

Literatur Review: Pemanfaatan Karbon Aktif berbasis Cangkang Telur sebagai Adsorben Selektif dalam Pemulihan Lithium dari Baterai Bekas

Nur Rizkita Antika P.¹, Larasati Dwi Andhini², Davina Anindya Putri³, Chaya A. Mashar⁴, Jihan Indah Marati⁵, Afifah Afra Insani⁶

¹²³⁴Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya 60115 ⁵⁶Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya 60115.

*E-mail: larasati.dwi.andhini-2023@fst.unair.ac.id

Abstrak

Literatur riset ini menyajikan potensi karbon aktif berbasis arang cangkang telur sebagai penyerap selektif ion logam berat pada limbah baterai bekas melalui metode aktivasi kimia dan fisika. Karakterisasi karbon aktif dilakukan menggunakan analisis Scanning Electron Microscopy (SEM), Brunauer–Emmett–Teller (BET), dan Fourier Transform Infrared (FTIR). Material yang dihasilkan dimanfaatkan dalam sistem adsorpsi batch untuk memisahkan ion litium dari ion pengganggu lain dalam larutan limbah baterai. Sistem adsorpsi batch menunjukkan kemampuan selektif dalam memisahkan lithium dari komponen lain seperti kobalt dalam larutan hasil leaching baterai. Larutan hasil keluaran dari kolom diketahui kaya akan ion litium, sedangkan ion logam berat lainnya lebih banyak teradsorpsi pada permukaan karbon aktif. Larutan kaya litium yang diperoleh dari proses ini berpotensi dimanfaatkan kembali sebagai sumber sekunder untuk aplikasi energi, sehingga mendukung pemulihan sumber daya dan keberlanjutan lingkungan.

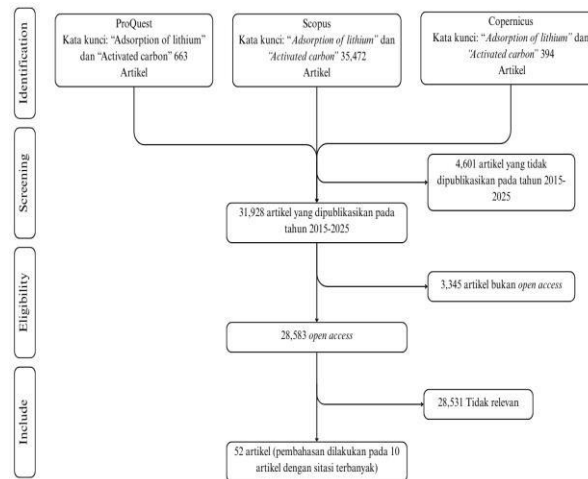
Keywords: Adsorpsi, Baterai, Karbon, Litium, Pemulihan.

