

**PELINDIAN BIJIH NIKEL LATERIT DAN TERAK NIKEL
MENGUNAKAN CAIRAN IONIK EUTEKTIK HIDROFOBİK: STUDI
SELEKTIVITAS DAN PENGGUNAAN KEMBALI PELINDI**

SKRIPSI

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



Oleh
Baariq Fauzaan Andang Paryawan
2009863

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
BANDUNG
2024**

**PELINDIAN BIJIH NIKEL DAN TERAK NIKEL MENGGUNAKAN
CAIRAN IONIK EUTEKTIK HIDROFOBİK: STUDI SELEKTIVITAS
DAN PENGGUNAAN KEMBALI PELINDI**

Oleh:

Baariq Fauzaan Andang Paryawan

2009863

Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana
Sains pada Program Studi Kimia Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam

© Baariq Fauzaan Andang Paryawan

Universitas Pendidikan Indonesia

Juni 2024

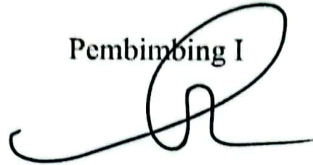
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

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

LEMBAR PENGESAHAN
PELINDIAN BIJIH NIKEL LATERIT DAN TERAK NIKEL MENGGUNAKAN
CAIRAN IONIK EUTEKTIK HIDROFOBİK: STUDI SELEKTIVITAS DAN
PENGGUNAAN KEMBALI PELINDI

disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Dr. Soja Siti Fatimah, M.Si
NIP. 196802161994022001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Kimia FPMIPA UPI



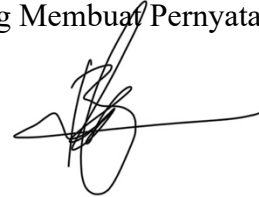
Prof. Fitri Khoerunnisa, Ph.D.
NIP. 197806282001122001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Pelindian Bijih Nikel Laterit dan Terak Nikel Menggunakan Cairan Ioinik Eutektik Hidrofobik: Studi Selektivitas dan Penggunaan Kembali Pelindi**” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Agustus 2024

Yang Membuat Pernyataan



Baariq Fauzaan Andang Paryawan

2009863

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, Allah SWT karena atas berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pelindian Bijih Nikel Laterit dan Terak Nikel Menggunakan Cairan Ionik Eutektik Hidrofobik: Studi Selektivitas dan Penggunaan Kembali Pelindi” sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan 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 khususnya dalam bidang kimia material. Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, penulis masih terbuka akan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sebagai bentuk nyata untuk perbaikan dan penyempurnaannya.

Bandung, Juni 2024



Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama menyelesaikan penyusunan dan penulisan skripsi ini, penulis telah banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis hendak menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, terutama kepada:

1. Bapak Prof. Dr. rer. nat. H. Ahmad Mudzakir, M.Si. sebagai dosen pembimbing I yang sudah banyak sekali memberi saran, bimbingan, arahan, serta memfasilitasi pelaksanaan dari penulisan dan penyusunan skripsi ini juga Dr. Soja Siti Fatimah, M.Si. sebagai dosen pembimbing II yang telah membantu dan membimbing selama penulisan skripsi ini.
2. Ibu Prof. Fitri Khoerunnisa, Ph.D. selaku Ketua Program Studi Kimia yang telah memberikan izin dan dukungan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
3. Kedua orang tua terkasih penulis, Ayah Picko Andang Paryawan, dan Ibu Lismaya Sekara Kinasih, yang telah banyak sekali berkorban, membantu, mendoakan, dan mendukung secara utuh penulis dalam menyelesaikan penulisan dari skripsi ini dari awal hingga akhir.
4. Seluruh Ibu dan Bapak Dosen, laboran, staf, tenaga kependidikan di Program Studi Kimia FPMIPA UPI yang telah banyak memberikan ilmu, kesempatan, contoh, dan bantuan yang baik selama penulis menempuh Pendidikan.
5. Kepada rekan satu bimbingan dan satu perjuangan Sultan Nazmi Chairul Islam, Gabriel Ryan Alfred Balbo, dan Adisti Eka Putri, yang sudah berjuang bersama dalam penelitian skripsi ini.
6. Kepada seluruh rekan dalam Rumpun EILs, terutama kepada Andika Permana, Mia Widyaningsih, dan Karina Mulya yang sudah banyak membantu dan memberi arahan terhadap penulis.
7. Kepada teman-teman pendukung moral dan moril *black market* (Rifqi, Gilang, Lutfi, dan Farhan) yang sudah bersama sejak kelas 7 sekolah menengah dasar.

8. Kepada seluruh rekan perkuliahan dan kontrakan (Andre, Helmi, Sultan, Gabriel, Risdan, Rivaldi, Adit, Jakka, Agnino, dan Fauqi) yang sudah banyak melewati waktu perkuliahan bersama.
9. Kepada seseorang yang sangat berarti baik dan buruknya bersama dihadapi, meskipun Nawwafa Azhar Raudah berada dalam ucapan terimakasih, apapun kedepannya, semoga kita sehat serta mulia.
10. Terakhir kepada semua pihak yang terlibat dalam penulisan skripsi ini hingga dapat diselesaikan, semua yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terima kasih.

Semoga semua kebaikan yang telah penulis terima selama ini dapat dibalaskan langsung oleh Allah SWT. Aamiin.

