

DAFTAR ISI

| | |
|--------------------------------------|-------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| LEMBAR PERNYATAAN | iii |
| PRAKATA | iv |
| DAFTAR ISI..... | vi |
| DAFTAR GAMBAR..... | ix |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR ABREVIASI MINERAL..... | xv |
| SARI | xvi |
| ABSTRACT | xvii |

BAB I. PENDAHULUAN

| | |
|--|---|
| I.1. Latar Belakang..... | 1 |
| I.2. Letak dan Kesampaian Lokasi Penelitian..... | 3 |
| I.3. Rumusan Masalah Penelitian..... | 5 |
| I.4. Tujuan Penelitian..... | 5 |
| I.5. Batasan Masalah Penelitian..... | 5 |
| I.6. Manfaat Penelitian | 6 |
| I.7. Peneliti Terdahulu | 6 |
| I.8. Keaslian Penelitian | 8 |

BAB II. GEOLOGI REGIONAL

| | |
|---|----|
| II.1. Geologi Regional..... | 9 |
| II.1.1. Fisiografi regional..... | 11 |
| II.1.2. Tektonik regional | 13 |
| II.1.3. Stratigrafi regional | 16 |
| II.1.4. Struktur geologi regional | 23 |
| II.1.5. Mineralisasi regional..... | 27 |
| II.2. Geologi Distrik..... | 29 |
| II.2.1. Stratigrafi dan struktur geologi distrik..... | 29 |
| II.2.2. Mineralisasi distrik | 31 |

BAB III. DASAR TEORI

| | |
|---|----|
| III.1. Endapan Epitermal | 33 |
| III.1.1. Endapan epitermal sulfidasi rendah..... | 37 |
| III.1.2. Endapan epitermal sulfidasi menengah | 44 |
| III.2. Kontrol Geologi pada Endapan Epitermal | 46 |
| III.2.1. Kontrol litologi | 46 |
| III.2.2. Kontrol struktur | 46 |

BAB IV. HIPOTESIS DAN METODOLOGI PENELITIAN

| | |
|--|----|
| IV.1. Hipotesis. | 55 |
| IV.2. Metode Penelitian. | 56 |
| IV.2.1. Alat dan bahan..... | 56 |
| IV.2.2. Waktu dan tahapan penelitian | 58 |

BAB V. GEOLOGI PROSPEK 'ALTIN'

| | |
|---|----|
| V.1. Analisis pola kelurusan | 66 |
| V.2. Geomorfologi Prospek 'Altin' | 68 |
| V.2.1. Satuan pegunungan dome berlereng curam | 70 |
| V.2.2. Satuan pegunungan dome berlereng landai-terjal | 71 |
| V.3. Stratigrafi Prospek 'Altin' | 72 |
| V.3.1. Satuan dasit ekuigranular | 73 |
| V.3.2. Satuan dasit porfiri | 75 |
| V.3.3. Satuan breksi polimik | 77 |
| V.4. Struktur Geologi Daerah Penelitian | 79 |
| V.4.1. Kekar | 79 |
| V.4.2. Urat | 82 |
| V.4.3. Sesar | 84 |

BAB VI. ALTERASI HIDROTERMAL DAN MINERALISASI BIJIH PROSPEK 'ALTIN'

| | |
|---|-----|
| VI.1. Alterasi Hidrotermal Daerah Penelitian | 89 |
| VI.1.1. Alterasi silisik | 89 |
| VI.1.2. Alterasi silika-clay | 91 |
| VI.1.3. Alterasi argilik | 93 |
| VI.2. Mineralisasi Daerah Penelitian | 94 |
| VI.2.1. Sistem urat daerah penelitian | 94 |
| VI.2.2. Mineralisasi daerah penelitian | 98 |
| VI.2.3. Tekstur mineral bijih daerah penelitian | 109 |
| VI.2.4. Paragenesis mineral bijih daerah penelitian | 112 |

BAB VII. KONTROL GEOLOGI TERHADAP MINERALISASI PROSPEK 'ALTIN'

| | |
|--|-----|
| VII.1. Kontrol Geologi terhadap Mineralisasi Prospek 'Altin' | 116 |
| VII.1.1. Kontrol geomorfologi | 117 |
| VII.1.2. Kontrol oksidasi (supergen) | 118 |
| VII.1.3. Kontrol litologi | 122 |
| VII.1.4. Kontrol struktur | 124 |
| VII.2. Karakteristik dan Tipe Endapan Prospek 'Altin' | 130 |
| VII.2. Model Endapan Prospek 'Altin' | 132 |

BAB VIII. KESIMPULAN

| | |
|--------------------------|-----|
| VIII.1. Kesimpulan | 137 |
| VIII.2. Saran | 138 |

| | |
|-----------------------------|------------|
| DAFTAR PUSTAKA | 139 |
|-----------------------------|------------|

LAMPIRAN 1. ANALISIS GEOMORFOLOGI

- Lampiran 1.1 Peta pola penyaluran prospek 'Altin' dan sekitarnya.....
- Lampiran 1.2 *Digitan Elevation Model* prospek 'Altin' menggunakan citra SRTM.....
- Lampiran 1.3 Peta geomorfologi prospek 'Altin'
- Lampiran 1.4 Sayatan geomorfologi prospek 'Altin'

