

**PELINDIAN BIJIH NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN CAIRAN IONIK
EUTEKTIK KOLIN Klorida-ASAM OKSALAT: PENGARUH
BERBAGAI PARAMETER PELINDIAN TERHADAP PELARUTAN
LOGAM**

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada
Program Studi Kimia



oleh:

Yohanes Ivan Benaya Parlindungan Nainggolan

1908959

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
BANDUNG
2023**

**PELINDIAN BIJIH NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN CAIRAN IONIK
EUTEKTIK KOLIN Klorida-ASAM OKSALAT: PENGARUH
BERBAGAI PARAMETER PELINDIAN TERHADAP PELARUTAN
LOGAM**

oleh:

Yohanes Ivan Benaya Parlindungan Nainggolan
1908959

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Sains pada Program Studi Kimia

© Yohanes Ivan Benaya Parlindungan Nainggolan 2023
Universitas Pendidikan Indonesia
Agustus 2023

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak
ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

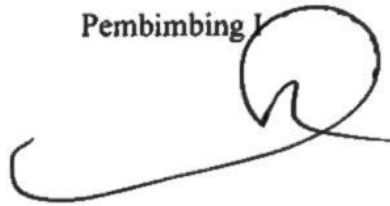
HALAMAN PENGESAHAN

YOHANES IVAN BENAYA PARLINDUNGAN NAINGGOLAN

**PELINDIAN BIJIH NIKEL LATERIT MENGGUNAKAN CAIRAN IONIK
EUTEKTIK KOLINIUM KLORIDA-ASAM OKSALAT: PENGARUH
BERBAGAI PARAMETER PELINDIAN TERHADAP PELARUTAN LOGAM**

disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I



Dr. rer. nat. H. Ahmad Mudzakir, M.Si.
NIP 196611211991031002

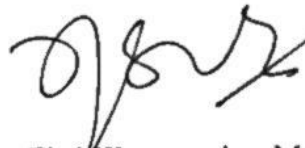
Pembimbing II



Prof. Dr. Eng. H. Asep Bayu Dani Nandiyanto, M.Eng.
NIP 198309192012121002

Mengetahui,

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Fitri Khoerunnisa, M.Si., Ph.D.
NIP 197806282001122001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Pelindian Bijih Nikel Laterit menggunakan Cairan Ionik Eutektik Kolin Klorida-Asam Oksalat: Pengaruh Berbagai Parameter Pelindian terhadap Pelarutan Logam”** ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menerima risiko atau sanksi apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya.

Bandung, Agustus 2023

Yang Membuat Pernyataan,

Yohanes Ivan Benaya Parlindungan Nainggolan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan YME karena atas berkat dan kehendak-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pelindian Bijih Nikel Laterit menggunakan Cairan Ionik Eutektik Kolin Klorida-Asam Oksalat: Pengaruh Berbagai Parameter Pelindian terhadap Pelarutan Logam”, sebagai salah satu syarat untuk memenuhi tercapainya gelar sarjana sains pada Program Sarjana (S1) Jurusan Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia.

Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan wawasan dan bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak serta dapat berkontribusi dalam kemajuan penelitian khususnya dalam bidang kimia. Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran dari semua pihak yang sifatnya membangun sangat diperlukan untuk perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Bandung, Agustus 2023

