



Physical Separation Bahan Aktif Katoda dari Campuran Hasil *Crushing* Baterai *Lithium-Ion* Bekas

Farika Asna Fadillah^{1*}, Indra Perdana¹, dan Chandra Wahyu Purnomo¹

¹Program Studi Magister Teknik Kimia, FT, UGM, Jl. Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta, 55281

*E-mail: farikaasnafadillah@mail.ugm.ac.id

Abstract

The increasing use of electric vehicles in the coming decades makes the recycling of spent li-ion batteries an important topic to develop. Recycling spent li-ion batteries is necessary to extract valuable materials from the battery cathode. Elutriation is one of the separation method to separate the cathode and anode from the blackmass resulting from crushing by utilizing differences in density and terminal velocity. The Elutriation method is attractive to develop because the separation is done by adjusting the fluid velocity and does not use chemicals. In this study, 4 variations of fluid load will be used, namely 24, 27, 30, and 34 mL/min. The blackmass to be elutriated has a size variation between -38 to +53 micrometers. From the results under the elutriator, the cathode mass obtained for fluid load variations of 24, 27, 30, and 34 mL/min are 0.8366, 0.4333, 0.3907, and 0.1349 grams. The highest cathode recovery at a load of 24 mL/min is 97.21% and the cathode fraction is 0.4091. Furthermore, it can increase the cathode composition in the mixture by 48.98% and reduce the anode composition by 18.54%.

Keyword: *recycle batteries, crushing, blackmass, elutriation*

Pendahuluan

Kendaraan listrik menjadi salah satu fokus utama dunia saat ini karena diharapkan dapat menggantikan penggunaan kendaraan konvensional. Sejalan dengan program Pemerintah Indonesia yang tertuang dalam Peraturan Presiden (PERPRES) Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan, sehingga direncanakan komponen dalam negeri dari kendaraan berbasis baterai untuk roda dua sebesar 80% pada tahun 2026 dan roda tiga sebesar 80% pada tahun 2030. Namun, dengan banyaknya penggunaan LIB (*Lithium-Ion Battery*) beberapa dekade kedepan akan menimbulkan masalah baru. LIB perlu diganti ketika kapasitas baterai turun menjadi 70-80% dari kapasitas awalnya (Gao et al., 2020). Dan LIB memiliki jangka hidup berkisar antara 1-3 tahun untuk perangkat elektronik portabel dan 5-8 tahun untuk kendaraan listrik (Yu et al., 2021). Sehingga perlu dilakukan daur ulang atau *recovery* untuk LIB yang sudah tidak terpakai. LIB bekas tidak dapat dibuang begitu saja karena mengandung bahan kimia beracun yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Selain itu, LIB bekas terdiri dari logam yang bernilai tinggi yang harus didaur ulang untuk dapat digunakan kembali (Kang et al., 2010). Dengan banyaknya limbah baterai yang akan dihasilkan beberapa dekade ke depan maka diperlukan proses daur ulang yang efektif, efisien, dan dapat dilakukan dalam skala yang besar.

