

Pungut Ulang Perak dari Limbah Elektronik Baterai Koin Perak Oksida Menggunakan Pelarut *Deep Eutectic* Oksalin

Silver Recovery from Electronic Waste Silver Oxide Coin Batteries using Deep Eutectic Oxaline Solvents

Soja Siti Fatimah*, Agung Slamet Nugraha, Abraham Mora

¹Departemen Pendidikan Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi No. 229 Bandung 40154, Jawa Barat, Indonesia

*E-mail: soja_sf@upi.edu

DOI: <https://doi.org/10.26874/jkk.v5i2.165>

Received: 17 August 2022, Revised: 25 Sept 2022, Accepted: 2 Oct 2022, Online: 30 Nov 2022

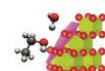
Abstrak

Permintaan perak dunia mencapai 32.627 ton pada tahun 2021. Untuk memenuhi permintaan perak dunia selain menambang dari alam, perak juga bisa didapatkan melalui pungut ulang dari limbah elektronik menggunakan *Deep Eutectic Solvent* (DES) yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pungut ulang logam perak dari limbah elektronik baterai koin perak oksida menggunakan metode pelindian dengan DES oksalin. Metode penelitian terdiri dari tahapan sintesis pelarut eutektik oksalin, karakterisasi, dan aplikasinya pada pelindian perak dari limbah elektronik. Pelindian perak dilakukan dengan melarutkan 0,2 gram sampel dalam pelarut oksalin 1:1 dengan pemanasan langsung selama 3×8 jam pada pengadukan 500 rpm. Variasi suhu pelindian yang dilakukan adalah 50, 60, 70, dan 80°C dan variasi volume DES oksalin yang digunakan adalah 20, 40, 60, 80, 100, dan 125 mL/g. Konsentrasi perak hasil pelindian diukur menggunakan instrumentasi AAS. Hasil sintesis pelarut dikarakterisasi dengan FTIR menunjukkan terbentuknya interaksi antarmolekul yang baru yaitu interaksi COOH...Cl. DES oksalin memiliki densitas sekitar 1,2095 g/mL. Berdasarkan hasil optimasi suhu pelindian dengan menggunakan 20 mL/g pelarut didapatkan suhu optimum untuk melakukan pelindian adalah 60°C dengan efisiensi pelindian 88,35%. Sedangkan hasil optimasi volume pelarut yang dilakukan pada suhu optimum didapatkan bahwa volume optimum pelarut yang digunakan adalah 80 mL/g sampel dengan efisiensi pelindian 94,23%. Hasil penelitian menunjukkan DES oksalin berpotensi untuk digunakan sebagai pelarut pada pengolahan limbah baterai bekas perak oksida.

Kata kunci: limbah baterai perak oksida, oksalin, pungut ulang, pelindian, perak

Abstract

Silver is a metal that has the highest electrical conductivity, thermal conductivity and reflectivity among all metals and by 2021 the world's silver demand will reach 32,627 tons. To meet the world's silver demand, apart from mining from nature, silver can also be obtained through re-collection of electronic waste using environmentally friendly *Deep Eutectic Solvent* (DES). The aim of this study was to recover metallic silver from electronic waste of silver oxide coin batteries using oxaline DES leaching method. The research methodology consisted of the steps of synthesizing the eutectic solvent oxaline, characterizing it, and its application to the leaching of silver from the cathode of a silver oxide battery. Silver leaching was carried out by dissolving 0.2 grams of sample with 1:1 oxaline solvent by direct heating for 3×8 hours at 500 rpm. The leaching temperature variations were 50, 60, 70, and 80°C and the volume variations of the DES oxaline used were 20, 40, 60, 80, 100, and 125 mL/g. The concentration of leached silver was measured using AAS instrumentation. The results of the synthesis were characterized by FTIR indicating the formation of a new intermolecular interaction, namely the



COOH••••Cl interaction. DES oxalin has a density of about 1.2095 g/mL. Based on the results of the optimization of the leaching temperature using 20 mL/g of solvent, the optimum temperature for leaching was found at 60°C with a leaching efficiency of 88.35%. While the results of the volume optimization of the solvent carried out at the optimum temperature, it was found that the optimum volume of the solvent used was 80 mL/g of sample with a leaching efficiency of 94.23%. Based on these results, it can be seen that oxaline has the potential to be used as a solvent in the treatment of used silver oxide battery waste.