Penulis,

Yohanes Ivan Benaya Parlindungan Nainggolan

UCAPAN TERIMA KASIH

Pelaksanaan dan penulisan skripsi ini akan sulit terlaksana tanpa adanya bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk, bantuan dan dorongan dari banyak pihak baik bersifat moral maupun material. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. rer. nat. H. Ahmad Mudzakir, M.Si. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan saran, bimbingan, arahan, dan membiayai penelitian skripsi ini, dan Bapak Prof. Dr. Eng. H. Asep Bayu Dani Nandiyanto, M.Eng. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, dan saran selama penulisan skripsi ini.
2. Ibu Prof. Dr. Fitri Khoerunnisa, M.Si., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Kimia yang telah memberikan izin dan dukungan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Heli Siti Halimatul M., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama penulis menempuh pendidikan di Program Studi Kimia.
4. Ibu dan bapak dosen, laboran, dan staf di Program Studi Kimia FPMIPA UPI yang telah memberikan ilmu, kesempatan dan bantuan selama penulis menuntut ilmu.
5. Kedua orang tua, Bapak Robin Nainggolan dan Ibu Mastaria Sitohang, serta kakak Tesha Kristina yang telah memberikan doa, nasihat, dukungan dan semangat kepada penulis selama proses perkuliahan dan proses penyelesaian skripsi.
6. Rekan-rekan rumpun penelitian EILs yang telah menemani dan memberikan nasihat serta bantuan kepada penulis selama penulis melakukan penelitian skripsi di laboratorium.
7. Seluruh rekan mahasiswa angkatan 2019, rekan kelas kimia C serta rekan-rekan KBK Kimia Material yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis selama proses studi.

8. Glide Brothers yang telah memberikan penghiburan, semangat, dan dukungan kepada penulis selama menempuh pendidikan dari sekolah dasar hingga kuliah.
9. Semua pihak yang terlibat dalam penulisan skripsi ini hingga dapat terselesaikan.

Bandung, Agustus 2023

Penulis,

Yohanes Ivan Benaya Parlindungan Nainggolan

ABSTRAK

Pelindian laterit biasanya menggunakan asam kuat seperti H_2SO_4 , HCl , dan HNO_3 yang merupakan pilihan terbaik untuk pemrosesan logam karena biayanya yang rendah. Namun penggunaan asam memiliki selektivitas logam yang buruk, di mana logam pengotor lain terlarut bersama nikel dan kobalt. *Eutectic Ionic Liquids* (EILs) berpotensi sebagai pelarut alternatif dalam pelindian laterit karena memiliki sifat selektif terhadap logam tertentu. Pada penelitian ini digunakan EIL kolin klorida-asam oksalat sebagai pelarut dalam pelindian dua sampel nikel laterit berkadar tinggi (NL1) dan berkadar rendah (NL2). Pelindian dilakukan dalam berbagai variasi parameter pelindian, seperti suhu, waktu, rasio padat/cair, dan ukuran partikel bijih. Analisis XRF dilakukan untuk mengetahui kadar logam dan persen ekstraksi tiap logam, analisis XRD untuk mengetahui kandungan mineral dalam nikel laterit, SEM-EDS dilakukan untuk mendapatkan gambar persebaran tiap logam dalam sampel, dan FTIR untuk mengetahui pembentukan EIL dan analisis filtrat pelindian. Diperoleh bahwa Ni memiliki kelarutan paling rendah pada setiap variasi parameter pelindian. Logam dengan persen ekstraksi terbesar dalam EIL CO yaitu Fe dan Co. Pada kondisi pelindian suhu $100^\circ C$, waktu 12 jam, rasio S/L 1/10, dan ukuran partikel $-0,075$ mm, diperoleh 89,56% Fe, 87,30% Co, dan 10,24% Ni dapat terlindi dari sampel NL1, kemudian 88,67% Fe, 83,07% Co, dan 1,59% Ni dapat terlindi untuk sampel NL2. Kelarutan Ni yang kecil dalam EIL kolin klorida-asam oksalat disebabkan oleh terbentuknya endapan nikel oksalat. Terjadi perbedaan kelarutan yang besar antara Ni dengan Fe dan Co. Penggunaan EIL kolin klorida-asam oksalat dapat digunakan dalam proses pemisahan campuran logam Ni dengan Co atau Ni dengan Fe.

Kata kunci: asam oksalat, EIL, kolin klorida, nikel laterit, pelindian.

