

**PENGARUH PERBEDAAN GUGUS FUNGSI DONOR IKATAN
HIDROGEN TERHADAP SINTESIS PELARUT EUTEKTIK DAN
PELINDIAN PERAK DARI LIMBAH *PRINTED CIRCUIT BOARD***

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



oleh:

Sheren Hana Elia

1902890

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

2023

**PENGARUH PERBEDAAN GUGUS FUNGSI DONOR IKATAN
HIDROGEN TERHADAP SINTESIS PELARUT EUTEKTIK DAN
PELINDIAN PERAK DARI LIMBAH *PRINTED CIRCUIT BOARD***

Oleh:

Sheren Hana Elia

1902890

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

© Sheren Hana Elia

Universitas Pendidikan Indonesia

September 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.

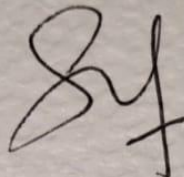
LEMBAR PENGESAHAN

SHEREN HANA ELIA

**PENGARUH PERBEDAAN GUGUS FUNGSI DONOR IKATAN
HIDROGEN TERHADAP SINTESIS PELARUT EUTEKTIK DAN
PELINDIAN PERAK DARI LIMBAH *PRINTED CIRCUIT BOARD***

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

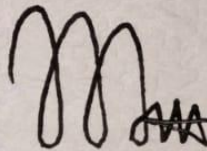
Pembimbing I



Dr. Soja Siti Fatimah, S. Si., M.Si.

NIP. 196802161994022001

Pembimbing II

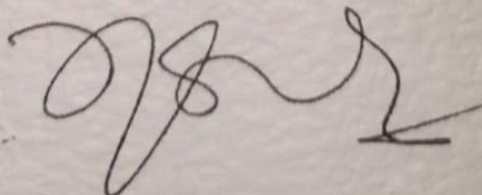


Abraham Mora, M.Si.

NIP. 199306072020121006

Mengetahui,

Ketua Program Studi Kimia FPMIPA UPI



Prof. Fitri Khoerunissa, Ph.D.

NIP. 197806282001122001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Pengaruh Perbedaan Gugus Fungsi Donor Ikatan Hidrogen Terhadap Sintesis Pelarut Eutektik dan Pelindian Perak dari Limbah *Printed Circuit Board*” ini beserta seluruh isinya adalah sepenuhnya 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 yang dijatuhkan kepada saya apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Bandung, Agustus 2023

Yang membuat pernyataan,

Sheren Hana Elia

NIM. 1902890

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan, berkat, dan hikmat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi yang berjudul “Pengaruh Perbedaan Gugus Fungsi Donor Ikatan Hidrogen Terhadap Sintesis Pelarut Eutektik dan Pelindian Perak dari Limbah *Printed Circuit Board*” disusun sebagai salah satu syarat untuk melakukan penelitian di Laboratorium Riset Kimia Material di Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia. Skripsi ini diharapkan mampu menambah pemahaman pembaca mengenai analisis pengaruh perbedaan gugus fungsi dari donor ikatan hidrogen pada pelarut eutektik terhadap efektivitas pelindian logam dari limbah PCB.

Penulis sangat paham bahwa dalam penulisan skripsi ini ini masih banyak kekurangan dan tidak sempurna. Oleh karena itu penulis memohon maaf apabila masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis terbuka terhadap saran dan kritik berbagai pihak yang bersifat membangun untuk dijadikan perbaikan dalam penyusunan skripsi yang akan datang. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat terkhusus dalam pengembangan sains.

