UNIVERSITAS GADJAH MADA
Karakterisasi Mineralogi Emas dan Geometalurgi dengan Metode Ekstraksi Carbon in Leach di Pit Toka
Stage 5, Toka Tindung Project, Minahasa Utara, Sulawesi Utara
NI'MATUL AZIZAH R, Dr.rer.nat. Ir. I Wayan Warmada, IPM.; Himawan Tri Bayu M.P., S.T., M.Eng., D.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ii
HALAMAN PENGESAHAN iii
LEMBAR PERNYATAAN iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL viii
DAFTAR GAMBAR x
SARI xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
I.1. Latar Belakang 1
I.2. Rumusan Masalah 3
I.3. Tujuan Penelitian 4
I.4. Ruang Lingkup Penelitian 4
I.4.1. Ruang Lingkup Wilayah 4
I.4.2. Ruang Lingkup Pembahasan 5
I.5. Batasan Penelitian 6
I.6. Penelitian Terdahulu 7
I.7. Keaslian Penelitian 9
BAB II GEOLOGI REGIONAL 10
II.1. Tektonik Regional 10
II.2. Stratigrafi Regional 11
II.3. Struktur Geologi Regional 17
BAB III DASAR TEORI 18
III.1. Endapan Epitermal 18
III.1.1. Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah 21
III.2. Karakteristik Bijih dan Mineralogi Emas 26
III.3. Geometalurgi 29
III.3.1. Tahapan Geometalurgi 30
III.3.2. Proses Pengolahan Bijih Emas Metode *Carbon in Leach* (CIL) 34
III.4. Pengaruh Karakteristik Mineralogi Emas terhadap *Recovery* 38
III.5. Hipotesis 44
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN 46

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Karakterisasi Mineralogi Emas dan Geometalurgi dengan Metode Ekstraksi Carbon in Leach di Pit Toka
Stage 5, Toka Tindung Project, Minahasa Utara, Sulawesi Utara
NI'MATUL AZIZAH R, Dr.rer.nat. Ir. I Wayan Warmada, IPM.; Himawan Tri Bayu M.P., S.T., M.Eng., D.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

IV.1. Objek Penelitian....46
IV.2. Alat dan Bahan Penelitian....46
IV.2.1. Alat Penelitian 46
IV.2.2. Bahan Penelitian 47
IV.3. Tahapan Penelitian....48
IV.4. Metode Penelitian 50
BAB V PENYAJIAN DATA 63
V.1. Geologi....63
V.1.1. Litologi 65
V.1.2. Struktur Geologi 70
V.2. Alterasi Hidrotermal 72
V.2.1. Alterasi Silisifikasi 75
V.2.2. Alterasi Argilik Lanjut.... 77
V.2.3. Alterasi Argilik Intermediet.... 78
V.3. Mineralisasi dan Mineralogi Bijih 79
V.4. Kadar dan *recovery* Emas 82
BAB VI PEMBAHASAN.... 86
VI.1. Tekstur Bijih Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah 86
VI.2. Mineralogi Emas pada Daerah Penelitian....88
VI.3. Nilai *recovery* Emas pada Daerah Penelitian 90
VI.4. Pengaruh Tekstur Bijih dan Mineralogi Emas Terhadap Nilai *Recovery*....93
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN 100
VII.1. Kesimpulan 100
VII.2. Saran 101
DAFTAR PUSTAKA 103
LAMPIRAN 1 PETA GEOLOGI DAN ALTERASI HIDROTERMAL 106
LAMPIRAN 2 ANALISIS PETROGRAFI 108
LAMPIRAN 3 ANALISIS MIKROSKOPI BIJIH 132
LAMPIRAN 4 ANALISIS *X-RAY DIFFRACTION* (XRD).... 144
LAMPIRAN 5 ANALYSIS SPECTRAL DEVICE (ASD).... 150
LAMPIRAN 6 ANALISIS EKSTRAKSI EMAS METODE *CARBON IN LEACH* (CIL) PENGUJIAN BOTTLE ROLL TEST 152

