

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi saat ini telah menghasilkan lebih banyak perangkat elektronik yang mempermudah masyarakat dalam menjalani aktivitas sehari-hari. Perkembangan teknologi yang pesat membuat biaya produksi terhadap peralatan elektronik bisa semakin rendah, sehingga daya jangkauan masyarakat terhadap produk berteknologi baru pun semakin meningkat (Rajesh *et al.*, 2022). Hal tersebut membuat peralatan elektronik menjadi kemajuan teknologi yang paling signifikan, karena para ahli yang berlomba-lomba memperbarui produknya dengan teknologi maju (Nahor, 2019). Bersamaan dengan perkembangan dan pergantian peralatan elektronik (*life-cycle*) ini, produk elektronik dapat mengalami pemendekan masa pakai (*life-span*) (Shad *et al.*, 2020). Hal tersebut berpotensi menimbulkan masalah baru, yaitu terjadinya penumpukan limbah elektronik (Nahor, 2019).

Limbah elektronik (*e-waste*) adalah jenis limbah yang berasal dari peralatan elektronik yang sudah berakhir masa pakainya, ataupun yang sudah tidak memiliki nilai pakai oleh penggunanya (Abdurrahman *et al.*, 2023). Akumulasi limbah elektronik ini menjadi permasalahan polusi yang bertumbuh sangat cepat di berbagai negara (Kiddee *et al.*, 2013). Hal tersebut disebabkan limbah elektronik yang tidak bisa disamakan dengan limbah lainnya. Limbah elektronik terdiri dari berbagai bahan kimia yang bersifat sulit dileburkan menggunakan insinerator (Marwati *et al.*, 2015). Komposisi kimia dari limbah elektronik pun sangat kompleks, yang umumnya terdiri dari besi, polimer plastik, kaca, keramik, dan sebagainya (Betts, 2008). Indonesia belum memiliki regulasi khusus untuk pengelolaan limbah elektronik (Shad *et al.*, 2020). Indonesia menjadi salah satu negara di Asia yang masih belum memiliki regulasi terhadap limbah elektronik, yang membuat sebagian besar dikelola oleh sektor informal (Santoso *et al.*, 2019).

Permasalahan lingkungan terkait dengan limbah elektronik juga dibahas dalam Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). Pada tahun 2015, Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) mengadopsi serangkaian tujuan Pembangunan Berkelanjutan, terutama meliputi Tujuan 3 "Kesehatan dan Kesejahteraan yang

Baik", Tujuan 11 "Membuat Kota yang Inklusif, Aman, Tangguh, dan Berkelanjutan", serta Tujuan 12 "Menjamin Pola Konsumsi dan Produksi yang Berkelanjutan". Ketiga tujuan tersebut diangkat untuk mencapai pengelolaan bahan kimia dan limbah secara tepat, sesuai dengan kerangka kerja internasional yang disepakati, serta secara substansial mengurangi akumulasi limbah melalui upaya pencegahan, pengurangan, perbaikan, daur ulang, dan penggunaan kembali (Goodship *et al.*, 2019).

Pada skala global, di tahun 2030 diperkirakan jumlah limbah elektronik dapat mencapai 74,7 juta metrik ton, meningkat 38,16% dari perkiraan tahun 2022 (Rajesh *et al.*, 2022). Pertumbuhan jumlah limbah elektronik ini menjadi isu untuk negara maju maupun negara berkembang (Santoso *et al.*, 2019). Sementara pada skala nasional, Indonesia di tahun 2040 diperkirakan akan terjadi peningkatan sebanyak 60%, menjadi 3,2 juta ton dari tahun 2021 (Mairizal *et al.*, 2021). United Nations Institute melaporkan bahwa terdapat 1,2 juta ton sampah PCB di dunia, tetapi yang dapat ditangani hanya sebanyak 0,4 juta ton. PCB mengandung sekitar 30% plastik, 30% keramik, dan 40% logam. PCB memiliki kandungan logam yang sangat beragam seperti besi (Fe) 8-38%, tembaga (Cu) 10-27%, aluminium (Al) 2-19%, timah (Pb) 0,3-2%, perak (Ag) 200-3000 ppm, emas (Au) 50-500 ppm, dan paladium (Pd) 10-200 ppm (Erust *et al.*, 2020; Perkins *et al.*, 2014).