Bandung, Agustus 2023

Sheren Hana Elia

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini hingga selesai tidak terlepas dari bantuan, dukungan, bimbingan, dorongan serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih secara khusus kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus atas berkat, karunia, dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Ido Rusmana dan Ibu Novianty selaku orang tua penulis, Sean Abednego selaku adik penulis, Ibu Elly Maulina, S.Pd. selaku tante penulis, dan keluarga besar Opung Fajar Sihombing/br Siagian yang tak henti memberikan dukungan baik dalam bentuk waktu, tenaga, materi, maupun doa.
3. Ibu Dr. Soja Siti Fatimah, M.Si. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Abraham Mora, M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan arahan, motivasi, doa, dan semangat serta penuh kesabaran dalam membimbing penulis.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. H. Asep Bayu Dani Nandiyanto, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjalani perkuliahan di Program Studi Kimia FPMIPA UPI.
5. Ibu Dr. Fitri Khoerunnisa, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia FPMIPA UPI.
6. Para dosen, laboran, dan staff Departemen Pendidikan Kimia UPI yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis selama menjalankan masa perkuliahan.
7. Ibu Dian Ayu Setyorini, M.Si. selaku operator instrumentasi AAS di Departemen Kimia ITB yang telah mencurahkan waktu, energi, dan membangikan ilmunya dalam analisis menggunakan instrumen AAS.
8. Yosia Geovany selaku sahabat penulis yang sudah setia kebersamai, mendoakan, mendorong, menghibur, mendukung, serta meluangkan waktu untuk mendengar keluh kesah penulis.
9. Vanessa Bella, Vanessa Mara, Yulia Bella, Yeheskiel Situmorang, Alpin Andrian, Aditya Budi, dan Andrian Fransiscus selaku sahabat penulis sejak

Sekolah Menengah Atas yang telah memberikan semangat, dan motivasi kepada penulis.

10. Saudari Liana, Rini Susanti, Jesika Agnes, Feby Erent, dan Novia Mawarni selaku saudari Rohani yang turut serta mendukung dan memberikan doa bagi penulis.
11. Gabriela Chelvina, Brigitta Stacia Maharani, dan Lewi Stefanus A selaku sahabat karib penulis di masa perkuliahan yang sudah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.
12. BP3 PMK UPI Periode 2022-2023 (Angeline Gema, Fhebi Natasya, Grace Setia dan Stacey Graciella) dan Freehana Tiganaputri, serta rekan-rekan Pengurus PMK UPI Periode 2022-2023 yang telah senantiasa memberikan doa dan motivasi pada penulis.
13. Hufaidatul Azfa Nurusyifa dan Arrizal Abdul Aziz selaku rekan satu bimbingan di Tim Riset Ibu Dr. Soja Siti Fatimah, M.Si. serta teman-teman KBK Kimia Material 2022 serta rekan-rekan Kimia-D 2019 yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.
14. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu kelancaran penelitian dan penyusunan skripsi ini.

Dengan selesainya penulisan skripsi ini, penulis menyadari akan kekurangan serta keterbatasan kemampuan yang dimiliki baik dalam penulisan, penggunaan bahasa, maupun dalam kelengkapan isi skripsi. Oleh karena itu, segala kritik serta saran yang dapat memperbaiki hasil penelitian ini sangatlah diharapkan. Akhir kata, penulis sangat mengucapkan terima kasih dan semoga skripsi ini mampu bermanfaat bagi semua pihak.

Bandung, Agustus 2023

Sheren Hana Elia

ABSTRAK

Limbah peralatan listrik dan elektronik, atau *e-waste*, diakui sebagai masalah yang berkembang dengan implikasi global selama hampir dua dekade. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pelindian perak pada *Printed Circuit Board* dengan menggunakan pelarut eutektik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh perbedaan gugus fungsi dari donor ikatan hidrogen terhadap sintesis pelarut eutektik dan pelindian perak serta menentukan kondisi optimum untuk pelindian perak dan pengaplikasiannya untuk pelindian perak pada limbah PCB. Optimasi kondisi pelindian yang dilakukan meliputi optimasi waktu, perbandingan solid/liquid dan suhu yang kemudian kondisi optimum tersebut akan di aplikasikan pada pelindian perak dari sampel PCB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolin klorida tidak dapat berinteraksi dengan etilendiamin untuk membentuk pelarut eutektik. Sedangkan pada sintesis dengan donor ikatan hidrogen lain ditemukan bahwa DES Etalin 1:2 dan DES Oksalin 2:1 membentuk cairan tidak berwarna yang kental dan stabil dalam suhu ruang. Berdasarkan analisa pada pelindian awal, DES Oksalin dengan perbandingan 2:1 memiliki persentase pelindian yang lebih baik dibandingkan DES etalin dengan persentase pelindian 92,39%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbedaan gugus fungsi memengaruhi persentase pelindian perak. Hasil optimasi menunjukkan bahwa pelindian terbaik dilakukan dalam waktu 24 jam dengan rasio solid/liquid 40 mg/mL dan dilakukan pada suhu ideal 50°C, dengan persentase pelindian paling tinggi sebesar 98,65%. Aplikasi pelindian perak pada limbah PCB menggunakan DES Oksalin 2:1 pada kondisi optimum menghasilkan persentase pelindian perak sebesar 81,24%. Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan DES berpotensi untuk digunakan sebagai pelarut hijau untuk melindi logam perak dari limbah PCB.

