

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL .....  | i    |
| HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....                                       | ii   |
| HALAMAN PENGESAHAN TIM PENGUJI.....                                      | iii  |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....  | iv   |
| KATA PENGANTAR .....   | v    |
| DAFTAR ISI.....  | vii  |
| DAFTAR TABEL.....  | ix   |
| DAFTAR GAMBAR.....   | x    |
| DAFTAR LAMBANG .....   | xii  |
| INTISARI .....   | xiii |
| ABSTRACT.....  | xiv  |
| BAB I PENDAHULUAN.....   | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....  | 3    |
| 1.3 Keaslian/Kebaruan Penelitian .....                                   | 3    |
| 1.4 Tujuan Penelitian .....  | 5    |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....   | 5    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....  | 6    |
| 2.1 Tinjauan Pustaka .....   | 6    |
| 2.1.1 Proses <i>Disassembly</i> Pada Baterai Lithium-ion Bekas .....     | 6    |
| 2.1.2 <i>Physical Separation</i> Material Katoda dan Anoda.....          | 7    |
| 2.1.3 Pemisahan <i>Blackmass</i> dengan Elutriasi .....                  | 9    |
| 2.1.4 Zeta Potensial.....  | 10   |
| 2.2 Landasan Teori.....  | 11   |
| 2.2.1 Pemisahan Material Katoda dan Anoda Baterai Lithium-Ion Bekas..... | 11   |
| 2.2.2 Interaksi Antara Partikel Katoda dan Anoda .....                   | 14   |
| 2.3 Hipotesis.....   | 19   |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....                                      | 20   |
| 4.1 Lokasi dan Waktu Pelaksanaan.....                                    | 20   |
| 4.2 Bahan Penelitian.....  | 20   |
| 4.3 Alat Penelitian.....   | 20   |
| 4.4 Variabel Penelitian .....  | 21   |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| 4.4.1                                    | Variabel Bebas .....   | 21        |
| 4.4.2                                    | Variabel Kontrol .....   | 21        |
| 4.4.3                                    | Variabel Terikat .....   | 21        |
| 4.5                                      | Prosedur Penelitian.....   | 21        |
| 4.5.1                                    | Persiapan Bahan Baku .....   | 21        |
| 4.5.2                                    | Proses Elutriasi .....   | 21        |
| 4.5.3                                    | Analisis Hasil Penelitian.....                                       | 22        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b> |  | <b>24</b> |
| 4.1.                                     | Distribusi Ukuran Partikel Katoda dan Anoda.....                     | 24        |
| 4.2.                                     | Pengaruh Parameter Terhadap Pemisahan .....                          | 27        |
| 4.3.                                     | <i>Recovery</i> Katoda di Hasil Bawah Elutriator .....               | 32        |
| 4.4.                                     | Interaksi Antara Partikel Katoda dan Anoda .....                     | 37        |
| 4.4.1                                    | Zeta Potensial Katoda .....  | 37        |
| 4.4.2                                    | Morfologi Permukaan Katoda .....                                     | 38        |
| 4.4.3.                                   | <i>Dipole-Induced Dipole Interaction</i> .....                       | 42        |
| 4.4.4.                                   | Interaksi Hidrofobik.....  | 43        |
| 4.5.                                     | Pemodelan Pemisahan Campuran Katoda dan Anoda dengan Elutriasi ..... | 45        |
| <b>BAB V KESIMPULAN.....</b>             |  | <b>49</b> |
| 5.1.                                     | Kesimpulan .....   | 49        |
| 5.2.                                     | Saran.....   | 49        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>              |  | <b>50</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                     |  | <b>55</b> |