PCB adalah komponen penting dalam perangkat elektronik, dengan proporsi sekitar 20–30% pada ponsel, sekitar 20% pada komputer, dan sekitar 10% pada televisi (Wang *et al.*, 2017). Salah satu metode yang digunakan untuk mendaur ulang PCB adalah dengan pungut ulang logam berharga, seperti besi (Fe), tembaga (Cu), aluminium (Al), timah (Pb), nikel (Ni), perak (Ag), dan paladium (Pd) (Erust *et al.*, 2020). Logam perak memiliki nilai ekonomi yang tinggi, mencapai \$528.558/ton (Arshadi *et al.*, 2018). Nilai tinggi logam perak ini berasal dari peranannya yang krusial sebagai konduktor dan elektroda, karena memiliki konduktivitas listriknya yang tinggi (Jiang *et al.*, 2018). Oleh karena itu, pungut ulang logam perak dari limbah elektronik seperti PCB memiliki potensi yang menarik untuk dilakukan.

PCB adalah papan tipis yang terbuat dari resin epoksi atau *fiberglass*, yang dilapisi oleh film timah atau emas. PCB terdiri dari berbagai unsur logam dan non-

logam, meliputi plastik, logam, hingga keramik (Fornalczyk *et al.*, 2013). Dari berbagai sumber limbah elektronik PCB, ditunjukkan bahwa PCB dari perangkat RAM dan ponsel memiliki kandungan logam bernilai paling tinggi (Rigoldi *et al.*, 2019). Walaupun sudah menjadi limbah elektronik, PCB masih memiliki potensi sebagai sumber logam bernilai, walaupun kompleksitas komposisi yang tinggi. Pemungutan logam PCB dari limbah PCB tidak hanya bermanfaat untuk lingkungan, tetapi juga dapat mendorong pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan kemandirian suatu negara (Ghosh *et al.*, 2015).

Dalam mendapatkan kembali atau pungut ulang logam non-besi dan logam mulia dapat menggunakan proses metalurgi (Fornalczyk *et al.*, 2013). Solusi dalam skala industri, umumnya PCB dilakukan pungut logam menggunakan rute pirometalurgi atau hidrometalurgi (Kamberović *et al.*, 2018). Pirometalurgi adalah pendekatan pelindian logam yang melibatkan suhu tinggi, sedangkan hidrometalurgi melibatkan larutan kimia untuk mengekstraksi suatu logam (Bahfie *et al.*, 2022). Kedua pendekatan ini memiliki proses yang rumit dan membutuhkan banyak langkah, serta sifatnya yang tidak ramah lingkungan. Pada pendekatan pirometalurgi, dihasilkan emisi gas berupa dioksin dan furan, yang mana merupakan gas berbahaya. Sedangkan pada hidrometalurgi, akan membutuhkan jumlah agen kimia yang banyak dan menghasilkan limbah padat dan cair yang berbahaya (Zhao *et al.*, 2023). Oleh karena itu, terdapat solusi baru dalam pemungutan logam ini, yaitu menggunakan pelarut yang memiliki sifat lebih ramah lingkungan.

Pada tahun 2003, Abbot mengenalkan pelarut yang memiliki sifat lebih ramah lingkungan, yaitu *deep eutectic solvent* (Abbott *et al.*, 2003). *Deep eutectic solvent* (DES) merupakan pelarut yang memiliki karakteristik serupa *ionic liquids* (ILs), tetapi mempunyai kelebihan dalam biaya pembuatannya yang lebih murah, lebih sederhana disintesis, volatilitas lebih rendah, dan lebih terurai di lingkungan (Padwal *et al.*, 2022). DES terdiri dari dua komponen penyusun utama, yaitu senyawa akseptor ikatan hidrogen (HBA) dan donor ikatan hidrogen (HBD). DES pertama kali disintesis dengan mencampurkan kolin klorida dan urea dalam rasio 1:2 oleh Abbott *et al.* (2004), menghasilkan sifat unik berupa titik leleh yang lebih rendah dibandingkan dengan titik leleh kedua komponen awal. Akibatnya,

