

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
INTISARI .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	5
1.3. Kebaruan Penelitian .....	6
1.4. Tujuan Penelitian .....	10
1.5. Manfaat Penelitian .....	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	11
2.1. Tinjauan Pustaka .....	11
2.1.1. Besi .....	11
2.1.2. Lumpur merah ( <i>Red Mud</i> ) .....	16
2.1.3. Bahan Bakar Logam ( <i>Metal Fuel</i> ) .....	18
2.1.4. Elektrolisis .....	21
2.1.5. Potensial Elektroda .....	24
2.1.6. Voltametri Siklik .....	27
2.2. Landasan Teori .....	31

2.2.1.	Kinetika Reaksi Elektrokimia pada Antarmuka Logam-Larutan .....	31
2.2.2.	Hukum Faraday.....	35
2.2.3.	Persamaan Nernst.....	36
2.2.4.	Elektrodeposisi dan <i>Limiting Current</i> .....	37
2.2.5.	Efisiensi Arus ( <i>Current Efficiency</i> ) .....	40
2.2.6.	Konsumsi Energi.....	41
2.2.7.	Model Geometris Variasi Tegangan Selama Reaksi.....	43
2.3.	Hipotesis .....	45
BAB III METODE PENELITIAN.....		46
3.1.	Bahan.....	46
3.2.	Rangkaian Alat.....	46
3.3.	Prosedur Penelitian.....	47
3.1.1.	Proses Preparasi Lumpur Merah.....	48
3.1.2.	Proses Elektrolisis Lumpur Merah.....	49
3.1.3.	Pengukuran Konsentrasi Produk Endapan Elektrolisis .....	49
3.4.	Analisis Data.....	50
3.5.	Variabel Penelitian .....	50
3.5.1.	Variabel Bebas .....	50
3.5.2.	Variabel Terikat .....	51
3.5.3.	Variabel Tetap.....	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		52
4.1.	Karakteristik Lumpur Merah .....	52
4.2.	Elektrolisis Lumpur Merah.....	55
4.3.	Voltametri Siklik.....	60
4.4.	Variasi Kondisi Operasi .....	62



4.2.1.	Variasi Densitas Arus.....	62
4.2.2.	Variasi Temperatur.....	68
4.5.	Pengaruh Pengotor pada Proses Elektrolisis Lumpur Merah .....	73
4.6.	Produk Endapan Besi .....	74
4.7.	Evaluasi Parameter dengan Model.....	76
BAB V KESIMPULAN .....		82
5.1.	Kesimpulan .....	82
5.2.	Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....		84
LAMPIRAN.....		90

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Sumber Daya dan Cadangan Bauksit Tahun 2016-2020 .....	1
<b>Gambar 1.2</b> Konsep Siklus Bahan Bakar Logam .....	4
<b>Gambar 2.1</b> Berbagai Macam Warna Mineral Besi.....	11
<b>Gambar 2.2</b> Cadangan Bijih Besi di Seluruh Dunia pada Tahun 2022 .....	14
<b>Gambar 2.3</b> Sumber Daya dan Cadangan Logam Besi Tahun 2016-2020 .....	14
<b>Gambar 2.4</b> Total Sumber Daya dan Total Cadangan Besi Primer, Lateri, dan Pasir Besi pada Tahun 2020 .....	15
<b>Gambar 2.5</b> Lumpur Merah.....	16
<b>Gambar 2.6</b> Produksi alumina di seluruh dunia dari 2010-2021.....	17
<b>Gambar 2.7</b> Kepadatan Energi dan Energi Spesifik Bahan Bakar Logam dibandingkan dengan Bahan Bakar Lain.....	20
<b>Gambar 2.8</b> Ilustrasi Siklus Oksidasi/Reduksi Logam .....	21
<b>Gambar 2.9</b> (a) Sel Galvanik (b) Sel Elektrolisis .....	22
<b>Gambar 2.10</b> Variabel yang Mempengaruhi Laju Reaksi Elektroda.....	23
<b>Gambar 2.11</b> Rangkaian Sistem 3 Elektroda .....	24
<b>Gambar 2.12</b> Cara Pengukuran Potensial Standar .....	25
<b>Gambar 2.13</b> Kemungkinan Potensial Reduksi Reaksi pada Elektrolisis Lumpur Merah .	27
<b>Gambar 2.14</b> Voltammogram dalam larutan $[\text{NBu}_4][\text{PF}_6]\text{CH}_3\text{CN}$ 0,25M pada $v = 100$ mV/s .....	28
<b>Gambar 2.15</b> Dua Konvensi yang Digunakan untuk Melaporkan Data CV .....	28
<b>Gambar 2.16</b> (A-G): Profil konsentrasi (mM) untuk $\text{Fc}^+$ (biru) dan $\text{Fc}$ (hijau) sebagai fungsi jarak dari elektroda di berbagai titik selama voltamogram. (H): Voltammogram reduksi reversibel larutan 1 mM $\text{Fc}^+$ menjadi $\text{Fc}$ , pada <i>scan rate</i> 100 mV s <sup>-1</sup> . (I): Potensial terapan sebagai fungsi waktu untuk percobaan voltametri siklik .....	29
<b>Gambar 2.17</b> Profil Konsentrasi di Dekat Permukaan Katoda.....	39
<b>Gambar 2.18</b> Asumsi Geometri Partikel untuk Pengembangan Model.....	45
<b>Gambar 3.1</b> Rangkaian Alat Penelitian.....	46
<b>Gambar 3.2</b> Rangkaian Alat Penelitian Keseluruhan .....	47
<b>Gambar 3.3</b> <i>Flow Diagram</i> Prosedur Penelitian .....	48
<b>Gambar 4.1</b> Sampel Lumpur Merah dari Tambang Tayan di Kalimantan Barat .....	52