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Karakterisasi Mineralogi Emas dan Geometalurgi dengan Metode Ekstraksi Carbon in Leach di Pit Toka
Stage 5, Toka Tindung Project, Minahasa Utara, Sulawesi Utara
NI'MATUL AZIZAH R, Dr.rer.nat. Ir. I Wayan Warmada, IPM.; Himawan Tri Bayu M.P., S.T., M.Eng., D.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Penelitian yang telah dilakukan di lokasi penelitian yaitu Pit Toka, Toka Tindung *Project*, serta lengan utara Sulawesi dan relevansinya dengan penelitian ini 7

Tabel 3.1. Karakteristik endapan epitermal sulfidasi rendah (Hedenquist *et al.*, 2000) 20

Tabel 3.2. Tabel asosiasi dan kelimpahan mineral bijih dan mineral pengotor (*gangue*) pada endapan epitermal sulfidasi rendah. (White *and* Hedenquist, 1995; Hedenquist *et al.*, 1996). 26

Tabel 3.3. Pengujian yang dilakukan dalam analisis geometalurgi, dimulai dari tahapan kominusi (grinding) hingga liberasi emas dengan beberapa metode (Lishcuk, 2016). 32

Tabel 3.4. Perbandingan nilai *recovery* pada bijih Pit Toka ketika *leaching* dengan penambahan karbon dan tanpa karbon. Hasil tersebut menunjukkan nilai *recovery* yang meningkat dengan penambahan karbon (data PT MSM). 36

Tabel 3.5. Klasifikasi tingkat *refractory* bijih emas, berdasarkan persen nilai *recovery* yang didapatkan dari suatu pemrosesan (La Brooy *et al.*, 1994)..... 38

Tabel 3.6. Pengaruh kehadiran mineral pirit pada proses *leaching* emas menunjukkan bahwa pirit berpengaruh menurunkan tingkat reaksi pelarutan emas pada kadar 16 ppm. Kondisi eksperimen yaitu pada pH 10.5, konsentrasi oksigen 8.3 ppm, 500 rpm, kadar NaCN awal 0.5 g/L, *volume cell* 500 ml, suhu 24.1°C (Aghamirian, 1997).. 41

Tabel 4.1. Peralatan yang digunakan dalam penelitian Karakterisasi Mineralogi Emas dan Geometalurgi dengan Metode Ekstraksi *Carbon in Leach* Pit Toka *Stage* 5, Toka Tindung *Project*, Minahasa Utara, Sulawesi Utara. 47

Tabel 4.2. Peralatan yang digunakan dalam penelitian Karakterisasi Mineralogi Emas dan Geometalurgi dengan Metode Ekstraksi *Carbon in Leach* Pit Toka *Stage* 5, Toka Tindung *Project*, Minahasa Utara, Sulawesi Utara. 47

Tabel 4.3. Tabel jadwal penelitian Karakterisasi Mineralogi Emas dan Geometalurgi dengan Metode Ekstraksi *Carbon in Leach* Pit Toka *Stage* 5, Toka Tindung *Project*, Minahasa Utara. 53

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Karakterisasi Mineralogi Emas dan Geometalurgi dengan Metode Ekstraksi Carbon in Leach di Pit Toka
Stage 5, Toka Tindung Project, Minahasa Utara, Sulawesi Utara
NI'MATUL AZIZAH R, Dr.rer.nat. Ir. I Wayan Warmada, IPM.; Himawan Tri Bayu M.P., S.T., M.Eng., D.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.1. Rangkuman pengamatan petrografi untuk mengetahui litologi dan alterasi hidrotermal Pit Toka *Stage* 5... 66

Tabel 5.2. Rangkuman identifikasi mineral menggunakan analisis XRD pada 4 sampel di Pit Toka *Stage* 5, untuk mengetahui asosiasi mineral alterasi hidrotermal..... 73

Tabel 5.3. Rangkuman analisis ASD untuk mengidentifikasi asosiasi mineral pada *vein* dan *wallrock*..... 73

Tabel 5.4. Rangkuman tekstur urat dan mineral bijih yang terdapat pada Pit Toka *Stage* 5.. 81