1. PENDAHULUAN

Limbah baterai lithium-ion yang sudah habis masa pakainya, dapat menimbulkan permasalahan lingkungan serius apabila tidak dikelola dengan benar. Pemulihan kandungan lithium dapat menjadi solusi alternatif yang menguntungkan dalam segi ekonomi maupun lingkungan. Seiring meningkatnya perhatian terhadap teknologi hijau dan proses industri yang lebih bersih, diperlukan pendekatan alternatif yang lebih ramah lingkungan dalam pemulihan energi. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah metode adsorpsi, adsorpsi merupakan salah satu metode pemisahan yang banyak digunakan dalam pengolahan limbah cair maupun pemurnian bahan, baik dalam fase gas maupun cair, melalui penyerapan partikel ke permukaan padatan. Adsorpsi dinilai lebih sederhana, hemat energi, dan ramah lingkungan, terutama jika menggunakan adsorben dari limbah biomassa. Adsorben adalah material padat yang digunakan untuk menarik zat terlarut dari suatu larutan atau gas melalui mekanisme adsorpsi. Karbon aktif merupakan bahan adsorben yang paling populer digunakan untuk mengolah air dan air limbah di seluruh dunia (Lubis *et al.*, 2020). Karbon aktif berbasis biomassa, seperti cangkang telur dapat menjadi alternatif menarik karena memiliki luas permukaan tinggi, porositas yang baik, dan ketersediaan yang melimpah terbarukan. Berdasarkan hasil penelitian De Angelis *et al.*, (2017) cangkang telur merupakan prekursor yang sesuai untuk sintesis adsorben berkapasitas tinggi untuk menghilangkan logam dari larutan. Struktur berpori dan kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang tinggi menjadikan cangkang telur efektif dalam proses adsorpsi berbagai ion logam (Senthil *et al.*, 2019). Penggunaan cangkang telur sebagai bahan baku karbon aktif tidak hanya berpotensi mengurangi jumlah limbah pangan yang ada, tetapi juga memberikan nilai tambah kebermanfaatan. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan solusi alternatif yang tidak hanya ekonomis, tetapi juga berkelanjutan dalam upaya penanggulangan pencemaran litium di lingkungan, pemulihan sumberdaya, serta pemanfaatan limbah organik secara optimal.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan sistem literature review (systematic literature review) metode pendekatan PRISMA untuk mengumpulkan dan menganalisis informasi dari basis sumber pustaka. Literatur diperoleh menggunakan kata kunci “*Adsorption of Lithium*” dan “*Activated Carbon*” pada basis data Scopus, Index Copernicus, dan ProQuest dalam bentuk berupa artikel jurnal ilmiah nasional dan internasional dan laporan penelitian dari institusi terpercaya. Analisis data dimulai dengan mengidentifikasi topik dan permasalahan penelitian, lalu mengumpulkan literatur data yang relevan. Analisis data dilakukan secara kualitatif dengan menelaah, membandingkan, dan mensintesis informasi dari berbagai sumber dengan mengekstrak data penting dari setiap literatur, mensintesis tematik hasil penelitian terdahulu, serta menarik kesimpulan dari penelitian yang terdahulu.

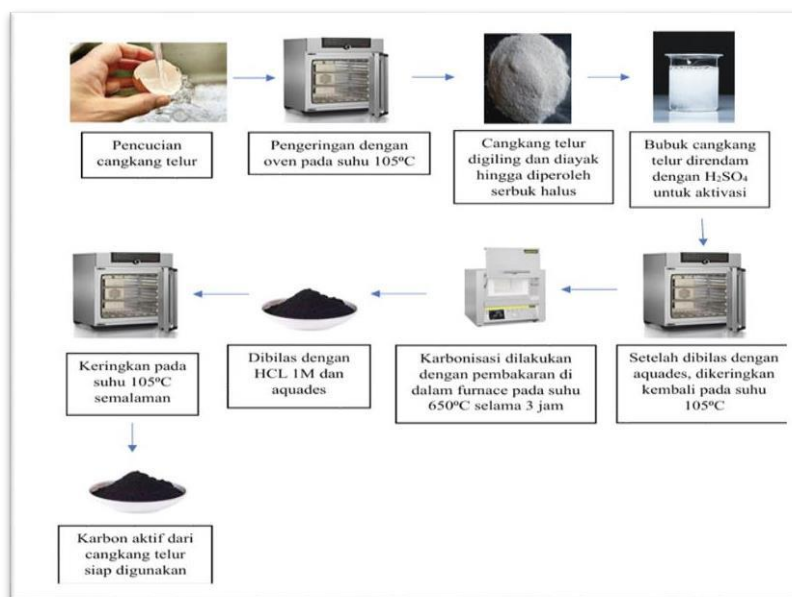
Gambar 1. Diagram Alir *Systematic Literature Review* Metode Pendekatan PRISMA.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil Literature Review Jurnal Ilmiah