Keywords: leaching, oxaline, recovery, silver, silver oxide battery waste

1 Pendahuluan

Perak adalah salah satu logam mulia dan berharga yang diproduksi secara luas untuk banyak tujuan. Perak merupakan logam berwarna putih, mempunyai sifat yang mengkilap dan sangat mudah ditempa. Perak ditemukan di kerak bumi dalam bentuk murni dan paduan dengan logam dan mineral lainnya [1]. Perak memiliki banyak kegunaan penting, antara lain sebagai konduktor dalam industri elektronik, komponen dasar dalam fotografi film dan pelat sinar-X, sebagai logam mulia dalam perhiasan dan berbagai macam peralatan rumah tangga, agen las, dan sebagai senyawa elektroaktif dasar dalam beberapa baterai, yaitu baterai sel koin oksida perak (*Silver Oxide Button Cell Batteries*, SOBCB) [2].

Untuk menjaga bijih tambang perak yang semakin langka, limbah industri dapat dikelola sebagai sumber perak melalui teknik pungut ulang dari limbah elektronik, seperti SOBCB. Katoda baterai (SOBCB) ini dibentuk oleh campuran Ag₂O dan logam Ag [3]. Berdasarkan hal tersebut, pungut ulang perak dari katoda baterai perak oksida menjadi hal yang menjanjikan karena kandungan utamanya adalah perak dan perak oksida. Menurut [4] setiap tahunnya dihasilkan hampir 1000 juta limbah baterai koin, dimana dari jumlah tersebut bisa didapatkan perak hasil pungut ulang mencapai 25 ton.

Metode pungut ulang perak dari sumber sekunder sudah banyak diketahui. Diantara metode tersebut proses hidrometalurgi dan juga pelindian menjadi metode yang cukup umum digunakan [5]. Proses pungut ulang logam perak biasanya dilakukan menggunakan asam nitrat [6], asam sulfat dan hidrogen peroksida [7], besi sulfat dengan asam sulfat [8], asam klorida dan natrium klorida [9] hingga menggunakan mikroorganisme dan bakteri [10–12]. Namun dari beberapa contoh tersebut, larutan sisa yang telah dipakai memiliki sifat tidak ramah lingkungan [13].

Adanya kekurangan tersebut mendorong para peneliti untuk menemukan alternatif yang dapat

digunakan untuk proses pungut ulang perak. Abbott, et al. [14] menemukan suatu larutan yang merupakan campuran dari dua zat memiliki sifat mampu melarutkan oksida logam dan ramah lingkungan, ketersediaan bahan baku yang mudah didapatkan serta mudah untuk disintesis. Pelarut tersebut adalah *Deep Eutectic Solvent* (DES). DES ini diharapkan menjadi alternatif yang dapat digunakan untuk pelarut pada proses pungut ulang perak terutama DES berbasis kolin klorida. DES berbasis kolin klorida dan asam karboksilat dapat melarutkan senyawa-senyawa oksida logam [15].

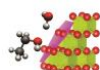
Pungut ulang Ag dari limbah elektronik dapat dilakukan proses pelindian menggunakan DES. Sudah cukup banyak penelitian yang dilakukan terkait pungut ulang logam perak tetapi yang melibatkan DES sebagai pelarut masih sedikit seperti [16] yang melakukan pungut ulang perak menggunakan DES asetilkolin klorida-urea. Untuk DES oksalin sendiri telah digunakan dalam pelarut untuk penentuan Cu, Fe, dan Zn [17], kemudian pelarut untuk penentuan As dan Se [18], dan digunakan pada pelarut untuk menghilangkan As dan W pada hasil tambang dan As dan W terlarut dalam oksalin membentuk anion kompleks dengan klorida membentuk AsCl₃ dan [W₂Cl₉]³⁻ [19].

Pada penelitian ini digunakan DES yang tersusun dari campuran kolin klorida dan juga asam oksalat. Selain karena harga bahannya yang lebih murah dan mudah didapatkan, DES kolin klorida-asam oksalat ini juga memiliki stabilitas termal yang baik dan daya hantar listrik yang cukup tinggi [20]. Serta sudah terlihat potensinya dalam pelarutan logam dan senyawa oksida logam. Hasil sintesisnya disebut DES oksalin atau DES kolin-oksalat.

2 Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat utama yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya, neraca analitik, *Atomic*



Absorption Spectroscopy (AAS), XRF, FTIR, pemutar magnet, thermometer, dan peralatan gelas. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya : kolin klorida, asam oksalat, dan baterai koin.

