

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xviii
INTISARI	xxi
ABSTRACT	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Asumsi dan Batasan	5
1.3.1 Asumsi	5
1.3.2 Batasan	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
BAB III LANDASAN TEORI	16
3.1 <i>End of Life</i> (EOL) Baterai Kendaraan Listrik	16
3.2 <i>Black Mass</i>	18
3.3 <i>Distributed Recycling Center</i> (DCR)	20
3.4 <i>Location Allocation Problem</i> (LAP)	23
3.5 <i>Multi-Period Location Allocation Problem</i> (MPLAP)	25
3.6 <i>Large-Scale Mixed Integer Linear Programming</i> (MILP)	26
3.7 <i>Entropy Weight Method</i> (EWM)	28
BAB IV METODE PENELITIAN	31
4.1 Objek Penelitian	31
4.2 Alat Penelitian	31
4.3 Data yang Dibutuhkan	32
4.4 Alur Penelitian	33
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	38
5.1 Konfigurasi Model	38
5.1.1 <i>Zona Supply</i>	38
5.1.2 <i>Zona Recycling</i>	39
5.1.3 <i>Zona Demand</i>	42
5.2 Model Matematika	43
5.2.1 Model	43
5.2.2 Nilai Parameter Model	48
5.3 Verifikasi Model Matematika	50
5.4 Validasi Model Matematika	56

5.5	Proyeksi Penjualan Kendaraan Listrik dan Total Baterai Bekas	58
5.5.1	Proyeksi Penjualan Kendaraan Listrik	58
5.5.2	Skenario Proporsi NMC	61
5.5.3	Proyeksi Total Baterai Bekas Kendaraan Listrik	64
5.6	<i>Province Relative Weight</i>	65
5.6.1	<i>Entropy Weight Method</i>	65
5.6.2	<i>Relative Weight</i>	67
5.7	<i>Large-Scale Instance</i>	68
5.8	Skenario <i>Intra-Island</i> : Skenario Optimasi dengan Batasan Pulau	68
5.8.1	Skenario <i>Intra-Island</i> 1: Proporsi Baterai NMC Skenario 1	68
5.8.2	Skenario <i>Intra-Island</i> 2: Proporsi Baterai NMC Skenario 2	74
5.8.3	Skenario <i>Intra-Island</i> 3: Proporsi Baterai NMC Skenario 3	80
5.8.4	<i>Final Comparison</i> Skenario <i>Intra-Island</i>	86
5.9	Skenario <i>Inter-Island</i> : Skenario Optimasi tanpa Batasan Pulau	90
5.9.1	Skenario <i>Inter-Island</i> 1: Proporsi Baterai NMC Skenario 1	91
5.9.2	Skenario <i>Inter-Island</i> 2: Proporsi Baterai NMC Skenario 2	97
5.9.3	Skenario <i>Inter-Island</i> 3: Proporsi Baterai NMC Skenario 3	104
5.9.4	<i>Final Comparison</i> Skenario <i>Inter-Island</i>	111
5.10	Perbandingan Skenario <i>Intra-Island</i> dan Skenario <i>Inter-Island</i>	116
5.10.1	Tahun Operasional DRC	116
5.10.2	Total Potensi Impor	124
5.10.3	Sisa Baterai Bekas	127
5.10.4	Profitabilitas	133
5.10.5	Perbandingan Lokasi DRC	134

5.11	Mekanisme Perencanaan Daur Ulang pada DRCN di Indonesia	136
5.12	Dampak Solusi DRCN	138
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		140
6.1	Kesimpulan	140
6.2	Saran	141
DAFTAR PUSTAKA		143
LAMPIRAN		149