ABSTRACT

Leaching of laterite usually uses strong acids such as H_2SO_4 , HCl , and HNO_3 which are the best choice for metal processing due to their low cost. However, the use of acid has poor metal selectivity, which other metal impurities are dissolved along with nickel and cobalt. Eutectic Ionic Liquids (EILs) have the potential as an alternative solvent in laterite leaching because they have reflective properties on certain metals. In this study, EIL choline chloride-oxalic acid was used as a solvent in leaching two samples of high grade (NL1) and low grade (NL2) nickel laterite. Leaching is carried out in various variations of leaching parameters, such as temperature, time, solid/liquid ratio, and density particle size. XRF analysis was performed to determine metal content and percent extraction of each metal, XRD analysis to determine mineral content in nickel laterite, SEM-EDS was performed to obtain images of the distribution of each metal in the sample, and FTIR to determine EIL formation and analysis of leaching filtrate. It was found that Ni had the lowest solubility at each variation of leaching parameters. The metals with the largest percent extraction in EIL CO are Fe and Co. Under conditions of leaching temperature of $100^\circ C$, time of 12 hours, ratio of S/L 1/10, and particle size of -0.075 mm, 89.56% Fe, 87.30% Co, and 10.24% Ni can be leached from sample NL1, then 88.67% Fe, 83.07% Co, and 1.59% Ni could be leached from sample NL2. The low solubility of Ni in choline chloride-oxalic acid EIL is caused by the formation of nickel oxalate precipitate. There is a large solubility difference between Ni and Fe and Co. The use of choline chloride-oxalic acid EIL can be used in the separation process of Ni with Co or Ni with Fe.

Keywords: *choline chloride, EIL, leaching, nickel laterite, oxalic acid.*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Struktur Organisasi Skripsi	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	8
2.1 Bijih Nikel Laterit	8
2.2 Hidrometalurgi Bijih Nikel Laterit.....	10
2.2.1 <i>High Pressure Acid Leaching</i> (HPAL).....	11
2.2.2 <i>Atmospheric Leaching</i> (AL)	11
2.2.3 <i>Heap Leaching</i> (HL).....	12
2.2.4 Proses Caron	12
2.3 Solvometalurgi	13
2.4 <i>Ionic Liquids</i> (ILs).....	14
2.5 <i>Eutectic Ionic Liquids</i> (EILs)	16
2.6 EILs Berbasis Kolin Klorida-Asam Oksalat.....	21
2.7 Instrumentasi Analitik yang Digunakan dalam Penelitian.....	23
2.7.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	23
2.7.2 <i>X-Ray Fluorescence Spectrometry</i> (XRF).....	25
2.7.3 <i>Scanning Electron Microscopy</i> dengan <i>Energy Dispersive X-ray</i>	

<i>Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	27
2.7.4 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	29
BAB III METODE PENELITIAN	32
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	32
3.2 Alat dan Bahan	32
3.2.1 Alat	32
3.2.2 Bahan	32
3.3 Tahapan Penelitian	32
3.3.1 Preparasi Sampel Bijih Nikel Laterit	33
3.3.2 Sintesis EIL Kolin Klorida-Asam Oksalat	33
3.3.3 Karakterisasi Sampel Bijih Nikel Laterit.....	33
3.3.4 Karakterisasi EIL Kolin Klorida-Asam Oksalat.....	34
3.3.5 Uji Parameter Pelindian	35
3.3.6 Perhitungan Persen Ekstraksi Logam	36
BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Sintesis EIL Kolin Klorida-Asam Oksalat	37
4.2 Karakterisasi Nikel Laterit	40
4.2.1 Analisis Unsur-unsur dalam Nikel Laterit dengan XRF.....	41
4.2.2 Analisis Mineralogi Nikel Laterit dengan XRD	43
4.2.3 SEM-EDS <i>Mapping</i> Unsur-unsur dalam Nikel Laterit	45
4.3 Pelindian Sampel Nikel Laterit 1 (NL1)	48
4.3.1 Pengaruh Suhu Pelindian terhadap Ekstraksi Logam	48
4.3.2 Pengaruh Waktu Pelindian terhadap Ekstraksi Logam	50
4.3.3 Pengaruh Rasio Padat/Cair terhadap Ekstraksi Logam	50
4.3.4 Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Ekstraksi Logam.....	51
4.4 Pelindian Sampel Nikel Laterit 2 (NL2)	52
4.4.1 Pengaruh Suhu Pelindian terhadap Ekstraksi Logam	52
4.4.2 Pengaruh Waktu Pelindian terhadap Ekstraksi Logam	53
4.4.3 Pengaruh Rasio Padat/Cair terhadap Ekstraksi Logam	54
4.4.4 Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Ekstraksi Logam.....	55
4.5 Analisis Residu Pelindian dengan XRD.....	56
4.6 Analisis Filtrat Pelindian dengan FTIR.....	56