No	Peneliti, Tahun	Judul	Jurnal, Volume	Hasil
1.	El-Gawad, H. A., Hussein, M. H., Zahran, H. A., & Kadry, G., 2025	<i>Enhanced phenol removal from wastewater via sulfuric acid activated eggshell derived carbon</i>	<i>Scientific Reports</i> , 15	Hasil uji karakteristik setelah aktivasi kimia dengan H_2SO_4 dan karbonisasi pada suhu 650 menyatakan bahwa morfologi karbon aktif berbasis cangkang telur menghasilkan permukaan yang lebih kasar dibandingkan cangkang telur mentah dengan luas permukaan sebesar 1034,775 m^2/g . Sedangkan, pada hasil uji FTIR (400–4000 cm^{-1}) didapati $CaCO_3$ melonjak pada 712, 871, 1397, 2162 cm^{-1} . Setelah penambahan H_2SO_4 $CaCO_3$ berubah menjadi CaO dan gugus sulfonik. .
2.	Obar, F., Pradhan, S., Mackey, H. R., & McKay, G., 2024	<i>Removal of lithium from aqueous solution by spent coffee ground activated biochar</i>	<i>Process Safety and Environmental Protection</i> , 184	Penelitian menunjukkan bahwa biochar sebagai adsorben mampu menyisihkan ion logam berat dari air limbah, seperti lithium.
3.	Kahvecioglu, A., 2022	<i>Adsorbent Synthesis for the Recovery of Lithium Water Resources</i>	<i>Master's thesis, Izmir Institute of Technology</i> .	Berdasarkan penelitian, 95% dari ion lithium diserap pada siklus pertama. Pada siklus kedua, efisiensi adsorben kian menurun.
4.	Nurkhopiah, S., Perdana, I., & Prasetya, A., 2022	<i>Contaminants Removal from Wastewater of LFP Batteries Recycling Process Using Adsorption Methods</i>	<i>In Key Engineering Materials (Vol. 920, pp. 29–35)</i>	Menurut penelitian ini, persentase maksimum penyisihan menggunakan karbon aktif pada kandungan lithium, kalsium, sodium, dan silika saat dosis 10 g/L sebesar 99,90%, 97,51%, 86,10%, dan 79,08%.

5.	Recepoğlu, Y.K., Yüksel, A., 2021	<i>Phosphorylated hazelnut shell waste for sustainable lithium recovery application as biosorbent</i>	<i>Cellulose</i> 28 , 9837–9855	Berdasarkan penelitian, meningkatnya suhu, membuat kapasitas adsorpsi litium menurun (karena sifat eksotermik), yang justru menguntungkan untuk pemulihan logam. Kehadiran Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+} sedikit menurunkan efisiensi adsorpsi Li dari 92% menjadi 85,54%.
6.	Samadiy, M., & Deng, T., 2021	<i>Lithium Recovery from Water Resources by Ion Exchange and Sorption Method</i>	<i>Journal of the Chemical Society of Pakistan</i> , Vol. 43	Dibandingkan dengan metode lainnya seperti presipitasi, ekstraksi pelarut, dan pemisahan membran selektif, metode adsorpsi penukar ion berbasis saringan menjadi perhatian besar dalam proses pemulihan lithium. Hal ini disebabkan oleh tingkat selektivitasnya yang tinggi terhadap ion lithium dengan nilai penyerapan lithium sebesar 25,7 mg/L.
7.	Achmad, R., Fauziah, S., & Zakir, M., 2020	Pembuatan dan Modifikasi Karbon Aktif Pelepah Kelapa Sawit (Cocus Nucifera L.) Sebagai Adsorben Metilen Biru	<i>Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry</i> , 3	Proses modifikasi dengan H_2SO_4 menurunkan luas permukaan karena sebagian karbon teroksidasi sehingga pori-pori rusak. Selain itu, penambahan gugus sulfonat ($\text{R}-\text{SO}_3^-$) menutupi pori, sehingga diameter pori mengecil.
8.	Ahmad, A., Jini, D., Aravind, M., Parvathiraja, C., Ali, R., Kiyani, M. Z., & Alothman, A., 2020	A novel study on synthesis of egg shell based activated carbon for degradation of methylene blue via photocatalysis	<i>Arabian Journal of Chemistry</i> , 13(12), 8717–8722.	Berdasarkan penelitian, aktivasi karbon aktif menggunakan H_3PO_4 memberikan performa lebih baik sebesar 83% dalam hal porositas, kristalinitas, dan efisiensi fotodegradasi dibandingkan dengan NaOH sebesar 74%.
9.	Kolur, N. A., Sharifian, S., & Kaghazchi, T., 2019	<i>Investigation of sulfuric acid-treated activated carbon properties</i>	<i>Turkish Journal of Chemistry</i> , Vol. 43	Hasil dari uji BET pada karbon aktif komersial berjenis butiran menyatakan bahwa luas spesifik permukaan karbon aktif setelah aktivisasi kimia dengan H_2SO_4 dan karbonisasi pada suhu 250°C sebesar $620 \text{ m}^2/\text{g}$.
10.	Purnomo, C. W., Kesuma, E. P., Perdana, I., & Aziz, M., 2018	<i>Lithium recovery from spent Li-ion batteries using coconut shell activated carbon</i>	<i>Waste management</i> , 79, 454–461.	Proses adsorpsi menggunakan karbon aktif pada limbah baterai menghasilkan larutan kaya akan lithium, hal ini dikarenakan karbon aktif cenderung menyerap ion metal lain yang ada dalam kandungan limbah baterai seperti Co(II) , Mn(II) , dan Ni(II) . Namun, aktivisasi menggunakan KOH dapat meningkatkan kapasitas penyerapan ion lithium.