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Peta Penelitian	15
Tabel 4.1 Kebutuhan Data dan Sumber	35
Tabel 5.1 Daftar <i>Dealer</i> Kendaraan Listrik dengan Produk BEV NMC	38
Tabel 5.2 Indeks Model	43
Tabel 5.3 Parameter Model	43
Tabel 5.4 <i>Decision Variable</i>	44
Tabel 5.5 Perubahan Komponen <i>Sales</i>	48
Tabel 5.6 Perubahan Komponen Biaya Operasional	49
Tabel 5.7 Nilai Parameter Model MPLAP DRC	50
Tabel 5.8 Jarak CC ke DRC <i>dij</i>	50
Tabel 5.9 Pasokan Baterai Bekas CC <i>pit</i>	51
Tabel 5.10 Jarak DRC ke MRC <i>djk</i>	51
Tabel 5.11 Variabel Keputusan <i>ojt</i> dan <i>vjt</i>	52
Tabel 5.12 Variabel Keputusan <i>xijt</i>	52
Tabel 5.13 Kapasitas Operasi DRC	53
Tabel 5.14 Variabel Keputusan <i>yjkt</i>	54
Tabel 5.15 Variabel Bantu Keputusan <i>sit</i>	55
Tabel 5.16 Perbandingan Keputusan Pembukaan DRC	56
Tabel 5.17 Perbandingan Total <i>Inflow</i> dan <i>Outflow</i> di DRC	57
Tabel 5.18 Perbandingan Komponen Objektif Excel dan Python	58
Tabel 5.19 Nilai CAGR Penjualan EV 2031 – 2040	59
Tabel 5.20 Proyeksi Penjualan Mobil Listrik	59
Tabel 5.21 Proyeksi Penjualan Motor Listrik	60
Tabel 5.22 Skenario Proporsi Baterai NMC	62
Tabel 5.23 Bobot Kriteria dengan EWM	67
Tabel 5.24 <i>Weight per Province</i>	67
Tabel 5.25 Detail Lokasi DRC Skenario <i>Intra-Island</i>	69

Tabel 5.26 Detail Lokasi DRC Skenario <i>Intra-Island 2</i>	75
Tabel 5.27 Detail Lokasi DRC Skenario <i>Intra-Island 3</i>	81
Tabel 5.28 Perbandingan Skenario <i>Intra-Island</i> terhadap Skenario <i>Supply 1, 2 dan 3</i>	86
Tabel 5.29 Detail Lokasi Skenario <i>Intra-Island</i> terhadap Skenario <i>Supply 1, 2 dan 3</i>	89
Tabel 5.30 Detail Lokasi DRC Skenario <i>Inter-Island 1</i>	92
Tabel 5.31 Detail Lokasi DRC Skenario <i>Inter-Island 2</i>	99
Tabel 5.32 Detail Lokasi DRC Skenario <i>Inter-Island 3</i>	106
Tabel 5.33 Perbandingan Skenario <i>Inter-Island</i> terhadap Skenario <i>Supply 1, 2 dan 3</i>	111
Tabel 5.34 Detail Lokasi Skenario <i>Inter-Island</i> terhadap Skenario <i>Supply 1, 2 dan 3</i>	115
Tabel 5.35 Total Hasil Produksi <i>Black Mass</i> (ton)	124
Tabel 5.36 Perbandingan Lokasi DRC	134

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Skema EOL Baterai Kendaraan Listrik	18
Gambar 3.2 Proses Pengolahan Baterai Bekas secara Umum	19
Gambar 3.3 Proses Perubahan Material dari <i>Battery Pack</i> menjadi Katoda Aktif	20
Gambar 3.4 <i>Scope</i> Daur Ulang <i>Concentrated Recycling Center</i> dan <i>Distributed Recycling Center</i>	23
Gambar 3.5 Ilustrasi Skema <i>Location Allocation Problem</i> (LAP)	25
Gambar 4.1 Alur Penelitian MPLAP	33
Gambar 5.1 Ilustrasi <i>Additional Supply</i> pada <i>Collection Center</i>	39
Gambar 5.2 Ilustrasi Model MILP untuk DRCN	47
Gambar 5.3 Proyeksi Jumlah Kendaraan Listrik Indonesia 2025 – 2040	61
Gambar 5.4 Proyeksi Jumlah Baterai Bekas NMC 2025 – 2040	64
Gambar 5.5 Tren Pertumbuhan DRC Skenario <i>Intra-Island 1</i>	69
Gambar 5.6 Peta Lokasi DRC Skenario <i>Intra-Island 1</i> per Tahun	70
Gambar 5.7 Sisa Baterai Bekas per Pulau per Tahun Skenario <i>Intra-Island 1</i>	71
Gambar 5.8 Potensi Pengurangan Impor Skenario <i>Intra-Island 1</i>	72
Gambar 5.9 Proporsi Biaya Skenario <i>Intra-Island 1</i>	73
Gambar 5.10 Tren Pertumbuhan DRC Skenario <i>Intra-Island 2</i>	74
Gambar 5.11 Peta Lokasi DRC Skenario <i>Intra-Island 2</i> per Tahun	76
Gambar 5.12 Sisa Baterai Bekas per Pulau per Tahun Skenario <i>Intra-Island 2</i>	77
Gambar 5.13 Potensi Pengurangan Impor Skenario <i>Intra-Island 2</i>	78
Gambar 5.14 Proporsi Biaya Skenario <i>Intra-Island 2</i>	79
Gambar 5.15 Tren Pertumbuhan DRC Skenario <i>Intra-Island 3</i>	80
Gambar 5.16 Peta Lokasi DRC Skenario <i>Intra-Island 3</i> per Tahun	82
Gambar 5.17 Sisa Baterai Bekas per Pulau per Tahun Skenario <i>Intra-Island 3</i>	83
Gambar 5.18 Potensi Pengurangan Impor Skenario <i>Intra-Island 3</i>	84
Gambar 5.19 Proporsi Biaya Skenario <i>Intra-Island 3</i>	85
Gambar 5.20 Tren Pertumbuhan DRC Skenario <i>Inter-Island 1</i>	91