Tabel 5.5. Rangkuman hasil pengukuran kadar emas menggunakan metode *Absorbtion Spectroscopy* (AAS) pada sampel sebelum mengalami proses ekstraksi (*head grade*) dan proses ekstraksi emas metode *Carbon in Leach* (CIL), serta perhitungan *recovery*..... 84

Tabel 6.1. Rangkuman jenis mineralogi bijih emas yang terdapat pada daerah penelitian berdasarkan La Brooy *et al.*, (1994)..... 91

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Karakterisasi Mineralogi Emas dan Geometalurgi dengan Metode Ekstraksi Carbon in Leach di Pit Toka
Stage 5, Toka Tindung Project, Minahasa Utara, Sulawesi Utara
NI'MATUL AZIZAH R, Dr.rer.nat. Ir. I Wayan Warmada, IPM.; Himawan Tri Bayu M.P., S.T., M.Eng., D.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Peta lokasi daerah penelitian yaitu Toka Tindung, Minahasa Utara, Sulawesi Utara (Moyle *et al.*, 1997) 5

Gambar 2.1. Peta pembagian zona litologi dan tektonik Pulau Sulawesi menunjukkan lengan utara Sulawesi terbentuk oleh zona vulkanik (Modifikasi Hall dan Wilson, 2000 dalam Watkinson, 2011). Kotak biru menunjukkan lokasi penelitian.. 12

Gambar 2.2. Peta geologi regional lembar Manado yang menunjukkan daerah penelitian tersusun oleh batuan vulkanik Kuarter. Kotak merah menunjukkan lokasi penelitian (Effendi dan Bawono, 1997). 15

Gambar 3.1. Stabilitas mineral alterasi yang dapat terbentuk pada kondisi temperatur dan pH tertentu di lingkungan epitermal (Hedenquist *et al.*, 1996). 22

Gambar 3.2. Model penampang alterasi endapan epitermal sulfidasi rendah menunjukkan variasi berdasarkan kedalaman, meliputi zonasi alterasi penciri, persebaran sinter, dan lapisan tudung alterasi argilik lanjut (AA), serta silisifikasi pada muka air tanah (Buchanan, 1981; Sillitoe 1993a dalam Hedenquist *et al.*, 2000 23

Gambar 3.3. Klasifikasi mineral bijih pembawa emas dan hubungannya dengan teknik pemrosesan mineral. Nomor 1 hingga 6 menunjukkan mineral bijih yang dapat diproses metode *free milling* dan nomor 7 hingga 12 merupakan mineral bijih tipe refraktori. 27

Gambar 3.4. Klasifikasi bentuk mineral pembawa emas terbagi menjadi tiga yaitu *visible gold* yang dapat teramati dengan mikroskop, serta *invisble gold* dan *adsorbed gold* yang hanya dapat diidentifikasi secara geokimia. Mineral yang tercetak tebal menunjukkan mineral paling umum ditemui (Zhou *and* Gu, 2016). 29

Gambar 3.5. Hubungan antara berbagai disiplin ilmu yaitu geologi, geokimia, mineralogi, pertambangan, geoteknik, dan metalurgi yang kemudian bergabung membentuk disiplin ilmu geometalurgi (Zhou *and* Gu, 2016). 30

Gambar 3.6. Hubungan antara geologi dan pemrosesan dengan pendekatan geometalurgi. Terdapat tiga model prediksi yaitu tradisional, mineralogi, dan proxy (Lishcuk, 2016). 33

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Karakterisasi Mineralogi Emas dan Geometalurgi dengan Metode Ekstraksi Carbon in Leach di Pit Toka
Stage 5, Toka Tindung Project, Minahasa Utara, Sulawesi Utara
NI'MATUL AZIZAH R, Dr.rer.nat. Ir. I Wayan Warmada, IPM.; Himawan Tri Bayu M.P., S.T., M.Eng., D.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 3.7. Diagram Eh-pH sistem CN-H2O pada temperatur 25°C, menunjukkan sianida (CN) berbentuk gas HCN pada pH kurang dari 9.3 dan berbentuk ion CN- pada pH lebih dari 9.3 (Marsden *and* House, 2006). 36

Gambar 3.8. Skema aliran dari *slurry* dan partikel karbon pada suatu rangkaian carbon in leach (CIL) (Wadnerkar *et al.*, 2015). 37