Gambar 2. Diagram Alir Preparasi Karbon Aktif Cangkang Telur

PEMBAHASAN

Preparasi Karbon Aktif

Menurut El-Gawad et al. (2025), cangkang telur dicuci bersih menggunakan air kran dan air deionisasi untuk menghilangkan kotoran atau kontaminan. Setelah itu, cangkang dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama dua jam. Setelah pengeringan, cangkang telur digiling hingga menjadi bubuk halus dengan ukuran partikel kurang dari 250 μm , lalu disaring menggunakan ayakan mekanik. Bubuk hasil ayakan kemudian direndam dalam larutan asam sulfat (H_2SO_4) 70% dengan rasio berat terhadap volume 1:2 (w/v)%. Proses perendaman ini dilakukan semalaman sambil diaduk terus-menerus dengan tujuan untuk mengaktifkan permukaan adsorpsi dan meningkatkan efisiensi penyerapan. Setelah direndam, material dicuci dengan air deionisasi hingga pH netral, lalu disaring dan dikeringkan kembali pada suhu 105 °C. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu sekitar 650 °C selama 3 jam menggunakan furnace, dengan laju pemanasan 10 °C per menit. Suhu karbonisasi sebesar 650°C digunakan berdasarkan hasil analisis termogravimetri (TGA) yang menunjukkan bahwa penghilangan karbon terjadi pada rentang 490–630 °C (El-Gawad et al., 2025). Karbon aktif yang dihasilkan kemudian dicuci dengan larutan HCl 1 M untuk menghilangkan sisa abu, lalu dibilas kembali secara menyeluruh menggunakan air deionisasi guna memastikan tidak ada sisa asam. Terakhir, karbon dikeringkan semalaman pada suhu 105 °C dan disimpan dalam wadah kedap udara untuk pemakaian selanjutnya.

Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi karbon aktif sebagai adsorben dilakukan dengan menganalisis sifat morfologi, luas permukaan, dan karakteristik kimia dari kedua karbon aktif. Luas permukaan karbon diuji untuk menganalisis sifat morfologi permukaan karbon, luas permukaan karbon dapat dianalisis dengan uji BET. Berdasarkan hasil uji BET yang dilakukan oleh penelitian terdahulu, nilai luas permukaan dari karbon aktif berbasis cangkang telur dan karbon aktif komersial dapat dibandingkan. Rata-rata luas permukaan karbon aktif adalah 300-2000 m^2/gr (Purnamawati et al., 2023). Luas permukaan karbon aktif dipengaruhi oleh struktur pori-pori yang mempengaruhi kemampuan penyerapan adsorben. Berdasarkan El-Gawad et al (2025), luas permukaan karbon aktif berbasis cangkang telur didapati lebih besar dibandingkan karbon aktif komersial. Pada penelitian terdahulu, dilakukan uji FTIR (400–4000 cm^{-1}) terhadap cangkang telur mentah tanpa perlakuan aktivisasi, setelah aktivisasi kimia dengan H_2SO_4 , serta setelah proses karbonasi pada suhu 650°C selama 3 jam. Berdasarkan penelitian uji FTIR terdahulu, dapat disimpulkan bahwa aktivisasi kimia menggunakan H_2SO_4 mengubah sebagian CaCO_3 menjadi CaO dan gugus sulfonik, pada aktivisasi fisik pada suhu 650°C gugus O-H menghilang meninggalkan struktur karbonat yang tetap. Berdasarkan hasil uji yang telah dianalisis, dapat disimpulkan bahwa karbon aktif berbasis cangkang telur teruji lebih efektif dalam menyerap adsorbat.

