

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR SINGKATAN (ABREVIASI MINERAL)	xvii
INTISARI	xviii
ABSTRACT	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah.....	4
I.3. Batasan Penelitian.....	4
I.4. Tujuan Penelitian	4
I.5. Lokasi Daerah Penelitian	5
I.6. Manfaat Penelitian	6
I.7. Penelitian Terdahulu	7
I.8. Keaslian Penelitian	8
BAB II GEOLOGI REGIONAL	13
II.1. Fisiografi Regional	13
II.2. Struktur Regional dan Tataan Tektonik	15
II.3. Stratigrafi Regional	18
II.4. Mineralisasi Regional.....	23

BAB III DASAR TEORI DAN HIPOTESIS	27
III.1. Alterasi dan Mineralisasi pada Sistem Epitermal Sulfidasi Tinggi.....	27
III.2. Hubungan Batuan Samping dengan Mineralisasi	32
III.3. Alterasi dalam Sistem Kubah (<i>Dome</i>).....	35
III.4. Karakteristik Fluida Hidrotermal	37
III.5. Hipotesis.....	40
BAB IV METODE PENELITIAN.....	41
IV.1. Alat	41
IV.2. Bahan.....	42
IV.3. Tahapan Penelitian.....	42
IV.4. Jadwal Penelitian	49
BAB V GEOLOGI DAERAH PENELITIAN	51
V.1. Geomorfologi Daerah Penelitian	51
V.2. Stratigrafi Daerah Penelitian.....	59
V.3. Struktur Geologi Daerah Penelitian.....	67
BAB VI ALTERASI HIDROTERMAL DAN MINERALISASI BIJIH	76
VI.1. Alterasi Hidrotermal.....	76
VI.2. Mineralisasi Bijih.....	85
VI.3. Tekstur Mineral bijih.....	92
VI.4. Analisis Sebaran Unsur	94
VI.5. Petrografi dan mikrotermometri inklusi fluida	102
BAB VII PEMBAHASAN	106
VII.1. Kondisi dan Kontrol Geologi Terhadap Alterasi dan Mineralisasi.....	106
VII.2. Karakteristik Fluida Hidrotermal.....	112
VII.3. Tahapan dan Paragenesis Alterasi dan Mineralisasi	117

VII.4. Karakteristik dan Model Endapan	126
BAB VIII PENUTUP	136
VIII.1. Kesimpulan.....	136
VIII.2. Saran.....	138
DAFTAR PUSTAKA.....	139
LAMPIRAN.....	143
LAMPIRAN I. PETA.....	144
LAMPIRAN II. ANALISIS PETROGRAFI.....	147
LAMPIRAN III. ANALISIS MINERAGRAFI	170
LAMPIRAN IV. ANALISIS ASD	185
LAMPIRAN V. ANALISIS XRF	194
LAMPIRAN VI. ANALISIS INKLUSI FLUIDA	197

DAFTAR GAMBAR

Gambar I. 1. Jalur metalogeni Indonesia Busur Sunda Bagian Barat (van Leeuwen, 2018)	1
Gambar I. 2. Ringkasan data geokronologi untuk distrik Martabe (Turner, 2002; Bellon dkk., 2004; dalam Sutopo, 2013). Data alunit hipogen menunjukkan pembentukan sebelum dan sesudah pembentukan kubah di Martabe	3
Gambar I. 3. Lokasi Martabe dan posisi daerah penelitian (sumber: Google Earth dan DEMNAS)	6
Gambar I. 4. Lokasi Martabe dan posisi daerah penelitian sebelumnya (sumber: Google Earth dan DEMNAS)	8
Gambar II. 1. Peta fisiografi regional Pulau Sumatra (dimodifikasi dari van Bermellen, 1949, dalam Damman, 2014) dan lokasi daerah penelitian	15
Gambar II. 2. Peta struktur Pulau Sumatra (Aspend dkk., 1982; dalam Barber, dkk., 2005) dan posisi daerah penelitian.....	16
Gambar II. 3. Pemodelan sesar geser mendatar kanan Pulau Sumatra (Davies,2002).....	17
Gambar II. 4. Letak Martabe pada lingkaran kuning dan posisinya terhadap Sesar Besar Sumatra pada Segmen Toru yang dibandingkan dengan Kinematika Riedl (Belford, 2017)	18
Gambar II. 5. Peta Geologi Regional Bagian Barat Lembar Padangsidempuan dan Sibolga (dimodifikasi dari Aspend dkk., 2007)	21
Gambar II. 6. Peta Geologi Tambang Emas Martabe dan Stratigrafi Martabe (Sutopo, 2013). Kotak merah menunjukkan lokasi daerah penelitian	22
Gambar II. 7. Korelasi satuan stratigrafi Martabe oleh Sutopo, 2013 (Kiri) dan Aspend J.A. dkk., 2007 (Kanan). Kotak merah menunjukkan stratigrafi wilayah penelitian	23
Gambar II. 8. Jalur metalogeni Indonesia (Van Leuween, 2018).....	25

