Setelah Pajak	Rp 213 miliar

Tabel 5. Indikator Kelayakan Ekonomi

Analisa	Nilai	Range/Kriteria	Keterangan
BEP	48,00%	40–60%	Memenuhi
POT Sebelum Pajak	1,25 thn	2–5 tahun	Memenuhi
POT Sesudah Pajak	1,78 thn	2–5 tahun	Memenuhi
IRR	54,07%	>14%	Memenuhi
SDP	27,49%	20–40%	Memenuhi



Gambar 2. Analisis Ekonomi Pabrik Nikel Sulfat

4. KESIMPULAN

Berdasarkan desain proses dan analisa ekonomi pabrik Nikel Sulfat Heksahidrat ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dari MHP, ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pabrik dirancang dengan kapasitas produksi sebesar 100.000 ton per tahun.
2. Bentuk hukum perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT).
3. Lokasi pabrik direncanakan di Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah.
4. Analisis ekonomi menunjukkan ROI sebesar 74,93% (sebelum pajak) dan 51,08% (sesudah pajak), Pay Out Time masing-masing 1,25 tahun dan 1,78 tahun, Break Even Point 48,00%, serta Shut Down Point 27,49%.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, prarancangan pabrik nikel sulfat ini dinyatakan layak untuk direalisasikan.

5. DAFTAR PUSTAKA

Anisyabana, N., Anggraeni, A., Pratomo, U. & Fadiyah, R.A., 2021. Effect of different types of extractants in the separation of rare earth metals using emulsion liquid membrane method: A review. *Jurnal Akademika Kimia*, 10(2), pp.105–118. doi:10.22487/j24775185.2021.v10.i2.pp105-118.

Bird, R.B., 1960. *Transport phenomena*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Brown, G.G., 1978. *Unit operations* (Modern Asia ed.). Tokyo: Charles Tuttle Co.

- Brownell, L.E. & Young, E.H., 1979. *Process equipment design*. New Delhi: Wiley Eastern Ltd.
- Coulson, J.M. & Richardson, J.F., 1985. *An introduction to chemical engineering design (Chemical Engineering Vol. 6)*. Oxford: Pergamon Press.
- Foust, A.S., 1980. *Principles of unit operations* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Geankoplis, C.J. & Richardson, J.F., 1989. *Design transport processes and unit operations*. Oxford: Pergamon Press.
- GEM Indonesia, 2021. *MHP product composition*. <https://www.gemindonesia.com>, Accessed 7 April 2025.
- Habashi, F., 1999. *A textbook of hydrometallurgy* (2nd ed.). Québec: Métallurgie Extractive Québec, pp.65–200, 438–527.
- Hill, C.G., 1966. *An introduction to chemical engineering kinetics and reactor design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Hougen, O.A. & Watson, K.M., 1966. *Chemical process principles* (Part 1, 2nd ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Jones, D.L., McCoy, T.M., Mayhew, K.E., Cheng, C.Y., Barnard, K.R. & Zhang, W., 2010. A new process for cobalt–nickel separation.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2020. *Peluang investasi nikel Indonesia*. Jakarta: Kementerian ESDM. <https://www.esdm.go.id/id/booklet/booklet-tambang-nikel-2020>.
- Kern, D.Q., 1965. *Process heat transfer*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Kihlblom, C., 2021. Separation of cobalt and nickel using CYANEX 272 for solvent extraction. Boliden Mineral AB.
- Kirk, R.E. & Othmer, P.F., 1978. *Encyclopedia of chemical technology* (Vol. 1, 2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- McCabe, W.L., Smith, J.C. & Harriott, P., 1985. *Unit operations of chemical engineering* (4th ed.). New York: McGraw-Hill Book Co.
- McKetta, J.J. & Cunningham, W.A., 1975. *Encyclopedia of chemical processing and design* (Vol. 1). New York: Marcel Dekker, Inc.
- Nogueira, C.A., Oliveira, P.C. & Pedrosa, F.M., 2009. Separation of cadmium, cobalt, and nickel by solvent extraction using the nickel salts of the extractants. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, 27(2), pp.295–311.
- Olivier, M.C., 2011. Developing a solvent extraction process for the separation of cobalt and iron from nickel sulfate solutions. Master's thesis. Stellenbosch University.
- Perry, R.H. & Green, D.W., 1999. *Perry's chemical engineers' handbook* (7th ed.). New York: McGraw-Hill Book Co.
- Peters, M.S. & Timmerhaus, K.D., 1981. *Plant design and economics for chemical engineers* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill Book Co.
- Ritcey, G.M., 2006. *Solvent extraction: Principles and applications to process metallurgy* (2nd ed., Vol. 1). Ontario: G.M. Ritcey & Associates Incorporated, pp.69–184.
- Rydberg, J. ed., 2004. *Solvent extraction principles and practice* (2nd ed.). New York: Marcel Dekker, pp.281–341.
- Smith, J.M. & Van Ness, H.C., 1975. *Introduction to chemical engineering thermodynamics* (3rd ed.). Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha Ltd.
- Sole, K.C., 2018. The evolution of cobalt–nickel separation and purification technologies: Fifty years of solvent extraction and ion exchange. In *The Minerals, Metals & Materials Series*, pp.1167–1191. Springer International Publishing.
- Treybal, R.E., 1981. *Mass-transfer operations* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill Book Co.

- Ulrich, G.D., 1984. *A guide to chemical engineering process design and economics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Vignes, A., 2011. *Extractive metallurgy 2: Metallurgical reaction processes*. Great Britain: ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc., pp.1–86.
- Walas, S.M., 1988. *Chemical process equipment: Selection and design* (3rd ed.). Oxford: Butterworth.
- Yaws, C.L., 1999. *Thermodynamic and physical property data*. New York: McGraw-Hill Book Co.