Mekanisme Adsorpsi Ion Lithium

Karbon aktif yang dihasilkan dari cangkang telur memiliki struktur berpori dengan luas permukaan yang besar serta memiliki gugus fungsi kimia seperti karbonil, hidroksil, dan karbonat (CaCO_3) yang berfungsi sebagai tempat aktif untuk penyerap (Aghnia, 2023). Ion lithium dalam larutan akan memasuki pori-pori karbon aktif, lalu berikatan secara fisiko-kimia dengan gugus fungsi tersebut, yang meliputi interaksi elektrostatik dan pertukaran ion. Pada karbon aktif yang terbuat dari cangkang telur, proses penyerap juga dapat dilakukan melalui pertukaran ion, di mana ion lithium (Li^+) menggantikan ion lain pada permukaan karbon aktif, seperti Ca^{2+} dari kalsium karbonat, sehingga terbentuk senyawa baru di permukaan adsorben. Aktivasi kimia pada

karbon aktif menambah jumlah gugus fungsi sekaligus meningkatkan kapasitas penyerap dengan membuka pori-pori dan memperluas area kontak. Proses penyerap ini umumnya mengikuti model isoterm Langmuir, yang menunjukkan bahwa penyerap bersifat monolayer dengan tempat aktif yang seragam. Faktor-faktor seperti pH, waktu kontak, dan konsentrasi ion lithium sangat berpengaruh untuk mengoptimalkan kapasitas penyerap (Misfadhila *et al.*, 2018). Dengan struktur pori yang baik dan modifikasi pada gugus fungsional, karbon aktif yang berasal dari cangkang telur cukup efektif dalam menyerap ion lithium dari larutan limbah bekas baterai lithium-ion (Muhammad, 2020).