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Sintesis dan Karakterisasi DES Oksalin

Sintesis DES Oksalin dilakukan dengan menimbang sejumlah 6,98 g kolin klorida kemudian ditambahkan 4,5 g asam oksalat dengan rasio molar 1:1. Setelah dicampur dilakukan pemanasan pada suhu 70°C dengan pengadukan menggunakan pemutar magnet pada 500 rpm hingga diperoleh cairan homogen tidak berwarna. Selanjutnya, DES Oksalin hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan instrumentasi FTIR dan ditentukan nilai densitasnya. Kemudian dilakukan sintesis DES Oksalin untuk rasio molar kolin klorida yang lainnya yaitu: 1:1,5 dan 1:2

2.2.2 Preparasi Sampel Limbah Elektronik

Sampel limbah elektronik yang digunakan adalah baterai koin perak oksida. Persiapan sampel dilakukan dengan cara membongkar baterai dan hanya mengambil bagian katodanya. Pada bagian katoda ini mengandung Ag_2O dan Ag^0 . Selanjutnya sampel dipanaskan menggunakan oven dengan suhu 95°C selama 4 jam untuk mengurangi kelembaban. Kemudian, sampel ditimbang dengan jumlah tertentu untuk persiapan pelindian dengan DES Oksalin.

2.2.3 Proses Pelindian dan Penentuan Kandungan Perak

Pelindian perak pada sampel katoda baterai perak oksida, menimbang sebanyak 0,2 g sampel lalu dimasukkan ke dalam gelas kimia 20 mL, kemudian ditambahkan 4 mL DES Oksalin (1:1) hasil preparasi. Proses pelindian ini dilakukan selama 3 x 8 jam pada beberapa variasi suhu yaitu 50°C, 60°C, 70°C dan 80°C. Setelah pelindian selesai terbentuk dua fasa, yaitu padat dan cair. Campuran dipisahkan dengan cara dekantasi kemudian kandungan logam perak pada filtrat diukur dengan AAS. Variasi lainnya yang digunakan yaitu variasi jumlah pelarut DES oksalin, sehingga didapatkan kondisi optimum untuk suhu dan jumlah pelarut pelindi. Kadar perak pada sampel awal sebelum pelindian ditentukan melalui pengukuran dengan spektrofotometer AAS. Selain itu juga dilakukan analisis XRF pada sampel awal untuk melihat

kandungan unsur yang ada di dalam sampel katoda baterai.

3 Hasil dan Diskusi

3.1 Sintesis Oksalin

Pembuatan DES Oksalin digunakan bahan awal kolin klorida sebagai akseptor ikatan hidrogen dengan asam oksalat sebagai donor ikatan hidrogen. Kolin klorida dan asam oksalat awalnya berwujud padatan berwarna putih. Kedua bahan dicampurkan dengan perbandingan molar 1:1 sambil dilakukan pemanasan dan pengadukan dengan kecepatan 500 rpm. Pada proses pencampuran, campuran mulai terdapat lelehan pada suhu sekitar 35°C dan meleleh seluruhnya pada suhu 65°C. Ketika sudah meleleh seluruhnya, pencampuran dilakukan hingga waktu 60 menit untuk memastikan campuran homogen dan kental. Untuk DES oksalin rasio molar 1:2 terbentuk cairan homogen kental namun ketika didiamkan pada suhu ruang dan mendingin, campuran berubah menjadi padatan seluruhnya. Data hasil pembuatan DES dengan beberapa rasio molar kolin dan asam oksalat menampakkan sifat fisik yang berbeda seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

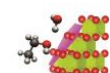
Tabel 1. Hasil sintesis DES Oksalin dengan berbagai rasio dan sifat fisiknya

Kolin klorida (g)	Asam oksalat (g)	Rasio molar	Sifat Fisik
6,98	4,5	1:1	Cairan jernih tidak berwarna dan viskos
6,98	6,75	1:1,5	Terbentuk kristal
6,98	9	1:2	Memadat

Oleh karena rasio molar 1:1 cairan tetap homogen pada suhu kamar, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 maka dipilih sebagai pelarut pada proses pelindian perak yang berasal dari sampel katoda baterai.

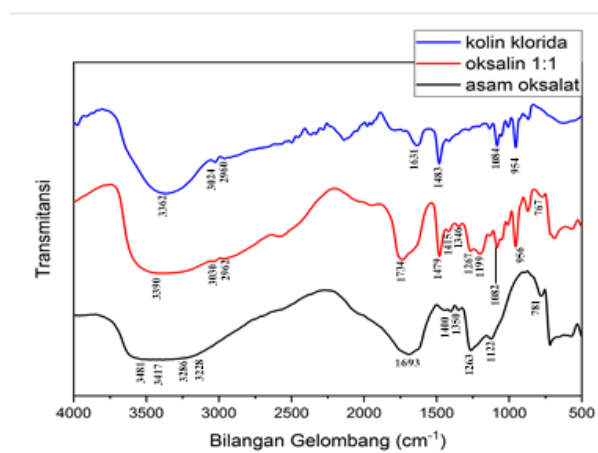
3.2 Karakterisasi DES Oksalin

Karakterisasi DES oksalin dilakukan dengan spektrometer FTIR (*Fourier Transform Infrared*) untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang ada di dalam senyawa tersebut dengan mengukur penyerapan radiasi inframerah pada rentang bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} . Gambar 1 menunjukkan perbandingan spektrum FTIR antara



asam oksalat dan kolin klorida, yang merupakan bahan awal dengan DES oksalin 1:1.

