

Bidang: Teknik dan Analisis Kimia Mineral  
Proses Teknik Kimia

Topik: Rekayasa dan Perancangan

## ANALISIS PROSES PELEBURAN BIJIH NIKEL MELALUI SIMULASI BASISITAS TERAK DAN PENGARUHNYA TERHADAP PERSEN PADATAN DAN VISKOSITAS PADA *ELECTRIC FURNACE*

Cipta Panghegar<sup>1\*</sup>, Dimas Rafi Ainnurreza<sup>2</sup>, Infantri Putra<sup>3</sup>, Iwan Kurniawan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung

<sup>2</sup>PT Indonesia Weda Bay Industrial Park

cipta.panghegar@gmail.com<sup>1\*</sup>, dimasrafi.pml@gmail.com<sup>2</sup>,

infantri.putra@gmail.com<sup>3</sup>, iwan.kurniawan@wedabay.id<sup>4</sup>

### ABSTRAK

Proses reduksi bijih nikel laterit dipengaruhi beberapa hal. Artikel ini akan berfokus pada simulasi variasi basisitas untuk mempelajari pengaruhnya terhadap viskositas maupun titik leleh dari terak. Simulasi dihitung menggunakan aplikasi *factsage* 8.2 dengan masukan data berasal dari rerata komposisi terak yang diproduksi oleh PT. Indonesia Weda Bay Industrial Park (PT IWIP). Simulasi dilakukan untuk memberikan acuan teknis dalam proses *slag skimming*. Dalam hal ini, terak memiliki basisitas SiO<sub>2</sub>/MgO senilai 1.71 dengan kandungan Fe atau FeO sebesar 10.3%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 2.29%, dan CaO 0.53%. Diagram terner dibuat berdasarkan komposisi-komposisi tersebut dengan mengacu pada sistem SiO<sub>2</sub> – MgO – FeO. Variasi basisitas yang digunakan dalam perhitungan adalah 2,1; 1,9; 1,7; 1,5; dan 1,3. Berdasarkan minimisasi energi gibbs, padatan yang terbentuk pada terak adalah 2MgO.2SiO<sub>2</sub>, MgO.SiO<sub>2</sub>, dan MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Titik leleh masing-masing basisitas adalah 1460°C, 1480°C, 1540°C, 1590°C dan 1650°C. Viskositas tertinggi dimiliki oleh terak dengan basisitas 2,1 dan terendah pada basisitas 1,3.

**Kata kunci:** bijih nikel, proses peleburan, basisitas, terak, *factsage* 8.2

### ABSTRACT

The laterite nickel ore process efficiency is affected by various parameters including. These will take effect on FeNi production and slag forming process. Among the parameters, the article will focus on slag binary basicity through software simulation and its influence on viscosity and slag melting point. The simulation was conducted on *Factsage* 8.2. The slag composition data acquired from electric furnace process of PT IWIP. It was used as simulation input. The simulation result will be utilized as technical guide on slag skimming process. Electric furnace slag exhibited a basicity (SiO<sub>2</sub>/MgO) of 1.71 with Fe or FeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO contents are 10.3%, 2.29%, and 0.53%, respectively. The ternary diagram was composed accordingly. Basicity simulation was calculated using basicity of 2.1, 1.7, 1.5, and 1.3. Simulation result showed that solid formed in slag are 2MgO.2SiO<sub>2</sub>, MgO.SiO<sub>2</sub>, and MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Melting point of slags on different basicities are 1460°C, 1480°C, 1540°C, 1590°C, and 1650°C. The highest basicity was possessed by slag with basicity of 2.1 while the lowest is 1.3 basicity.

**Keywords:** Nickel Ore, Ferronickel Smelting, Slag Basicity, ferronickel slag, *factsage* 8.2

### PENDAHULUAN

Bijih nikel merupakan salah satu sumber daya mineral yang melimpah di Indonesia. Terdapat dua jenis bijih nikel yang bernilai ekonomis untuk dilakukan pengolahan yaitu jenis dengan konsentrasi residual nikel silika hasil pelapukan batuan beku ultrabasa yang sering disebut endapan nikel laterit dan deposit nikel sulfida yang terbentuk akibat injeksi magma [1]. Umumnya laterit diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu kelompok bijih dengan kadar magnesia yang tinggi, seperti saprolit dan kelompok dengan kadar magnesia rendah tapi memiliki kadar besi (Fe) dan nikel (Ni) yang tinggi [2]. Kelompok dengan kadar magnesia yang tinggi umumnya diproses dengan cara pirometalurgi [3]. Alasan utama dilakukannya smelting pada kelompok bijih ini karena nikel menggantikan magnesium pada magnesium-silikat dan untuk mendapatkan nikel.

