

**PUNGUT ULANG LOGAM GOLONGAN PLATINA DARI LIMBAH  
AUTO-CATALYSTS MENGGUNAKAN PELINDI CAIRAN IONIK  
EUTEKTIK**

**SKRIPSI**

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



Oleh

**Egan Reyhansyah Nugraha**

**1803708**

**PROGRAM STUDI SARJANA KIMIA  
DEPARTEMEN PENDIDIKAN KIMIA  
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKAN DAN IPA  
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

**2023**

**Pungut Ulang Logam Golongan Platina dari Limbah Auto-Catalysts Menggunakan Pelindi Cairan Ionik Eutektik**

Oleh:

Egan Reyhansyah Nugraha

1803708

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia  
Departemen Pendidikan Kimia  
Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Egan Reyhansyah Nugraha  
Universitas Pendidikan Indonesia  
Agustus 2023

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

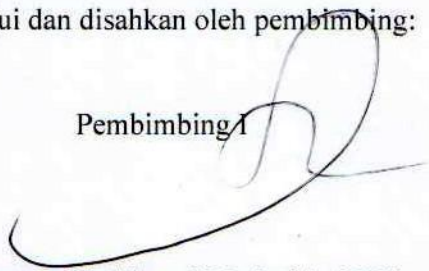
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin penulis.

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**Pungut Ulang Logam Golongan Platina dari Limbah Auto-Catalysts**  
**Menggunakan Pelindi Cairan Ionik Eutektik**

**Egan Reyhansyah Nugraha**  
**1803708**

disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I

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

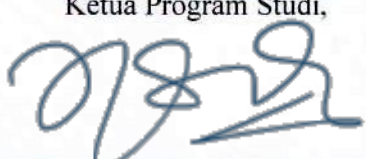
NIP. 196611211991031002

Pembimbing II

  
Dr. Eng. H. Asep Bayu Dani Nandiyanto, S.T., M.Eng.

NIP. 198309192012121002

Mengetahui,  
Ketua Program Studi,

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

NIP 197806282001122001

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Pungut Ulang Logam Golongan Platina dari Limbah Auto-Catalysts Menggunakan Pelindi Cairan Ionik Eutektik”** 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 atau sanksi 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,

Egan Reyhansyah Nugraha

NIM.1803708

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi dengan judul “Pungut Ulang Logam Golongan Platina dari Limbah Auto-Catalysts Menggunakan Pelindi Cairan Ionik Eutektik”. Skripsi disusun untuk memenuhi salah satu syarat penyelesaian pendidikan jenjang Sarjana pada Program Studi Kimia, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia.

Penulis menyadari bahwa pada penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis memohon maaf kepada semua pembaca atas segala kekurangan yang terdapat pada skripsi ini. Penulis mengharapkan berbagai macam kritik dan saran yang membangun agar penulis dapat menyusun karya yang lebih baik pada masa yang akan datang. Skripsi ini diharapkan dapat memberi manfaat kepada semua pihak yang membaca. Terima kasih

Bandung, Agustus 2023

Penulis

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian dan penulisan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik karena dukungan dari semua pihak yang telah membantu penulis. Penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan dukungan secara moral, materi, dan do'a kepada penulis.
2. Bapak Dr. rer. nat. H. Ahman Mudzakir, M.Si. selaku pembimbing pertama yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan dukungan dengan sabar pada setiap tahap penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Eng. H. Asep Bayu Dani Nandiyanto, S.T., M.Eng. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan arahan pada penulisan skripsi ini.
4. Bapak Hayat Sholihin, M.Sc. selaku dosen wali yang telah memberi motivasi selama masa studi sejak semester 1 hingga semester 9.
5. Bapak H. Budiman Anwar, S.Si., M.Si. sebagai Ketua KBK Kimia Material.
6. Ibu Prof. Fitri Khoerunnisa, M.Si., Ph.D. sebagai Ketua Prodi Program Studi Kimia.
7. Seluruh Dosen Departemen Pendidikan Kimia, khususnya Program Studi Kimia yang telah menyampaikan ilmunya kepada penulis selama masa studi.
8. Seluruh staf administrasi dan laboran Departemen Pendidikan Kimia yang telah membantu penulis.
9. Seluruh rekan Kimia C 2018 dan rekan penelitian rumpun EILs yang membantu penulis pada tahap penelitian.
10. Seluruh pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Bandung, Agustus 2023