ABSTRAK

Indonesia memiliki cadangan nikel 21 juta metrik ton di mana memerlukan pemrosesan yang lebih baik dibanding pirometalurgi dan hidrometalurgi dengan tetap memperhatikan aspek selektivitas dan pemrosesan yang ramah lingkungan, maka digunakan cairan ionik eutektik sebagai pelindi dari bijih nikel laterit dan terak nikel. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kinerja EILs hidrofobik sebagai pelindi yang mengutamakan selektivitas pelindiannya terhadap logam target. Digunakan dua EILs yang berbeda yaitu betain-asam cis-oleat dan TOMAC-asam oktanoat. Kinerja selektivitas dilihat berdasarkan % ekstraksi yang dianalisis menggunakan XRF dan XRD. Dari segi penggunaan kembali, EILs diuji melalui tiga siklus pelindian, kemudian kestabilan kimianya dianalisis menggunakan FT-IR. Kinerja EILs betain-asam cis-oleat menunjukkan selektivitas yang kurang baik terhadap logam target Ni, Co, dan Al. Namun dalam terak nikel mampu terlindi dengan baik dan Al menjadi logam yang terlindi paling stabil. Untuk EILs TOMAC- asam oktanoat Ni dan Co dalam saprolit dan terak nikel terlindi dengan baik pada rentang 49%-92% sehingga memiliki selektivitas yang cukup baik. Dalam kestabilan kimia kedua EILs berdasarkan spektra FT-IR, menunjukkan munculnya ikatan oksigen dengan logam yang terdeteksi dari puncak baru setelah pelindian pada setiap sampel, yaitu vibrasi regangan N-O pada 1546 cm^{-1} - 5126 cm^{-1} . Dengan demikian, hasil selektivitas EILs pertama kurang selektif terhadap logam target dan EILs kedua selektif terhadap logam target, serta kestabilan kedua EILs dalam 3 siklus pelindian sangatlah baik.

Kata kunci: EILs hidrofobik, nikel laterit, pelindian, selektivitas, *reusability*.

ABSTRACT

Indonesia has nickel reserves of 21 million metric tons, which requires better processing than pyrometallurgy and hydrometallurgy while maintaining selectivity and environmentally friendly processing, so eutectic ionic liquids are used as leachates from laterite nickel ores and nickel slags. The purpose of this study was to determine the performance of hydrophobic EILs as leachates, which prioritize their leaching selectivity towards the target metal. Two different EILs were used, namely betaine-cis-oleic acid and TOMAC-octanoic acid. The selectivity performance is based on the % extraction analysed using XRF and XRD. In terms of reuse, the EILs were tested through three leaching cycles, then their chemical stability was analysed using FT-IR. The performance of the betaine-cis-oleic acid EILs showed poor selectivity towards the target metals Ni, Co, and Al, but in the slag nickel was leached 90% well, and Al was the most stable metal. For the TOMAC-octanoate acid EILs Ni and Co in saprolite and nickel slag were well leached in the range of 49%-92% and thus had good selectivity. In terms of chemical stability based on FT-IR spectra, the appearance of oxygen bonds with metals was detected from new peaks after leaching in each sample, namely N-O stretch vibrations at 1546 cm⁻¹-5126 cm⁻¹. Thus, the selectivity results of the first EILs are less selective to the target metal and the second EILs are selective to the target metal, and the stability of the two EILs in 3 leaching cycles is very good.

Keyword: Hydrophobic EILs, nickel laterite, Leaching, Selectivity, Reusability.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	3
PERNYATAAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Struktur Organisasi Skripsi.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Bijih Nikel Laterit.....	5
2.2 Hidrometalurgi Bijih Nikel Laterit.....	6
2.3 Atmospheric Leaching (AL).....	7
2.4 Solvometalurgi	8
2.5 Ionic Liquids (ILs).....	8
2.6 Eutectic Ionic Liquids (EILs) atau Deep Eutectic Solvent (DES)	11
2.7 Perbedaan dalam penggunaan EILs dengan ILs.....	15
2.8 EILs Berbasis Betain-Asam Cis-Oleat (<i>Hydrophilic</i> EILs)	17
2.9 EILs hidrofobik berbasis (<i>Trioctylmethylammonium chloride</i>) TOMAC dan Asam Oktanoat	19
2.10 Selektivitas EILs dalam Pungut Ulang Logam Berharga dari Bijih Nikel Laterit ²⁰	
2.11 <i>Reusability</i> atau penggunaan kembali EILs.....	21
2.12 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).....	21
2.13 Scanning Electron Microscopy dengan Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) 24	
2.14 X-Ray Fluorescence spectrometry (XRF).....	26

