

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan	6
1.4. Batasan Masalah	6
1.5. Lokasi Penelitian.....	7
1.6. Luaran Penelitian	7
1.7. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	9
2.1. Tinjauan Pustaka	9
2.2. Landasan Teori	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	68
3.1. Metode Penelitian	68
3.2. Tahapan Penelitian.....	76
3.3. Jadwal Penelitian	82

BAB IV PENGOLAHAN DATA	83
4.1. Data Hasil Percobaan.....	84
4.2. Pengolahan Data Larutan Tertahan.....	146
4.3. Pengolahan Data <i>Recovery</i> Cu.....	158
4.4. Pengolahan Data Pengendali Laju Reaksi	170
4.5. Pengolahan Data Statistika	170
BAB V PEMBAHASAN	172
5.1. Karakteristik Mineralogi Bijih Umpan Lerokis Z-5	172
5.2. Pengaruh Variasi Laju Irigasi	176
5.3. Pengaruh Agglomerasi.....	188
5.4. Pengaruh Penambahan Zat Aditif.....	198
5.5. Rekomendasi Kondisi Operasi.....	218
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	223
6.1. Kesimpulan	223
6.2. Saran	224
DAFTAR PUSTAKA.....	225
LAMPIRAN.....	231

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. 1	Kesampaian Lokasi PT Batutua Tembaga Raya..... 7
Gambar 2. 1	Lokasi deposit bijih di PT BTR (<i>APSAR, 2018b</i>) 17
Gambar 2. 2	Penampang geologi pit Lerokis (<i>APSAR, 2018b</i>) 18
Gambar 2. 3	Skema Sederhana Hidrometalurgi Tembaga (Sole, 2008)..... 21
Gambar 2. 4	Diagram Pourbaix Cu-Fe-O-S (Schlesinger dkk., 2011) 25
Gambar 2. 5	Skema Lapisan Pasivasi Sulfur Elemental (Munoz dkk., 1979). 28
Gambar 2. 6	Diagram Pourbaix NaCl (<i>J. Wang dkk., 2009</i>)..... 31
Gambar 2. 7	Mekanisme ion Cl mengurasi lapisan pasivasi (Wang dkk., 2020) 32
Gambar 2. 8	Diagram Pourbaix MnO ₂ (Rao & Paramguru, 1998)..... 33
Gambar 2. 9	Mekanisme Bioleaching (Crundwell, 2003)..... 36
Gambar 2. 10	Diagram Alir Teknologi Ekstraksi Di PT Batutua Tembaga Raya (Dokumentasi Pribadi) 38
Gambar 2. 11	Crusher Partolang (Dokumentasi Pribadi) 39
Gambar 2. 12	Leach Pad PT BTR (PPLP, KKVLP, GPLP) (PT Batutua Tembaga Raya, 2019) 40
Gambar 2. 13	Solvent Extaction Facility (PT Batutua Tembaga Raya, 2019) .. 41
Gambar 2. 14	<i>Electrowinning Facility</i> (PT Batutua Tembaga Raya, 2019)..... 42
Gambar 2. 15	Skema Proses <i>Heap Leach</i> (<i>Pyper dkk., 2019</i>). 45
Gambar 2. 16	<i>Drum agglomeration</i> (<i>Bouffard, 2005</i>) 47
Gambar 2. 17	Perbandingan larutan saat melewati bijih dengan agglomerasi dan tanpa agglomerasi (Dhawan dkk., 2013)..... 48
Gambar 2. 18	Efek Agglomerasi(Dhawan dkk., 2013)..... 49
Gambar 2. 19	Hubungan ketinggian tumpukan dengan densitas bijih (<i>Miller, 2003</i>) 52
Gambar 2. 20	Perilaku aliran pada tumpukan bijih (<i>Li dkk., 2017</i>) 54
Gambar 2. 21	Skema uji kolom pelindian (Dokumentasi pribadi) 56
Gambar 2. 22	Skema SCM (<i>Levenspiel, 1999</i>)..... 63
Gambar 3. 1	Kerangka penelitian 69
Gambar 3. 2	Diagram alir pengujian tahap 1 (variasi laju irigasi)..... 77
Gambar 3. 3	Diagram alir pengujian tahap 2 (variasi agglomerasi) 78
Gambar 3. 4	Diagram alir pengujian tahap 3 (variasi zat aditif)..... 79
Gambar 4. 1	One-Way ANOVA Variasi Laju Irigasi..... 171
Gambar 4. 2	One-Way Variasi Zat Aditif..... 171
Gambar 5. 1	Mineralogi Bijh Dari Pit Lerokis 172
Gambar 5. 2	Mineral Pembawa Tembaga dari Pit Lerokis..... 173
Gambar 5. 3	Distribusi Kelarutan Logam (Sampel Umpan : Variasi Laju Irigasi) 174
Gambar 5. 4	Distribusi Kelarutan Logam (Sampel Umpan : Variasi Agglomerasi)..... 174
Gambar 5. 5	Distribusi Kelarutan Logam (Sampel Umpan : Variasi Zat Aditif) 175

