

INTISARI

Pertumbuhan kendaraan listrik (EV) dan sistem penyimpanan energi telah meningkatkan penggunaan baterai *Lithium-Ion* (LIB). Dengan umur pakai rata-rata 8–10 tahun, diperkirakan pada tahun 2030 akan dihasilkan hingga 11 juta ton limbah baterai *Lithium-Ion*. Limbah ini mengandung material berharga seperti litium, kobalt, nikel, mangan, tembaga, aluminium, dan grafit, sekaligus material berbahaya yang berpotensi mencemari lingkungan. Oleh karena itu, daur ulang merupakan solusi penting tidak hanya untuk mengurangi dampak lingkungan, tetapi juga untuk menjamin ketersediaan material kritis secara berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh perlakuan panas dengan temperatur (320, 400, 480) °C dan waktu *ball milling* (5, 10, 15) menit terhadap kuantitas dan kualitas *black mass* dari baterai *Lithium-Ion* NMC 18650.

Salah satu tahap utama dalam proses daur ulang mekanik adalah pemisahan *black mass*, yaitu bubuk kaya logam hasil pelepasan material katoda dan anoda. Kualitas dan kuantitas *black mass* sangat menentukan keberhasilan proses pemurnian selanjutnya. Teknologi *ball milling* banyak digunakan untuk memisahkan material aktif dari kolektor arus melalui mekanisme tumbukan dan gesekan, namun efektivitasnya dipengaruhi parameter seperti waktu, kecepatan, dan rasio bola terhadap serbuk. Perlakuan panas juga penting untuk melemahkan ikatan material organik sehingga mempermudah pelepasan *black mass*.

Perlakuan panas dan waktu *ball milling* mempengaruhi peningkatan kualitas dan kuantitas *black mass*. Kondisi optimum diperoleh pada temperatur 480°C dan waktu *ball milling* 15 menit, dengan perolehan *black mass* sebesar 58% serta kandungan logam Li 4,27 wt.%, Ni 16,2 wt.%, Mn 8,97 wt.%, dan Co 6,69 wt.%, yang menunjukkan peningkatan proses liberasi material aktif dan kualitas *black mass*.

Kata kunci: Baterai *Lithium-Ion*, Daur ulang mekanik, Daur ulang baterai, *Black mass*, Perlakuan panas, *Ball milling*, ICP-OES

ABSTRACT

The growth of electric vehicles (EVs) and energy storage systems has increased the use of Lithium-Ion batteries (LIBs). With an average lifespan of 8–10 years, it is estimated that up to 11 million tons of Lithium-Ion battery waste will be generated by 2030. This waste contains valuable materials such as lithium, cobalt, nickel, manganese, copper, aluminum, and graphite, as well as hazardous materials that have the potential to pollute the environment. Therefore, recycling is a crucial solution not only to reduce environmental impact but also to ensure the sustainable availability of critical materials. This study aims to analyze the effect of heat treatment at temperatures (320, 400, 480) °C and ball milling times (5, 10, 15) minutes on the quantity and quality of black mass from NMC 18650 Lithium-Ion batteries.

One of the key steps in the mechanical recycling process is the separation of black mass, a metal-rich powder resulting from the removal of cathode and anode materials. The quality and quantity of black mass are crucial for the success of the subsequent refining process. Ball milling technology is widely used to separate active materials from current collectors through impact and friction mechanisms. However, its effectiveness is influenced by parameters such as time, speed, and the ball-to-powder ratio. Heat treatment is also important to weaken the bonds of the organic material, facilitating the release of black mass.

Heat treatment and ball milling time influenced the improvement of the quality and quantity of black mass. The optimum condition was achieved at a heat treatment temperature of 480°C and a ball milling time of 15 min, resulting in a black mass recovery of 58% with metal contents of 4.27 wt.% Li, 16.2 wt.% Ni, 8.97 wt.% Mn, and 6.69 wt.% Co, indicating enhanced active material liberation and improved black mass quality..

Keywords: *Lithium-Ion battery, Mechanical recycling, Battery recycling, Black mass, Thermal treatment, Ball milling, ICP-OES*