Secara umum, *recycle* LIB bekas dapat dibagi menjadi 5 tahapan, yaitu Klasifikasi, Deaktivasi, *Disassembly*, Penghilangan *organic binders*, dan Metalurgi Kimia (Yu et al., 2021). Pada tahapan *disassembly* atau pemisahan komponen-komponen pada baterai bekas dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu manual dan *crushing* (Meshram et al., 2020). *Manual Disassembly* dimulai dengan memotong dan mengelupas plastik bagian luar. Selongsong baterai yang terbuat dari logam dibuka dengan bantuan tang untuk mengeluarkan gulungan elektroda. Elektroda dipisahkan menjadi 3 bagian, yaitu katoda, anoda, dan separator (Sambamurthi et al., 2021). Material aktif katoda dan anoda perlu dipisahkan dari *current collector* (*aluminium foil dan copper foil*). Metode yang paling umum dilakukan untuk memisahkan *current collector* adalah menambahkan larutan kimia yang bias melarutkan aluminium dan *copper*, seperti Asam Sulfat (H_2SO_4), N-Methyl Pyrrolidone, N-Dimethyl Fluoride (DMF) (Yu et al., 2021). Walaupun *manual disassembly* adalah metode yang relative sederhana tetapi memiliki efisiensi yang rendah, kurang aman, tidak ekonomis, dan sulit jika aplikasikan untuk skala besar (Yu et al., 2021). Sedangkan, *Crushing* dilakukan dengan menghancurkan seluruh bagian baterai secara bersamaan (Ordenez et al., 2016). *Mechanical Crushing* dinilai lebih efektif dan ekonomis dibandingkan *Manual Disassembly* karena dapat diaplikasikan untuk skala besar (Kim et al., 2021). Metode ini memiliki *rate recovery* yang baik, tidak memerlukan reagen kimia, dan lebih mudah untuk industrialisasi, namun memerlukan alat-alat yang memadai dan cukup memakan biaya (Yu et al., 2021). Sehingga, metode *crushing* dinilai lebih sesuai untuk proses daur ulang baterai dalam skala yang besar.

Crushing akan menghasilkan *blackmass* yang merupakan campuran antara material katoda dan anoda. Campuran tersebut perlu dipisahkan agar memudahkan proses pengambilan *valuable metal* dari material katoda. Pada material katoda dan anoda memiliki perbedaan, yaitu sifat permukaan dan densitas. Pada material aktif katoda bersifat



hidrofilik sedangkan material anoda yang berupa grafit bersifat hidrofobik (Wang et al., 2018). Selain itu, material katoda memiliki densitas dua kali lebih besar dibandingkan dengan material anoda. Material katoda pada baterai NMC memiliki densitas sebesar 4.85 g/cm^3 (Malik et al., 2022). Dan material grafit pada anoda memiliki densitas sebesar 2.24 g/cm^3 (Dash et al., 2016). Dari beberapa faktor diatas maka campuran katoda dan anoda dapat dilakukan pemisahan secara fisik (*physical separation*) untuk memisahkan material katoda dan anoda.

Metode pemisahan yang sesuai untuk kasus ini adalah elutriasi dengan menggunakan air sebagai fluida yang dialirkan kedalam elutriator. Elutriasi merupakan pemisahan campuran padat-padat yang memiliki perbedaan ukuran partikel dan densitas yang dipisahkan berdasarkan perbedaan kecepatan terminalnya dengan menggunakan kolom elutriator yang dialiri fluida dengan kecepatan tertentu (Sukamta et al., 2009). Pada proses elutriasi ukuran partikel dan massa jenis material berpengaruh besar pada hasil yang didapat pada bagian atas dan bawah alat elutriator. Untuk material yang memiliki kecepatan terminal lebih besar dibandingkan kecepatan fluida maka material akan jatuh didasar kolom elutriator. Sedangkan, untuk material yang memiliki kecepatan terminal lebih rendah dibandingkan kecepatan fluida maka material akan terbawa aliran fluida dan menjadi produk atas elutriator (Brown, 1950). Untuk menentukan kecepatan terminal material dapat menggunakan persamaan sebagai berikut