Gambar III. 1.	Model tipe endapan mineral hidrotermal magmatik yang terbentuk di sekitar Kepulauan Pasifik Baratdaya (Corbett dan Leach, 1998).	27
Gambar III. 2.	Dua fase aktivitas alterasi dan mineralisasi pada endapan epitermal sulfidasi tinggi, yaitu fase kaya volatil dan fase kaya cairan hipersalin (Arribas, 1995).	29
Gambar III. 3.	Model zonasi alterasi pada sistem epitermal sulfidasi tinggi (Stoffregren, 1977, dalam Arribas, 1995).	30
Gambar III. 4.	Zonasi alterasi hidrotermal berserta himpunan mineral hasil ubahan berdasarkan temperatur dan pH pembentukannya (Corbett dan Leach, 1998).	30
Gambar III. 5.	Zonasi mineral bijih pada endapan epitermal sulfidasi tinggi (Corbett dan Leach, 1997).	31
Gambar III. 6.	Model breksi magmatik hidrotermal (A), breksi freatomaagmatik (B), dan breksi freatik (C) (Corbett dan Leach, 1998).	34
Gambar III. 7.	Perkembangan alterasi hipogen di sekitar kompleks dome (Turner, 1997).	36
Gambar III. 8.	Skema tipe inklusi fluida. P : primer, S: sekunder. PS: pseudosekunder (Sheppard dkk., 1985).	38
Gambar III. 9.	Sketsa inklusi fluida yang utama (Nash dan Theodore, 1971).	39
Gambar IV. 1.	Diagram alir penelitian	43
Gambar V. 1.	Klasifikasi bentuk muka bumi daerah vulkanik (Brahmantyo, 2006)	53
Gambar V. 2.	Geomorfologi regional daerah Martabe dan sekitarnya beserta fitur half-circular dan kelurusan struktur regional	54
Gambar V. 3.	Peta geomorfologi dan sayatan geomorfologi daerah penelitian dan sekitarnya	55
Gambar V. 4.	Kenampakan lereng dengan orientasi NE-SW (merah) dan N-S (kuning) (A), kenampakan bentang alam terubahkan (B), kenampakan lembah “V” pada sungai (C), kenampakan lembah “U” pada sungai (D) pada daerah penelitian	58
Gambar V. 5.	Peta dan penampang geologi daerah penelitian	60

- Gambar V. 6.** Kenampakan singkapan satuan andesit hornblenda pada lapangan (A), sampel setangan andesit hornblenda teralterasi lemah pada zona propilitik (B), kenampakan lapangan veinlet lempung pada andesit hornblenda teralterasi argilik (C), kenampakan veinlet kuarsa masif yang memotong satuan andesit hornblenda teralterasi propilitik (D)61
- Gambar V. 7.** Kenampakan petrografi nikol bersilang dari satuan andesit hornblenda pada zona propilitik, terlihat relict mineral primer hornblenda terubahkan oleh klorit dan kalsit (garis kuning putus-putus), serta mineral plagioklas dan massa dasar terubahkan mineral lempung, seperti smektit-illit62
- Gambar V. 8.** Kenampakan singkapan breksi freatomagmatik matriks ukuran pasir halus teralterasi silika vuggy (A) argilik lanjut (B), kenampakan sampel setangan breksi dengan teksur chaotic, matriks supported yang dipotong oleh veinlet kuarsa sulfida (D), kenampakan tekstur wispy dan raged pada fragmen breksi (E), kenampakan perubahan transisional tekstur matriks supported, chaotic dan elast supported, jigsaw – rotated (F)64
- Gambar V. 9.** Kenampakan petrografi nikol sejajar (A dan C), nikol bersilang (B dan D) breksi matriks ukuran pasir halus teralterasi silika vuggy. Garis merah putus-putus menandakan keberadaan fragmen/ mineral awal subhedral – euhedral yang tergantikan mineral sekunder seperti kuarsa.65
- Gambar V. 10.** Kenampakan singkapan breksi freatomagmatik matriks ukuran lempung – lanau, dengan tekstur matrix supported, chaotic, dengan fragmen sub rounded (A dan B), tekstur fragmen supported, rotated – jigsaw, dengan fragmen yang lebih angular kenampakan setangan sampel breksi freatomagmatik ukuran matriks lempung – lanau (D), kenampakan petrografi sampel (E dan F).66
- Gambar V. 11.** Peta struktur, analisis stereonet, rosenet kekar pada daerah penelitian.....68