Kata kunci : *Printed circuit board*, pelindian, perak, pelarut eutektik, oksalin, etalin

ABSTRACT

Electrical and electronic equipment waste has been recognized as a growing problem with global implications for nearly two decades. One effort can be made to leach silver on the printed circuit board using a eutectic solvent. This study aimed to analyze the effect of different functional groups from hydrogen bond donor on DES synthesis and silver leaching efficiency and determine the optimum conditions for silver leaching and its application for silver leaching in PCB waste. Optimization of the leaching conditions includes optimization of time, solid/liquid ratio and temperature. Afterward, the optimized conditions would be applied for leaching Ag from PCB waste. The results showed that choline chloride could not interact with ethylene diamine to form DES. Meanwhile, in the synthesis with other hydrogen bond donors, it was found that DES Ethaline 1:2 and DES Oxaline 2:1 formed a colourless liquid that was viscous and room-temperature stable liquid. Based on the analysis of the initial leaching, Oxalin DES 2:1 has a better leaching percentage than ethalin DES, with a leaching percentage of 92.39%. These results indicate that functional group differences affect the silver leaching percentage. The optimization results showed that the best leaching was carried out in 24 hours, with a solid/liquid ratio of 40 mg/mL was at an ideal temperature of 50°C with the highest percentage of leaching of 98.65%. Silver leaching application on PCB waste using Oxalin DES 2:1 at optimum conditions showed a percentage of 81.24%. Based on the results of research that has been studied, DES has great potential to be used as a green solvent for silver leaching from PCB waste.