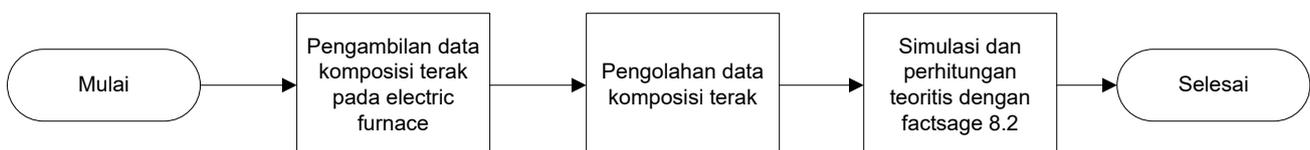
Pengolahan bijih nikel laterit menjadi logam ferronickel atau nickel pig iron umumnya dilakukan dengan melakukan proses peleburan (pirometalurgi) menggunakan teknologi rotary kiln-electric furnace (RKEF) [3]. Dalam proses peleburan bijih nikel, PT Indonesia Weda Bay Industrial Park (PT IWIP) menggunakan proses peleburan (pirometalurgi) dengan teknologi rotary kiln electric furnace (RKEF). Prosesnya meliputi drying menggunakan rotary dryer dengan tujuan mengurangi kandungan air dalam bijih. Produk dari rotary dryer diolah pada proses kalsinasi menggunakan rotary kiln. Produk dari kalsinasi ini kemudian masuk pada electric furnace untuk menghasilkan ferronickel (FeNi). Hal tersebut dikarenakan teknologi pirometalurgi mampu menghasilkan recovery produk yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknologi hidrometalurgi (Nurjaman, 2022). Pada proses pirometalurgi, temperatur lebur slag menjadi salah satu faktor penting dalam proses peleburan.

Proses reduksi bijih nikel laterit dipengaruhi oleh basisitas, dimana temperatur lebur slag rendah akan memberikan dampak positif karena laju reaksi difusi akan berlangsung lebih cepat dalam kondisi cair. Sedangkan temperatur lebur slag tinggi akan memberikan dampak negatif yang menyebabkan kandungan nikel dalam produk akan berkurang. Basisitas biner ( $\text{SiO}_2/\text{MgO}$ ) dalam proses reduksi senyawa nikel oksida (NiO) berpengaruh pada perolehan nikel, dimana perolehan nikel meningkat seiring dengan penambahan flux ( $\text{SiO}_2$ ) atau dengan kata lain semakin rendah basisitas (kondisi asam) maka perolehan nikel akan semakin meningkat [2].

Penelitian dibidang peleburan nikel laterit tidak hanya berfokus pada perolehan recovery Ni yang tinggi, tapi di beberapa penelitian yang lain memfokuskan penelitiannya untuk memperoleh ferronickel dengan kadar yang tinggi. Dari beberapa hasil penelitian didapatkan bahwa proses reduksi pada bijih nikel laterit dipengaruhi beberapa hal diantaranya kondisi atmosfer proses reduksi, komposisi bahan baku, dan penambahan aditif [4]. Lv dkk melaporkan bahwa tidak hanya penambahan batu kapur tetapi juga kadar FeO pada terak dapat mempengaruhi viskositas [5]. Hidayat dkk melakukan analisis mikro untuk menentukan diagram kesetimbangan pada proses peleburan non-ferrous ( $\text{Cu}_2\text{O} - \text{PbO} - \text{ZnO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{MgO} - \text{FeO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{S}$ ). Dengan teknis analisis mikro tersebut, database dapat disusun untuk simulasi proses pirometalurgi yang lebih akurat [6]. Jak dkk melakukan permodelan dengan database *factsage* untuk memprediksi viskositas slag pada sistem  $\text{MgO} - \text{FeO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ . Dilaporkan bahwa viskositas dan persen padatan meningkat seiring dengan berkurangnya kadar FeO pada terak. Selain itu, viskositas akan meningkat seiring dengan tingginya rasio  $\text{SiO}_2/\text{MgO}$ . Hal ini juga mempengaruhi titik leleh pada terak [7]. Pada artikel ini, data karakterisasi terak feronikel pada PT Indonesia Weda Bay Industrial Park (IWIP) digunakan sebagai data sekunder untuk masukan simulasi di aplikasi *factsage* 8.2. Hasil simulasi akan digunakan sebagai acuan dalam proses *slag skimming* untuk menghindari pembekuan terak.