4.7	Kelarutan Nikel, Kobalt, dan Besi dalam EIL	60
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI		63
5.1	Simpulan.....	63
5.2	Rekomendasi	64
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN.....		71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Mineral yang diminati dalam industri pelindian nikel laterit (Fleischer, 1983; Whittington & Muir, 2000).....	10
Tabel 2.2. Metode utama dalam sintesis ILs	15
Tabel 2.3. Klasifikasi EILs (Smith et al., 2014).....	18
Tabel 3.1. Parameter pelindian.....	35
Tabel 4.1. Pita serapan yang terbentuk beserta gugus fungsi yang teramati pada kolin klorida, asam oksalat, dan EIL CO	40
Tabel 4.2. Kandungan unsur yang ada dalam sampel nikel laterit 1 (NL1).....	41
Tabel 4.3. Kandungan unsur yang ada dalam sampel nikel laterit 2 (NL2).....	42
Tabel 4.4. Mineral yang terkandung dalam sampel NL1	44
Tabel 4.5. Mineral yang terkandung dalam sampel NL2	45
Tabel 4.8. Pita serapan pada EIL CO, filtrat pelindian NL1, dan filtrat pelindian NL2	57
Tabel 4.6. Perubahan persen massa mineral dalam sampel NL1 sebelum dan setelah pelindian.....	58
Tabel 4.7. Perubahan persen massa mineral dalam sampel NL1 sebelum dan setelah pelindian.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema profil lapisan dalam endapan bijih nikel laterit serta kandungan Ni, Co, Fe, dan MgO pada tiap lapisan (Elias, 2002).....	9
Gambar 2.2. Struktur kation yang digunakan untuk sintesis ILs (Płotka-Wasyłka et al., 2020).....	15
Gambar 2.3. Struktur anion yang digunakan untuk sintesis ILs (Płotka-Wasyłka et al., 2020).....	16
Gambar 2.4. Diagram fase eutektik campuran senyawa biner	17
Gambar 2.5. Perbandingan sintesis IL dan EIL (Płotka-Wasyłka et al., 2020)...	19
Gambar 2.6. HBA yang digunakan untuk sintesis EILs (Płotka-Wasyłka et al., 2020)	20
Gambar 2.7. HBD yang digunakan untuk sintesis EILs (Płotka-Wasyłka et al., 2020)	21
Gambar 2.8. Titik beku EIL CO pada variasi mol % asam oksalat (Abbott et al., 2004)	22
Gambar 2.9. Struktur molekul (a) kolin klorida, dan (b) asam oksalat	22
Gambar 2.10. Difraksi Bragg oleh bidang kristal (Leng, 2009).....	24
Gambar 2.11. Instrumentasi difraktometer sinar-X (Leng, 2009).....	25
Gambar 2.12. Komponen utama dan spektrum dispersif dari (a) WDS dan (b) EDS (Leng, 2009).....	27
Gambar 2.13. Diagram blok SEM (Allcock, 2019).....	28
Gambar 2.14. (a) elektron sekunder, (b) elektron backscattered, dan (c) X-ray yang dipancarkan untuk EDS.....	29
Gambar 2.15. (a) diagram blok spektrofotometer FTIR dan (b) diagram interferometer Michelson (Skoog et al., 2013)	31
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	34
Gambar 3.2. Set alat pelindian nikel laterit	36
Gambar 4.1. EIL kolin klorida-asam oksalat yang berhasil disintesis	37
Gambar 4.2. Ikatan antara ion klorida dan hidrogen dari asam oksalat, yang merupakan interaksi utama dalam EIL CO	38