2.15	X-Ray Diffraction (XRD).....	28
BAB III METODE PENELITIAN		31
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	31
3.2	Alat dan Bahan	31
3.2.1	Alat.....	31
3.2.2	Bahan.....	31
3.3	Tahap Penelitian	31
3.3.1	Preparasi Bijih Nikel Laterit dan Terak Nikel	32
3.3.2	Sintesis EILs hidrofobik.....	32
3.3.3	Proses Pelindian Bijih Nikel Laterit dan Terak Nikel.....	33
3.3.4	Karakterisasi Bijih Nikel Laterit dan Terak Nikel	34
3.3.5	Karakterisasi EILs hidrofobik (Betain-Asam Cis-Oleat) dan (Trioktilammonium klorida-Asam Oktanoat).....	35
3.3.6	Uji Selektivitas dengan %Ekstraksi dari hasil XRF.....	35
3.3.7	Uji Pemurnian EILs dan Penggunaan Kembali EILs.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		38
4.1	Hasil Sintesis <i>Deep Eutectic Solvent</i> (Betain-Asam Cis-Oleat) dan (Trioktilmetilamonium Klorida-Asam Oktanoat)	38
4.2	Karakterisasi EILs hidrofobik sebelum pelindian menggunakan FT-IR	41
4.2.1	EILs Hidrofobik (Betain-Asam Cis-Oleat).	41
4.2.2	EILs Hidrofobik (TOMAC-Asam Oktanoat).....	44
4.3	Hasil Analisis Bijih Nikel Laterit dan Terak Nikel	45
4.3.1	Analisis Kandungan Unsur-Unsur Logam pada Bijih Nikel Laterit dan Terak Nikel	46
4.3.2	Analisis Mineralogi Nikel Laterit (Saprolit dan Limonit) dan Terak Nikel dengan XRD.....	49
4.3.3	Mapping Unsur-Unsur dalam Nikel Laterit (Saprolit dan Limonit) dan Terak Nikel dengan dengan SEM-EDX.....	53
4.3.4	Selektivitas EILs Hidrofobik Betain-Asam Cis-Oleat dalam Pelindian Saprolit, Limonit, dan Terak Nikel dengan XRF	58
4.3.5	Selektivitas EILs Hidrofobik TOMAC-Asam Oktanoat dalam Pelindian Saprolit, Limonit, dan Terak Nikel dengan XRF	62
4.4	Hasil XRD Setelah Pelindian Saprolit, Limonit, dan Terak Nikel (EILs Hidrofobik Betain-Asam Cis-Oleat).....	66
4.5	Hasil XRD Setelah Pelindian Saprolit, Limonit, dan Terak Nikel (EILs Hidrofobik TOMAC-Asam Oktanoat)	70
4.6	Hasil Penggunaan Kembali EILs Hidrofobiik sebagai Pelindi	75
4.6.1	Stabilitas Kimia EILs Betain-Asam Cis-Oleat dengan FTIR	75

4.6.2 Stabilitas Kimia EILs TOMAC-Asam Oktanoat dengan FTIR.....	79
BAB V.....	87
SIMPULAN DAN SARAN	87
5.1 Simpulan.....	87
5.2 Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA	88
LAMPIRAN.....	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Profil lapisan dalam endapan bijih nikel laterit serta kandungan Ni, Co, Fe, dan MgO pada tiap lapisan (König, 2021)	6
Gambar 2.2. Persamaan reaksi dari atmospheric leaching untuk logam Ni dan Co (Meshram et al., 2019)	8
Gambar 2.3. Struktur kation yang umum digunakan pada sintesis ILS (Singh & Savoy, 2020)	9
Gambar 2.4. Struktur anion yang umum digunakan pada sintesis ILS (Singh & Savoy, 2020)	9
Gambar 2.5. Sintesis ILS maleimida tersubstitusi N (Singh & Savoy, 2020).....	10
Gambar 2.6. Diagram fase biner prototipe untuk eutektik campuran. Campuran deep eutectic mengikuti tren umum yang sama, tetapi menunjukkan penekanan yang tidak terduga (Hansen et al., 2020).....	12
Gambar 2.7. Beberapa senyawa yang digunakan sebagai <i>Hydrogen Bonding Donor</i> (HBD) (Hansen et al., 2020).....	13
Gambar 2.8. Beberapa senyawa yang digunakan sebagai <i>Hydrogen Bonding Acceptor</i> (HBA) (Hansen et al., 2020).....	14
Gambar 2.9. Perbandingan sintesis ILS dan EILs (Płotka-Wasyłka et al., 2020).15	
Gambar 2.10. Kemampuan interaksi supramolekul kation imidazolium (atas) dan ilustrasi variasi struktur dari imidazolium hingga piridinium (tengah bawah) dan piroolidinium (kanan bawah) Kation ILS (Hammond, 2022).	16
Gambar 2.11. Kemampuan interaksi anion ILS tergambar pada anion <i>bis(trifluoromethanesulfonyl)amide</i> (Hammond, 2022)	16
Gambar 2.12. Struktur betaine yang digunakan sebagai HBA dalam sintesis EILs (Filipčev et al., 2018)	18
Gambar 2.13. Struktur asam Cis-oleat yang digunakan sebagai hydrogen bonding donour (Anshory, 2023)	19
Gambar 2.14. Struktur <i>tryoctylmethylammonium chloride</i> sebagai HBA dalam EILs hidrofobik (Alves-Lima et al., 2022).....	20
Gambar 2.15. Struktur asam oktanoat sebagai HBD dalam EILs hidrofobik (Alves-Lima et al., 2022)	20