## METODE PENELITIAN

Data yang digunakan merupakan data yang diambil pada electric furnace. Data tersebut merupakan data sekunder yang meliputi hasil analisis komposisi slag. Komposisi slag didapatkan melalui analisis menggunakan X Ray Fluorescence (XRF) Analisis komposisi slag dan FeNi menggunakan alat XRF. Sampel yang digunakan berupa koin kaca yang telah melewati peleburan menggunakan electric furnace skala lab. sampel slag, jel silika dan fluks dicampur dengan homogen pada cawan, kemudian dilebur pada temperatur proses peleburan sekitar  $1050^\circ\text{C}$  selama 15 menit. Data komposisi rata-rata slag akan dijadikan sebagai masukan untuk simulasi *factsage* dengan nilai basisitas biner  $\text{SiO}_2/\text{MgO}_2$  pada 1,3 hingga 2,1 dan temperatur pada  $1450^\circ\text{C}$  hingga  $165^\circ\text{C}$ . Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi rerata slag yang didapatkan dari produksi electric furnace dicantumkan pada Tabel. 1. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa terdapat kandungan Fe yang akan diasumsikan sebagai FeO,  $\text{SiO}_2$  dan MgO sebanyak 10.03%, 50.28% dan 29.28% berat. Nilai ini akan dijadikan sebagai input komposisi terak pada perangkat lunak *factsage* 8.2.

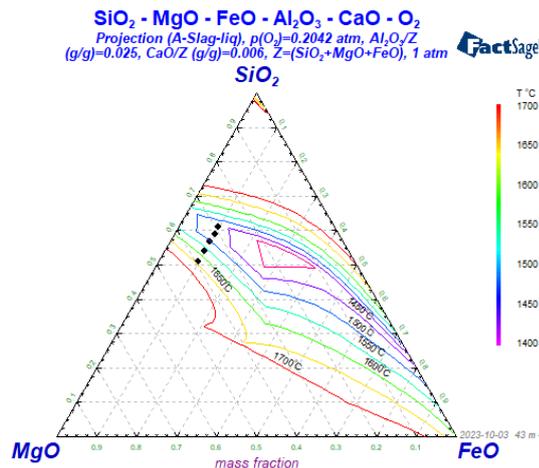
Berdasarkan komposisi tersebut, diketahui bahwa basisitas terak  $\text{SiO}_2/\text{MgO}$  sebesar 1,71. Oleh karena itu dalam proses simulasi digunakan variasi basisitas  $\text{SiO}_2/\text{MgO}$  sebesar 2,1 (B1); 1,9 (B2); 1,7 (B3); 1,5 (B4); dan 1,3 (B5). Masukan data dan prosedur mengadopsi prosedur penelitian yang telah dilakukan oleh Chen, dkk [3]. Variasi basisitas B1 hingga B5 diplotting kedalam diagram ternary sistem  $\text{SiO}_2\text{-MgO-FeO}$  dengan kadar  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 2.29% dan CaO 0.52%. Hasil plot basisitas dapat dilihat pada Gambar 2. Area liquidus pada temperatur  $1450 - 1700^\circ\text{C}$  digambarkan oleh garis berwarna sesuai dengan

gradien yang tertera pada sisi samping diagram.