Gambar 4.3. Spektrum FTIR (a) kolin klorida, (b) asam oksalat, dan (c) EIL kolin klorida-asam oksalat.....	39
Gambar 4.4. Sampel Nikel Laterit 1 (a) dan Nikel Laterit 2 (b) yang sudah dihaluskan	41
Gambar 4.5. Pola XRD sampel NL1	43
Gambar 4.6. Pola XRD NL2	44
Gambar 4.7. SEM permukaan sampel NL1 pada perbesaran (a) X2,5K dan (b) X10K, serta sampel NL2 pada perbesaran (c) X2,5K dan (d) X10K	46
Gambar 4.8. <i>Mapping</i> unsur-unsur pada area yang dipilih dari sampel NL1	47
Gambar 4.9. <i>Mapping</i> unsur-unsur pada area yang dipilih dari sampel NL2	48
Gambar 4.10. Efek suhu pelindian terhadap ekstraksi logam	49
Gambar 4.11. Efek waktu pelindian terhadap ekstraksi logam	50
Gambar 4.12. Efek rasio padat/cair terhadap ekstraksi logam	51
Gambar 4.13. Efek ukuran partikel bijih terhadap ekstraksi logam	52
Gambar 4.14. Efek suhu pelindian terhadap ekstraksi logam	53
Gambar 4.15. Efek waktu pelindian terhadap ekstraksi logam	54
Gambar 4.16. Efek rasio padat/cair terhadap ekstraksi logam	55
Gambar 4.17. Efek ukuran partikel bijih terhadap ekstraksi logam	56
Gambar 4.18. Spektrum FTIR EIL sebelum pelindian dan filtrat setelah pelindian	57
Gambar 4.19. Pola XRD NL1 sebelum pelindian dan residu setelah pelindian..	58
Gambar 4.20. Pola XRD NL2 sebelum pelindian dan residu setelah pelindian..	59
Gambar 4.21. Kelarutan Fe, Co, dan Ni dalam EIL CO untuk pelindian sampel NL1 (a) dan NL2 (b) pada variasi waktu 12 jam	60
Gambar 4.22. (a) filtrat pelindian nikel laterit, dan (b) residu pelindian setelah dicuci dengan metanol.....	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Persen Ekstraksi Logam Sampel NL1	71
Lampiran 2. Perhitungan Persen Ekstraksi Logam Sampel NL2.....	75
Lampiran 3. Perhitungan Sintesis EIL CO.....	79
Lampiran 4. Spektrum FTIR	80
Lampiran 5. Spektrum XRF Pelindian Sampel NL1.....	85
Lampiran 6. Spektrum XRF Pelindian Sampel NL2.....	91
Lampiran 7. Hasil Analisis XRD	97
Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian	109