Gambar 5. 6	Larutan Tertahan Selama Percobaan dengan Variasi Laju Irigasi	176
Gambar 5. 7	Peristiwa <i>Ponding</i> Selama Percobaan (Dokumentasi Pribadi) .	177
Gambar 5. 8	<i>Recovery</i> Cu Hasil Pengujian Variasi Laju Irigasi.....	178
Gambar 5. 9	Plot Diagram Pourbaix Hasil Pengujian Variasi Laju Irigasi ...	179
Gambar 5. 10	Grafik <i>Ferric-Ferrous</i> Ratio (Variasi Laju Irigasi)	181
Gambar 5. 11	<i>Recovery</i> Fe pada variasi Laju Irigasi	182
Gambar 5. 12	<i>Recovery</i> Zn pada variasi Laju Irigasi.....	183
Gambar 5. 13	Distribusi Kelarutan Logam : Sampel Residu Variasi Laju Irigasi 6 L/m ² /h.....	184
Gambar 5. 14	Distribusi Kelarutan Logam : Sampel Residu Variasi Laju Irigasi 8 L/m ² /h.....	185
Gambar 5. 15	Distribusi Kelarutan Logam :Sampel Residu Variasi Laju Irigasi 10L/m ² /h.....	186
Gambar 5. 16	Larutan Tertahan Selama Percobaan pada Variasi Agglomerasi	188
Gambar 5. 17	Pengamatan <i>Slumping</i> pada Percobaan Variasi Laju Agglomerasi	189
Gambar 5. 18	<i>Recovery</i> Cu pada Hasil Pengujian Variasi Agglomerasi	190
Gambar 5. 19	Plot Diagram Pourbaix untuk Hasil Pengujian Variasi Agglomerasi	192
Gambar 5. 20	Grafik rasio ion Fe ³⁺ /Fe ²⁺ pada variasi agglomerasi	193
Gambar 5. 21	<i>Recovery</i> Fe pada variasi agglomerasi	194
Gambar 5. 22	<i>Recovery</i> Zn pada variasi agglomerasi.....	195
Gambar 5. 23	<i>Recovery</i> Cu pada Hasil Pengujian Variasi Zat Aditif.....	199
Gambar 5. 24	Plot Diagram Pourbaix untuk Hasil Pengujian Variasi Zat Aditif	200
Gambar 5. 25	Grafik rasio ion Fe ³⁺ /Fe ²⁺ pada variasi penambahan zat aditif .	202
Gambar 5. 26	<i>Recovery</i> Mn variasi zat aditif.....	204
Gambar 5. 27	<i>Recovery</i> Fe pada variasi zat aditif.....	205
Gambar 5. 28	<i>Recovery</i> Zn pada variasi zat aditif	206
Gambar 5. 29	Distribusi Kelarutan Logam : Sampel Residu Variasi Zat Aditif (<i>baseline</i>).....	213
Gambar 5. 30	Distribusi Kelarutan Logam : Sampel Residu Variasi Zat Aditif Mn 2.000 ppm.....	214
Gambar 5. 31	Distribusi Kelarutan Logam : Sampel Residu Variasi Zat Aditif Mn 3.000 ppm.....	215
Gambar 5. 32	Distribusi Kelarutan Logam : Sampel Residu Variasi Zat Aditif Cl 8.000 ppm.....	216
Gambar 5. 33	Distribusi Kelarutan Logam : Sampel Residu Variasi Zat Aditif Mn 1.892 ppm + Cl 4.000 ppm	217