- Gambar V. 12.** Kenampakan kekar-kekar gerus terisi limonit pada andesit hornblenda teralterasi argilik (A), kenampakan kekar gerus yang memotong andesit hornblenda, teramati silisikasi semakin kaya pada zona kekar ini (B), analisis akumulasi kekar gerus pada daerah penelitian (C).71
- Gambar V. 13.** Kenampakan fault gauge pada STA 126 pada sesar geser menganan N10E/60/40 SE (A), kenampakan gores garis pada bidang sesar (B), analisis stereonet yang menunjukkan arah gaya S1 NE-SW (C), dan kontak alterasi andesit hornblenda akibat sesar STA 124.....72
- Gambar V. 14.** Kenampakan sesar geser mengiri N65E/60/40NE pada STA 129 pada satuan breksi freatomagmatik teralterasi silika *vuggy* (A), kenampakan striasi pada bidang sesar (B), analisis stereonet yang menunjukkan arah gaya S1 NE-SW (C)73
- Gambar V. 15.** Kenampakan breksi sesar pada andesit hornblenda teralterasi argilik lanjut dengan orientasi N50E/80 (A), kenampakan sesar turun dengan orientasi N48E/76 yang memotong andesit hornblenda teralterasi silika *vuggy*, teramati adanya dislokasi pada kekar tiang (B).....74
- Gambar V. 16.** Kenampakan sesar turun dengan keterdapatan breksi sesar dengan orientasi N130E/60/70SW (A), kenampakan striasi pada bidang sesar (B), dan analisis stereografis yang menunjukkan arah gaya utama NW – SE (C)75
- Gambar VI. 1.** Peta dan penampang geologi dan alterasi daerah penelitian77
- Gambar VI. 2.** Kenampakan lapangan andesit hornblenda teralterasi propilitik (A), kenampakan setangan sampel, teramati kehadiran klorit dan clay pada beberapa bagian (B). Kenampakan petrografi XPL, teramati fenokris hornblenda dan plagioklas yang tergantikan oleh klorit, smektit, dan kalsit (C), dan grafik ASD dari sampel terkait.....78
- Gambar VI. 3.** Kenampakan lapangan breksi freatomagmatik pada zona silika *vuggy* (A), kenampakan setangan sampel, teramati urat kuarsa, urat oksida, enargit (keabu-abuan) yang mengisi rongga atau hadir sebagai

veinlet (B). Kenampakan sampel floating andesit hornblenda teralterasi silika vuggy (C), kenampakan XPL (D).....80

Gambar VI. 4. Kenampakan setangan sampel andesit hornblenda pada zona argilik lanjut, teramati adanya urat oksida, dikit, dan fenokris batuan tergantikan kaolinit dan dikit, dan pinkish alunit dengan kristalinitas baik (A). Kenampakan XPL, teramati bentukan kristal membilah dari alunit baik pada matriks atau fenokris tergantikan (B). Hasil grafik ASD pada zona argilik lanjut (C, D).....82

Gambar VI. 5. Kenampakan singkapan lapangan andesit hornblenda pada zona alterasi argilik (A), kenampakan XPL breksi freatomagmatik teralterasi argilik, teramati matriks terubahkan menjadi mineral-mineral berukuran lempung (C). Kenampakan spektral sampel yang menunjukkan asosiasi mineral (B dan D).84

Gambar VI. 6. Modifikasi tabel perubahan temperatur dan pH pada himpunan mineral ubahan di daerah penelitian (Corbett dan Leach, 1998). Teramati adanya pola penurunan suhu dan penetralan keasaman dari silika vuggy – propilitik pada pembentukan zona alterasi berdasarkan asosiasi mineral alterasi dalam suatu zona.85