Keyword : WPCBs, leaching, silver, deep eutectic solvent, oxaline, ethaline

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| KATA PENGANTAR | v |
| UCAPAN TERIMA KASIH..... | vi |
| ABSTRAK..... | viii |
| ABSTRACT..... | ix |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xiii |
| 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 Limbah <i>Printed Circuit Board</i> | 5 |
| 2.2 Pelarut Eutektik | 6 |
| 2.3 Pelindian Perak..... | 12 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | 14 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 14 |
| 3.2 Alat dan Bahan | 14 |
| 3.3 Tahapan Penelitian | 14 |
| 3.4 Prosedur Penelitian..... | 17 |
| BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN | 20 |
| 4.1 Sintesis Pelarut Eutektik..... | 20 |
| 4.2 Karakterisasi Pelarut Eutektik | 22 |
| 4.3 Pelindian standar Ag ₂ O | 28 |
| 4.4 Optimasi Kondisi Pelindian Menggunakan Pelarut Eutektik Terpilih ... | 30 |
| 4.5 Pelindian Ag dari Sample PCB | 33 |
| BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI, DAN REKOMENDASI | 35 |
| 5.1 Simpulan..... | 35 |
| 5.2 Implikasi dan Rekomendasi | 35 |
| DAFTAR PUSTAKA | 37 |
| LAMPIRAN..... | 42 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Klasifikasi logam yang ada dalam PCB (H. Li et al., 2018) | 6 |
| Gambar 2.2 Diagram fasa titik eutektik donor ikatan hidrogen dan akseptor ikatan hidrogen (Makoś et al., 2020) | 6 |
| Gambar 2.3 Persamaan dan perbedaan ionic liquid dan pelarut eutektik (Płotka-Wasyłka et al., 2020)..... | 7 |
| Gambar 2.4 HBD dan HBA yang umum digunakan dalam sintesis pelarut eutektik (Francisco et al., 2013)..... | 8 |
| Gambar 2.5 Struktur molekul kolin klorida | 10 |
| Gambar 2.6 Usulan struktur molekul pelarut eutektik kolin klorida-etilen glikol (Fatimah & Firdaus, 2021)..... | 11 |
| Gambar 2.7 Usulan struktur molekul DES Oksalin (Nugraha, 2022)..... | 12 |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian secara keseluruhan..... | 15 |
| Gambar 3.2 Tahapan Optimasi Kondisi Pelindian Perak | 16 |
| Gambar 4.1 Spektrum FTIR DES ethaline, etilen glikol dan kolin klorida | 24 |
| Gambar 4.2 Spektrum FTIR DES oksalin, asam oksalat, dan kolin klorida | 26 |
| Gambar 4.3 Usulan interaksi DES Etalin dengan Ag (Fatimah & Firdaus, 2021) | 28 |
| Gambar 4.4 Usulan interaksi DES Oksalin dengan Ag (Nugraha, 2022) | 29 |
| Gambar 4.5 Diagram Persentase Efisiensi Pelindian Perak pada Standar Ag ₂ O menggunakan DES oksalin 2:1 dan etalin 1:2 | 29 |
| Gambar 4.6 Grafik Optimasi Waktu Pelindian Perak dari Ag ₂ O..... | 30 |
| Gambar 4.7 Grafik Optimasi S/L pelindian perak dari Ag ₂ O | 31 |
| Gambar 4.8 Grafik Optimasi Suhu pelindian perak dari Ag ₂ O..... | 32 |
| Gambar 4.9 Diagram Persentase Pelindian Logam Pada PCB..... | 34 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Klasifikasi DES (X. Li et al., 2018; Smith et al., 2014)..... | 9 |
| Tabel 4.1 Pengukuran Densitas dan Uji Keasaman DES Etalin | 23 |
| Tabel 4.2 Identifikasi gugus fungsi terhadap serapan IR kolin klorida, asam oksalat dan DES etalin..... | 25 |
| Tabel 4.3 Pengukuran Densitas dan Uji Keasaman DES Oksalin..... | 26 |
| Tabel 4.4 Identifikasi gugus fungsi terhadap serapan IR kolin klorida, asam oksalat, dan oksalin | 27 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|----|
| Lampiran 1. Spektrum FTIR Kolin Klorida..... | 42 |
| Lampiran 2. Spektrum FTIR Etilen Glikol | 43 |
| Lampiran 3. Spektrum FTIR Asam Oksalat Dihidrat | 44 |
| Lampiran 4. Spektrum FTIR DES ChCl:Etilen Glikol | 45 |
| Lampiran 5. Spektrum FTIR DES ChCl:Asam Oksalat | 46 |
| Lampiran 6 Perhitungan Persentase Pelindian Ag ₂ O..... | 47 |