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1	Penelitian terdahulu..... 9
Tabel 2. 2	Hubungan penelitian terhadap penelitian terdahulu..... 11
Tabel 2. 3	Mineral Ekonomis Pembawa Tembaga (Schlesinger dkk., 2011) 14
Tabel 2. 4	Perbandingan metode pelindian (Schlesinger dkk., 2011)..... 23
Tabel 2. 5	Perbandingan Metode Irigasi(<i>Bouffard, 2005</i>) 53
Tabel 2. 6	Skema <i>Sequential Leach</i> (PT Batutua Tembaga Raya, 2019) 59
Tabel 2. 7	Model Matematika SCM (Levenspiel, 1999)..... 65
Tabel 2. 8	Pemilihan Metode Statistika (<i>Malik, 2018</i>) 67
Tabel 3. 1	Rancangan penelitian secara bertahap 70
Tabel 3. 2	Tabel alat..... 71
Tabel 3. 3	Tabel bahan 74
Tabel 3. 4	Tabel alat karakterisasi..... 75
Tabel 3. 5	Jadwal penelitian..... 82
Tabel 4. 1	Assay logam dasar QEMSCAN 84
Tabel 4. 2	Komposisi mineral sampel wetar untuk CR-31 84
Tabel 4. 3	Persentase tembaga yang terdapat pada mineral pembawa tembaga 84
Tabel 4. 4	Hasil Pengujian Fraksi (Umpan Kolom Laju Irigasi) 85
Tabel 4. 5	Pengujian Unsur (Umpan Kolom Laju Irigasi)..... 85
Tabel 4. 6	Pengujian Kelarutan Tembaga (Umpan Kolom Laju Irigasi) 85
Tabel 4. 7	Pengujian Kelarutan Besi (Umpan Kolom Laju Irigasi)..... 86
Tabel 4. 8	Pengujian Kelarutan Zinc (Umpan Kolom Laju Irigasi)..... 86
Tabel 4. 9	Hasil Pengujian Fraksi (Umpan Kolom Agglomerasi) 87
Tabel 4. 10	Pengujian Unsur (Umpan Kolom Agglomerasi)..... 87
Tabel 4. 11	Pengujian Kelarutan Tembaga (Umpan Kolom Agglomerasi)... 87
Tabel 4. 12	Pengujian Kelarutan Besi (Umpan Kolom Agglomerasi)..... 88
Tabel 4. 13	Pengujian Kelarutan Zinc (Umpan Kolom Agglomerasi) 88
Tabel 4. 14	Hasil Pengujian Fraksi (Umpan Kolom Zat Aditif)..... 89
Tabel 4. 15	Pengujian Unsur (Umpan Kolom Zat Aditif) 89
Tabel 4. 16	Pengujian Kelarutan Tembaga (Umpan Kolom Zat Aditif)..... 89
Tabel 4. 17	Pengujian Kelarutan Besi (Umpan Kolom Zat Aditif) 90
Tabel 4. 18	Pengujian Kelarutan Besi (Umpan Kolom Zat Aditif) 90
Tabel 4. 19	<i>Assay On-flow</i> (Laju Irigasi 6 L/m ² /h) 91
Tabel 4. 20	<i>Assay On-flow</i> (Laju Irigasi 8 L/m ² /h) 92
Tabel 4. 21	<i>Assay On-flow</i> (Laju Irigasi 10 L/m ² /h) 94
Tabel 4. 22	<i>Assay Off-Flow</i> (Laju Irigasi 6 L/m ² /h) 96
Tabel 4. 23	<i>Assay Off-Flow</i> (Laju Irigasi 8 L/m ² /h) 97
Tabel 4. 24	<i>Assay Off-Flow</i> (Laju Irigasi 10 L/m ² /h) 99
Tabel 4. 25	Hasil Pengujian Fraksi (<i>Tail</i> Kolom 6 L/m ² /h)..... 101
Tabel 4. 26	Pengujian Unsur (<i>Tail</i> Kolom 6 L/m ² /h)..... 101
Tabel 4. 27	Pengujian Kelarutan Tembaga (<i>Tail</i> Kolom 6 L/m ² /h)..... 101