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, Q., & Binder, L. (2010). Synthesis and characterization of choline chloride based binary mixtures. *ECS transactions*, 33(7), 49. <https://doi.org/10.1149/1.3484761>
- Abbott, A. P., Barron, J. C., Ryder, K. S., & Wilson, D. (2007). Eutectic-based ionic liquids with metal-containing anions and cations. *Chemistry—A European Journal*, 13(22), 6495-6501. <https://doi.org/10.1002/chem.200601738>
- Abbott, A. P., Boothby, D., Capper, G., Davies, D. L., & Rasheed, R. K. (2004). Deep eutectic solvents formed between choline chloride and carboxylic acids: versatile alternatives to ionic liquids. *Journal of the American Chemical Society*, 126(29), 9142-9147. <https://doi.org/10.1021/ja048266j>
- Abbott, A. P., Capper, G., Davies, D. L., McKenzie, K. J., & Obi, S. U. (2006). Solubility of metal oxides in deep eutectic solvents based on choline chloride. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 51(4), 1280-1282. <https://doi.org/10.1021/je060038c>
- Abbott, A. P., Capper, G., Davies, D. L., Munro, H. L., Rasheed, R. K., & Tambyrajah, V. (2001). Preparation of novel, moisture-stable, Lewis-acidic ionic liquids containing quaternary ammonium salts with functional side chains. *Chemical Communications*, (19), 2010-2011. <https://doi.org/10.1039/b106357j>
- Abbott, A. P., Capper, G., Davies, D. L., Rasheed, R. K., & Tambyrajah, V. (2003). Novel solvent properties of choline chloride/urea mixtures. *Chemical communications*, (1), 70-71. <https://doi.org/10.1039/B210714G>
- Allcock, H. R. (2019). *Introduction to materials chemistry, 2nd Edition*. John Wiley & Sons.
- Atkins, P., & de Paula, J. (2014). *Atkins' physical chemistry*. Oxford University Press.
- Binnemans, K., & Jones, P. T. (2017). Solvometallurgy: an emerging branch of extractive metallurgy. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 3, 570-600. <https://doi.org/10.1007/s40831-017-0128-2>

- Cardellini, F., Tiecco, M., Germani, R., Cardinali, G., Corte, L., Roscini, L., & Spreti, N. (2014). Novel zwitterionic deep eutectic solvents from trimethylglycine and carboxylic acids: characterization of their properties and their toxicity. *Rsc Advances*, 4(99), 55990-56002. <https://doi.org/10.1039/C4RA10628H>
- Dalvi, A. D., Bacon, W. G., & Osborne, R. C. (2004, March). The past and the future of nickel laterites. In *PDAC 2004 International Convention, Trade Show & Investors Exchange* (pp. 1-27). Toronto: The prospectors and Developers Association of Canada.
- Elias, M. (2002). Nickel laterite deposits-geological overview, resources and exploitation. *Giant ore deposits: Characteristics, genesis and exploration. CODES Special Publication*, 4, 205-220.
- Fan, R., & Gerson, A. R. (2011). Nickel geochemistry of a Philippine laterite examined by bulk and microprobe synchrotron analyses. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 75(21), 6400-6415. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2011.08.003>
- Fleischer, M. (1983). *Glossary of mineral species 1983*. Tucson, Arizona: The Mineralogical Record Inc.
- Florindo, C., Oliveira, F. S., Rebelo, L. P. N., Fernandes, A. M., & Marrucho, I. M. (2014). Insights into the synthesis and properties of deep eutectic solvents based on cholinium chloride and carboxylic acids. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2(10), 2416-2425. <https://doi.org/10.1021/sc500439w>
- Germani, R., Orlandini, M., Tiecco, M., & Del Giacco, T. (2017). Novel low viscous, green and amphiphilic N-oxides/phenylacetic acid based Deep Eutectic Solvents. *Journal of Molecular Liquids*, 240, 233-239. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.05.084>
- Gilmore, M., Moura, L. M., Turner, A. H., Swadźba-Kwaśny, M., Callear, S. K., McCune, J. A., ... & Holbrey, J. D. (2018). A comparison of choline: urea and choline: oxalic acid deep eutectic solvents at 338 K. *The Journal of Chemical Physics*, 148(19). <https://doi.org/10.1063/1.5010246>