Gambar 3.9. Efek mineral pirit, pyrrhotit, dan markasit terhadap tingkat *leaching* emas pada proses sianidasi selama 3 jam. Sianida yang digunakan sebesar 10 mmol/L dan mineral sulfida 1 g/L (Dai *and* Jeffrey ,2006).. 42

Gambar 3.10. Efek mineral sfalerit terhadap pelarutan emas pada konesntrasi yang berbeda, pada kondisi pH 10.5, 500 rpm, konsentrasi NaCN awal 0.5 g/L, konsentrasi O_2 8 ppm, *volume cell* 500 ml, dan temperatur 25.3 ^oC (Aghamirian, 1997). 43

Gambar 3.11. Perbandingan pengaruh mineral sulfida terhadap tingkat ekstraksi emas pada proses *leaching*. Eksperimen dilakukan pada pH 11.5, O_2 8 ppm, 500 ppm NaCN dan 25 g/t Au (Dechênes *et al.*, 2002)..... 44

Gambar 4.1. Diagram alir tahapan penelitian karakterisasi bijih emas dan geometalurgi di endapan epitermal sulfidasi rendah Pit Toka *Stage 5*, Toka Tindung *Project*, Minahasa Utara 52

Gambar 4.2. Alat yang digunakan untuk analisis *spectral* (ASD) pada identifikasi mineral, yaitu Terraspec Halo..... 55

Gambar 4.3. Bagan proses tes metalurgi metode *Carbon in Leach* dengan pengujian *bottle roll/toll treatment* yang dilakukan di laboratorium metalurgi PT. MSM 62

Gambar 5.1. Peta lokasi persebaran sampel pada Pit Toka *Stage* 5 menunjukkan lokasi pengambilan sampel untuk analisis laboratorium yang meliputi petrografi, mikroskopi bijih, XRD, AAS, analisis CIL 64

Gambar 5.2. Peta geologi dan alterasi hidrotermal Pit Toka *Stage* 5 menunjukkan litologi daerah penelitian dominan tersusun oleh batuan vulkanik, dan alterasi hidrotemal tersusun oleh alterasi silisifikasi. 67

Gambar 5.3. Kenampakan megaskopis litologi *lapilli tuff* terdapat fragmen *lapilli* serta arang (A). Kenampakan mikroskopis *lapilli tuff* menunjukkan fragmen penyusun berupa *lapilli*, *vitric tuff* (vit. *tuff*), dan plagioklas. Fragmen *lapilli* telah mengalami oksidasi (B)..... 68

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Karakterisasi Mineralogi Emas dan Geometalurgi dengan Metode Ekstraksi Carbon in Leach di Pit Toka
Stage 5, Toka Tindung Project, Minahasa Utara, Sulawesi Utara
NI'MATUL AZIZAH R, Dr.rer.nat. Ir. I Wayan Warmada, IPM.; Himawan Tri Bayu M.P., S.T., M.Eng., D.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.4. Satuan litologi *tuff* memiliki dua variasi yaitu *tuff* dengan ukuran butir seragam (A) kenampakan megaskopis, (B) kenampakan mikroskopis. Variasi kedua berupa *lithic tuff* dengan terdapat fragmen berupa *crystal tuff* (*cry. tuff*) (C) kenampakan megaskopis dan (D) kenampakan mikroskopis 69

Gambar 5.5. Satuan breksi sesar dari kenampakan lapangan (A) dan sampel setangan (B) menunjukkan bahwa tekstur batuan asal sudah tidak dapat teramati, serta terubah menjadi mineral lempung dan teroksidasi**.**..... 70

Gambar 5.6. Struktur geologi yang terdapat pada Pit Toka *Stage* 5 yaitu berupa sesar (zona graben dibatasi oleh garis biru) urat. Garis merah merupakan urat kuarsa yang terbentuk 71

Gambar 5.7. Litologi tuff yang mengalami breksiasi akibat sesar yang menunjukkan arah *strike/dip* breksi sesar tersebut yaitu N 319°E/86 yang ditunjukkan dengan garis biru..... 72