Berdasarkan data spektrum FTIR, dapat dilihat bahwa DES oksalin memiliki beberapa daerah serapan yang khas dan identik dengan komponen penyusunnya yaitu asam oksalat maupun kolin klorida. Serapan dengan intensitas kuat dengan pita serapan melebar pada bilangan gelombang sekitar 3000 cm^{-1} , serapan tersebut menunjukkan adanya gugus hidroksida (-OH). Selanjutnya serapan sangat kuat pada 1693 cm^{-1} pada asam oksalat menunjukkan gugus karbonil dari kelompok karboksilat (C=O) tetapi pada oksalin sedikit bergeser ke daerah 1734 cm^{-1} . Sementara pada kolin klorida terdapat serapan 1483 cm^{-1} adanya ikatan -NH dan pada oksalin sedikit bergeser menjadi 1479 cm^{-1} . Serapan pada 1263 cm^{-1} dari asam oksalat menunjukkan serapan dari gugus fungsi -CO dan pada oksalin bergeser menjadi 1267 cm^{-1} . Selanjutnya pada 1084 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus amina tersier dari kolin klorida dan bergeser menjadi 1082 cm^{-1} . Dan terakhir serapan identik antara kolin klorida pada 956 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus -CN yang bergeser menjadi 954 cm^{-1} .



Gambar 1. Spektrum FTIR asam oksalat dengan DES Oksalin 1:1

Setiap serapan yang dimiliki oleh oksalin ini identik dengan serapan asam oksalat ataupun kolin klorida, artinya pada proses pembentukan oksalin tidak terjadi reaksi kimia yang menyebabkan terbentuknya ikatan baru, dan hanya terjadi sedikit pergeseran bilangan gelombang. Pergeseran bilangan gelombang yang terjadi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah adanya ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen dapat membuat gaya elektrostatik sedikit

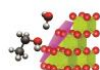
melemah sehingga mengakibatkan terjadinya pergeseran serapan. Ikatan hidrogen juga dapat mengakibatkan pelebaran pita dan menurunkan intensitas serapan. [21] perubahan serapan pada gugus fungsi pada asam oksalat dan oksalin disajikan pada Tabel 2.

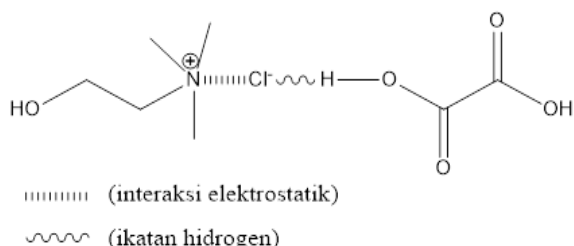
Tabel 2. Daerah serapan FTIR asam oksalat, kolin klorida, dan oksalin

Daerah Serapan (cm^{-1})	Asam Oksalat	DES Oksalin	Kolin Klorida
3600-3000	-OH	-OH	-OH
1700	Karbonil (C=O)	Karbonil (C=O)	-
1480	-	-NH	-NH
1250	-CO	-CO	-
1100	-	Amina tersier	Amina tersier
1000	-	-CN	-CN

Pergeseran bilangan gelombang yang terjadi pada spektrum FTIR DES oksalin menunjukkan bahwa selama proses sintesis oksalin berlangsung, interaksi yang kuat pada kolin klorida ($\text{OH}\cdots\text{Cl}$) dan interaksi pada asam oksalat ($\text{COOH}\cdots\text{COOH}$) akan terputus dan membentuk interaksi intermolekul yang baru yaitu ikatan $\text{COOH}\cdots\text{Cl}$. Interaksi tersebutlah yang menyebabkan campuran yang menjadi fasa cair bersifat stabil, terjadinya penurunan titik leleh dan viskositas oksalin yang sangat tinggi [22]. Selain itu, dapat terjadi ikatan hidrogen yang lain seperti OH (dari oksalat) dengan N, OH dari kolin dengan Cl, serta ikatan hidrogen yang terjadi antara oksalat dengan oksalat akibat adanya tumpang tindih ikatan π [23,24]. Setiap interaksi tersebut yang menyebabkan terjadinya pergeseran pada serapan FTIR.