- Guo, Q., Qu, J., Han, B., Zhang, P., Song, Y., & Qi, T. (2015). Innovative technology for processing saprolitic laterite ores by hydrochloric acid atmospheric pressure leaching. *Minerals Engineering*, *71*, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.08.010>
- Habibi, E., Ghanemi, K., Fallah-Mehrjardi, M., & Dadolahi-Sohrab, A. (2013). A novel digestion method based on a choline chloride–oxalic acid deep eutectic solvent for determining Cu, Fe, and Zn in fish samples. *Analytica chimica acta*, *762*, 61-67. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.11.054>
- Harris, B., & Magee, J. (2003). Atmospheric chloride leaching: the way forward for nickel laterites. *Hydrometallurgy*, *2003*, 5th.
- Harris, B., & White, C. (2011, May). Recent developments in the chloride processing of nickel laterites. In *Proc. 2nd ALTA Ni–Co–Cu Conf., Perth, Australia*.
- Harvey, D. (2000). *Modern analytical chemistry*. New York: McGraw-Hill.
- Hong, S., Lian, H., Sun, X., Pan, D., Carranza, A., Pojman, J. A., & Mota-Morales, J. D. (2016). Zinc-based deep eutectic solvent-mediated hydroxylation and demethoxylation of lignin for the production of wood adhesive. *RSC advances*, *6*(92), 89599-89608. <https://doi.org/10.1039/C6RA18290A>
- Joseph, J., & Jemmis, E. D. (2007). Red-, blue-, or no-shift in hydrogen bonds: a unified explanation. *Journal of the American Chemical Society*, *129*(15), 4620-4632. <https://doi.org/10.1021/ja067545z>
- Kelley, S. P., Narita, A., Holbrey, J. D., Green, K. D., Reichert, W. M., & Rogers, R. D. (2013). Understanding the effects of ionicity in salts, solvates, co-crystals, ionic co-crystals, and ionic liquids, rather than nomenclature, is critical to understanding their behavior. *Crystal growth & design*, *13*(3), 965-975. <https://doi.org/10.1021/cg4000439>
- Kubota, F., & Goto, M. (2018). Application of ionic liquids for rare-earth recovery from waste electric materials. In *Waste Electrical and Electronic Equipment Recycling* (pp. 333-356). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102057-9.00012-3>
- Kyle, J. (2010, May) Nickel laterite processing technologies – where to next?. In *ALTA 2010 ALTA Ni–Co–Cu Conf., Perth, Western Australia*.

- Lecocq, V., Graille, A., Santini, C. C., Baudouin, A., Chauvin, Y., Basset, J. M., ... & Fenet, B. (2005). Synthesis and characterization of ionic liquids based upon 1-butyl-2, 3-dimethylimidazolium chloride/ZnCl₂. *New journal of chemistry*, 29(5), 700-706. <https://doi.org/10.1039/B413328E>
- Leng, Y. (2009). *Materials characterization: introduction to microscopic and spectroscopic methods, 2nd Edition*. John Wiley & Sons.
- Migliorati, V., Sessa, F., & D'Angelo, P. (2019). Deep eutectic solvents: A structural point of view on the role of the cation. *Chemical Physics Letters*, 737, 100001. <https://doi.org/10.1016/j.cpletx.2018.100001>
- Oxley, A., Smith, M. E., & Caceres, O. (2016). Why heap leach nickel laterites?. *Minerals Engineering*, 88, 53-60. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.09.018>
- Panias, D., Taxiarchou, M., Paspaliaris, I., & Kontopoulos, A. (1996). Mechanisms of dissolution of iron oxides in aqueous oxalic acid solutions. *Hydrometallurgy*, 42(2), 257-265. [https://doi.org/10.1016/0304-386X\(95\)00104-O](https://doi.org/10.1016/0304-386X(95)00104-O)
- Pateli, I. M., Thompson, D., Alabdullah, S. S., Abbott, A. P., Jenkin, G. R., & Hartley, J. M. (2020). The effect of pH and hydrogen bond donor on the dissolution of metal oxides in deep eutectic solvents. *Green Chemistry*, 22(16), 5476-5486. <https://doi.org/10.1039/D0GC02023K>
- Plotka-Wasyłka, J., De la Guardia, M., Andruch, V., & Vilková, M. (2020). Deep eutectic solvents vs ionic liquids: Similarities and differences. *Microchemical Journal*, 159, 105539. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105539>
- Ratti, R. (2014). Ionic liquids: synthesis and applications in catalysis. *Adv. Chem*, 2014(3), 1-16. <https://doi.org/10.1155/2014/729842>
- Regadío, M., & Binnemans, K. (2018). Solvleaching of (landfilled) industrial residues and a low-grade laterite ore with diluted HCl in the ionic liquid Aliquat 336. In *Proceedings of the 4th International Symposium on Enhanced Landfill Mining (ELFM IV), Mechelen (Belgium), 5-6 February 2018*. Eds PT Jones and L. Machiels (pp. 121-126).