Gambar 5.8. Struktur geologi yang ditemukan di Pit Toka *Stage* 5 berupa kekar gerus (garis biru) yang memotong urat kuarsa (garis merah). Kamera menghadap arah timur..... 72

Gambar 5.9. Zona alterasi hidrotermal Pit Toka berdasarkan model Hedenquist *et al.*, (2000). Karakteristik Pit Toka menunjukkan lokasi penelitian tersebut terbentuk di dekat permukaan (kotak biru)..... 75

Gambar 5.10. Litologi *lapilli tuff* mengalami alterasi hidrotermal silisifikasi menunjukkan kelimpahan kuarsa yang tinggi (A) kenampakan megaskopis (B) kenampakan mikroskopis. 76

Gambar 5.11. Kenampakan sampel megaskopis (A) dan mikroskopis (B) yang mengalami alterasi silisifikasi dengan terdapat mineral berwarna hijau yang diidentifikasi sebagai celadonit.. 76

Gambar 5.12. Keterdapatan mineral kuarsa pada alterasi silisifikasi dengan terdapat mineral sekunder lain yaitu ilit, kaolinit dan celadonit. 77

Gambar 5.13. Litologi yang telah mengalami alterasi hidrotermal sepenuhnya, menunjukkan mineral penyusun yang telah terubah menjadi mineral lempung kaolinit *well crystaline* berwarna putih. 77

Gambar 5.14. Alterasi argilik lanjut yang didominasi oleh mineral lempung kaolinit dengan mineral tambahan yaitu smektit dan kuarsa berdasarkan identifikasi dari analisis XRD..... 78

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Karakterisasi Mineralogi Emas dan Geometalurgi dengan Metode Ekstraksi Carbon in Leach di Pit Toka
Stage 5, Toka Tindung Project, Minahasa Utara, Sulawesi Utara
NI'MATUL AZIZAH R, Dr.rer.nat. Ir. I Wayan Warmada, IPM.; Himawan Tri Bayu M.P., S.T., M.Eng., D.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2021 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.15. Alterasi argilik intermediet yang dicirikan dengan mineral *mix* ilit/smektit, ilit, serta terdapat mineral tambahan yaitu smektit, kaolinit, kuarsa, dan pirit..... 79

Gambar 5.16. Kenampakan lapangan mineralisasi endapan epitermal sulfidasi rendah pada daerah penelitian berupa urat kuarsa dengan struktur *sheeted vein* (garis merah)..... 80

Gambar 5.17. Tekstur urat pada Pit Toka *Stage* 5, (A) Urat kuarsa dengan tekstur *colloform* serta tekstur *cockade.* Terdapat oksida besi berwarna kuning-hitam di permukaan. (B) Urat tekstur *colloform* dan *drusy cavity* dengan terdapat oksida Mangan dipermukaan, (C) urat dengan tekstur *colloform-crustiform, comb*, dan *drusy cavities*, dan (D) urat kuarsa dengan tekstur *crustiform*..... 80

Gambar 5.18. Mineral bijih yang terbentuk pada urat kuarsa Pit Toka *Stage* 5 yaitu (A) pirit (Py) dan sfalerit (Sph), (B) hematit (Hem) dengan inklusi pirit (Py). 81

Gambar 6.1. Grafik perbandingan antara nilai *calculated grade* emas dengan *recovery* (A) pada urat, menunjukkan kecenderungan pola semakin besar nilai ca*lculated grade* maka semakin besar nilai *recovery* (B) pada *wallrock* hubungan antara nilai *calculated grade* dan *recovery* yang menunjukkan *grade* emas yang rendah dan cenderung berbanding lurus namun terdapat anomali... 92

Gambar 6.2. Grafik perbandingan antara nilai sulfur dengan *recovery* emas (A) pada urat, (B) pada *wallrock* yang menunjukkan pola kecenderungan semakin tinggi nilai sulfur maka semakin rendah nilai *recovery*.. 94

Gambar 6.3. Grafik perbandingan antara tipe alterasi hidrotermal dengan nilai *recovery* pada setiap sampel yang dianalisis. Sampel diurutkan berdasarkan *section* FSB – FSB' dan A – A' (lampiran 6.6).. 98