UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Analisis Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan terhadap Karakteristik Material Baterai dan Konsumsi
Energi pada Proses Daur Ulang Mekanis Baterai Lithium Ion 18650 Jenis NMC**
Ibnu Sina, Ir. Muslim Mahardika, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Meningkatnya penggunaan baterai *lithium ion* pada kendaraan listrik menyebabkan jumlah limbah baterai terus bertambah. Meningkatnya jumlah limbah mendorong kebutuhan daur ulang untuk memanfaatkan kembali material berharga di dalamnya. Pada daur ulang mekanis, pelepasan *black mass* dari *current collector* masih belum optimal karena sebagian material aktif melekat pada *foil*. Penambahan proses pemanasan berpotensi meningkatkan pelepasan *black mass*, tetapi juga meningkatkan konsumsi energi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap karakteristik hasil daur ulang mekanis dan konsumsi energi pada baterai *lithium ion* 18650 jenis NMC.

Baterai *lithium ion* 18650 jenis NMC digunakan sebagai bahan penelitian dengan variasi temperatur pemanasan. Variasi temperatur pemanasan yang digunakan 320°C, 400°C, dan 480°C selama 15 menit. Setelah proses pemanasan, baterai diproses melalui beberapa tahapan yaitu, *crushing* 1, *crushing* 2, *sieving 1*, *ball milling*, dan *sieving* 2. Karakteristik hasil dievaluasi berdasarkan distribusi massa fraksi ukuran dan perolehan *black mass*. Sedangkan, konsumsi energi dianalisis pada setiap tahapan proses serta dinyatakan menggunakan *Specific Energy Consumption* (SEC).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur pemanasan dari 320°C menjadi 480°C menggeser distribusi massa menuju fraksi yang lebih halus, ditunjukkan oleh penurunan massa fraksi >40 mesh dari 0,467 kg menjadi 0,327 kg dan peningkatan fraksi <120 mesh dari 0,287 kg menjadi 0,333 kg. Peningkatan temperatur pemanasan dan waktu *ball milling* juga meningkatkan perolehan *black mass* total, dengan perolehan sebesar 42–56 wt.% dan nilai tertinggi 56 wt.% pada temperatur 480°C dengan waktu *ball milling* 15 menit. Di sisi lain, konsumsi energi total meningkat dari 1,36–1,59 kWh pada 320°C menjadi 1,87–2,10 kWh pada 400°C dan 2,44–2,68 kWh pada 480°C, dengan konsumsi energi didominasi oleh proses pemanasan. Nilai SEC total terendah sebesar 3,08 × 10^{-3} kWh/g diperoleh pada temperatur 320°C dengan waktu *ball milling* 5 menit.

Kata kunci: *black mass*, baterai *lithium-ion*, daur ulang mekanis, temperatur pemanasan, *Specific Energy Consumption* (SEC).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Analisis Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan terhadap Karakteristik Material Baterai dan Konsumsi
Energi pada Proses Daur Ulang Mekanis Baterai Lithium Ion 18650 Jenis NMC**
Ibnu Sina, Ir. Muslim Mahardika, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

The increasing use of lithium ion batteries in electric vehicles has led to a significant rise in spent battery generation, creating an urgent need for efficient recycling processes to recover valuable materials. In mechanical recycling, the liberation of black mass from the current collector is often limited because active materials remain strongly adhered to its surface. Thermal pretreatment has the potential to improve black mass liberation prior to mechanical processing; however, it also increases the total energy demand. Therefore, this study aimed to investigate the effect of heat treatment temperature on the characteristics of mechanical recycling products and energy consumption during the recycling process of spent NMC 18650 lithium ion batteries.

The experiments were conducted using spent NMC 18650 lithium ion batteries subjected to heat treatment at 320°C, 400°C, and 480°C for 15 minutes, followed by crushing 1, crushing 2, sieving 1, ball milling, and sieving 2. The recycling performance was evaluated based on particle size fraction mass distribution and black mass recovery, while energy consumption was determined for each processing stage and expressed using Specific Energy Consumption (SEC).

Increasing the heat treatment temperature shifted the material mass distribution from coarse to finer fractions and enhanced black mass recovery, indicating improved material fragmentation during mechanical recycling. Longer ball milling durations further increased black mass liberation, with the highest recovery of 56 wt.% achieved at 480°C and 15 minutes of ball milling. However, higher heat treatment temperatures also increased process energy consumption, particularly during the heating stage, thereby affecting the total SEC. These results demonstrate that heat treatment temperature plays an important role in determining both the characteristics of mechanical recycling products and the energy consumption of the upstream recycling process for lithium ion batteries.

Keywords: *lithium-ion batteries, mechanical recycling, black mass, heat treatment temperature, Specific Energy Consumption (SEC*