$$v_t = \frac{2r^2g(\rho_p - \rho_f)}{9\eta} \quad (1)$$

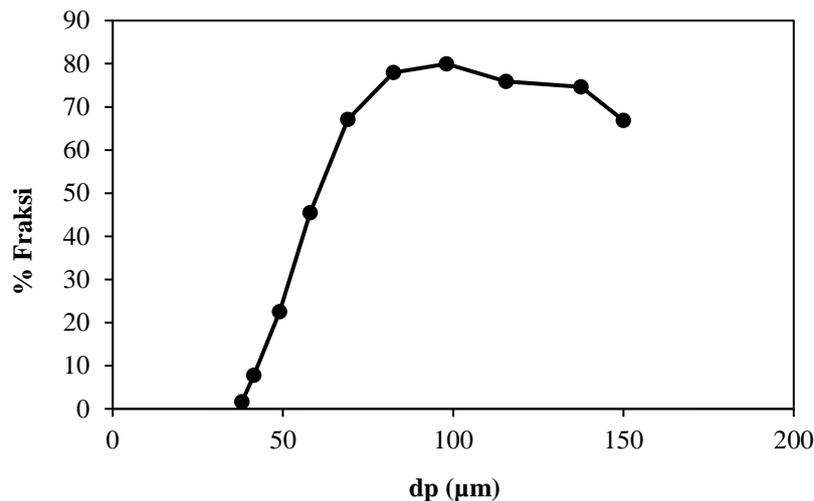
Persamaan tersebut digunakan dengan asumsi partikel berbentuk bola dan aliran fluida laminar. Konsentrasi campuran padatan akan mempengaruhi viskositas cairan, semakin besar konsentrasi padatan didalam cairan maka viskositas akan naik. Sehingga, semakin besar viskositas maka kecepatan terminalnya akan berkurang (Sukamta et al., 2009).

Pada proses pemisahan material katoda dan anoda dengan proses elutriasi terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi, yaitu ukuran partikel dan densitas material. Ukuran partikel dan densitas material sangat berpengaruh karena saat dilakukan elutriasi partikel katoda yang memiliki densitas lebih besar namun memiliki ukuran partikel yang kecil dapat terbawa aliran fluida dan menjadi produk atas elutriator sedangkan partikel anoda yang memiliki densitas yang lebih rendah namun memiliki ukuran partikel yang besar tidak dapat terbawa aliran fluida sehingga menjadi produk bawah elutriator. Maka, perlu diketahui distribusi ukuran partikel dan rentang ukuran partikel katoda dan anoda yang akan dielutriasi harus sama sehingga hanya densitas material yang mempengaruhi pemisahan dengan elutriasi. Jika menggunakan *blackmass* hasil *crushing* akan sulit untuk mengetahui distribusi ukuran partikel katoda dan anoda. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan *blackmass artificial* untuk memudahkan mengetahui karakteristik dari umpan elutriator. *Blackmass artificial* dibuat dari material katoda dan anoda yang didapatkan dari proses *manual dismantling*. *Blackmass* katoda dan anoda yang dihasilkan diayak untuk mengetahui distribusi ukuran partikel seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Distribusi Ukuran Katoda dan Anoda

Size (μm)	dp (μm)	Anoda (%wt)	Katoda (%wt)
+150	150	13.29	26.77
-150 +125	137.5	4.80	14.12
-125 +106	115.5	4.15	13.08
-106 +90	98	3.25	12.99
-90 +75	82.5	3.52	12.48
-75 +63	69	5.57	11.34
-63 +53	58	5.26	4.38
-53 +45	49	10.11	2.93
-45 +38	41.5	15.64	1.32
-38	38	34.41	0.58

Dari data distribusi ukuran partikel katoda dan anoda pada tabel 1 dapat diperoleh grafik sensitifitas yaitu persentase katoda dalam campuran katoda dan anoda sebagai berikut.



Gambar 1 Grafik Fraksi Komposisi Katoda-Anoda Lolos

Dari gambar 1 dapat dilihat pada ukuran +150 hingga +63 μm komposisi katoda pada campuran berkisar antara 70-80% sedangkan pada ukuran lolos 63 μm komposisi katoda pada campuran mengalami penurunan yang cukup signifikan. Sehingga, proses elutriasi akan dilakukan untuk partikel yang berukuran -63 hingga -38 μm karena pada ukuran yang lebih besar komposisi katoda pada campuran sudah cukup tinggi sehingga cukup dengan analisis ayakan. Material katoda dan anoda yang berukuran -63 hingga -38 μm dicampur dengan perbandingan 27.46% katoda dan 72.54% anoda. Nilai tersebut diperoleh dari perhitungan perbandingan komposisi katoda dan anoda pada baterai NMC dengan data hasil distribusi ukuran partikel sehingga campuran katoda dan anoda dapat mendekati kondisi *blackmass* dari hasil *crushing*.