campuran DES bisa berbentuk cairan karena memiliki titik leleh yang sangat rendah.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan DES berbasis kolin klorida sebagai pelindi untuk logam perak dari limbah PCB. Pada Ramdaniah (2023), ditunjukkan penggunaan DES biner oksalin memberikan persen pelindian yang tinggi untuk pelindian logam perak dari limbah PCB, yaitu mencapai 99,38%. Elia (2023) juga menunjukkan pula apabila DES biner oksalin lebih efektif dengan persen pelindian 92,39%, dibandingkan dengan DES biner etalin yang hanya mencapai 80,31%. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan gugus fungsi pada komponen HBD yang digunakan.

Pengembangan DES dari bentuk biner menjadi terner telah terbukti mampu mengubah karakteristik dari DES, seperti densitas, stabilitas termal, dan sifat lainnya yang terkait dengan rasio molar campuran terner (Taysun *et al.*, 2022). Hal tersebut membuka peluang untuk mengembangkan DES dengan karakteristik yang lebih baik (Chemat *et al.*, 2016). Aziz (2023), penelitian terkait pelindian logam perak menggunakan konsep DES terner telah dikaji, di mana DES biner kolin klorida dari Aldhafi (2022) dimodifikasi menjadi DES terner dengan penambahan HBD asam sitrat. Modifikasi ini berhasil meningkatkan persen pelindian perak dari 86,77% menjadi 93,65%. Temuan ini menjadi dasar penelitian ini untuk mengeksplorasi pelindian logam perak menggunakan HBD jenis lain.

Keberhasilan DES biner oksalin inilah yang dijadikan dasar penelitian ini untuk melakukan pengembangan lebih lanjut menjadi terner. Berdasarkan hasil positif penambahan asam sitrat ke bentuk DES biner oleh Aziz (2023), DES oksalin dikembangkan menjadi DES terner dengan penambahan asam sitrat. DES biner etalin turut dikembangkan menjadi DES terner karena adanya potensi untuk memiliki persen pelindian yang lebih tinggi. Oleh karena itu, pada penelitian ini dikaji dua jenis DES terner, yaitu kolin klorida–etilen glikol–asam sitrat dan kolin klorida–asam oksalat–asam sitrat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, terdapat beberapa masalah yang dapat dirumuskan yaitu sebagai berikut:

- 1) bagaimana sintesis TDES berbasis HBA kolin klorida, dengan HBD etilen glikol–asam sitrat (ChCl-EG-CA) dan asam oksalat–asam sitrat (ChCl-OX-CA);
- 2) bagaimana karakteristik TDES berbasis kolin klorida, dengan HBD etilen glikol–asam sitrat (ChCl-EG-CA) dan asam oksalat–asam sitrat (ChCl-OX-CA); dan
- 3) bagaimana hasil TDES ChCl-EG-CA dan ChCl-OX-CA dalam proses pelindian logam perak dari limbah PCB.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan tujuan penelitian tersebut, maka dapat diarahkan tujuan penelitian ini sebagai berikut:

- 1) menentukan optimasi molar untuk sintesis TDES ChCl-EG-CA dan ChCl-OX-CA;
- 2) melakukan uji densitas, pH, dan kelarutan untuk mengetahui sifat fisik dari TDES ChCl-EG-CA dan ChCl-OX-CA, serta menggunakan analisis menggunakan FTIR dan XRF untuk mengetahui interaksi pembentukan TDES; dan
- 3) memperoleh hasil TDES ChCl-EG-CA dan ChCl-OX-CA pada pelindian logam perak dari limbah PCB menggunakan analisis XRF untuk mengetahui kandungan logam pada residu sampel sebelum dan sesudah pelindian.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan mengarah pada tujuan penelitian di atas, manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- 1) *industri*: hasil optimasi pelindian logam perak dari limbah elektronik memiliki potensi besar dalam pengembangan metode pungut ulang logam yang lebih efisien. Hal ini dapat meningkatkan produksi dalam pengolahan limbah elektronik secara industri;
- 2) *ekonomi*: penelitian ini memiliki potensi untuk menciptakan metode pungut ulang logam yang lebih efisien. Hal ini dapat meningkatkan produksi dan

memaksimalkan keuntungan dalam metode pungut ulang logam berharga dari sumber yang dianggap sudah tidak bernilai;