Gambar 2.16. Fourier transform infrared (FT–IR) spektrum dari polyvinylchloride (Harvey, 2000).	23
Gambar 2.17. (a) diagram blok spektrofotometer FTIR dan (b) diagram interferometer Michelson (Skoog et al., 2013).	24
Gambar 2.18. Diagram blok SEM (Allcock, 2020).	25
Gambar 2.19. (a) elektron sekunder untuk pencitraan, (b) elektron backscattered untuk, dan (c) X-ray yang dipancarkan untuk EDX (Allcock, 2020).	26
Gambar 2.20. Interaksi sinar-X dengan material (Kanrar et al., 2021).	27
Gambar 2.21. Sinar-X dihasilkan dari proses perlambatan elektron berenergi tinggi dan dari transisi elektron pada orbital dekat inti sebuah atom (Kanrar et al., 2021).	27
Gambar 2.22. Difraksi Bragg pada bidang kristal yang dimodelkan oleh (Leng, 2008).	29
Gambar 2.23. Instrumentasi difraktometer sinar-X (X-ray monokromator dan detektor) (Skoog et al., 2013).	29
Gambar 3.1. Diagram alir sintesis EILs	33
Gambar 3.2. Skema set alat eksperimen (1 – tabung schlenk, 2 – Hot plate, 3 – Termometer kaca, 3 – magnetic stirrer, 4 – penangas pasir, -5 gelas beaker).	34
Gambar 3.3. Diagram alir uji selektivitas dan penggunaan kembali EILs untuk bijih nikel laterit (saproilit, limonit, dan terak nikel).	37
Gambar 4.1. Hasil sintesis EILs betain dan asam Cis-oleat.	39
Gambar 4.2. Hasil sintesis EILs TOMAC-asam oktanoat.	40
Gambar 4.3. Spektrum FTIR (a) EILs betain-asam cis-oleat, (b) Asam cis-oleat, dan (c) Betain.	42
Gambar 4.4. Spektrum FTIR (a) EILs TOMAC-asam oktanoat, (b) Asam oktanoat, dan (c) TOMAC.	44
Gambar 4.5. Sampel Nikel Laterit (Saproilit) sebelum dan sesudah dihaluskan (a), Nikel Laterit (Limonit) sebelum dan sesudah dihaluskan (b) yang sudah dihaluskan, dan Terak Nikel sebelum dan sesudah dihaluskan (c).	46
Gambar 4.6. Pola difraktogram saproilit dengan XRD.	50
Gambar 4.7. Pola difraktogram limonit dengan XRD.	51
Gambar 4.8. Pola difraktogram terak nikel dengan XRD.	52

Gambar 4.9. SEM permukaan sampel saprolit pada perbesaran (A) X2,5K dan (B) X10K, serta sampel limonit pada perbesaran (C) X2,5K dan (D) X10K.	53
Gambar 4.10. Unsur-unsur dalam saprolit yang di <i>mapping</i> unsur dengan SEM-EDX.....	54
Gambar 4.11. Unsur-unsur dalam limonit yang di <i>mapping</i> unsur dengan SEM-EDX.....	55
Gambar 4.12. SEM permukaan sampel terak nikel awal pada perbesaran (a) X2,5K dan (b) X10K.....	56
Gambar 4.13. Unsur-unsur dalam terak nikel yang di <i>mapping</i> unsur dengan SEM-EDX.....	57
Gambar 4.14. Pelindian saprolit (A), pelindian limonit (B), dan pelindian terak nikel (C). Kinerja pelindian (EILs hidrofobik betain-oleat). Kondisi percobaan: S/L = 1:10 g/L, pemanasan pada suhu 353 K pada 500 rpm selama 24 jam.	59
Gambar 4.15. Penekanan logam Mg mempengaruhi hasil pelindian nikel oleh EILs TOMAC/dekA dalam sampel saprolit (Sakamoto et al., 2024)	60
Gambar 4.16. Pelindian saprolit (A), pelindian limonit (B), dan pelindian terak nikel (C). Kinerja pelindian (EILs hidrofobikTOMAC-asam oktanoat). Kondisi percobaan: S/L = 1:10 g/L, pemanasan pada suhu 353 K pada 500 rpm selama 24 jam.....	63
Gambar 4.17. Difraktogram sampel saprolit setelah pelindian ketiga (EILs Betain-Asam Cis-Oleat).....	66
Gambar 4.18. Difraktogram sampel limonit setelah pelindian ketiga (EILs Betain-Asam Cis-Oleat).....	67
Gambar 4.19. Difraktogram sampel terak nikel setelah pelindian ketiga (EILs Betain-Asam Cis-Oleat).....	69
Gambar 4.20. Difraktogram sampel saprolit setelah pelindian kedua dengan (EILs TOMAC-Asam Oktanoat).....	70
Gambar 4.21. Difraktogram sampel limonit setelah pelindian kedua dengan (EILs TOMAC-Asam Oktanoat).....	72
Gambar 4.22. Difraktogram sampel terak nikel setelah pelindian kedua (EILs TOMAC-Asam Oktanoat).....	73