Gambar VI. 7. Kenampakan pirit dengan tekstur diseminasi (A), dan kenampakan pirit mengalami tarnish (B).....86

Gambar VI. 8 Keterdapatn enargit dalam sampel veinlet kuarsa-sulfida (A) pada analisis XRF TUA 128 menunjukkan kandungan Au 4 ppm, Ag 30 ppm, dan Cu 503 ppm. Rongga pada matriks TUA 143 (B) dengan kandungan Cu 4631 ppm, yang mana turut mengindikasikan mineral kaya Cu lainnya, seperti kalkosit dan kovelit87

Gambar VI. 9. Tekstur penggantian dan inklusi pirit oleh enargit (A,B,dan C), kedua mineral ini tergantikan kovelit, kalkosit, sfalerit, dan tenantit (C dan D)88

Gambar VI. 10. Kenampakan sfalerit dan galena dengan batas tegas, dan keberadaan inklusi pirit (A), galena hadir sebagai *veinlet* pada tubuh pirit (B)89

Gambar VI. 11. Kehadiran kovelit dalam vug (C), menggantikan mineral hipogen awal bersama dengan mineral oksida (A, B, dan D)	90
Gambar VI. 12. Kenampakan urat kuarsa-oksida dan mineral oksida secara diseminasi (A), kenampakan bentukan globular goetit dan hematit	91
Gambar VI. 13. Kenampakan emas dan perak sebagai free grain pada rongga, berasosiasi dengan oksida yang menggantikan pirit pada kode sampel TUA 07	92
Gambar VI. 14. Persebaran unsur pada litologi daerah penelitian	96
Gambar VI. 15. Persebaran unsur pada zona alterasi daerah penelitian	97
Gambar VI. 16. Persebaran unsur pada masing-masing elevasi sampel	98
Gambar VI. 17. Grafik perbandingan Cu vs As	99
Gambar VI. 18. Grafik perbandingan Cu vs S	100
Gambar VI. 19. Grafik perbandingan Fe vs S	101
Gambar VI. 20. Kenampakan petrografi inklusi fluida sampel TUA 50LP2, terlihat kenampakan inklusi primer tipe 1, 2, dan 3, serta inklusi pseudosekunder tipe 1	104
Gambar VII. 1. Interpretasi sebaran fasies pada tubuh breksi freatomagmatik menurut Figueroa dkk., (2022), B merujuk kenampakan breksi pada bagian distal dan A pada bagian proksimal tubuh breksi daerah penelitian.....	107
Gambar VII. 2. Kenampakan perubahan dominasi matriks dan fragmen, susunan, maupun keterdapatan tekstur wispy dan ragged-milled, yang mana semakin ke bagian proksimal (A) menunjukkan tekstur semakin matriks supported, chaotic, tingkat kebundaran semakin rounded, kenampakan wispy dan ragged-milled fragment yang semakin dominan dibanding bagian distal (B) pada masing-masing tubuh breksi freatomagmatik	108
Gambar VII. 3. Kenampakan veinlet bertekstur massif pada lapangan (A dan B), dan urat kuarsa banded (C) pada STA 50LP2. Kenampakan veinlet kuarsa-sulfida, oksida, dan sulfida pada sampel setangan (D)	111