- Ribeiro, B. D., Florindo, C., Iff, L. C., Coelho, M. A., & Marrucho, I. M. (2015). Menthol-based eutectic mixtures: hydrophobic low viscosity solvents. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 3(10), 2469-2477. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b00532>
- Saha, S. K., Dey, S., & Chakraborty, R. (2019). Effect of choline chloride-oxalic acid based deep eutectic solvent on the ultrasonic assisted extraction of polyphenols from *Aegle marmelos*. *Journal of Molecular Liquids*, 287, 110956. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.110956>
- Schellmann, W. (1983). Geochemical principles of lateritic nickel ore formation. In *Proceedings: International Seminar on Lateritisation Processes* (pp. 119-135).
- Siani, G., Tiecco, M., Di Profio, P., Guernelli, S., Fontana, A., Ciulla, M., & Canale, V. (2020). Physical absorption of CO₂ in betaine/carboxylic acid-based Natural Deep Eutectic Solvents. *Journal of Molecular Liquids*, 315, 113708. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113708>
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2017). *Principles of instrumental analysis, 7th Edition*. Cengage learning.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2013). *Fundamentals of analytical chemistry, 9th Edition*. Cengage learning.
- Smith, E. L., Abbott, A. P., & Ryder, K. S. (2014). Deep eutectic solvents (DESs) and their applications. *Chemical reviews*, 114(21), 11060-11082. <https://doi.org/10.1021/cr300162p>
- Smith, W. F., & Hashemi, J. (2006). *Foundations of materials science and engineering*. Mcgraw-Hill Publishing.
- Stanković, S., Stopić, S., Sokić, M., Marković, B., & Friedrich, B. (2020). Review of the past, present, and future of the hydrometallurgical production of nickel and cobalt from lateritic ores. *Metallurgical and Materials Engineering*, 26(2), 199-208. <https://doi.org/10.30544/513>
- Top, S., Kursunoglu, S., & Ichlas, Z. T. (2020). Effects of leaching parameters on the dissolution of nickel, cobalt, manganese and iron from Caldag lateritic nickel ore in hydrochloric acid solution. *Canadian Metallurgical*

- Quarterly*, 59(3), 368-376.
<https://doi.org/10.1080/00084433.2020.1780560>
- Welton, T. (1999). Room-temperature ionic liquids. Solvents for synthesis and catalysis. *Chemical reviews*, 99(8), 2071-2084.
<https://doi.org/10.1021/cr980032t>
- Whittington, B. I., & Muir, D. (2000). Pressure acid leaching of nickel laterites: a review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 21(6), 527-599. <https://doi.org/10.1080/08827500008914177>
- Zante, G., & Boltoeva, M. (2020). Review on hydrometallurgical recovery of metals with deep eutectic solvents. *Sustainable Chemistry*, 1(3), 238-255.
<https://doi.org/10.3390/suschem1030016>