- 3) *lingkungan*: dengan hasil dari penelitian ini, terdapat pengembangan dalam metode inovatif untuk pengelolaan limbah elektronik. Penelitian ini, khususnya, menggunakan pendekatan ramah lingkungan dan berkelanjutan melalui penggunaan *deep eutectic solvent* sebagai pelarut pelindiannya, guna mengatasi permasalahan limbah elektronik di lingkungan; dan
- 4) *potensi penelitian lanjutan*: dari penelitian ini diharapkan bisa menjadi landasan dan inspirasi dalam pengembangan riset lebih lanjut mengenai *deep eutectic solvent*. Kebaruan dalam kombinasi bahan DES terner di penelitian ini, diharapkan ke depannya akan bermunculan kombinasi bahan yang lebih bervariasi, yang juga efektif dan maksimal untuk metode pelindian logam.

1.5 Struktur Organisasi Skripsi

Skripsi ini disusun dengan mengikuti struktur organisasi skripsi yang telah ditetapkan pada Pedoman Penulisan Karya Ilmiah, Universitas Pendidikan Indonesia. Karya tulisan ini terbagi menjadi beberapa bagian, yang setiap bagiannya membahas topik berbeda yang saling berkonstruktif dan berkelanjutan. Skripsi diawali dengan halaman pembuka, seperti halaman judul, halaman pengesahan, halaman ucapan terima kasih, abstrak, daftar isi, hingga daftar lampiran. Halaman utama terdiri dari lima bab, yaitu pendahuluan, kajian pustaka, metode penelitian, temuan dan pembahasan, dan diakhiri simpulan, implikasi, dan rekomendasi. Setelah itu, terdapat halaman-halaman pelengkap seperti daftar pustaka, lampiran, dan riwayat penulis (Universitas Pendidikan Indonesia, 2021).

Dalam Bab I akan berisi mengenai pendahuluan yang meliputi latar belakang dari penelitian *ternary deep eutectic solvent* (TDES) dan limbah elektronik PCB, berikut dengan rumusan masalah beserta tujuan-tujuan yang ingin dicapai. Bab II berisi tentang teori-teori fundamental yang mendasari sintesis TDES berbasis kolin klorida dan aplikasinya dalam pelindian logam perak dari limbah PCB. Teori-teori ini mencakup prinsip-prinsip pembentukan DES, kandungan di dalam limbah PCB, mekanisme pelindian, dsb. yang penting dalam menunjang kegiatan penelitian dan membantu dalam memahami hasil-hasil temuan yang ada. Bab III akan diuraikan

mengenai metodologi penelitian secara komprehensif, seperti lokasi dan waktu penelitian, detail bahan dan perlengkapan yang diperlukan, serta tahapan dan prosedur penelitian yang dituliskan dengan jelas dan lengkap. Bab IV akan disajikan hasil-hasil temuan dan disampaikan pemaparan analisis data atau temuan tadi berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya. Dengan menghubungkannya bersama teori dan hasil penelitian terdahulu yang relevan, maka makna hasil temuan dapat diinterpretasikan secara logis dan ilmiah, yang juga menunjukkan apakah tujuan penelitian telah tercapai atau belum. Bab V yang menyajikan kesimpulan penelitian, implikasinya, dan rekomendasi penelitian di kemudian hari. Bagian bab ini akan memberikan gambaran utuh tentang penelitian ini dan signifikansinya, menjawab rumusan masalah melalui temuan utama secara ringkas, serta rekomendasi untuk penelitian selanjutnya yang dapat dilakukan untuk memperluas dan memperdalam topik penelitian ini di masa depan.