Berdasarkan hasil analisis FTIR yang dilakukan terlihat bahwa terjadi ikatan hidrogen antara atom hidrogen dari asam oksalat dengan atom klor dari kolin klorida. Perkiraan interaksi yang terjadi pada saat pembentukan DES oksalin ditunjukkan pada Gambar 2.





Gambar 2. Interaksi yang terjadi pada pembentukan DES Oksalin [20,25]

3.3 Pelindian Perak

Efektifitas pelindian dari DES oksalin yang telah dibuat terhadap logam perak, dilakukan pengukurannya dengan AAS. Pelindian atau ekstraksi perak menggunakan DES oksalin yang telah ? dengan melarutkan 0,2 gram sampel dengan 4 mL oksalin selanjutnya dilakukan ekstraksi selama 3 x 8 jam. kondisi ekstraksi dilakukan pemanasan dan pengadukan konstan pada 500 rpm. Pada proses ekstraksi ini dilakukan variasi terhadap suhu untuk mencari kondisi suhu optimum pada saat pelindian perak.

Variasi suhu yang dilakukan dinyatakan sebagai pengaruh suhu terhadap efisiensi ekstraksi. Efisiensi ekstraksi dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Efisiensi Pelindian (\%)} = \left[\frac{M_t}{(W \times M_0)} \right] \times 100$$

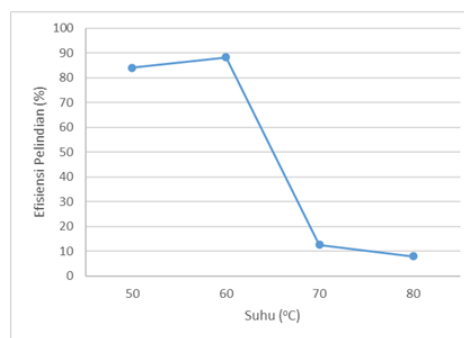
Dimana M_t adalah konsentrasi Ag pada larutan hasil ekstraksi, W merupakan berat sampel pada setiap percobaan, dan M_0 adalah konsentrasi Ag pada sampel mula mula sebelum dilindi. [3].

Suhu kondisi ekstraksi yang digunakan adalah 50°C, 60°C, 70°C, dan 80°C. Hasil pengukuran kandungan logam perak yang telah terlindi ke dalam oksalin pada berbagai kondisi suhu yang diukur menggunakan AAS ditampilkan pada Tabel 3. Dari hasil percobaan yang dilakukan didapatkan bahwa suhu optimum untuk melakukan ekstraksi perak menggunakan oksalin adalah 60 °C dengan efisiensi ekstraksi sekitar 88,35%. Pada kondisi 50 °C efisiensi ekstraksi cukup tinggi, yaitu pada 84% dan meningkat dengan bertambahnya suhu. Namun, dengan kondisi suhu yang lebih tinggi yaitu pada suhu 70°C dan 80°C, efisiensi mengalami penurunan hingga angka 12,5 % pada 70°C dan 8% saja pada 80°C. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa suhu yang paling baik untuk melakukan ekstraksi ini adalah 60 °C. Kemampuan pelarutan

perak akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pada proses pelindian. Hal tersebut terjadi karena pada saat suhu meningkat menyebabkan laju difusi ion-ion yang bereaksi juga akan meningkat kemudian akan mencapai kondisi maksimum kurang lebih pada suhu 60 °C. Jika suhu lebih tinggi dari itu, berkaitan dengan terjadinya reaksi esterifikasi antara kolin klorida dengan asam oksalat. Pada suhu tinggi kolin klorida dan asam oksalat dapat bereaksi membentuk ester. Pada suhu 60 °C akan terbentuk sekitar 10% senyawa ester dalam sistem DES oksalin. Pada suhu yang lebih tinggi yaitu 80 °C terbentuk sekitar 29% senyawa ester dan pada suhu 100 °C terbentuk senyawa ester hingga 34% [26]. Analisis pengaruh suhu terhadap efisiensi pelindian disajikan pada Gambar 3.