- Gambar VII. 4.** Model mineralisasi *oblique convergence* dari struktur daerah penelitian dibandingkan dengan model oleh Corbett dan Leach, 1998112
- Gambar VII. 5.** Diagram yang menunjukkan kecenderungan Th-salinitas yang menggambarkan perkembangan fluida (dimodifikasi dari Sheperd dkk., 1985)113
- Gambar VII. 6.** Binary plot Th vs Salinitas dan evolusi fluida pada daerah penelitian menurut Sheperd dkk. (1985). Garis kuning menunjukkan tren antar sampel, garis hitam menunjukan tren sampel dengan karakteristik silika vuggy, garis jingga menunjukkan pola dengan karakteristik urat kuarsa dengan tekstur banded114
- Gambar VII. 7.** Kedalaman pembentukan pada tahap mineralisasi di daerah penelitian berdasarkan diagram Haas, 1971116
- Gambar VII. 8.** Plot data daerah penelitian dalam Grafik fS_2 -T, yang menunjukkan proses pembentukan mineralisasi utama pada lingkungan epitermal sulfidasi tinggi dengan sulfidation state tinggi (Einaudi dkk., 2003) pada daerah penelitian (kotak jingga)119
- Gambar VII. 9.** Model zonasi profil pengkayaan dan oksidasi (Chavez, 2021) dibandingkan pada daerah penelitian (kotak merah) serta kenampakan lapangan, sampel setangan, dan mikroskop zona-zona tersebut pada daerah penelitian125
- Gambar VII. 10.** Diagram klasifikasi endapan mineral daerah penelitian berdasarkan temperatur homogenisasi dan salinitasnya (Wilkinson, 2001). Titik-titik merupakan nilai Th dan salinitas di daerah penelitian127
- Gambar VII. 11.** Model zonasi alterasi pada sistem epitermal sulfidasi tinggi (Stoffregren, 1977 dalam Arribas, 1995). Penampang A-A' merupakan sayatan pada peta alterasi daerah penelitian.128
- Gambar VII. 12.** Daerah penelitian (kotak kuning) pada model konseptual endapan epitermal sulfidasi tinggi (Sillitoe, 1999)129

- Gambar VII. 13.** Model regional Martabe oleh Sutopo (2013) menunjukkan keberadaan kompleks diaterma sebagai jalur magma bervolume besar dalam pembentukan Kompleks Kubah Intrusi Batangtoru. Daerah penelitian ditandai pada kotak merah131
- Gambar VII. 14.** Pembentukan struktur pre-syn mineralisasi pada fase kompresional dan breksi freatomagmatik pada daerah penelitian..132
- Gambar VII. 15.** Tahapan pembentukan zonasi alterasi dan proses mineralisasi daerah penelitian133
- Gambar VII. 16.** Perkembangan tektonik lanjutan dalam pembentukan sesar menurun diperkirakan NE-SW, stuktur post mineralisasi, proses erosi, serta pembentukan urat kuarsa tipe banded secara open space filling pada struktur ini134
- Gambar VII. 17.** Proses erosi, oksidasi, dan pembentukan struktur post mineralisasi serta proses eksogenik lanjutan yang membentuk kenampakan pada daerah peneltian seperti saat ini (kiri). Ilustrasi sebaran zonasi sebaran logam akibat proses oksidasi dan pengkayaan (kanan) pada bagian yang dikotak merah135

DAFTAR TABEL

Tabel I. 1. Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan	10
Tabel III. 1. Karakteristik breksi hidrotermal (Corbett dan Leach, 1998)	35
Tabel IV. 1. Daftar alat beserta fungsinya yang digunakan dalam penelitian	41
Tabel IV. 2. Daftar bahan beserta fungsinya yang digunakan dalam penelitian	42
Tabel IV. 3 Jadwal kegiatan penelitian	50
Tabel V. 1. Klasifikasi morfometri Van Zuidam (1985)	52
Tabel VI. 1. Kisaran temperatur ubahan zona klorit-smektit±kalsit (Reyes, 1990; dalam Hedenquist, 1998)	79
Tabel VI. 2. Kisaran temperatur ubahan zona argilik lanjut daerah penelitian (Reyes, 1990; dalam Hedenquist, 1998)	82
Tabel VI. 3. Kisaran temperatur ubahan zona argilik daerah penelitian (Reyes, 1990; dalam Hedenquist, 1998)	84
Tabel VI. 4. Kelimpahan mineral alterasi dan bijih pada setiap zona alterasi hidrotermal	102
Tabel VI. 5. Hasil pengukuran mikrotermometri inklusi fluida beserta hasil kalkulasi salinitas fluida berdasarkan persamaan Hall (1988), dalam Bodnar (1993)	105
Tabel VII. 1. Kondisi mineralisasi berdasarkan tabel hubungan salinitas, temperatur, tekanan, dan kedalaman fluida menurut Haas, 1971. Warna kuning menunjukkan kondisi pada urat kuarsa dengan tipe banded, warna merah menunjukkan kondisi pada mineralisasi utama pada silika vuggy	117
Tabel VII. 2. Tahapan mineralisasi alterasi dan bijih serta asosiasinya pada zonasi mineral bijih pada daerah penelitian	126
Tabel VII. 3. Perbandingan karakteristik endapan epitermal sulfidasi tinggi daerah penelitian dengan model karakteristik endapan epitermal sulfidasi tinggi oleh Hedenquist dkk., (2000)	129