**Tabel 1 .** Komposisi slag hasil karakterisasi menggunakan XRF

Senyawa	Kadar (%)
Total Fe	10.03
Ni	0.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.29
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.48
SiO <sub>2</sub>	50.28
MgO	29.28
CaO	0.53

Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bahwa B1 dan B2 sudah masuk kedalam fasa liquid pada temperature 1450 °C – 1500 °C. Secara keseluruhan dapat diamati bahwa semakin rendah basisitas SiO<sub>2</sub>/MgO maka semakin tinggi temperature yang dibutuhkan untuk melelehkan terak secara sempurna.

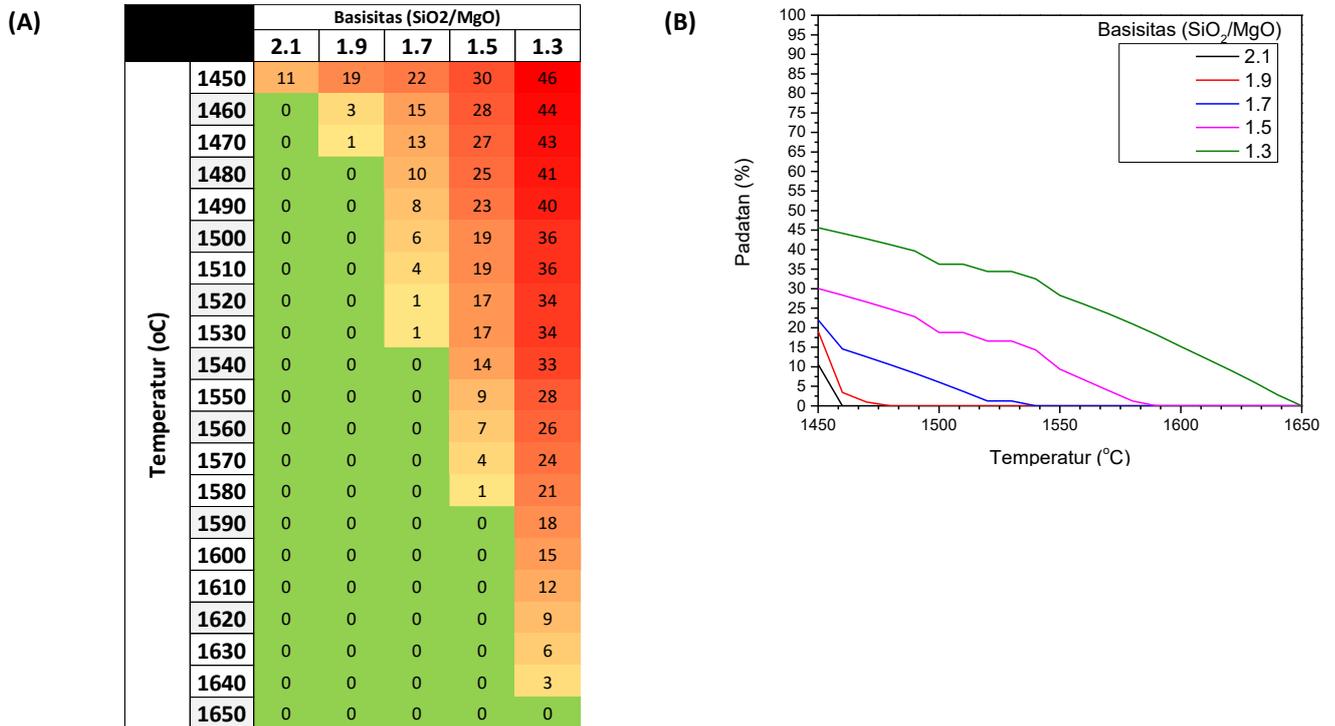


**Gambar 2.** Diagram terner sistem SiO<sub>2</sub> – MgO – FeO dihitung dengan aplikasi *factsage* 8.2.

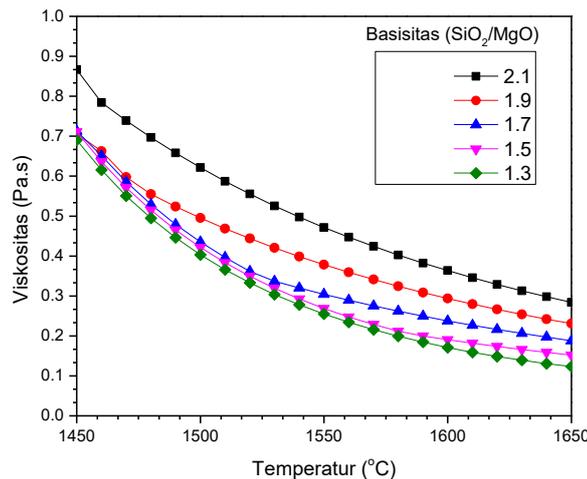
Selain itu, dalam artikel akan digunakan variasi temperatur untuk mengetahui persen padatan yang terbentuk.. Berdasarkan temperatur rata-rata skimming terak electric furnace pada 1550°C, dipilih rentang temperature 1450 °C hingga 1650 °C. Perhitungan persen padatan dengan modul equilib *factsage* 8.2 menunjukkan hasil yang tertera pada Gambar 3 **Error! Reference source not found.**(A). Gambar 3 (A) menunjukkan hal yang sama seperti pada diagram terner. Semakin rendah basisitas maka temperature yang lebih tinggi dibutuhkan untuk melelehkan terak. Grafik ini dapat digunakan sebagai visualisasi yang lebih umum dari perhitungan diagram terner. Akan tetapi terdapat perbedaan antara area liquidus dan hasil perhitungan dengan modul equilib. Hal ini perlu ditelaah lebih lanjut dalam simulasi maupun konfirmasi melalui eksperimen. Gambar 3(B) menunjukkan bahwa basisitas 2,1 (B1) akan leleh sempurna pada temperature 1460 °C sedangkan basisitas 1,3 (B5) leleh sempurna pada temperatur 1650 °C. Persen padatan tertinggi untuk masing-masing basisitas B1, B2, B3, B4, dan B5 adalah 11%, 19%, 22%, 30%, dan 46%. Hasil perhitungan