DAFTAR PUSTAKA

- 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 and Engineering Data*, *51*(4), 1280–1282. <https://doi.org/10.1021/je060038c>
- Aissaoui, T. (2015). Novel Contribution to the Chemical Structure of Choline Chloride Based Deep Eutectic Solvents. *Pharmaceutica Analytica Acta*, *6*(11). <https://doi.org/10.4172/2153-2435.1000448>
- Aktas, S. (2010). Silver recovery from spent silver oxide button cells. *Hydrometallurgy*, *104*(1), 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.05.004>
- Aldhafi, A. (2022). *EKSTRAKSI LOGAM PERAK DARI LIMBAH PRINTED CIRCUIT*.
- Anggara, S., Bevan, F., Harris, R. C., Hartley, J. M., Frisch, G., Jenkin, G. R. T., & Abbott, A. P. (2019). Direct extraction of copper from copper sulfide minerals using deep eutectic solvents. *Green Chemistry*, *21*(23), 6502–6512. <https://doi.org/10.1039/c9gc03213d>
- Du, C., Zhao, B., Chen, X. B., Birbilis, N., & Yang, H. (2016). Effect of water presence on choline chloride-2urea ionic liquid and coating platings from the hydrated ionic liquid. *Scientific Reports*, *6*. <https://doi.org/10.1038/srep29225>
- Ebrahimi, E., Safari, H., Rezaee, M., Rezaei, A., & Abdollahi, H. (2023). *An environmentally friendly method for extraction of Cobalt and Molybdenum from spent catalysts using deep eutectic solvents (DESs)*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2430926/v1>
- El Achkar, T., Greige-Gerges, H., & Fourmentin, S. (2021). Understanding the basics and properties of deep eutectic solvents. *Deep Eutectic Solvents for Medicine, Gas Solubilization and Extraction of Natural Substances*, *56*, 1–40.
- Estrada-Ruiz, R. H., Flores-Campos, R., Gámez-Altamirano, H. A., & Velarde-Sánchez, E. J. (2016). Separation of the metallic and non-metallic fraction from printed circuit boards employing green technology. *Journal of Hazardous Materials*, *311*, 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.02.061>
- Fatimah, S. S., & Firdaus, M. Y. (2021). Chemica Isola ARTIKEL REVIEW Pelarut Deep Eutectic Etalin Sebagai Agen Pelindian Logam Perak dari Limbah Printed Circuit Boards (PCB). *Chemica Isola*, *1*(2), 37–41. <https://ejournal.upi.edu/index.php/CI/index>
- Francisco, M., Van Den Bruinhorst, A., & Kroon, M. C. (2013). Low-transition-temperature mixtures (LTTMs): A new generation of designer solvents. In

- Angewandte Chemie - International Edition* (Vol. 52, Issue 11, pp. 3074–3085). <https://doi.org/10.1002/anie.201207548>
- Gandhimathi, A., Karunakaran, R. T., Elakkina Kumaran, A., Prabahar, S., & Sathyalakshmi, R. (2020). Growth and Characterization Studies of an Organic Nonlinear Optical Crystal-Oxalic Acid Dihydrate. *International Journal of Scientific Research in _____ Research Paper. Physics and Applied Sciences*, 8(3), 54–59. <https://doi.org/10.26438/ijsrpas/v8i3.5459>
- Golev, A., & Corder, G. D. (2017). Quantifying metal values in e-waste in Australia: The value chain perspective. *Minerals Engineering*, 107, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.10.021>
- Gontrani, L., Bonomo, M., Plechkova, N. V., Dini, D., & Caminiti, R. (2018). X-Ray structure and ionic conductivity studies of anhydrous and hydrated choline chloride and oxalic acid deep eutectic solvents. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 20(48), 30120–30124. <https://doi.org/10.1039/c8cp06728g>
- Gromov, O. G., Kuz'min, A. P., Kunshina, G. B., Lokshin, E. P., & Kalinnikov, V. T. (2004). Electrochemical Recovery of Silver from Secondary Raw Materials. In *Russian Journal of Applied Chemistry* (Vol. 77, Issue 1). <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/B:RJAC.0000024577.90857.07>
- Hao, J., Wang, X., Wang, Y., Wu, Y., & Guo, F. (2022). Optimizing the Leaching Parameters and Studying the Kinetics of Copper Recovery from Waste Printed Circuit Boards. *ACS Omega*, 7(4), 3689–3699. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c06173>
- Hayler, H. J., & Perkin, S. (2022). The eutectic point in choline chloride and ethylene glycol mixtures. *Chemical Communications*, 58(91), 12728–12731. <https://doi.org/10.1039/d2cc04008e>
- Hooshmand, S. E., Afshari, R., Ramón, D. J., & Varma, R. S. (2020). Deep eutectic solvents: Cutting-edge applications in cross-coupling reactions. In *Green Chemistry* (Vol. 22, Issue 12, pp. 3668–3692). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d0gc01494j>
- Huang, K., Guo, J., & Xu, Z. (2009). Recycling of waste printed circuit boards: A review of current technologies and treatment status in China. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 164, Issues 2–3, pp. 399–408). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.051>
- Lanzano, T., Bertram, M., De Palo, M., Wagner, C., Zyla, K., & Graedel, T. E. (2006). The contemporary European silver cycle. *Resources, Conservation and Recycling*, 46(1), 27–43. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.06.003>
- Leron, R. B., Soriano, A. N., & Li, M. H. (2012). Densities and refractive indices of the deep eutectic solvents (choline chloride+ethylene glycol or glycerol) and their aqueous mixtures at the temperature ranging from 298.15 to 333.15K. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 43(4), 551–557. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2012.01.007>
- Li, H., Eksteen, J., & Oraby, E. (2018). Hydrometallurgical recovery of metals from waste printed circuit boards (WPCBs): Current status and perspectives