Rentang distribusi ukuran partikel katoda dan anoda yang sama sehingga faktor perbedaan ukuran dapat diabaikan dan densitas material akan berperan penting dalam proses pemisahan. Massa jenis kedua material memiliki perbedaan yang cukup besar. Material katoda dengan jenis NMC memiliki massa jenis sebesar 4.85 g/cm³ sedangkan material anoda memiliki massa jenis sebesar 2.24 g/cm³. Dengan perbedaan massa jenis yang lebih dari dua kali lipat maka sangat memungkinkan untuk dilakukan pemisahan material katoda dan anoda menggunakan proses elutriasi. Menentukan kecepatan air yang akan digunakan untuk pemisahan *blackmass* bergantung pada kecepatan terminal partikel anoda yang berukuran paling besar dan partikel katoda yang berukuran paling kecil. Untuk penentuan dimensi alat akan menyesuaikan spesifikasi pompa yang digunakan yaitu pompa peristaltik. Debit dari pompa peristaltik adalah 0.002 mL/min-380 mL/min. Sehingga untuk menentukan dimensi dari kolom elutriator dapat diperoleh dari persamaan sebagai berikut

$$Q = A \cdot v \quad (2)$$

Sehingga, dari hasil perhitungan diperoleh dimensi kolom elutriator dengan diameter 1.5 cm dan tinggi 50 cm. Untuk variasi debit fluida akan bergantung pada kecepatan terminal partikel terkecil katoda dan partikel terbesar anoda yang berkisar antara 22.663-35.901 mL/min. Oleh karena itu, variasi debit air yang dipilih adalah 24, 27, 30, dan 34 mL/min. Selain itu, konsentrasi padatan dalam *slurry* dapat mempengaruhi proses pemisahan karena semakin banyak padatan maka air akan lebih sulit bergerak keatas sehingga perbandingan *solid per liquid* (S/L) yang dipilih adalah 5.

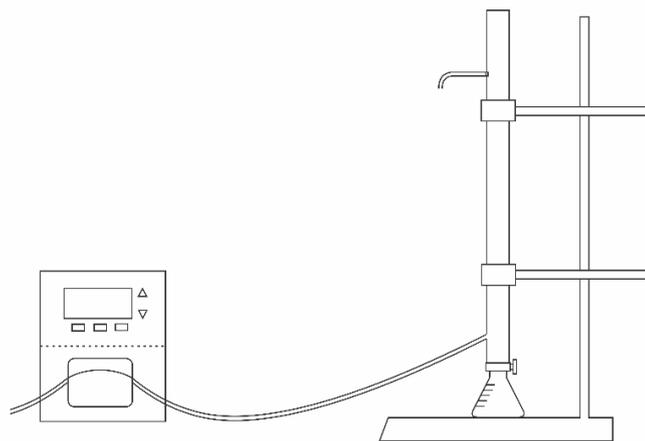
Pengambilan hasil atas elutriator akan dilakukan tiap menit hingga aliran dibagian atas elutriator jernih. Hasil atas dan bawah elutriator selanjutnya dikeringkan dan dianalisis untuk mengetahui distribusi ukuran partikel dan persentase material katoda yang terbawa ke aliran anoda. Analisis hasil dilakukan dengan *Raman Spectroscopy* lalu gambar yang dihasilkan diproses menggunakan *Image Processing* untuk mengetahui persentase katoda yang terbawa aliran anoda dan distribusi ukuran partikel. Untuk aplikasi yang digunakan untuk *Image Processing* adalah Matlab. Hasil yang diperoleh berupa persentase katoda dan anoda pada tiap aliran. Tujuan utama dari proses pemisahan ini adalah untuk mengurangi jumlah grafit dalam *blackmass* pada produk bawah elutriator sehingga pada proses selanjutnya pemisahan *valuable metal* membutuhkan asam pelindi yang lebih sedikit dan secara ekonomi akan mengurangi biaya operasi.