Tabel 3. Konsentrasi dan efisiensi pelindian perak menggunakan oksalin pada berbagai kondisi suhu

Percobaan	Suhu (°C)	Konsentrasi perak (%)	Efisiensi Pelindian (%)
sampel awal		8,06	
1	50	1,35	84,16
2	60	1,42	88,35
3	70	0,20	12,53
4	80	0,12	7,99



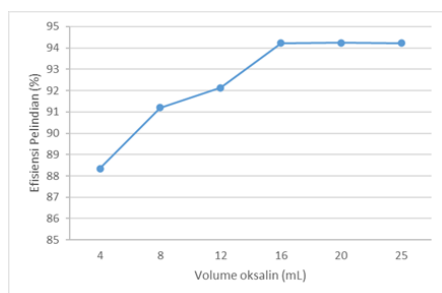
Gambar 3. Grafik pengaruh suhu terhadap efisiensi pelindian perak menggunakan oksalin

Selain pengaruh suhu, pada penelitian ini juga dilakukan analisis pengaruh volume DES oksalin atau pengaruh rasio sampel dengan pelarut. Pada percobaan variasi volume oksalin, variabel lain dibuat tetap menggunakan 0,2 gram sampel dan dilakukan pelindian selama 3 x 8 jam pada suhu optimum yaitu 60 °C dengan pengadukan konstan 500 rpm. Variasi volume

pelarut yang digunakan yaitu dalam bentuk rasio volume oksalin per massa sampel, diantaranya 20, 40, 60, 80, 100 dan 125 mL/g. Hasil pengukuran kandungan logam perak yang telah terlindi ke dalam oksalin pada berbagai kondisi volume oksalin yang diukur menggunakan AAS ditampilkan pada Tabel 4. Data hasil percobaan pengaruh volume oksalin terhadap persen efisiensi pelindian ditunjukkan pada Gambar 4. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa hubungan antara volume oksalin dengan efisiensi (%) berbanding lurus atau memiliki hubungan yang linear. Penambahan volume pelarut mengakibatkan meningkatnya efisiensi pelindian. Bertambahnya volume oksalin diharapkan dapat mengurangi viskositas dari cairan yang akan memfasilitasi pelarutan perak menjadi lebih baik karena kemampuan migrasi ion klorida meningkat dan mengurangi resistensi perpindahan massa difusi [1]. Hal tersebut akan menyebabkan lebih banyak perak yang terlarut. Semakin banyak perak yang larut di dalam oksalin berarti % efisiensi pelindian semakin baik.

Tabel 4. Konsentrasi dan efisiensi pelindian perak menggunakan oksalin pada berbagai kondisi volume oksalin yang digunakan

Percobaan	Volume Oksalin (mL/g)	Konsentrasi perak (%)	Efisiensi Pelindian (%)
sampel awal		8,06	
1	20	1,42	88,35
2	40	1,47	91,20
3	60	1,48	92,13
4	80	1,51	94,23
5	100	1,51	94,23
6	125	1,51	94,23

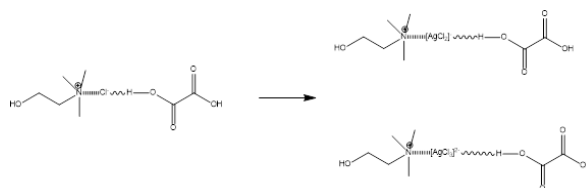


Gambar 4. Grafik pengaruh volume oksalin terhadap efisiensi pelindian perak menggunakan oksalin

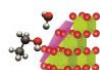
Pada volume 20 mL/g efisiensi pelindiannya adalah 88,35%, ketika volume oksalin ditambah menjadi 40 mL/g efisiensi pelindian meningkat menjadi 91,19%, dan ketika ditambahkan menjadi 60 mL/g dan 80 mL/g efisiensi terus meningkat mencapai 92,12% hingga 94,23%. Dan efisiensi pelindian tidak lagi meningkat pada volume oksalin yang lebih tinggi. Dengan demikian, berdasarkan percobaan pengaruh suhu dan pengaruh volume oksalin pada pelindian perak didapatkan suhu optimum untuk melakukan pelindian adalah pada suhu 60°C serta volume oksalin yang paling baik digunakan adalah dengan menggunakan 80 mL/g DES oksalin.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh J. Almeida et al., 2019, dilakukan ekstraksi As dan W dari sumber daya tambang sekunder menggunakan metode elektrodialisis dengan DES oksalin 1:1 dan didapatkan total As dan W yang terekstrak sebanyak 82% dan 77%. Sementara DES oksalin 1:2 juga digunakan untuk pelarut pada penentuan As dan Se pada sampel ikan dan didapatkan persen *recovery* As 99,3% dan Se 99,6% [18]. Selain itu oksalin DES 1:2 digunakan sebagai pelarut pada penentuan Cu, Fe, dan Zn pada sampel ikan dan didapatkan persen *recovery* Cu, Fe, dan Zn berturut-turut sebesar 96,1, 95,3, dan 99,6 % [17].