Penulis

## ABSTRAK

Platinum Group Metals/PGMs (Logam Golongan Platina) merupakan golongan logam yang mulai banyak digunakan belakangan ini karena fungsinya sebagai katalis, agen anti korosi, dan penggunaan lainnya berdasarkan sifat stabilitas termoelektriknya. PGMs terdiri dari enam unsur kimia yang mirip yakni iridium, osmium, paladium, platinum, rhodium dan rutenium. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektivitas pelindi EILs (*Eutectic Based Ionic Liquids*/Cairan Ionik Eutektik) sebagai pelindi logam golongan platina beserta parameter optimal untuk pelindian yang dilakukan. Pelindian dilakukan dengan mencampurkan 0.8gram sampel yang telah dijadikan serbuk dengan EILs kolin klorida-asam oksalat pada Tabung *Schlenk* dan dipanaskan menggunakan *hotplate* dengan penangas pasir. Parameter pemanasan yang dijadikan variasi adalah suhu, waktu, dan rasio L/S. Variasi suhu dilakukan pada 60, 70, dan 80°C; variasi waktu pada 24, 36, 48, dan 72 jam; dan variasi rasio L/S 10, 15, 20, 25 mL/g. Sampel yang telah dilindi diambil residunya, kemudian residu yang telah dicuci dan dikeringkan diukur menggunakan XRF, SEM, dan XRD untuk memperoleh data hasil pelindian. Variasi dengan hasil paling optimal ditunjukkan saat proses pelindian berjalan dengan parameter suhu 80°C, rasio L/S 20 mL/g, serta pemanasan yang dilakukan selama 72 jam dan pengadukan pada 500rpm pada *hotplate* dengan *magnetic stirrer*. Pada parameter ini, hasil ekstraksi yang didapat adalah Pd: 49.68%; Pt: 85.63%; dan Rh: 51.70%. Ketiga parameter yang digunakan dibuktikan berpengaruh terhadap hasil pelindian. Parameter yang paling berpengaruh pada hasil pelindian adalah suhu dimana pada setiap variasi yang berbeda, variasi suhu memberikan perubahan yang sangat signifikan terhadap hasil pelindian sampel. Setelah diuji menggunakan SEM, perubahan hanya terlihat pada permukaan sampel yang terkikis dan menjadi lebih halus, namun tidak ada perubahan signifikan terhadap distribusi unsur pada sampel. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan memberi pengetahuan mengenai EILs dan proses sintesisnya, serta proses pelindian PGMs dari limbah *catalytic converter* pada *auto-catalysts* menggunakan EILs sehingga didapatkan logam bernilai tinggi.

Kata Kunci: Logam Golongan Platina; Limbah *Autocatalyst*; EILs; Kolin Klorida-Asam Oksalat; Pungut Ulang.

## ABSTRACT

*Platinum Group Metals/PGMs (Platina Group Metals) are a group of metals that have started to be widely used recently due to their function as catalysts, anti-corrosion agents, and other uses based on their thermoelectric stability properties. PGMs consist of six chemically similar elements namely iridium, osmium, palladium, platinum, rhodium and ruthenium. This research was conducted to determine the effectiveness of EILs (Eutectic Based Ionic Liquids) as a platinum group metal leachate along with the optimal parameters for the leaching carried out. Leaching was carried out by mixing 0.8 gram of sample which had been powdered with EILs choline chloride-oxalic acid in a Schlenk Tube and heated using a hotplate with sand as the medium. The heating parameters used as variations were temperature, time, and L/S ratio with temperature variations at 60, 70, and 80°C; time variations at 24, 36, 48, and 72 hours; variations in L/S ratio 10, 15, 20, 25 mL/g. The residue that has been leached will be taken, then the residue that has been washed and dried will be analyzed using XRF, SEM, and XRD to obtain data from leaching process. The variation with the most optimal results was shown when the leaching process was running with a temperature parameter of 80°C, L/S ratio of 20 mL/g, and heating for 72 hours and stirring at 500rpm on a hotplate with a magnetic stirrer. In this parameter, the extraction results obtained are Pd: 49.676%; Pt: 85.625%%; Rh: 51.7%. The three parameters used in this experiment have proven to have an effect on the leaching results. The parameter that has the most influence on the leaching result is temperature where in each different variation, the temperature difference gives a very significant change to the sample leaching result. After being tested using SEM, changes were only seen on the surface of the sample which was eroded and became smoother, but there was no significant change in the distribution of elements in the sample. With this research, hopefully it will provide knowledge about EILs and their synthesis processes, as well as the leaching process of PGMs from catalytic converter waste in the autocatalyst using EILs so that high-value metals are obtained.*

