UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Evaluasi Life Cycle Assessment (LCA) Proses Daur Ulang Baterai Nickel Manganese Cobalt (NMC) Menggunakan Metode Carbothermal Reduction -Water Leaching**
GIANN RIZKYA SAFFINA, Muhammad Mufti Azis, S.T., M.Sc., Ph.D. ; Prof. Indra Perdana, S.T., M.T., Ph.D.
**Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/**

# DAFTAR ISI

**HALAMAN JUDUL** ..... **i**

**HALAMAN PENGESAHAN** ..... **iii**

**PERNYATAN BEBAS PLAGIASI** ..... **iv**

**PRAKATA** ..... **v**

**DAFTAR ISI** ..... **vii**

**DAFTAR TABEL** ..... **x**

**DAFTAR GAMBAR** ..... **xi**

**DAFTAR LAMPIRAN** ..... **xii**

**INTISARI** ..... **xiii**

**ABSTRACT** ..... **xiv**

**BAB I PENDAHULUAN** ..... **15**

1.1. Latar Belakang ..... 15

1.2. Rumusan dan Batasan Masalah ..... 18

1.3. Kebaruan Penelitian ..... 20

1.4. Tujuan Penelitian ..... 24

1.5. Manfaat Penelitian ..... 24

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA** ..... **25**

2.1. Tinjauan Pustaka ..... 25

2.1.1. Baterai Lithium-ion Jenis Nickel Manganese Cobalt (NMC) ..... 25

2.1.2. Dampak Lingkungan Industri Baterai Lithium-ion Jenis NMC ..... 26

2.1.3. Teknologi Daur Ulang Limbah Baterai *Lithium-ion* ..... 27

2.1.4. Teknologi Daur Ulang Berbasis *Carbothermal reduction-Water Leaching* ... 29

2.1.5. Perbandingan Proses *Carbothermal Reduction-Water Leaching* dengan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Evaluasi Life Cycle Assessment (LCA) Proses Daur Ulang Baterai Nickel Manganese Cobalt (NMC) Menggunakan Metode Carbothermal Reduction -Water Leaching**
GIANN RIZKYA SAFFINA, Muhammad Mufti Azis, S.T., M.Sc., Ph.D. ; Prof. Indra Perdana, S.T., M.T., Ph.D.
**Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/**

Metode Lain dalam Perspektif LCA ..... 30

2.2. Landasan Teori ..... 32

2.2.1. Konsep LCA ..... 32

2.2.2.Posisi Proses Carbothermal reduction dalam Daur Ulang Baterai Jenis NMC 33

2.2.3. Hotspot Dampak Lingkungan Proses Daur Ulang Baterai NMC ..... 34

2.3. Hipotesis ..... 35

**BAB III METODE PENELITIAN ..... 37**

3.1. Tahapan Penelitian ..... 37

3.2. Jadwal Penelitian ..... 40

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 41**

4.1. *Life Cycle Inventory (LCI)* Proses Daur Ulang Baterai NMC Metode *Carbothermal Reduction-Water Leaching* ..... 41

4.1.1. *Collection, Transportation* dan *Sorting* ..... 43

4.1.2. *Discharging* ..... 43

4.1.3. *Pyrolysis, Crushing,* dan *Separation* ..... 44

4.1.4. *Carbothermal reduction* ..... 45

4.1.5. *Water Leaching* ..... 46

4.1.6. *Lithium Recovery* ..... 46

4.2. *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) dan Analisis Hotspot Proses Daur Ulang Baterai NMC Metode *Carbotermal Reduction-Water Leaching* ..... 48

4.2.1. Hasil Life Cycle Impact Assessment (LCIA) ..... 48

4.2.2. Analisis Hotspot ..... 50

4.3. Perbandingan Kinerja Lingkungan dengan Teknologi Konvensional ..... 51

4.4. Analisis Sensitivitas ..... 55

**BAB V KESIMPULAN ..... 59**

5.1. Kesimpulan ..... 59

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Evaluasi Life Cycle Assessment (LCA) Proses Daur Ulang Baterai Nickel Manganese Cobalt (NMC) Menggunakan Metode Carbothermal Reduction -Water Leaching**
GIANN RIZKYA SAFFINA, Muhammad Mufti Azis, S.T., M.Sc., Ph.D. ; Prof. Indra Perdana, S.T., M.T., Ph.D.
**Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/**

5.2. Saran ..... 59

**DAFTAR PUSTAKA ..... 60**

**LAMPIRAN ..... 64**

Lampiran 1. Perhitungan Inventori Transportasi dan Sorting ..... 64

Lampiran 2. Perhitungan Inventori Discharging ..... 64

Lampiran 3. Perhitungan Inventori Pirolisis, Crushing, dan Separation ..... 65

Lampiran 4. Perhitungan Inventori Carbothermal Reduction..... 68

Lampiran 5. Perhitungan Inventori Water Leaching ..... 70

Lampiran 6. Perhitungan Inventori Lithium Recovery..... 72

Lampiran 7. Visualisasi Model Graph dan Inventory pada Proses Carbothermal Reduction-Water Leaching ..... 74

Lampiran 8. Visualisasi Model Graph dan Inventory Skenario Analisis Sensitivitas Energi Listrik Terbarukan Hydropower..... 78

Lampiran 9. Visualisasi Model Graph dan Inventory Skenario Analisis Sensitivitas Energi Listrik Terbarukan Solar Tower..... 82

Lampiran 10. Perbandingan Hasil LCA Model Tesis dengan Skenario Analisis Sensitivitas Energi Listrik Terbaruka Hydropwer dan Solar Tower ..... 86