Menurut Abbott et al., 2006 DES berbasis kolin klorida dan asam karboksilat dapat melarutkan oksida logam dan logam yang terlarut akan berbentuk anion kompleks dengan klorida. Sementara menurut J. Almeida et al., 2019, logam As dan W dapat terlarut di dalam oksalin dan membentuk kompleks anion dengan klorida membentuk $AsCl_3$ dan $[W_2Cl_9]^{3-}$. Pada sampel katoda baterai yang dilindi menggunakan oksalin pada penelitian ini kandungan perak terdapat dalam bentuk Ag_2O dan Ag sehingga ketika dilarutkan di dalam oksalin Ag akan membentuk suatu anion kompleks dengan klorida membentuk $AgCl_2^-$ atau $[AgCl_3]^{2-}$. Usulan interaksi yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Interaksi Ag-DES yang diusulkan pada proses pelindian.

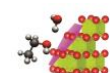


4 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat didapatkan kesimpulan sebagai berikut. Sintesis DES Oksalin terbaik dapat dilakukan dengan rasio molar kolin klorida dan asam oksalat (1:1) dengan pemanasan dan pengadukan pada 500 pada rentang suhu 35-65 °C selama 1 jam. Hasil karakterisasi DES oksalin dengan FTIR mengindikasikan adanya pergeseran pada beberapa serapan karena ikatan yang kuat pada kolin klorida (OH...Cl) dan ikatan pada asam oksalat (COOH...COOH) terputus dan membentuk interaksi intermolekul yang baru yaitu ikatan COOH...Cl. Suhu optimum pelindian perak dari sampel katoda baterai perak oksida menggunakan DES oksalin adalah 60 °C. Volume oksalin optimum pelindian perak dari sampel katoda baterai perak oksida adalah 80 mL/g. Efisiensi pelindian perak optimum pada keadaan optimum adalah 94,23%. Berdasarkan hasil penelitian oksalin ini memiliki prospek yang menjanjikan untuk diaplikasikan sebagai pelarut pada pungut ulang logam perak dari limbah elektronik. Meskipun demikian, penelitian ini masih harus dikembangkan sehingga peneliti merekomendasikan beberapa hal kepada peneliti selanjutnya antara lain pengujian NMR untuk meyakinkan dan mengkonfirmasi bahwa DES telah terbentuk dan menjelaskan reaksi esterifikasi yang terjadi pada suhu tinggi dan analisa voltametri siklik terhadap hasil pelindian serta elektrodeposisi perak dengan metode elektrolisis untuk mendapatkan perak dalam keadaan murni.

Daftar Pustaka

- [1] Fan Y, Liu Y, Niu L, Zhang W, Zhang T. 2020. Leaching Of Silver From Silver-Bearing Residue By A Choline Chloride Aqueous Solution And The Sustained Deposition Of Silver On Copper. *Hydrometallurgy* [Internet] 197:105454. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105454>
- [2] Lanzano T, Bertram M, De Palo M, Wagner C, Zyla K, Graedel TE. 2006. The Contemporary European Silver Cycle. *Resour Conserv Recycl* [Internet] 46(1):27–43. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.06.003>
- [3] Aktas S. 2010. Silver Recovery From Spent Silver Oxide Button Cells. *Hydrometallurgy* [Internet] 104(1):106–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.05.004>
- [4] Sathaiyan N, Nandakumar V, Ramachandran P. 2006. Hydrometallurgical Recovery Of Silver From Waste Silver Oxide Button Cells. *J Power Sources* [Internet] 161(2):1463–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2006.06.011>
- [5] Syed S. 2016. Silver Recovery Aqueous Techniques From Diverse Sources: Hydrometallurgy In Recycling. *Waste Manag* [Internet] 50:234–56. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.02.006>
- [6] Holloway PC, Merriam KP, Etsell TH. 2004. Nitric Acid Leaching Of Silver Sulphide Precipitates. *Hydrometallurgy* [Internet] 74(3–4):213–20. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hydromet.2004.05.003>
- [7] Tao H, Gao Z, Ding H, Xu N, Wu W. 2012. Bioresource Technology Recovery Of Silver From Silver (I) -Containing Solutions In Bioelectrochemical Reactors. *Bioresour Technol* 111:92–7.
- [8] Morrison RM. 1989. The Dissolution Of Silver In Ferric Sulphate - Sulphuric Acid Media. *Hydrometallurgy* 21:67–85.
- [9] Nuñez C, Espiell F, Roca A. 1985. Recovery Of Copper, Silver And Zinc From Huelva (Spain) Copper Smelter Flue Dust By A Chloride Leach Process. *Hydrometallurgy* [Internet] 14(1):93–103. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/0304-386x\(85\)90008-8](http://dx.doi.org/10.1016/0304-386x(85)90008-8)
- [10] Jadhav U, Hocheng H. 2013. Extraction Of Silver From Spent Silver Oxide–Zinc Button Cells By Using Acidithiobacillus Ferrooxidans Culture Supernatant. *J Clean Prod* [Internet] 44:39–44. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.035>
- [11] Pooley FD, Shrestha GN. 1996. The Distribution And Influence Of Silver In Pyrite Bacterial Leaching Systems. *Miner Eng* [Internet] 9(8):825–36. Available