*Keywords: Platinum Group Metals; Autocatalyst converter waste; EILs, Choline Chloride-Oxalic Acid; Recovery*



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iv</b>
<b>UCAPAN TERIMAKASIH.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GRAFIK .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<i>1.1. Latar Belakang.....</i>	<i>1</i>
<i>1.2. Rumusan Masalah .....</i>	<i>3</i>
<i>1.3. Tujuan Penelitian.....</i>	<i>3</i>
<i>1.4. Manfaat Penelitian.....</i>	<i>3</i>
<i>1.5. Struktur Organisasi Skripsi .....</i>	<i>4</i>
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<i>2.1 Logam Golongan Platina sebagai Logam Bernilai Tinggi .....</i>	<i>5</i>
<i>2.1 Limbah Katalis sebagai Sumber Logam Golongan Platina .....</i>	<i>6</i>
<i>2.2 Platinum Group Metals (PGM) Dalam Industri Autocatalyst .....</i>	<i>7</i>
<i>2.3 Cairan Ionik Elektik (EILs) .....</i>	<i>8</i>
<i>2.4 Metode Karakterisasi .....</i>	<i>10</i>

2.5.1. <i>X-ray Fluorescence (XRF)</i> .....	10
2.5.2. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	10
2.5.3. <i>Scanning Electron Microscopy-Energy Disruptive Spectroscopy (SEM-EDS)</i> .....	11
<b>2.6. <i>Pelarutan Logam Menggunakan EILs</i></b> .....	<b>11</b>
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1. <i>Waktu dan Lokasi Penelitian</i></b> .....	<b>13</b>
<b>3.2. <i>Alat dan Bahan</i></b> .....	<b>13</b>
3.2.1 <i>Alat</i> .....	13
3.2.2 <i>Bahan</i> .....	13
<b>3.3. <i>Tahap Penelitian</i></b> .....	<b>14</b>
3.3.1 <i>Preparasi Limbah Autocatalyst</i> .....	14
3.3.2 <i>Sintesis EILs Kolin Klorida=Asam Oksalat</i> .....	14
3.3.3 <i>Karakterisasi Sampel Limbah Autocatalyst</i> .....	14
3.3.4. <i>Karakterisasi EILs Kolin Klorida-Asam Oksalat</i> .....	15
3.3.5 <i>Variasi Parameter Pelindian</i> .....	17
3.3.6 <i>Perhitungan Persen Ekstraksi Sampel</i> .....	17
<b>BAB IV TEMUAN DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>19</b>
<b>4.1. <i>Hasil Sintesis EILs Kolin Klorida-Asam Oksalat</i></b> .....	<b>19</b>
<b>4.2. <i>Karakterisasi EILs Hasil Sintesis Menggunakan FTIR dan NMR</i></b> .....	<b>20</b>
<b>4.3. <i>Karakterisasi Hasil Pelindian Limbah Autocatalyst</i></b> .....	<b>24</b>
4.3.1. <i>Karakterisasi Kandungan Unsur Sampel Menggunakan XRF</i> .....	25
4.3.2. <i>Pengaruh Rasio L/S terhadap Hasil Pelindian</i> .....	26
4.3.3. <i>Pengaruh Suhu terhadap Hasil Pelindian</i> .....	29
4.3.4. <i>Pengaruh Waktu terhadap Hasil Pelindian</i> .....	33
<b>4.4. <i>Karakterisasi Sampel Autocatalyst menggunakan XRD</i></b> .....	<b>37</b>
4.5. <i>Karakterisasi SEM-EDS pada Sampel Autocatalyst</i> .....	40
<b>4.6. <i>Kelarutan Pd, Pt, dan Rh dalam EILs Kolin Klorida-Asam Oksalat</i></b> .....	<b>46</b>