Gambar 4.23. Stabilitas kimia pada EILs betain-asam cis oleat dengan perbandingan spektra FTIR sebelum (a), setelah pelindian 1 (b), setelah pelindian 2 (c), setelah pelindian 3 (d), pada sampel bijih nikel laterit (saproлит).	75
Gambar 4.24. Stabilitas kimia pada EILs betain-asam cis oleat dengan perbandingan spektra FTIR sebelum (a), setelah pelindian 1 (b), setelah pelindian 2 (c), setelah pelindian 3 (d), pada sampel bijih nikel laterit (limonit).....	76
Gambar 4.25. Stabilitas kimia pada EILs betain-asam cis oleat dengan perbandingan spektra FTIR sebelum (a), setelah pelindian 1 (b), setelah pelindian 2 (c), setelah pelindian 3 (d), pada sampel bijih nikel laterit (terak nikel).	77
Gambar 4.26. Stabilitas kimia pada EILs TOMAC-asam oktanoat dengan perbandingan spektra FTIR sebelum (a), setelah pelindian 1 (b), setelah pelindian 2 (c), setelah pelindian 3 (d), pada sampel bijih nikel laterit (saproлит).	79
Gambar 4.27. Stabilitas kimia pada EILs TOMAC-asam oktanoat dengan perbandingan spektra FTIR sebelum (a), setelah pelindian 1 (b), setelah pelindian 2 (c), setelah pelindian 3 (d), pada sampel bijih nikel laterit (limonit).....	80
Gambar 4.28. Stabilitas kimia pada EILs TOMAC-asam oktanoat dengan perbandingan spektra FTIR sebelum (a), setelah pelindian 1 (b), setelah pelindian 2 (c), setelah pelindian 3 (d), pada sampel bijih nikel laterit (terak nikel).	82
Gambar 4.29. Prediksi ikatan koordinasi yang terjadi antara EILs betain-oleat dengan logam berdasarkan rujukan pada (Hartley et al., 2014).....	84
Gambar 4.30. Prediksi ikatan koordinasi yang terjadi antara EILs TOMAC-oktanoat dengan logam berdasarkan rujukan pada (Hartley et al., 2014).....	85

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Metode utama dalam sintesis ILs	11
Tabel 2.2. Klasifikasi EILs (Smith et al., 2014).....	12
Tabel 2.3. Klasifikasi EILs (Smith et al., 2014).....	15
Tabel 4.1. Sintesis dan Hasil Sintesis EILs Hidrofobik.	41
Tabel 4.2. Pita serapan FTIR untuk senyawa EILs betain–asam cis-oleat hasil sintesis.....	41
Tabel 4.3. Pita serapan FTIR untuk senyawa EILs TOMAC–asam oktanoat hasil sintesis.....	44
Tabel 4.4. Kandungan unsur yang ada dalam sampel nikel laterit (saprolit).	47
Tabel 4.5. Kandungan unsur yang ada dalam sampel nikel laterit (Limonit).	47
Tabel 4.6. Kandungan unsur yang ada dalam sampel nikel laterit (Limonit).	48
Tabel 4.7. Mineral yang terkandung dalam sampel saprolit.	50
Tabel 4.8. Mineral yang terkandung dalam sampel limonit.....	51
Tabel 4.9. Mineral yang terkandung dalam sampel limonit.....	52
Tabel 4.10. Perubahan persen massa mineral dalam sampel saprolit sebelum dan setelah pelindian ketiga (EILs Betain-Asam Cis-Oleat)	66
Tabel 4.11. Perubahan persen massa mineral dalam sampel limonit sebelum dan setelah pelindian ketiga (EILs Betain-Asam Cis-Oleat)	68
Tabel 4.12. Perubahan persen massa mineral dalam sampel terak nikel sebelum dan setelah pelindian ketiga (EILs Betain-Asam Cis-Oleat)	69
Tabel 4.13. Perubahan persen massa mineral dalam sampel saprolit sebelum dan setelah pelindian kedua (EILs TOMAC-Asam Oktanoat).....	70
Tabel 4.14. Perubahan persen massa mineral dalam sampel limonit sebelum dan setelah pelindian kedua (EILs TOMAC-Asam Oktanoat).....	72
Tabel 4.15. Perubahan persen massa mineral dalam sampel terak nikel sebelum dan setelah pelindian kedua (EILs TOMAC-Asam Oktanoat)	74
Tabel 4.16. Pita serapan FTIR pada bijih nikel laterit (saprolit) sebelum dan setelah pelindian 3 siklus oleh EILs betain–asam cis-oleat.	75
Tabel 4.17. Pita serapan FTIR pada bijih nikel laterit (limonit) sebelum dan setelah pelindian 3 siklus oleh EILs betain–asam cis-oleat.	76

Tabel 4.18. Pita serapan FTIR pada terak nikel sebelum dan setelah pelindian 3 siklus oleh EILs betain–asam cis-oleat.	77
Tabel 4.19. Pita serapan FTIR pada bijih nikel laterit (saproilit) sebelum dan setelah pelindian 3 siklus oleh EILs TOMAC-asam oktanoat.....	79
Tabel 4.20. Pita serapan FTIR pada bijih nikel laterit (limonit) sebelum dan setelah pelindian 3 siklus oleh EILs TOMAC-asam oktanoat.....	81
Tabel 4.21. Pita serapan FTIR pada bijih nikel laterit (terak nikel) sebelum dan setelah pelindian 3 siklus oleh EILs TOMAC-asam oktanoat.....	83

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Sintesis EILs HBA:HBD.....	96
Lampiran 2. Perhitungan Persen Ekstraksi.....	96
Lampiran 3. Spektra FTIR Betain.	97
Lampiran 4. Spektra FTIR Asam Cis-Oleat.	97
Lampiran 5. Spektra FTIR EILs Betain – Asam Cis-Oleat rasio molar 1:4.	98
Lampiran 6. Spektra FTIR Pelindian 1 Saprolit EILs Betain-Asam Cis-Oleat...	98
Lampiran 7. Spektra FTIR Pelindian 2 Saprolit EILs Betain-Asam Cis-Oleat...	99
Lampiran 8. Spektra FTIR Pelindian 1 Limonit EILs Betain-Asam Cis-Oleat. .	99
Lampiran 9. Spektra FTIR Pelindian 3 Limonit EILs Betain-Asam Cis-Oleat.	100
Lampiran 10. Spektra FTIR Pelindian 1 Terak Nikel EILs Betain-Asam Cis-Oleat.	100
Lampiran 11. Spektra FTIR Pelindian 3 Terak Nikel EILs Betain-Asam Cis-Oleat.	101
Lampiran 12. Perhitungan Persen Ekstraksi Logam Sampel Saprolit, Limonit, dan Terak Nikel dengan EILs Hidrofobik Betain-Asam Cis-Oleat.	101
Lampiran 13. Perhitungan Persen Ekstraksi Logam Sampel Saprolit, Limonit, dan Terak Nikel dengan EILs Hidrofobik TOMAC-Asam Oktanoat.....	106
Lampiran 14. Spektrum XRF Sebelum Pelindian dan Sesudah Pelindian dari Ketiga Sampel dengan Kedua EILs.	113
Lampiran 15. Hasil Karakterisasi XRD Sampel Sebelum Pelindian dan Setelah Pelindian dari Ketiga Sampel dengan Kedua EILs.	125
Lampiran 16. Dokumentasi Penelitian	159