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 1.1. Rangkuman Penelitian Terkait Pemisahan Material Katoda dan Anoda.....         | 3  |
| Tabel 2.1. Distribusi Ukuran Material Elektroda Setelah Proses <i>Dry Crushing</i> ..... | 7  |
| Tabel 2.2. Kelebihan dan Kekurangan <i>Manual Disassembly</i> dan <i>Crushing</i> .....  | 7  |
| Tabel 4.1. Distribusi Ukuran Katoda .....  | 24 |
| Tabel 4.2. Distribusi Ukuran Anoda .....   | 25 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1.1. Grafik Perkiraan Permintaan Global untuk Kendaraan Listrik Berbasis Baterai .....   | 1  |
| Gambar 2.1. <i>Grinding Flotation</i> untuk Pemisahan dan <i>Recovery</i> $\text{LiCoO}_2$ dan Grafit dari Baterai Lithium-Ion Bekas..... | 8  |
| Gambar 2.2. Gaya yang Mempengaruhi Gerak Jatuh Partikel .....   | 10 |
| Gambar 2.3. Sketsa Zeta Potensial .....   | 11 |
| Gambar 2.4. Distribusi Partikel Katoda dan Anoda .....  | 12 |
| Gambar 2.5. Interaksi antara Partikel Katoda dan Anoda .....  | 14 |
| Gambar 2.6. Zeta Potensial NMC.....   | 15 |
| Gambar 2.7. Zeta Potensial Grafit .....   | 15 |
| Gambar 2.8. Hasil TEM dari Partikel LCO .....   | 16 |
| Gambar 2.9. SEM-EDX Katoda $\text{LiCoO}_2$ .....   | 16 |
| Gambar 2.10. Skema Struktur <i>Fine Particle</i> Hasil <i>Crushing</i> LIB Bekas.....   | 17 |
| Gambar 2.11. Pemisahan Campuran Katoda dan Anoda dalam Elemen Volume.....   | 18 |
| Gambar 3.1. Rangkaian Alat Utama Penelitian .....   | 20 |
| Gambar 3.2. Diagram Alir Proses <i>Physical Separation</i> Campuran Material Aktif Katoda dan Anoda .....                                 | 23 |
| Gambar 4.1. Persentase Katoda Tiap Ukuran.....  | 25 |
| Gambar 4.2. Kecepatan Terminal Katoda dan Anoda Setiap Ukuran .....   | 26 |
| Gambar 4.3. Hasil Atas Elutriator pada Rasio S/L 5 g/L .....  | 27 |
| Gambar 4.4. Hasil Atas Elutriator pada Rasio S/L 10 g/L .....   | 29 |
| Gambar 4.5. Hasil Atas Elutriator pada Rasio S/L 15 g/L .....   | 30 |
| Gambar 4.6. Hasil Atas Elutriator pada Rasio S/L 20 g/L .....   | 31 |
| Gambar 4.7. Fraksi Katoda di Hasil Bawah Elutriator .....   | 33 |
| Gambar 4.8. <i>Recovery</i> Katoda di Hasil Bawah Elutriator.....   | 34 |
| Gambar 4.9. Raman Imaging Hasil Bawah Elutriator .....  | 35 |
| Gambar 4.10. Spektra Raman Grafit pada Titik B .....  | 36 |
| Gambar 4.12. SEM-EDX <i>Imaging</i> Hasil Bawah Elutriator.....   | 39 |
| Gambar 4.13. Mapping Hasil Bawah Elutriator tiap Elemen (a) Karbon, (b) Oksigen, (c) Mangan, (d) Kobalt, dan (e) Nikel.....               | 40 |
| Gambar 4.14. Struktur Molekul Polyvinylidene Fluoride (PVDF) .....  | 41 |
| Gambar 4.15. Struktur Kimia $\alpha$ -PVDF, $\beta$ -PVDF, dan $\gamma$ -PVDF .....   | 41 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.16. Interaksi <i>Dipole-Induced Dipole</i> .....  | 42 |
| Gambar 4.17. Perbedaan Sifat Kelarutan Solut di Larutan Aqueous yang Terjadi Saat Proses Solvasi (a) Awal dan (b) Hidrofobik ..... | 44 |
| Gambar 4.18. Hasil Simulasi Partikel Katoda Menggunakan Matlab .....   | 45 |
| Gambar 4.19. Hasil Simulasi Partikel Anoda Menggunakan Matlab .....  | 46 |

## DAFTAR LAMBANG

### Keterangan:

|                |  |
|----------------|--|
| A              | : luas penampang                         |
| Ca             | : konsentrasi anoda ( $\text{g/cm}^3$ )  |
| Cc             | : konsentrasi katoda ( $\text{g/cm}^3$ ) |
| g              | : gravitasi                              |
| kcf            | : konstanta laju penggumpalan katoda     |
| kcb            | : konstanta laju pelepasan katoda        |
| kaf            | : konstanta laju penggumpalan anoda      |
| kab            | : konstanta laju pelepasan anoda         |
| m              | : <i>power of cathode Reynold number</i> |
| n              | : <i>power of anode Reynold number</i>   |
| Q              | : debit                                  |
| r              | : jari-jari partikel                     |
| Re             | : <i>Reynold number</i>                  |
| v              | : kecepatan fluida                       |
| v <sub>o</sub> | : kecepatan air                          |
| v <sub>t</sub> | : kecepatan terminal                     |
| $\rho_p$       | : densitas partikel                      |
| $\rho_f$       | : densitas fluida                        |
| $\eta$         | : viskositas fluida                      |