menunjukkan terbentuknya fasa padatan spinel (MgCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) dan clinopyroxene (2MgO.2SiO<sub>2</sub>). Sedangkan pada basisitas 1,9 (B2) terbentuk juga fasa padatan olivine (MgO.SiO<sub>2</sub>). Pada basisitas 1,9 (B2) menunjukkan penurunan %padatan yang signifikan pada temperature 1460 °C. jumlah padatan berkurang dari 19% ke 3%. Hal ini disebabkan hilangnya fasa clinopyroxene pada temperature 1460 °C. Sedangkan pada basisitas 1,3 (B5) dan 1,5 (B4) tidak terbentuk fasa padatan clinopyroxene hanya spinel dan olivine. Kemudian dapat diamati pula bahwa, terak dengan basisitas 1.7 (B3) menunjukkan titik leleh pada temperature ~1540 °C. Pada basisitas ini clinopyroxene hanya terbentuk pada temperatur 1450 °C.

Basisitas dapat mempengaruhi nilai viskositas dari terak [5]. Oleh karena itu, komposisi lelehan terak masing-masing basisitas yang telah dihitung menggunakan aplikasi akan dijadikan input dalam memperkirakan viskositas lelehan terak. Data viskositas dapat dilihat pada Gambar 4. Dapat diamati bahwa secara garis besar terak yang memiliki basisitas lebih tinggi memiliki viskositas yang lebih tinggi pula. Hal ini disebabkan SiO<sub>2</sub> yang berperan sebagai network-former pada terak [8]. Terak dengan Basisitas 1.5 (B4) dan 1.3 (B5) memiliki profil basisitas yang tidak terlalu berbeda. Begitu juga dengan terak B3,

viskositasnya mirip dengan B4 dan B3 hingga temperatur 1530°C yang kemudian menjadi lebih tinggi setelah meleleh pada temperatur selanjutnya. Hal ini disebabkan larutnya SiO<sub>2</sub> kedalam lelehan terak. Nilai viskositas pada titik lelehnya (berdasarkan Gambar 3(A)) untuk masing-masing nilai basisitas B1, B2, B3, B4, dan B5 adalah 0,784 Pa.s; 0.495 Pa.s; 0.337 Pa.s; 0.200 Pa.s; dan 0.355 Pa.s. Nilai viskositas ini perlu ditelaah lebih lanjut efeknya terhadap hasil peleburan ferronickel [9].