Tabel 4. 28	Pengujian Kelarutan Besi (<i>Tail Kolom 6 L/m²/h</i>).....	102
Tabel 4. 29	Pengujian Kelarutan Zinc (<i>Tail Kolom 6 L/m²/h</i>)	102
Tabel 4. 30	Hasil Pengujian Fraksi (<i>Tail Kolom 8 L/m²/h</i>).....	103
Tabel 4. 31	Pengujian Unsur (<i>Tail Kolom 8 L/m²/h</i>).....	103
Tabel 4. 32	Pengujian Kelarutan Tembaga (<i>Tail Kolom 8 L/m²/h</i>).....	103
Tabel 4. 33	Pengujian Kelarutan Besi (<i>Tail Kolom 8 L/m²/h</i>).....	104
Tabel 4. 34	Pengujian Kelarutan Zinc (<i>Tail Kolom 8 L/m²/h</i>)	104
Tabel 4. 35	Hasil Pengujian Fraksi (<i>Tail Kolom 10 L/m²/h</i>).....	105
Tabel 4. 36	Pengujian Unsur (<i>Tail Kolom 10 L/m²/h</i>).....	105
Tabel 4. 37	Pengujian Kelarutan Tembaga (<i>Tail Kolom 10 L/m²/h</i>).....	105
Tabel 4. 38	Pengujian Kelarutan Besi (<i>Tail Kolom 10 L/m²/h</i>).....	106
Tabel 4. 39	Pengujian Kelarutan Zinc (<i>Tail Kolom 10 L/m²/h</i>)	106
Tabel 4. 40	<i>Slumping</i> (Agglomerasi)	107
Tabel 4. 41	<i>Assay On-flow</i> (Agglomerasi)	107
Tabel 4. 42	<i>Assay On-flow</i> (Tanpa Agglomerasi).....	109
Tabel 4. 43	<i>Assay Off-Flow</i> (Agglomerasi)	111
Tabel 4. 44	<i>Assay Off-Flow</i> (Tanpa Agglomerasi)	113
Tabel 4. 45	<i>Assay On-flow</i> (Zat Aditif : <i>Baseline</i>).....	115
Tabel 4. 46	<i>Assay On-flow</i> (Mn 2.000 ppm).....	117
Tabel 4. 47	<i>Assay On-flow</i> (Mn 3.000 ppm).....	119
Tabel 4. 48	<i>Assay On-flow</i> (Cl 8.000 ppm).....	121
Tabel 4. 49	<i>Assay On-flow</i> (Mn 1.892 ppm + Cl 4.000 ppm).....	124
Tabel 4. 50	<i>Assay Off-Flow</i> (Zat aditif : <i>Baseline</i>)	126
Tabel 4. 51	<i>Assay Off-Flow</i> (Mn 2.000 ppm)	127
Tabel 4. 52	<i>Assay Off-Flow</i> (Mn 3.000 ppm)	130
Tabel 4. 53	<i>Assay Off-Flow</i> (Cl 8.000 ppm)	132
Tabel 4. 54	<i>Assay Off-Flow</i> (Mn 1.892 ppm + Cl 4.000 ppm)	134
Tabel 4. 55	Hasil Pengujian Fraksi (<i>Tail Zat aditif : baseline</i>).....	136
Tabel 4. 56	Pengujian Unsur (<i>Tail Zat aditif : baseline</i>).....	136
Tabel 4. 57	Pengujian Kelarutan Tembaga (<i>Tail Zat aditif : baseline</i>).....	136
Tabel 4. 58	Pengujian Kelarutan Besi (<i>Tail Zat aditif : baseline</i>).....	137
Tabel 4. 59	Pengujian Kelarutan Zinc (<i>Tail Zat aditif : baseline</i>)	137
Tabel 4. 60	Hasil Pengujian Fraksi (<i>Tail Mn 2.000 ppm</i>).....	138
Tabel 4. 61	Pengujian Unsur (<i>Tail Mn 2.000 ppm</i>)	138
Tabel 4. 62	Pengujian Kelarutan Tembaga (<i>Tail Mn 2.000 ppm</i>)	138
Tabel 4. 63	Pengujian Kelarutan Besi (<i>Tail Mn 2.000 ppm</i>)	139
Tabel 4. 64	Pengujian Kelarutan Zinc (<i>Tail Mn 2.000 ppm</i>).....	139
Tabel 4. 65	Hasil Pengujian Fraksi (<i>Tail Mn 3.000 ppm</i>).....	140
Tabel 4. 66	Pengujian Unsur (<i>Tail Mn 3.000 ppm</i>)	140
Tabel 4. 67	Pengujian Kelarutan Tembaga (<i>Tail Mn 3.000 ppm</i>)	140
Tabel 4. 68	Pengujian Kelarutan Besi (<i>Tail Mn 3.000 ppm</i>)	141
Tabel 4. 69	Pengujian Kelarutan Zinc (<i>Tail Mn 3.000 ppm</i>).....	141
Tabel 4. 70	Hasil Pengujian Fraksi (<i>Tail Cl 8.000 ppm</i>)	142
Tabel 4. 71	Pengujian Unsur (<i>Tail Cl 8.000 ppm</i>).....	142
Tabel 4. 72	Pengujian Kelarutan Tembaga (<i>Tail Cl 8.000 ppm</i>)	142
Tabel 4. 73	Pengujian Kelarutan Besi (<i>Tail Cl 8.000 ppm</i>).....	143
Tabel 4. 74	Pengujian Kelarutan Zinc (<i>Tail Cl 8.000 ppm</i>).....	143
Tabel 4. 75	Hasil Pengujian Fraksi (<i>Tail Mn 1.892 ppm + Cl 4.000 ppm</i>) .	144