Gambar 5.21 Peta Lokasi DRC Skenario <i>Inter-Island</i> 1 per Tahun	93
Gambar 5.22 Sisa Baterai Bekas per Pulau per Tahun Skenario <i>Inter-Island</i> 1	94
Gambar 5.23 Potensi Pengurangan Impor Skenario <i>Inter-Island</i> 1	95
Gambar 5.24 Proporsi Biaya Skenario <i>Inter-Island</i> 1	97
Gambar 5.25 Tren Pertumbuhan DRC Skenario <i>Inter-Island</i> 2	98
Gambar 5.26 Peta Lokasi DRC Skenario <i>Inter-Island</i> 2 per Tahun	100
Gambar 5.27 Sisa Baterai Bekas per Pulau per Tahun Skenario <i>Inter-Island</i> 2	101
Gambar 5.28 Potensi Pengurangan Impor Skenario <i>Inter-Island</i> 2	102
Gambar 5.29 Proporsi Biaya Skenario <i>Inter-Island</i> 2	103
Gambar 5.30 Tren Pertumbuhan DRC Skenario <i>Inter-Island</i> 3	105
Gambar 5.31 Peta Lokasi DRC Skenario <i>Inter-Island</i> 3 per Tahun	107
Gambar 5.32 Sisa Baterai Bekas per Pulau per Tahun Skenario <i>Inter-Island</i> 3	108
Gambar 5.33 Potensi Pengurangan Impor Skenario <i>Inter-Island</i> 3	109
Gambar 5.34 Proporsi Biaya Skenario <i>Inter-Island</i> 3	110
Gambar 5.35 Perbandingan Jumlah dan Tahun Operasional DRC Skenario <i>Intra-Island</i> 1 terhadap Skenario <i>Inter-Island</i> 1	117
Gambar 5.36 Perbandingan Jumlah dan Tahun Operasional DRC Skenario <i>Intra-Island</i> 2 terhadap Skenario <i>Inter-Island</i> 2	120
Gambar 5.37 Perbandingan Jumlah dan Tahun Operasional DRC Skenario <i>Intra-Island</i> 3 terhadap Skenario <i>Inter-Island</i> 3	122
Gambar 5.38 Potensi Pengurangan Impor Skenario <i>Intra-Island</i> terhadap Skenario <i>Inter-Island</i>	125
Gambar 5.39 Sisa Baterai Bekas Skenario <i>Intra-Island</i> 1 terhadap <i>Inter-Island</i> 1	128
Gambar 5.40 Sisa Baterai Bekas Skenario <i>Intra-Island</i> 2 terhadap <i>Inter-Island</i> 2	131
Gambar 5.41 Sisa Baterai Bekas Skenario <i>Intra-Island</i> 3 terhadap <i>Inter-Island</i> 3	132
Gambar 5.42 Perbandingan Besar Profit per Skenario	134

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Repository Github</i>	149
Lampiran 2. Proyeksi Jumlah Baterai Kendaraan Listrik	150
Lampiran 3. Proyeksi Jumlah Baterai Bekas Kendaraan Listrik	156
Lampiran 4. Data Populasi, Jumlah Kendaraan, Pengeluaran Konsumsi Rumah Tangga Sektor Transportasi (PKRT ST), SPKLU, SPBKLU, Jumlah Dealer, SPBU	162
Lampiran 5. Perhitungan Bobot Kriteria	164
Lampiran 6. Perhitungan Bobot Provinsi	169
Lampiran 7. Detail Lokasi DRC	171
Lampiran 8. Sisa Baterai Bekas	187
Lampiran 9. <i>Cost Breakdown</i>	199