Metode Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah baterai li-ion bekas berjenis NMC, H₂SO₄, dan air. Baterai NMC bekas disuplai oleh VIAR Motor Indonesia dan H₂SO₄ grade PA komersial. Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah elutriator, *sieve*, *sieve shaker*, gelas beaker, pompa peristaltik, *oven*, timbangan digital, kertas saring *whatman 42*, *vacuum filter*, erlenmeyer, vial, *magnetic stirrer*, dan corong kaca.

Penelitian ini dibagi menjadi 2 tahapan utama, yaitu persiapan sampel dan elutriasi. Proses persiapan sampel dimulai dari baterai bekas yang sudah di-*discharge* muatannya dan di-*dismantling* kemudian dipisahkan katoda dan anodanya. Pemisahan *blackmass* berbeda antara katoda dan anoda. Untuk katoda dengan menambahkan H_2SO_4 0.2 M sedangkan untuk anoda menggunakan air. Perbandingan katoda/anoda dengan cairan sebesar 1:4 dan diaduk menggunakan motor pengaduk berkecepatan 1200 rpm selama 20 menit. *Aluminium* dan *copper foil* yang tersisa dipisahkan dengan saringan sehingga diperoleh *blackmass slurry*. Selanjutnya untuk memisahkan *blackmass* digunakan kertas saring *whatman* No. 42 dan *vacuum filter*. *Blackmass* yang tertahan di kertas saring dikeringkan menggunakan *oven* pada suhu $120^\circ C$ selama 2 jam sehingga diperoleh *blackmass* kering. *Blackmass* katoda dan anoda diayak menggunakan *sieve* 38-150 μm lalu padatan tiap *sieve* ditimbang untuk mengetahui distribusinya. *Blackmass* katoda dan anoda yang berukuran -38 μm hingga +53 μm dicampur dengan perbandingan 27% katoda dan 73% anoda.

Blackmass yang telah tercampur kemudian ditambahkan air dengan perbandingan S/L sebesar 5. *Blackmass slurry* diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Selanjutnya *blackmass slurry* diumpukan kedalam elutriator lalu dialirkan air dengan bantuan pompa peristaltik pada debit 24, 27, 30, dan 34 mL/min seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Alat Elutriator

Blackmass akan terpisah menjadi produk atas yang berisi material anoda dan produk bawah berisi material katoda. Produk atas elutriator diambil tiap menit hingga keluaran produk jernih. Setelah proses pemisahan selesai, produk bawah elutriator dapat diambil. Produk atas dan bawah elutriator disaring kemudian dikeringkan menggunakan *oven*.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada *blackmass* sebelum dan sesudah proses elutriasi. Sebelum dilakukan proses pencampuran material katoda dan anoda, dilakukan *size analysis* menggunakan ayakan bertingkat berukuran 38-150 μm untuk mengetahui distribusi ukuran partikel. Setelah proses elutriasi, produk bawah dan produk atas elutriator dianalisis menggunakan *Raman Spectroscopy* untuk mengambil gambar dan mengetahui warna dari material katoda dan anoda. Pengujian *Raman Spectroscopy* dapat dilakukan di Laboratorium Analisis Instrumentasi, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Hasil gambar dari *Raman Spectroscopy* akan dilakukan analisis *Image Processing* menggunakan aplikasi Matlab. Dari hasil *Image Processing* dapat mengubah gambar menjadi *black and white* dan dapat dilakukan *pixel count* untuk mengetahui hasil persentase anoda yang terbawa aliran katoda sehingga dapat dihitung kenaikan persentase katoda terhadap umpan.