Metode adsorpsi batch menggunakan karbon aktif sebagai adsorben menunjukkan kemampuan selektif dalam memisahkan lithium dari komponen lain seperti kobalt dalam larutan hasil leaching baterai. Aktivasi karbon aktif secara kimia dengan H_2SO_4 menghasilkan kapasitas adsorpsi dan selektivitas yang lebih tinggi dibandingkan aktivasi fisik, dengan kondisi optimal pada waktu adsorpsi sekitar 3 jam sehingga lithium tetap berada dalam larutan dan mudah dimurnikan lanjutan (Purnomo *et al.*, 2018). Metode adsorpsi batch menggunakan karbon aktif menunjukkan efektivitas yang baik dalam memisahkan lithium dari kobalt dalam larutan hasil leaching baterai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif hasil aktivasi kimia memiliki kapasitas dan selektivitas adsorpsi yang lebih tinggi dibanding aktivasi fisik. Kondisi optimal untuk selektivitas diperoleh pada waktu kontak sekitar 3 jam, dengan kemampuan adsorpsi lithium yang maksimal namun tetap menyisakan lithium dalam larutan sehingga mudah diproses lebih lanjut. Namun, peningkatan waktu adsorpsi cenderung menurunkan selektivitas. Metode batch cocok digunakan pada tahap awal pemisahan jika ingin mendapatkan larutan lithium yang lebih murni, meskipun dari segi efisiensi proses industri, kapasitas adsorpsi batch masih terbatas (Purnomo *et al.*, 2017). Oleh sebab itu dapat disimpulkan berdasarkan penelitian terdahulu, penerapan proses adsorpsi pada limbah baterai lithium akan menghasilkan larutan kaya dengan ion lithium. Hal ini dikarenakan, alih-alih menyerap ion lithium, karbon aktif menyerap unsur ion pengganggu yang menjadikan larutan hasil adsorpsi kaya akan ion lithium. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa karbon aktif berbasis cangkang telur merupakan pemisah ion lithium yang baik pada limbah baterai.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyajikan studi literatur sistematis pada proses adsorpsi karbon aktif berbasis cangkang telur terhadap limbah baterai li-ion dengan menggunakan pendekatan metode PRISMA. Berdasarkan literatur, didapati luas permukaan karbon aktif berbasis cangkang telur sebesar $1034,775 \text{ m}^2/\text{g}$. Sifat morfologi dari permukaan karbon aktif setelah proses aktivasi didapati lebih kasar, sehingga mampu meningkatkan potensi adsorpsi. Berdasarkan penelitian uji FTIR terdahulu, dapat disimpulkan bahwa aktivasi kimia menggunakan H_2SO_4 mengubah sebagian $CaCO_3$ menjadi CaO dan gugus sulfonik, pada aktivasi fisik pada suhu 650°C gugus O-H menghilang meninggalkan struktur karbonat yang tetap. Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa proses adsorpsi pada limbah baterai lithium menghasilkan larutan kaya akan ion lithium. Hal ini dikarenakan, alih-alih menyerap ion lithium, karbon aktif menyerap unsur ion pengganggu yang menjadikan larutan hasil adsorpsi kaya akan ion lithium. Hasil larutan ini nantinya, dapat didaur ulang dan dikembangkan menjadi bahan yang lebih berguna kedepannya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aghnia, T. B. 2023. Pemanfaatan $CaCO_3$ dari Cangkang Telur Ayam untuk Adsorpsi Ion Logam Berat. *Skripsi*, Universitas Islam Negeri Walisongo.
- Chen, X., Liu, C., Fang, Y., Ai, X., Zhong, F., Yang, H., & Cao, Y., 2022. Understanding of the sodium storage mechanism in hard carbon anodes. *Carbon Energy*, 4(6), 1133-1150.
- De Angelis, G., Medeghini, L., Conte, A. M., & Mignardi, S. 2017. Recycling of eggshell waste into low- cost adsorbent for Ni removal from wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1497- 1506.
- El-Gawad, H.A., Hussein, M.H., Zahran, H.A. & Kardy, G. 2025. Enhanced phenol removal from wastewater via sulfuric acid activated eggshell derived carbon. *Sci Rep* 15, 20128.
- Kim, S., Lee, J., Kang, J. S., Jo, K., Kim, S., Sung, Y. E., & Yoon, J. 2015. Lithium Recovery from Brine Using a λ - MnO_2 /Activated Carbon Hybrid Supercapacitor System. *Chemosphere*, Vol. 125, 50-56.
- Kolur, N. A., Sharifian, S., & Kaghazchi, T. 2019. Investigation of Sulfuric Acid-Treated Activated Carbon Properties. *Turkish Journal of Chemistry*, 43: 663 – 675.
- Lubis, R. A. F., Nasution, H. I., & Zubir, M., 2020. Production of activated carbon from natural sources for water purification. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, 3(2), 67- 73.
- Misfadhila, S., Azizah, Z., Rusdi, & Chaniago, C. D. P. 2018. Pengaplikasian Cangkang Telur dan Karbon Aktif Sebagai Adsorben Logam Timbal. *Jurnal Farmasi Higea*, 10(2), 126-131.
- Muhammad, F. 2020. Arang Aktif Cangkang Telur Bebek Termodifikasi Tween 80 sebagai Adsorben. *PSNDP*, Universitas Bengkulu.
- Purnamawati, N., Novrianti, Husbani, A., Melysa, R., & Mashitta, N., 2023. Uji Kualitas Sintesis Karbon Aktif Dari Pelepah Aren Teraktivasi Asam Fosfat. *Journal of Research and Education Chemistry*, 5(2), 120-120.
- Purnomo, C. W., Prakoso, S. P., & Yuliani, S., 2018. Lithium recovery from spent Li-ion batteries coconut shell activated carbon. *Waste Management*, 79, 442–450.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.017>.

Senthil, C., VEDIAPPAN, K., NANTHAGOPAL, M., KANG, H. S., SANTHOSHKUMAR, P., GNANAMUTHU, R., & LEE, C. W. (2019). Thermochemical conversion of eggshell as biological waste and its application as a functional material for lithium-ion batteries. *Chemical Engineering Journal*, 372, 765-773.