**Gambar 4.2** Difraktogram XRD Lumpur Merah yang Dinalisis Menggunakan *Software*

Match.....	54
<b>Gambar 4.3</b> Difraktogram XRD Lumpur Merah, Hematit, dan Geotit.....	55
<b>Gambar 4.4</b> Mekanisme Skematik Proses Elektrolisis Lumpur Merah.....	57
<b>Gambar 4.5</b> Diagram Pourbaix untuk Fe-H <sub>2</sub> O pada 110°C (Cavaliere, 2019) .....	58
<b>Gambar 4.6</b> Pemilihan Elektroda Referensi Berdasarkan pH larutan .....	60
<b>Gambar 4.7</b> Kurva CV Lumpur Merah dalam 12,5 mol/L NaOH, <i>scan rate</i> =10 mV/s .....	61
<b>Gambar 4.8</b> Kurva CV Lumpur Merah dalam 12,5 mol/L NaOH dan Larutan Blanko pada T= 110°C, <i>scan rate</i> = 10 mV/s.....	62
<b>Gambar 4.9</b> Potensial Katodik Variasi Densitas Arus terhadap Suhu: (a) 30°C;(b) 70°C;(c) 110°C.....	64
<b>Gambar 4.10</b> Pengaruh Densitas Arus terhadap Efisiensi Faradaic .....	65
<b>Gambar 4.11</b> Hubungan Massa Deposit Fe (gr) terhadap Waktu Elektrolisis pada Variasi Densitas Arus (a) 30°C;(b) 70°C;(c) 110°C .....	67
<b>Gambar 4.12</b> Hubungan Massa Deposit Fe (gr) & Efisiensi Arus (%) terhadap Waktu Elektrolisis pada T= 110°C, j= 766 A/m <sup>2</sup> .....	68
<b>Gambar 4.13</b> Potensial Katodik Variasi Suhu pada Densitas Arus 755 A/m <sup>2</sup> .....	70
<b>Gambar 4.14</b> Pengaruh Suhu terhadap Efisiensi Faradaic pada j= 766 A/m <sup>2</sup> .....	71
<b>Gambar 4.15</b> Hubungan Massa Deposit Fe (gr) terhadap Waktu Elektrolisis pada Variasi Suhu.....	72
<b>Gambar 4.16</b> Produk Endapan Besi pada Katoda <i>Stainless Steel</i> .....	75
<b>Gambar 4.17</b> Hasil Analisis SEM Deposit Besi pada Permukaan Elektroda perbesaran (a) 250x (b) 500x (c) 1000x pada j=766 A/m <sup>2</sup> dan T=110°C .....	76
<b>Gambar 4.18</b> Ilustrasi skematik yang sesuai dari antarmuka reaksi.....	78
<b>Gambar 4.19</b> Perbandingan antara Variasi Tegangan pada Percobaan dan Hasil Perhitungan menggunakan Model pada j=766 A/m <sup>2</sup> dan T=110°C .....	79
<b>Gambar 4.20</b> Pengaruh (a) Kedalaman Penetrasi dan (b) Kinetika Elektrokimia Variasi Densitas Arus pada T= 110°C .....	81

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1</b> Penelitian Terkait Pengolahan Lumpur Merah dan Proses Elektrolisis Besi .....	6
<b>Tabel 2.1</b> Mineral Penting dalam Bijih Besi .....	12
<b>Tabel 2.2</b> Spesies Besi dalam Sistem Besi-Air .....	13
<b>Tabel 2.3</b> Komponen Utama Lumpur Merah Tayan .....	18
<b>Tabel 2.4</b> Produk Elektrolisis Logam di Dunia dan Konsumsi Energi.....	42
<b>Tabel 4.1</b> Kandungan Komposisi Utama Lumpur Merah dari Tambang Tayan.....	53
<b>Tabel 4.2</b> Overpotensial Katodik pada Variasi Suhu dan Densitas Arus .....	69
<b>Tabel 4.3</b> Data Perhitungan konsumsi energi terhadap suhu .....	73
<b>Tabel 4.4</b> Kandungan Komposisi Produk Deposit Elektrolisis Lumpur Merah .....	75
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Perhitungan Parameter Kinetika Elektrokimia dan Kedalaman Penetrasi ..	79