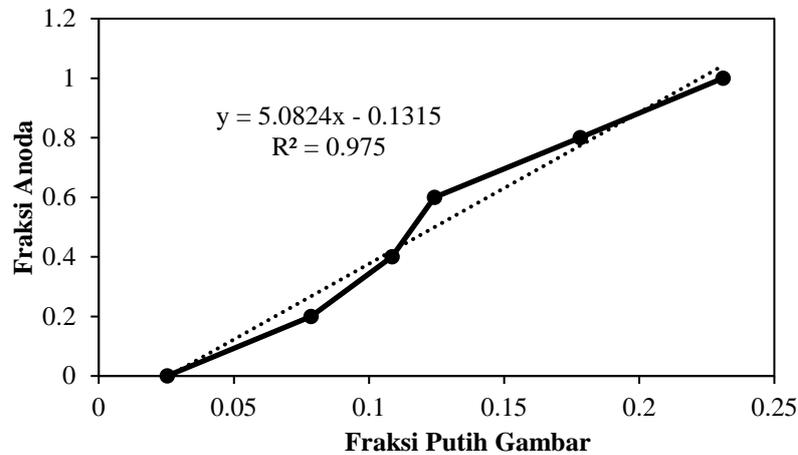
Hasil dan Pembahasan

Umpan pada percobaan sebesar 3,314 g dengan perbandingan 27.46% katoda dan 72.54% anoda dan dibuat *slurry* dengan perbandingan *solid per liquid*-nya 5. Hasil bawah dari proses pemisahan menggunakan elutriator sebagai berikut.

Tabel 2. Massa Hasil Bawah Elutriator

Variasi	Debit (mL/min)	Massa (g)
1	24	2,045
2	27	1,086
3	30	1,078
4	34	0,692

Semakin tinggi debit air maka semakin banyak padatan yang terbawa aliran air. Hal ini berkaitan dengan ukuran partikel sehingga pada debit terendah yaitu 24 mL/min, partikel yang ukurannya kecil ada yang turun sehingga padatan yang berada dibagian bawah elutriator semakin banyak. Sedangkan pada debit tertinggi yaitu 34 mL/min, partikel yang berukuran kecil dan sedang akan terbawa aliran air sehingga semakin sedikit padatan dibagian bawah elutriator. Dari hasil elutriasi perlu dianalisis menggunakan *Raman Spectroscopy* untuk mendapatkan gambar yang selanjutnya diolah menggunakan aplikasi Matlab untuk mendapatkan persentase hitam yang mewakili katoda dan putih yang mewakili anoda dari gambar tersebut. Untuk referensi dibutuhkan kurva *standard* sebagai acuan perhitungan persentase katoda dan anoda. Data kurva *standard* dibuat pada perbandingan katoda dan anoda 0:1, 1:4, 2:3, 3:2, 4:1, dan 1:0. Dari kurva *standard* pada gambar 3, diperoleh persamaan $y=5.0824x-0.1315$.

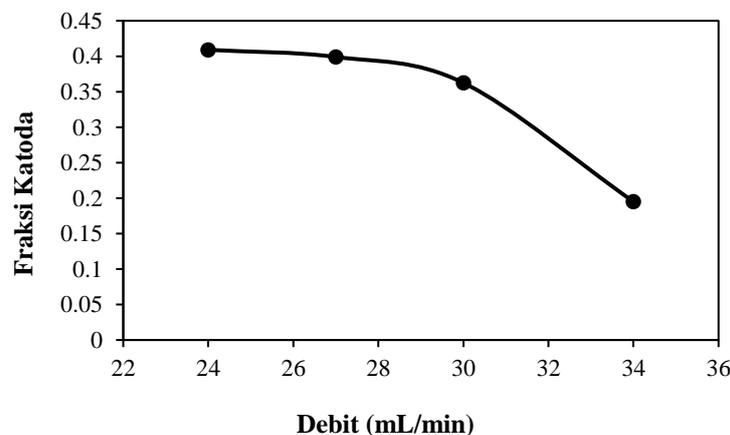


Gambar 3. Kurva Standard

Hasil Matlab diperoleh hasil persentase putih yang selanjutnya dapat diolah menggunakan Excel sehingga diperoleh fraksi anoda, fraksi katoda, massa anoda, dan massa katoda seperti pada tabel 3. Dan penurunan fraksi katoda seiring penambahan kecepatan air dapat dilihat pada gambar 4.