<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>47</b>
<i>5.1. Kesimpulan</i> .....	47
<i>5.2 Saran</i> .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>54</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Harga Logam Golongan Platina (Grilli, et.al., 2023) .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Permintaan Pasar Logam Golongan Platina (Hughes, et.al. 2021).....	8
<b>Gambar 2.3</b> Garam Halida dan Donor Ikatan Hidrogen Komponen EILs (Smith, et.al., 2014).....	9
 <b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	 16
 <b>Gambar 4.1</b> Hasil Sintesis EILs Kolin Klorida-Asam Oksalat.....	 20
<b>Gambar 4.2</b> Spektrum IR EILs dan Komponen Pembentuknya.....	20
<b>Gambar 4.3</b> Spektrum NMR <sup>1</sup> H EILs Kolin Klorida-Asam Oksalat.....	22
<b>Gambar 4.4</b> Spektrum NMR <sup>13</sup> C EILs Kolin Klorida-Asam Oksalat .....	23
<b>Gambar 4.5</b> Struktur Kolin Klorida dan Asam Oksalat.....	24
<b>Gambar 4.6</b> Sampel limbah autocatalyst sebelum pelindian .....	25
<b>Gambar 4.7</b> Difraktogram Sampel Autocatalyst sebelum Pelindian .....	37
<b>Gambar 4.8</b> Difraktogram Sampel Autocatalyst setelah Pelindian .....	38
<b>Gambar 4.9</b> Hasil SEM perbesaran 400x pada Sampel Autocatalyst sebelum pelindian (atas) dan setelah pelindian (bawah) .....	41
<b>Gambar 4.10</b> Hasil SEM perbesaran 1500x pada Sampel Autocatalyst sebelum pelindian (atas) dan setelah pelindian (bawah) .....	42
<b>Gambar 4.11</b> Distribusi Unsur pada Permukaan Sampel Autocatalyst sebelum dilindi .....	44
<b>Gambar 4.12</b> Distribusi Unsur pada Permukaan Sampel Autocatalyst setelah dilindi .....	45

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Kelimpahan PGMs per 1 juta atom Si (Hughes. et.al., 2021) .....	6
<b>Tabel 2.2</b> Jenis Katalis yang menggunakan PGMs (Grilli, et.al., 2023) .....	7
<b>Tabel 3.1</b> Variasi Parameter Pelindian .....	17
<b>Tabel 4.1</b> Kandungan Unsur pada Sampel Autocatalyst sebelum Pelindian.....	25
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Uji XRF pada sampel Autocatalyst yang dilindi dengan variasi rasio L/S 10mL/g .....	26
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Uji XRF pada sampel Autocatalyst yang dilindi dengan variasi rasio L/S 15mL/g .....	27
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Uji XRF pada sampel Autocatalyst yang dilindi dengan variasi rasio L/S 20mL/g .....	27
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Uji XRF pada sampel Autocatalyst yang dilindi dengan variasi rasio L/S 25mL/g .....	28
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Uji XRF pada sampel Autocatalyst yang dilindi dengan variasi suhu 60°C .....	30
<b>Tabel 4.7</b> Hasil Uji XRF pada sampel Autocatalyst yang dilindi dengan variasi suhu 70°C .....	30
<b>Tabel 4.8</b> Hasil Uji XRF pada sampel Autocatalyst yang dilindi dengan variasi suhu 80°C .....	31
<b>Tabel 4.9</b> Hasil Uji XRF pada sampel Autocatalyst yang dilindi dengan variasi waktu 24 Jam .....	33
<b>Tabel 4.10</b> Hasil Uji XRF pada sampel Autocatalyst yang dilindi dengan variasi waktu 36 Jam .....	33
<b>Tabel 4.11</b> Hasil Uji XRF pada sampel Autocatalyst yang dilindi dengan variasi waktu 48 Jam .....	34
<b>Tabel 4.12</b> Hasil Uji XRF pada sampel Autocatalyst yang dilindi dengan variasi waktu 72 Jam .....	35
<b>Tabel 4.13</b> Kandungan Kristal pada Sampel Autocatalyst sebelum Pelindian.....	39

<b>Tabel 4.14</b> Jenis Kristal pada Sampel Autocatalyst setelah Pelindian .....	39
--	----

**DAFTAR GRAFIK**

<b>Grafik 4.1</b> Pengaruh Rasio L/S terhadap Hasil Pelindian Sampel Autocatalyst...29
<b>Grafik 4.2</b> Pengaruh Suhu terhadap Hasil Pelindian Sampel Autocatalyst .....32
<b>Grafik 4.3</b> Pengaruh Waktu terhadap Hasil Pelindian Sampel Autocatalyst .....36
<b>Grafik 4.4</b> Kelarutan PGMs pada EILs .....46