Gambar 3. (A) Plot persen padatan pada variasi temperature dan basisitas. (B) Grafik temperature vs %padatan



Gambar 4. Grafik temperature vs viskositas (Pa.s) hasil perhitungan menggunakan aplikasi *factsage*

### KESIMPULAN

Simulasi variasi basisitas pada terak electric furnace produksi *ferronickel* telah dilakukan dengan perhitungan *factsage* 8.2. Diketahui bahwa :

1. Nilai basisitas yang menurun akan meningkatkan titik leleh terak. Basisitas SiO<sub>2</sub>/MgO senilai 2,1 melebur sempurna pada temperature 1460°C sedangkan terak dengan basisitas 1,3 melebur pada temperatur 1650°C.
  2. Terak dengan basisitas yang lebih tinggi memiliki viskositas yang relatif lebih tinggi saat titik leburnya. Viskositas tertinggi dimiliki oleh terak dengan basisitas 2,1 yaitu 0,784 Pa.s dan terendah pada basisitas 1,3 dengan nilai 0,355 Pa.s
- Hasil simulasi seperti titik leleh dan viskositas terak dapat digunakan sebagai acuan dalam proses slag skimming agar tidak terjadi pembekuan di jalur keluar slag.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pihak Perusahaan PT Indonesia Wedabay Industrial Park yang telah bekerja sama terkait dengan penulisan dan pembuatan artikel ini. Penulis ingin berterimakasih atas kesempatan untuk menelaah data komposisi terak serta pengujian terkait. Terimakasih penulis sampaikan kepada PEP Bandung yang telah menyediakan fasilitas perangkat lunak *factsage* 8.2 yang menjadi alat perhitungan utama dalam artikel ini. Selain itu, penulis ingin berterimakasih kepada Bapak Taufiq Hidayat (ITB) atas saran dan masukannya untuk proses simulasi *factsage* 8.2.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. R. Swinbourne, "Understanding ferronickel smelting from laterites through computational thermodynamics modelling," *Trans. Institutions Min. Metall. Sect. C Miner. Process. Extr. Metall.*, vol. 123, no. 3, pp. 127–140, 2014, doi: 10.1179/1743285514Y.0000000056.
- [2] F. Nurjaman et al., "Study of Binary, Ternary, and Quaternary Basicity in Reduction of Saprolitic Nickel Ore," *Trans. Indian Inst. Met.*, vol. 74, no. 12, pp. 3249–3263, 2021, doi: 10.1007/s12666-021-02391-7.
- [3] Y. feng Chen, X. ming Lv, Z. de Pang, and X. wei Lv, "Effect of basicity and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on viscosity of ferronickel smelting slag," *J. Iron Steel Res. Int.*, vol. 27, no. 12, pp. 1400–1406, 2020, doi: 10.1007/s42243-020-00504-y.
- [4] D. Zulyansyah, "Reduksi langsung Bijih nikel Laterit Limonitik Dengan Variasi Jenis Reduktor Terhadap Kadar Ni dan Fe Serta Recovery Menggunakan Bed Batubara," Insititute Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [5] X. M. Lv, X. W. Lv, L. W. Wang, J. Qiu, and M. Liu, "Viscosity and structure evolution of the SiO<sub>2</sub>-MgO-FeO-CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> slag in ferronickel smelting process from laterite," *J. Min. Metall. Sect. B Metall.*, vol. 53, no. 2, pp. 147–154, 2017, doi: 10.2298/JMMB150911002L.
- [6] T. Hidayat, P. C. Hayes, and E. Jak, "Microanalysis and Experimental Techniques for the Determination of Multicomponen Phase Equilibria for Non-ferrous Smelting and Recycling Systems," *Extraction*, pp. 781–795, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-95022-8\_62.
- [7] E. Jak and P. C. Hayes, "Slag phase equilibria and viscosities in ferronickel smelting slags," *Proc. 12th Int. Ferroalloys Congr. Sustain. Futur.*, no. January 2010, pp. 631–639, 2010.
- [8] C. K. Gupta, *Chemical metallurgy : principles and practice*. Wiley-VCH, 2003.
- [9] J. Luo et al., "Control of slag formation in the electric furnace smelting of ferronickel for an energy-saving production," *J. Clean. Prod.*, vol. 287, no. xxxx, p. 125082, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125082.