- A review. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 139, pp. 122–139). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.007>
- Li, P., Wang, Y., Hou, Q., Liu, H., Lei, H., Jian, B., & Li, X. (2020). Preparation of cellulose nanofibrils from okara by high pressure homogenization method using deep eutectic solvents. *Cellulose*, 27(5), 2511–2520. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02929-5>
- Li, X., Choi, J., Ahn, W. S., & Row, K. H. (2018). Preparation and Application of Porous Materials based on Deep Eutectic Solvents. In *Critical Reviews in Analytical Chemistry* (Vol. 48, Issue 1, pp. 73–85). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408347.2017.1383881>
- Makoś, P., Słupek, E., & Gębicki, J. (2020). Hydrophobic deep eutectic solvents in microextraction techniques—A review. In *Microchemical Journal* (Vol. 152). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104384>
- Manurung, R., Simanjuntak, G. C., Perez, R. N., Syahputra, A., Alhamdi, M. A., Siregar, H., & Syahputri Zuhri, R. R. (2019). Production of Choline Chloride-Based Deep Eutectic Solvent with Hydrogen Bond Donor D-Glucose and Ethylene Glycol. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 505(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/505/1/012134>
- Naser, J., Mjalli, F., Jibril, B., Al-Hatmi, S., & Gano, Z. (2013). Potassium Carbonate as a Salt for Deep Eutectic Solvents. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 114–118. <https://doi.org/10.7763/ijcea.2013.v4.275>
- Nugraha, A. S. (2022). *Pungut Ulang Perak Dari Limbah Elektronik Baterai Koin Perak Oksida Menggunakan Pelarut Deep Eutectic Oksalin*.
- Padwal, C., Pham, H. D., Jadhav, S., Do, T. T., Nerkar, J., Hoang, L. T. M., Kumar Nanjundan, A., Mundree, S. G., & Dubal, D. P. (2022). Deep Eutectic Solvents: Green Approach for Cathode Recycling of Li-Ion Batteries. *Advanced Energy and Sustainability Research*, 3(1), 2100133. <https://doi.org/10.1002/aesr.202100133>
- Peeters, N., Binnemans, K., & Riaño, S. (2020). Solvometallurgical recovery of cobalt from lithium-ion battery cathode materials using deep-eutectic solvents. *Green Chemistry*, 22(13), 4210–4221. <https://doi.org/10.1039/d0gc00940g>
- Perkins, D. N., Brune Drisse, M. N., Nxele, T., & Sly, P. D. (2014). E-waste: A global hazard. In *Annals of Global Health* (Vol. 80, Issue 4, pp. 286–295). Elsevier USA. <https://doi.org/10.1016/j.aogh.2014.10.001>
- Pinho, S., Ferreira, M., & Almeida, M. F. (2018). A wet dismantling process for the recycling of computer printed circuit boards. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 132, pp. 71–76). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.022>
- Plotka-Wasyłka, J., de la Guardia, M., Andruch, V., & Vilková, M. (2020). Deep eutectic solvents vs ionic liquids: Similarities and differences. In *Microchemical Journal* (Vol. 159). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105539>