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Total Overlay Unsur pada sampel sebelum dilindi.....	54
Lampiran 2 Total Overlay Unsur pada sampel setelah dilindi.....	55
Lampiran 3 Hasil XRF pada parameter 60°C, 20L/S, 72 Jam .....	56
Lampiran 4 Hasil XRF pada parameter 70°C, 20L/S, 72 Jam .....	56
Lampiran 5 Hasil XRF pada parameter 80°C, 10L/S, 72 Jam .....	57
Lampiran 6 Hasil XRF pada parameter 80°C, 15L/S, 72 Jam .....	57
Lampiran 7 Hasil XRF pada parameter 80°C, 25L/S, 72 Jam .....	58
Lampiran 8 Hasil XRF pada parameter 80°C, 20L/S, 24 Jam .....	58
Lampiran 9 Hasil XRF pada parameter 80°C, 20L/S, 36Jam .....	58
Lampiran 10 Hasil XRF pada parameter 80°C, 20L/S, 48 Jam .....	59
Lampiran 11 Hasil XRF pada parameter 80°C, 20L/S, 72 Jam .....	59
Lampiran 12 Massa Awal dan Akhir Sampel yang dilindi .....	60
Lampiran 13 Kandungan Pd pada Setiap Variasi Parameter .....	60
Lampiran 14 Kandungan Pt pada Setiap Variasi Parameter .....	61
Lampiran 15 Kandungan Rh pada Setiap Variasi Parameter .....	61



## DAFTAR PUSTAKA

- A. Cowley, “Pgm Market Report”, Johnson Matthey, London, UK, February, 2020, 40 pp.
- Andrei A. Bunaciu, Elena gabriela Udriștioiu & Hassan Y. Aboul-Enein (2015) X-Ray Diffraction: Instrumentation and Applications, *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45:4, 289-299, DOI: 10.1080/10408347.2014.949616
- Baldé, C. P., Forti, V., Gray, V., Kuehr, R., & Stegmann, P. (2017). The global e-waste monitor 2017: Quantities, flows and resources. United Nations University, International Telecommunication Union, and International Solid Waste Association.
- Blissett, R. S., Smalley, N., & Rowson, N. A. (2014). An investigation into six coal fly ashes from the United Kingdom and Poland to evaluate rare earth element content. *Fuel*, 119, 236-239.
- British Geological Survey, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Deloitte Sustainability, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs (European Commission) and TNO, “Study on the Review of the List of Critical Raw Materials: Critical Raw Materials Factsheets”, European Union, Luxembourg, June, 2017, 517 pp.

Chen, Zewu & Gibson, Walter & Huang, Huapeng. (2008). High Definition X-Ray Fluorescence: Principles and Techniques. *X-Ray Optics and Instrumentation*. 2008. 10.1155/2008/318171.

D. Jimenez De Aberasturi, R. Pinedo, I. Ruiz De Larramendi, J. I. Ruiz De Larramendi and T. Rojo, *Miner Eng.*, 2011, 24, (6), 505.

de Oliveira Demarco, J., Stefanello Cadore, J., Veit, H.M., Bremm Madalosso, H., Hiromitsu Tanabe, E., & Assumpção Bertuol, D. (2020). Leaching of platinum group metals from spent automotive catalysts using organic acids. *Minerals Engineering*, 159, 106634.

Dong, Haigang & Zhao, Jiachun & Chen, Jialin & Wu, Yuedong & Li, Bojie. (2015). Recovery of platinum group metals from spent catalysts: A review. *International Journal of Mineral Processing*. 145. 10.1016/j.minpro.2015.06.009.

G. B. Atkinson, R. J. Kuczynski and D. P. Desmond, The United States of America as represented by the Secretary of the Interior, 'Cyanide Leaching Method for Recovering Platinum Group Metals from Catalytic Converter Catalyst', US Patent 5,160,711; 1992.