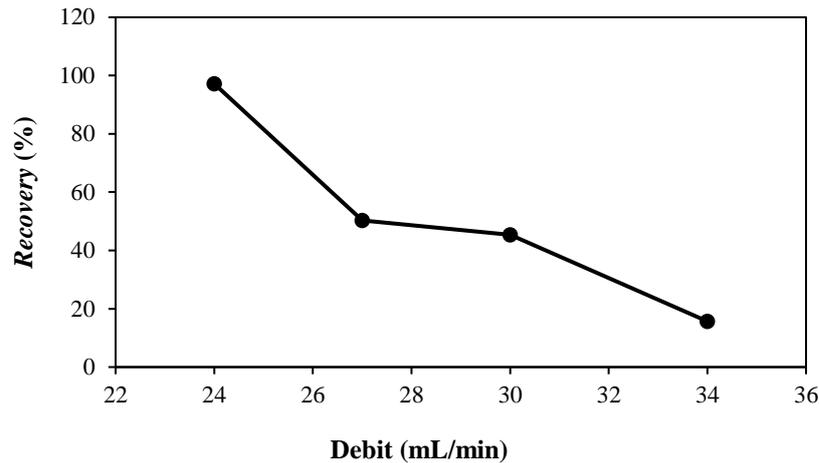
Tabel 3. Perbandingan Katoda dan Anoda Hasil Elutriasi

Debit (mL/min)	Persentase Putih	Fraksi Anoda	Fraksi Katoda	Massa Anoda	Massa Katoda
24	14.2143	0.5909	0.4091	1.2084	0.8366
27	14.4127	0.6010	0.3990	0.6527	0.4333
30	14.8391	0.6227	0.3625	0.6713	0.3907
34	18.4263	0.8050	0.1950	0.5571	0.1349



Gambar 4. Grafik Fraksi Katoda terhadap Kecepatan

Dari hasil perhitungan pada tabel 3 dapat diperoleh besar *recovery* tiap variasi debit yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Recovery Katoda

Massa katoda dan anoda semakin menurun dengan bertambahnya debit air, hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya partikel yang terbawa aliran air. Semakin rendah debit maka debit air mendekati kecepatan terminal dari partikel anoda yang terbesar sedangkan semakin tinggi debit air maka semakin mendekati kecepatan terminal dari partikel katoda yang terkecil. Maka dari itu, pada debit terendah masih banyak anoda yang turun sedangkan pada debit yang tertinggi banyak anoda yang terbawa keatas sedangkan pada debit air tertinggi penurunan anoda semakin banyak namun katoda yang turun juga semakin sedikit karena terbawa aliran air. Sehingga, hasil terbaik diperoleh saat debit air 24 mL/min dengan *recovery* katoda sebesar 97,21%. Pada debit 24 mL/min diperoleh kenaikan fraksi katoda sebesar 48,98% dan penurunan fraksi anoda sebesar 18,54%. Jika dibandingkan dengan variasi debit lainnya, pada debit 24 mL/min dapat menaikkan fraksi katoda pada campuran dan memiliki kehilangan katoda yang paling sedikit. Dengan penurunan anoda sebesar 18,54% dapat mengurangi penggunaan asam pelinda pada proses hidrometalurgi.