- Safarzadeh, M. S., Bafghi, M. S., Moradkhani, D., & Ilkhchi, M. O. (2007). A review on hydrometallurgical extraction and recovery of cadmium from various resources. *Minerals Engineering*, 20(3), 211–220. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2006.07.001>
- Scelsi, E., Angelini, A., & Pastore, C. (2021). Deep Eutectic Solvents for the Valorisation of Lignocellulosic Biomasses towards Fine Chemicals. *Biomass*, 1(1), 29–59. <https://doi.org/10.3390/biomass1010003>
- Sethurajan, M., Lens, P. N. L., Horn, H. A., Figueiredo, L. H. A., & van Hullebusch, E. D. (2017). *Leaching and Recovery of Metals* (pp. 161–206). https://doi.org/10.1007/978-3-319-61146-4_6
- Sigma Aldrich. (2023). *SAFETY DATA SHEET*.
- Sivrikaya, S. (2019). A novel vortex-assisted liquid phase microextraction method for parabens in cosmetic oil products using deep eutectic solvent. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 99(15), 1575–1585. <https://doi.org/10.1080/03067319.2019.1625345>
- Smink, D., Kersten, S. R. A., & Schuur, B. (2020). Recovery of lignin from deep eutectic solvents by liquid-liquid extraction. *Separation and Purification Technology*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116127>
- Smith, E. L., Abbott, A. P., & Ryder, K. S. (2014). Deep Eutectic Solvents (DESs) and Their Applications. In *Chemical Reviews* (Vol. 114, Issue 21, pp. 11060–11082). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/cr300162p>
- Song, J., Li, Y., & Xue, Z. (2022). Deep eutectic solvent-assisted fabrication of zirconium phytate thin nanosheets for important biomass transformations. *IScience*, 25(10). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105039>
- Tang, B., & Row, K. H. (2013). Recent developments in deep eutectic solvents in chemical sciences. In *Monatshefte für Chemie* (Vol. 144, Issue 10, pp. 1427–1454). Springer-Verlag Wien. <https://doi.org/10.1007/s00706-013-1050-3>
- Trivedi, T. J., Lee, J. H., Lee, H. J., Jeong, Y. K., & Choi, J. W. (2016). Deep eutectic solvents as attractive media for CO₂ capture. *Green Chemistry*, 18(9), 2834–2842. <https://doi.org/10.1039/c5gc02319j>
- Wahyono, S. (2013). *Kebijakan Pengelolaan Limbah Elektronik dalam Lingkup Global dan Lokal*. <https://doi.org/https://doi.org/10.29122/jtl.v14i1.1437>
- Wang, Y., Ma, C., Liu, C., Lu, X., Feng, X., & Ji, X. (2020). Thermodynamic Study of Choline Chloride-Based Deep Eutectic Solvents with Water and Methanol. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 65(5), 2446–2457. <https://doi.org/10.1021/acs.jced.9b01113>
- Xu, K., Wang, Y., Huang, Y., Li, N., & Wen, Q. (2014). A green deep eutectic solvent-based aqueous two-phase system for protein extracting. *Analytica Chimica Acta*, 864, 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.01.026>
- 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>
- Zhang, C., Zhang, L., & Yu, G. (2020). Eutectic Electrolytes as a Promising Platform for Next-Generation Electrochemical Energy Storage. *Accounts of*

- Chemical Research*, 53(8), 1648–1659.
<https://doi.org/10.1021/acs.accounts.0c00360>
- Zhang, H., Lang, J., Lan, P., Yang, H., Lu, J., & Wang, Z. (2020). Study on the dissolution mechanism of cellulose by ChCl-based deep eutectic solvents. *Materials*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/ma13020278>
- Zhang, Q., De Oliveira Vigier, K., Royer, S., & Jérôme, F. (2012). Deep eutectic solvents: Syntheses, properties and applications. *Chemical Society Reviews*, 41(21), 7108–7146. <https://doi.org/10.1039/c2cs35178a>
- Zürner, P., & Frisch, G. (2019). Leaching and Selective Extraction of Indium and Tin from Zinc Flue Dust Using an Oxalic Acid-Based Deep Eutectic Solvent. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(5), 5300–5308.
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b06331>