Grilli, M.L.; Slobozeanu, A.E.; Larosa, C.; Paneva, D.; Yakoumis, I.; Cherkezova-Zheleva, Z. Platinum Group Metals: Green Recovery from Spent Auto-Catalysts and Reuse in New Catalysts—A Review. *Crystals* 2023, 13, 550. <https://doi.org/10.3390/cryst13040550>

H. B. Trinh, J. Lee, Y. Suh and J. Lee, *Waste Manag.*, 2020, 114, 148.

- Hughes, A.E.; Haque, N.; Northey, S.A.; Giddey, S. (2021). Platinum Group Metals: A Review of Resources, Production and Usage with a Focus on Catalysts. *Resources* 2021, 10, 93. <https://doi.org/10.3390/resources10090093>
- Jowitt. (2018). Introduction to a Resources Special Issue on Criticality of the Rare Earth Elements: Current and Future Sources and Recycling. *Resources*, 7(2), 35. <https://doi.org/10.3390/resources7020035>
- Kubota, F., & Goto, M. (2018). Application of ionic liquids for rare-earth recovery from waste electric materials. In *Waste Electrical and Electronic Equipment Recycling* (pp. 333-356). Woodhead Publishing
- Li, F., Zeng, J., & Sun, X. (2020). Functionalized ionic liquids based on vegetable oils for rare earth elements recovery. *RSC Advances*, 10(45), 26671-26674.
- Li, Xiaohua & Binnemans, Koen. (2021). Oxidative Dissolution of Metal in Organic Solvents. *Chemical Reviews*. 121. DOI: 10.1021/acs.chemrev.0c00917
- Marcus, Y. (2019). Applications of Deep Eutectic Solvents. In *Deep Eutectic Solvents*; Springer: Cham, Switzerland, DOI: 10.1007/978-3-030-00608-2\_4.
- Marques, A. C., Cabrera, J. M., & de Fraga Malfatti, C. (2013). Printed circuit boards: a review on the perspective of sustainability. *Journal of environmental management*, 131, 298-306.
- Nicol, Giovanna & Goosey, Emma & Yıldız, Deniz & Loving, Elaine & Nguyen, Viet & Riaño, Sofía & Yakoumis, Iakovos & Martinez, Ana & Siriwardana, Amal & Unzurrunzaga, Ainhoa & Spooren, Jeroen & Abo Atia, Thomas & Michielsen, Bart & Dominguez-Benetton, Xochitl & Lanaridi, Olga. (2021). Platinum Group Metals Recovery Using Secondary Raw Materials

(PLATIRUS): Project Overview with a Focus on Processing Spent Autocatalyst. Johnson Matthey Technology Review. 65. <https://doi.org/10.1595/205651321x16057842276133>

Pateli, I. & Abbott, A. & Binnemans, K. & Rodriguez Rodriguez, N. (2020). Recovery of Yttrium and Europium from Spent Fluorescent Lamps Using Pure Levulinic Acid and the Deep Eutectic Solvent Levulinic Acid–Choline Chloride. RSC Advances. 10. 28879-28890. DOI: 10.1039/D0RA05508E

Seredin, V. V. (2010). A new method for primary evaluation of the outlook for rare earth element ores. *Geology of Ore Deposits*, 52(5), 428-433.

S. K. Padamata, A. S. Yasinskiy, P. V. Polyakov, E. A. Pavlov and D. Yu. Varyukhin, *Metall. Mater. Trans. B.*, 2020, 51, (5), 2413

Smith, E. & Abbott, A. & Ryder, K. (2014). Deep Eutectic Solvents (DESs) and Their Applications. *Chemical Reviews*. 114. DOI: 10.1021/cr300162p.

Soldner, A., dan König, B. (2019). Optical Analysis and Separation of Trivalent Lanthanides in Deep Eutectic Solvents. *Journal of Rare Earths*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jre.2019.11.001>

Ünlü, A., Arıkaya, A. & Takaç, S. (2019). Use of Deep Eutectic Solvents as Catalyst: A Mini-Review. *Green Processing and Synthesis*, 8(1), 355-372. DOI: 10.1515/gps-2019-0003

Voncken, Jack. (2019). Recovery of Ce and La from Spent Automotive Catalytic Converters. <https://doi.org/10.1201/9780429023545-12>

Wang, K., Adidharma, H., Radosz, M., Wan, P., Xu, X., Russell, C. K., ... & Yu, J. (2017). Recovery of rare earth elements with ionic liquids. *Green Chemistry*, 19(19), 4469-4493

Zhang, Qinghua & Vigier, Karine & Royer, Sebastien & Jérôme, François. (2012). *Deep Eutectic Solvent: Syntheses, Properties and Applications*. *Chemical Society Reviews*. 41. 7108-46. DOI: 10.1039/c2cs35178a.