DAFTAR PUSTAKA

- Allcock, H. R. (2020). *Introduction to materials chemistry* (Second edi). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/LK> - <https://worldcat.org/title/1083156030>
- Alves-Lima, D. F., Rodrigues, C. F., Pinheiro, C. T., Gando-Ferreira, L. M., Quina, M. J., & Ferreira, A. G. (2022). Highly selective solvent extraction of Zn(II) and Cr(III) with trioctylmethylammonium chloride ionic liquid. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, *100*(1), 131–142. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cjce.24051>
- Anshory, J. (2023). *No Title*.
- Astuti, W., Nurjaman, F., Rofiek Mufakhir, F., Sumardi, S., Avista, D., Cleary Wanta, K., & Tri Bayu Murti Petrus, H. (2023). A novel method: Nickel and cobalt extraction from citric acid leaching solution of nickel laterite ores using oxalate precipitation. *Minerals Engineering*, *191*, 107982. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107982>
- Binnemans, K., & Jones, P. T. (2017). Solvometallurgy : An Emerging Branch of Extractive Metallurgy. *Journal of Sustainable Metallurgy*, *3*(3), 570–600. <https://doi.org/10.1007/s40831-017-0128-2>
- Bunaciu, A. A., Udriștioiu, E. gabriela, & Aboul-Enein, H. Y. (2015). X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, *45*(4), 289–299. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.949616>
- Chang, X., Fan, M., Gu, C.-F., He, W.-H., Meng, Q., Wan, L.-J., & Guo, Y.-G. (2022). Selective Extraction of Transition Metals from Spent LiNiCoyMn1—O2 Cathode via Regulation of Coordination Environment. *Angewandte Chemie International Edition*, *61*(24), e202202558. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/anie.202202558>
- Cheng, N., Zhang, J., Yin, J., & Li, S. (2018). Computational and experimental research on mechanism of cis / trans isomerization of oleic acid. *Heliyon*, *4*(9), e00768. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00768>
- Dalvi, A. D., Bacon, W. G., & Osborne, R. C. (2004). The Past and the Future of Nickel Laterites World's Land Based Nickel Resources and Primary Nickel Production Nickel Production , kt / yr. *PDAC 2004 International Convention, Figure 2*, 1–27.

- Ding, K., Liu, Y., Tang, J., Zhou, Y., Lin, X., & Hu, J. (2017). Efficiently enriching zinc(II) from and into ammonium chloride media with species regulation and Aliquat336. *Separation and Purification Technology*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.08.057>
- Elgharbawy, A. A. M., Moniruzzaman, M., & Goto, M. (2021). *ScienceDirect Facilitating enzymatic reactions by using ionic liquids : A mini review*.
- Farrokhpay, S., Cathelineau, M., Blancher, S. B., Laugier, O., & Filippov, L. (2019). Characterization of Weda Bay nickel laterite ore from Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, 196(March 2018), 270–281. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.11.002>
- Feng, X., Zhang, H., & Yu, P. (2021). X-ray fluorescence application in food, feed, and agricultural science: a critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(14), 2340–2350. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1776677>
- Filipčev, B., Kojić, J., Krulj, J., Bodroža-Solarov, M., & Ilić, N. (2018). Betaine in Cereal Grains and Grain-Based Products. In *Foods* (Vol. 7, Issue 4). <https://doi.org/10.3390/foods7040049>
- Ge, L., & Li, F. (2020). Review of in situ X-ray fluorescence analysis technology in China. *X-Ray Spectrometry*, 49(4), 458–470. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/xrs.3135>
- George, A., Dhayal Raj, A., Albert Irudayaraj, A., Josephine, R. L., Venci, X., John Sundaram, S., Rajakrishnan, R., Kuppusamy, P., & Kaviyarasu, K. (2022). Regeneration study of MB in recycling runs over nickel vanadium oxide by solvent extraction for photocatalytic performance for wastewater treatments. *Environmental Research*, 211, 112970. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112970>
- 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/https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.05.084>
- Hammond, O. S. (2022). *ChemComm*. 58(24). <https://doi.org/10.1039/d1cc06543b>