Tabel 4. 76	Pengujian Unsur (<i>Tail</i> Mn 1.892 ppm + Cl 4.000 ppm).....	144
Tabel 4. 77	Pengujian Kelarutan Tembaga (<i>Tail</i> Mn 1.892 ppm + Cl 4.000 ppm)	144
Tabel 4. 78	Pengujian Kelarutan Besi (<i>Tail</i> Mn 1.892 ppm + Cl 4.000 ppm)	145
Tabel 4. 79	Pengujian Kelarutan Zinc <i>Tail</i> (<i>Tail</i> Mn 1.892 ppm + Cl 4.000 ppm)	145
Tabel 4. 80	Larutan Tertahan Variasi Laju Irigasi	147
Tabel 4. 81	Larutan Tertahan (Variasi Agglomerasi)	149
Tabel 4. 82	Larutan Tertahan Variasi Zat Aditif (<i>Baseline</i> dan Mn).....	151
Tabel 4. 83	Larutan Tertahan Variasi Zat Aditif (Mn dan Cl).....	155
Tabel 4. 84	<i>Recovery</i> Cu (6 L/m ² /h)	158
Tabel 4. 85	<i>Recovery</i> Cu (8 L/m ² /h)	159
Tabel 4. 86	<i>Recovery</i> Cu (10 L/m ² /h).....	160
Tabel 4. 87	<i>Recovery</i> Cu (Agglomerasi).....	161
Tabel 4. 88	<i>Recovery</i> Cu (Tanpa Agglomerasi).....	162
Tabel 4. 89	<i>Recovery</i> Cu (Zat Aditif : <i>Baseline</i>).....	164
Tabel 4. 90	<i>Recovery</i> Cu (Mn 2.000 ppm).....	165
Tabel 4. 91	<i>Recovery</i> Cu (Mn 3.000 ppm).....	166
Tabel 4. 92	<i>Recovery</i> Cu (Cl 8.000 ppm).....	167
Tabel 4. 93	<i>Recovery</i> Cu (Mn 1.892 ppm + Cl 4.000 ppm).....	169
Tabel 4. 94	Pengolahan Data Kinetika Pengendali Laju Reaksi.....	170
Tabel 5. 1	Rangkuman perbandingan hasil pengamatan variasi laju irigasi	188
Tabel 5. 2	Rangkuman perbandingan hasil pengamatan variasi agglomerasi	198
Tabel 5. 3	Rangkuman perbandingan hasil pengamatan variasi zat aditif.	218

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

LAMPIRAN A	INSTRUKSI KERJA <i>MONITORING</i> HARIAN <i>COLUMN TEST</i>	
		232
LAMPIRAN B	MSDS	237
LAMPIRAN C	DOKUMENTASI	239

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN		Halaman
VMS	<i>Volcanogenic Massive Sulphide</i>	2
BTR	Batutua Tembaga Raya	1
BKP	Batutua Kharisma Permai	1
PLS	<i>Pregnant Leach Solution</i>	2
AMD	<i>Acid Mine Drainage</i>	18
SX	<i>Solvent Extraction</i>	22
EW	<i>Electrowinning</i>	22
NP	<i>Neutralization Plant</i>	22
3 KT	3 Kilo Tonne	22
25 KT	25 Kilo Tonne	22
LPO	<i>Leach Pad Operation</i>	22
ILS	<i>Intermediete Leach Solution</i>	25
KKVLP	<i>Kalikuning Valley Leach Pad</i>	25
PPLP	<i>Partolang Pile Leach Pad</i>	27
GPLP	<i>Gold Pit Leach Pad</i>	31
HDPE	<i>High-Density Polyethylene</i>	35
PVC	<i>Polyvinyl Chloride</i>	35
SHE	<i>Standard Hydrogen Electrode</i>	38
AAS	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i>	40
pH	<i>Potential of Hydrogen</i>	41