- from: [http://dx.doi.org/10.1016/0892-6875\(96\)00075-1](http://dx.doi.org/10.1016/0892-6875(96)00075-1)
- [12] Sakamoto H, Ishikawa J, Koike M, Doi K, Wada H. 2003. Adsorption And Concentration Of Silver Ion With Polymer-Supported Polythiazaalkane Resins. *React Funct Polym* [Internet] 55(3):299–310. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/s1381-5148\(03\)00021-x](http://dx.doi.org/10.1016/s1381-5148(03)00021-x)
- [13] VanGuilder. 2018. Hazardous Waste Management: An Introduction. Stylus Publishing, LLC.;
- [14] Abbott AP, Capper G, Davies DL, Rasheed RK, Tambyrajah V. 2003. Novel Solvent Properties Of Choline Chloride / Urea Mixtures. *Chem Commun* :70–1.
- [15] Abbott AP, Capper G, Davies DL, McKenzie KJ, Obi SU. 2006. Solubility Of Metal Oxides In Deep Eutectic Solvents Based On Choline Chloride. *J Chem & Eng Data* [Internet] 51(4):1280–2. Available from: <http://dx.doi.org/10.1021/je060038c>
- [16] Sanchez-Ortiz W, Aldana-Gonzales J, Manh T Le, Romero-Romo M, Mejia-Caballero I, Ramirez-Silva MT, et al. 2021. A Deep Eutectic Solvent As Leaching Agent And Electrolytic Bath For Silver Recovery From Spent Silver Oxide Batteries A Deep Eutectic Solvent As Leaching Agent And Electrolytic Bath For Silver Recovery From Spent Silver Oxide Batteries. *J Electrochem Soc* 168:016508.
- [17] 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. *Anal Chim Acta* [Internet] 762:61–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2012.11.054>
- [18] Panhwar AH, Tuzen M, Kazi TG. 2018. Determination Of Selenium And Arsenic In Fish Samples. *JAOAC Int* 101(4):1183–9.
- [19] Almeida J, Craveiro R, Faria P, Silva AS, Mateus EP, Barreiros S, et al. 2019. Electrolytic Removal Of Tungsten And Arsenic From Secondary Mine Resources – Deep Eutectic Solvents Enhancement. *SSRN*.
- [20] Gontrani L, Bonomo M, Plechkova N V. 2018. Anhydrous And Hydrated Choline Chloride And Oxalic Acid Deep Eutectic Solvents †. *R Soc Chem* 2:30120–4.
- [21] Coates J. 2006. Interpretation Of Infrared Spectra, A Practical Approach. In: *Encyclopedia of Analytical Chemistry* [Internet] John Wiley & Sons, Ltd; Available from: <http://dx.doi.org/10.1002/9780470027318.a5606>
- [22] Saha SK, 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. *J Mol Liq* [Internet] 287:110956. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2019.110956>
- [23] Zhang Y, Han J, Liao C. 2016. Insights Into The Properties Of Deep Eutectic Solvent Based On Reline For Ga-Controllable CIGS Solar Cell In One-Step Electrodeposition. *J Electrochem Soc* [Internet] 163(13):D689–93. Available from: <http://dx.doi.org/10.1149/2.0611613jes>
- [24] Perkins SL. 2013. AN EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL STUDY OF CHOLINE CHLORIDE-BASED DEEP EUTECTIC SOLVENTS.
- [25] Lim CY, Majid MF, Rajasuriyan S. 2020. Desulfurization Performance Of Choline Chloride-Based Deep Eutectic Solvents In The Presence Of Graphene Oxide. *Environment* 7(0097).
- [26] Rodriguez Rodriguez N, van den Bruinhorst A, Kollau LJB, Kroon MC, Binnemans K. 2019. Degradation Of Deep-Eutectic Solvents Based On Choline Chloride And Carboxylic Acids. *ACS Sustain Chem & Eng* [Internet] 7(13):11521–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b01378>