- Hanada, T., & Goto, M. (2021). Synergistic Deep Eutectic Solvents for Lithium Extraction. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(5), 2152–2160. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c07606>
- Hansen, B. B., Horton, A., Chen, B., Poe, D., Zhang, Y., Spittle, S., Klein, J., Adhikari, L., Zelovich, T., Doherty, B. W., Gurkan, B., Maginn, E., Ragauskas, A., Dadmun, M., Zawodzinski, T., Baker, G. A., Tuckerman, M., Savinell, R. F., & Sangoro, J. R. (2020). *Deep Eutectic Solvents : A Review of Fundamentals and Applications*.
- Hartley, J. M., Ip, C. M., Forrest, G. C. H., Singh, K., Gurman, S. J., Ryder, K. S., Abbott, A. P., & Frisch, G. (2014). EXAFS study into the speciation of metal salts dissolved in ionic liquids and deep eutectic solvents. *Inorganic Chemistry*, 53(12), 6280–6288. <https://doi.org/10.1021/ic500824r>
- Harvey, D. (DePauw U. (2000). *Modern analytical chemistry. McGraw-Hill Higher Education*, 816.
- Haya, A. (2019). *Penyebaran endapan nikel laterit pulau obi kabupaten halmahera selatan provinsi maluku utara*. 05, 25–33.
- Horvai, G. (2013). *Selectivity in analytical chemistry*. July.
- Jackson, R. E., Gadhia, R., Roma, A. N., & Roma, G. C. (2019). *Mediterranean diet : The role of long-chain ω -3 fatty acids in fish ; polyphenols in fruits , vegetables , cereals , coffee , tea , cacao and wine ; probiotics and vitamins in prevention of stroke , age-related cognitive decline , and Alzheimer disease*. 5. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2019.08.005>
- Kanrar, B., Sanyal, K., & Dhara, S. (2021). Quantification and distribution of trace elements in fusion bead and pressed pellet specimens using a table top micro-X-ray fluorescence spectrometer. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 177, 106063. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sab.2020.106063>
- 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>

- Komnitsas, K., Petrakis, E., & Bartzas, G. (2023). A novel and greener sequential column leaching approach for the treatment of two different Greek laterites. *Science of The Total Environment*, 854, 158748.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158748>
- König, U. (2021). Nickel laterites—mineralogical monitoring for grade definition and process optimization. *Minerals*, 11(11).
<https://doi.org/10.3390/min11111178>
- Kozhevnikova, A., Zinov'eva, I., Zakhodyaeva, Y., Baranovskaya, V., & Voshkin, A. (2022). Application of Hydrophobic Deep Eutectic Solvents in Extraction of Metals from Real Solutions Obtained by Leaching Cathodes from End-of-Life Li-Ion Batteries. *Processes*, 10, 2671.
<https://doi.org/10.3390/pr10122671>
- Krstev, B., Krstev, D., Krstev, A., Golomeova, M., & Golomeov, B. (2012). the Recent Trends and Perspectives of Leaching or Bioleaching From Nickel Oxidized Ores. *Scientific Proceedings IX International Congress "Machines, Technologies, Materials,"* 107–109.
- Kyle, J. (2010). Nickel laterite processing technologies – where to next? In *ALTA 2010 Nickel/Cobalt/Copper Conference*. ALTA Metallurgical Services.
- Lee, L. Y., Morad, N., Ismail, N., Talebi, A., & Rafatullah, M. (2020). Optimization for liquid-liquid extraction of cd(II) over cu(II) ions from aqueous solutions using ionic liquid aliquat 336 with tributyl phosphate. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(18), 1–16.
<https://doi.org/10.3390/ijms21186860>
- Leng, Y. (2008). *MATERIALS CHARACTERIZATION Introduction to Microscopic*.
- Li, X., Zhang, X., Zang, X., & Xing, X. (2020). Structure and Phase Changes of Nickel Slag in Oxidation Treatment. *Minerals*, 10, 313.
<https://doi.org/10.3390/min10040313>
- Liu, Y., Xu, W., Zhang, H., & Xu, W. (2019). Hydrophobic deep eutectic solvent-based dispersive liquid–liquid microextraction for the simultaneous enantiomeric analysis of five β -agonists in the environmental samples. *ELECTROPHORESIS*, 40(21), 2828–2836.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/elps.201900149>
- Longeras, O., Gautier, A., Ballerat-Busserolles, K., & Andanson, J.-M. (2020). Deep Eutectic Solvent with Thermo-Switchable Hydrophobicity. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(33), 12516–12520. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c03478>
- Mcdonald, R. G., & Whittington, B. I. (2008). *Atmospheric acid leaching of nickel laterites review Part I . Sulphuric acid technologies*. 91, 35–55. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2007.11.009>
- Meshram, P., Abhilash, & Pandey, B. D. (2019). Advanced Review on Extraction of Nickel from Primary and Secondary Sources. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 40(3), 157–193. <https://doi.org/10.1080/08827508.2018.1514300>
- Mudd, G. M. (2010). Global trends and environmental issues in nickel mining: Sulfides versus laterites. *Ore Geology Reviews*, 38(1), 9–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2010.05.003>
- Mudd, G. M., & Jowitt, S. M. (2022). The New Century for Nickel Resources, Reserves, and Mining: Reassessing the Sustainability of the Devil’s Metal. *Economic Geology*, 117(8), 1961–1983. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4950>
- Mulia, K., Nasikin, M., Krisanti, E. A., & Zahrina, I. (2020). Deacidification of Palm Oil Using Betaine Monohydrate-Carboxylic Acid Deep Eutectic Solvents: Combined Extraction and Simple Solvent Recovery. In *Processes* (Vol. 8, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/pr8050543>
- Myagkiy, A. (2019). *Reactive Transport Modeling Applied to Ni Laterite Ore Deposits in New Caledonia : Role of Hydrodynamic Factors and Geological Structures in Ni Mineralization Geochemistry , Geophysics , Geosystems. Figure 1*, 1425–1440. <https://doi.org/10.1029/2018GC007606>
- Myung, S. T., Maglia, F., Park, K. J., Yoon, C. S., Lamp, P., Kim, S. J., & Sun, Y. K. (2017). Nickel-Rich Layered Cathode Materials for Automotive Lithium-Ion Batteries: Achievements and Perspectives. *ACS Energy Letters*, 2(1), 196–223. <https://doi.org/10.1021/acsenerylett.6b00594>
- Norgate, T., & Jahanshahi, S. (2011). Assessing the energy and greenhouse gas