Kesimpulan

Pemisahan katoda dan anoda dari campuran dapat dilakukan dengan metode elutriasi. Proses elutriasi merupakan pemisahan campuran padat-padat yang memiliki perbedaan ukuran partikel dan densitas yang dipisahkan berdasarkan perbedaan kecepatan terminalnya dengan menggunakan kolom elutriator yang dialiri fluida dengan kecepatan tertentu. Variasi debit fluida yang digunakan adalah 24, 27, 30, dan 34 mL/min. Dan diperoleh hasil terbaik pada variasi 24 mL/min dengan *recovery* katoda sebesar 97,21%. Elutriasi dapat menaikkan fraksi katoda sebesar 48,98% dan penurunan anoda sebesar 18,54%. Sehingga, penggunaan asam pada proses hidrometalurgi dapat dikurangi dengan penurunan jumlah anoda pada campuran. Untuk pengembangan selanjutnya dapat ditinjau jika *range* ukuran umpan diperkecil dan pengaruhnya terhadap proses pemisahan menggunakan metode elutriasi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) dengan Nomor Riset: PRJ-77/LPDP/2020 atas dukungan finansial dalam proyek riset mengenai *recovery* litium dari baterai bekas. Penulis juga menyampaikan apresiasi setinggi-tingginya kepada PT. Viar Indonesia atas suplai baterai bekas dalam riset ini.

Daftar Notasi

v_t = kecepatan terminal [m/s]
 g = gravitasi [m/s^2]
 r = jari-jari partikel [m]
 ρ_p = densitas partikel [g/m^3]
 ρ_f = densitas fluida [g/m^3]
 η = viskositas fluida [$kg/(m.s)$]
 Q = debit [mL/min]
 A = luas permukaan [m^2]
 v = kecepatan air [m/s]



Daftar Pustaka

- Brown, G. G., 1950, "Unit Operation", Modern Asia Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Dash, R. and Pannala, S., 2016. Theoretical Limits of Energy Density in Silicon-Carbon Composite Anode Based Lithium Ion Batteries. *Sci. Rep.* 6, 27449.
- Gao, D., Zhou, Y., Wang, T., Wang, Y., 2020. A method for predicting the remaining useful life of lithium-ion batteries based on particle filter using kendall rank correlation coefficient. *Energies*, 13(16), 4183.
- Kang, J., Sohn, J., Chang, H., Senanayake, G., Shin, S., 2010. Preparation of cobalt oxide from concentrated cathode material of spent lithium ion batteries by hydrometallurgical method. *Advanced Powder Technology*, 21, 175-179.
- Kim, S., Bang, J., Yoo, J., Shin, Y., Bae, J., Jeong, J., Kim, K., Dong, P., Kwon, K., 2021. A comprehensive review on the pretreatment process in lithium-ion battery recycling. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126329.
- Malik, M., Chan, K. H., Azimi, G., 2022. Review on the synthesis of $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ (NMC) cathodes for lithium-ion batteries. *Materials Today Energy*, 28, 101066.
- Meshram, P., Mishra, A., Abhilash, Sahu, R., 2020. Environmental impact of spent lithium ion batteries and green recycling perspectives by organic acids – A review. *Chemosphere*, 242, 125291.
- Ordenez, J., Gago, E.J., Girard, A., 2016. Processes and technologies for the recycling and recovery of spent lithium-ion batteries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 195-205.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 55 Tahun 2019 Tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Electric Vehicle) untuk Transportasi Jalan.
- Sambamurthy, S., Raghuvanshi, S., Sangwan, K.S., 2021. Environmental impact of recycling spent lithium-ion batteries. *Procedia CIRP*, 98, 631-636.
- Sukamta, Budiman, A., Sutijan, W, A. B., Budiharto, S., 2009. Pemecahan senyawa kompleks dalam kaolin dan pengambilan alumina dengan metode kalsinasi dan elutriasi. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 2(1), 107-116.
- Wang, F., Zhang, T., He, Y, Zhao, Y., Wang, S., Zhang, G., Zhang, Y., Feng, Y., 2018. Recovery of valuable material s from spent lithium-ion batteries by mechanical separation and thermal treatment. *Journal of Cleaner Production*, 185, 646-652.
- Yu, D., Huang, Z., Mauza, B., Guo, X., Tian, Q., 2021. Pretreatment options for the recycling of spent lithium-ion batteries: A comprehensive review. *Minerals Engineering*, 173, 107218.