- footprints of nickel laterite processing. *Minerals Engineering*, 24(7), 698–707. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.10.002>
- Pathak, P., & Pandey, N. (2023). Hydrometallurgical recycling of critical metals from spent Ni-Cd batteries with emphasis on the separation of Cd²⁺ over Ni²⁺ using D2EHPA. *Geosystem Engineering*, 26(5), 200–207. <https://doi.org/10.1080/12269328.2023.2201290>
- Perna, F. M., Vitale, P., & Capriati, V. (2020). Deep eutectic solvents and their applications as green solvents. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 21, 27–33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.09.004>
- Phernpornragul, Y., Arepornrat, S., Na Ayuthaya, W. P., & Khaenamkaew, P. (2020). A Comparative Study of SEM-EDX and ICP-MS Detection Based on Gunshot Residue Originated from AK-47 and M16 Rifles. *American Journal of Applied Sciences*, 17(1), 69–82. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2020.69.82>
- Pinho, S. P., & Coutinho, J. A. P. (2020). *Accepted Manuscript*. <https://doi.org/10.1002/cssc.202001331>
- 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/https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105539>
- Ratti, R. (2014). *Ionic Liquids : Synthesis and Applications in Catalysis*. 2014(3). <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. *Proceedings of the 4th International Symposium on Enhanced Landfill Mining (ELFM IV), Mechelen (Belgium), 5-6 February 2018. Eds P.T. Jones and L. Machiels*, 121–126.
- Sakamoto, T., Hanada, T., Sato, H., Kamisono, M., & Goto, M. (2024). Hydrophobic deep eutectic solvents for the direct leaching of nickel laterite ores: Selectivity and reusability investigations. *Separation and Purification Technology*, 331, 125619. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.125619>

- Savi, T. (2018). *vulnerability to embolism in woody angiosperms The potential of Mid-Infrared spectroscopy for prediction of wood density and vulnerability to embolism in woody angiosperms*. April 2019.
<https://doi.org/10.1093/treephys/tpy112>
- Setiawan, I., Febrina, E., Subagja, R., Harjanto, S., & Firdiyono, F. (2019). Investigations on mineralogical characteristics of Indonesian nickel laterite ores during the roasting process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 541(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/541/1/012038>
- Singh, S. K., & Savoy, A. W. (2020). Ionic liquids synthesis and applications: An overview. *Journal of Molecular Liquids*, 297, 112038.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.112038>
- Skoog, A. D., Holler, F. J., & Crouch, R. S. (2013). Principles of Instrumental Analysis (7th edition). In *Elemental Analysis*. Cengage Learning.
<https://doi.org/10.1515/9783110501087-002>
- 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>
- 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>
- Wang, X., Zhu, D., Guo, Z., Pan, J., Lv, T., Yang, C., & Li, S. (2023). Efficient Utilization of Limonite Nickel Laterite to Prepare Ferronickel by the Selective Reduction Smelting Process. In *Sustainability* (Vol. 15, Issue 9).
<https://doi.org/10.3390/su15097147>
- Warner, A. E. M., Díaz, C. M., Dalvi, A. D., Mackey, P. J., Tarasov, A. V., Jones, R. T., & Cliff, C. (2007). *Survey Part IV : Nickel : Sulfide*. April.
- Xu, P., Zheng, G. W., Zong, M. H., Li, N., & Lou, W. Y. (2017). Recent progress on deep eutectic solvents in biocatalysis. *Bioresources and Bioprocessing*.
<https://doi.org/10.1186/s40643-017-0165-5>
- Yan, G., Zhou, Y., Zhao, L., Wang, W., & Yang, Y. (2022). Industrial Crops & Products Recycling of deep eutectic solvent for sustainable and efficient

pretreatment of corncob. *Industrial Crops & Products*, 183(May), 115005.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115005>

Yue, C., Sun, P., & Li, F. (2022). *Phosphonium Ionic Liquids BT - Encyclopedia of Ionic Liquids* (S. Zhang (ed.); pp. 1004–1026). Springer Nature Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-33-4221-7_119

Zalvino, M. A. (2021). Prediksi dan Arah Kebijakan Mengenai Bijih Nikel di Indonesia dalam Menghadapi Peningkatan Permintaan Baterai Mobil Listrik. *Prosiding Temu Profesi Tahunan PERHAPI, L(2020)*, 2020–2021.

Zheng, W., Pang, X., Huang, Y., Ali, M., Qiu, S., Gu, M., Shen, J., Lin, Q., Zheng, S., Zeng, X.-A., & Liao, L. (2023). Molecular Transformation and Characterizations of Super-deamidated Wheat Gluten by a Tunable Hydrated Ternary Natural Deep Eutectic Solvent. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(19), 7500–7514.
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.3c00655>