LAMPIRAN 2. DATA PEMETAAN GEOLOGI

- Lampiran 2.1 Peta stasiun pengamatan prospek 'Altin'
- Lampiran 2.2 Peta geologi prospek 'Altin'
- Lampiran 2.3 Sayatan geologi prospek 'Altin'
- Lampiran 2.4 Peta stasiun pengamatan alterasi prospek 'Altin'
- Lampiran 2.5 Peta zona alterasi hidrotermal prospek 'Altin'
- Lampiran 2.6 Peta stasiun pengamatan oksidasi prospek 'Altin'
- Lampiran 2.7 Peta zona oksidasi prospek 'Altin'
- Lampiran 2.8 Peta tipe urat prospek 'Altin'

LAMPIRAN 3. ANALISIS STRUKTUR

- Lampiran 3.1 Hasil pengukuran kekar dan urat prospek 'Altin'
- Lampiran 3.2 Peta kelurusan regional lengan utara Sulawesi

LAMPIRAN 4. ANALISIS LABORATORIUM

- Lampiran 4.1 Analisis petrografi
- Lampiran 4.2 Analisis mineragrafi

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 1.1. | Distribusi busur magmatik Indonesia berumur Kapur akhir hingga Pliosen yang termineralisasi (Carlile dan Mitchell, 1994)..... | 1 |
| Gambar 1.2. | Peta lokasi penelitian; A. Lokasi prospek 'Altin' secara relatif pada Pulau Sulawesi; B. Lokasi prospek 'Altin' secara relatif pada lengan utara Sulawesi; C. Kenampakan topografi prospek 'Altin' dalam citra SRTM; D. Peta topografi prospek 'Altin'. | 4 |
| Gambar 2.1. | Konfigurasi tektonik lempeng Asia Tenggara (Hall, 2002) | 9 |
| Gambar 2.2. | Pembagian mandala geologi Pulau Sulawesi (Sukanto, 1975, dimodifikasi oleh Surono, 2011) | 10 |
| Gambar 2.3. | Evolusi geologi Sulawesi dari Miosen hingga sekarang (Katili, 1978) | 14 |
| Gambar 2.4. | Simplifikasi Peta Geologi Sulawesi (Van Leeuwen, 2011) .. | 17 |
| Gambar 2.5. | Geologi lengan utara Sulawesi (Carlile dkk., 1990)..... | 19 |
| Gambar 2.6. | Penampang melintang lengan utara Sulawesi dan Busur Sangihe (Carlile dkk., 1990)..... | 19 |
| Gambar 2.7. | Lokasi penelitian secara regional dalam Peta Geologi Lembar Tilamuta (Bachri dkk., 1993) | 20 |
| Gambar 2.8. | Stratigrafi regional lokasi (Van Leeuwen dan Muhardjo, 2005)..... | 22 |
| Gambar 2.9. | Sesar Mayor Pulau Sulawesi (Bachri dan Sidarto, 2013)..... | 23 |
| Gambar 2.10. | Struktur geologi daerah Tolitoli dan sekitarnya (Bachri dan Sidarto, 2013) | 25 |
| Gambar 2.11. | Elips tegasan bagian tengah lengan utara Sulawesi pada A: Neogen Akhir, B: Pliosen Akhir-Pleistosen (Bachri dan Sidarto, 2013) | 26 |
| Gambar 2.12. | Provinsi geologi-metalogeni Sulawesi (Van Leeuwen dan Pieters., 2011) | 28 |
| Gambar 2.13. | Stratigrafi prospek 'Altin' (Carlile dkk., 1990, dengan modifikasi)..... | 29 |
| Gambar 2.14. | Sayatan melintang prospek 'Altin' (Carlile dkk., 1990) | 30 |
| Gambar 3.1. | Konsep model mineralisasi endapan epitermal Au-Ag dan porfiri Cu-Au yang berkembang pada tatanan subduksi busur magmatik-busur belakang (Corbett, 2017)..... | 37 |
| Gambar 3.2. | Rentang stabilitas mineral hidrotermal pada temperatur tertentu berdasarkan pH tiap-tiap mineral (Hedenquist dkk., 1996)..... | 38 |
| Gambar 3.3. | Skema alterasi secara umum pada sistem epitermal sulfidasi rendah (Hedenquist dkk., 2000) | 39 |
| Gambar 3.4. | Skema distribusi alterasi hidrotermal yang berasosiasi dengan deposit epitermal sulfidasi tinggi dan sulfidasi rendah (Hedenquist dkk., 1996) | 42 |

| | | |
|---------------------|--|----|
| Gambar 3.5. | Ilustrasi dari tiga struktur mayor yang berperan dalam pembentukan endapan porfiri-epitermal pada lingkungan busur belakang (Corbett, 2017) | 47 |
| Gambar 3.6. | Model ilustrasi strutur transfer konjugasi dan perubahan dari konvergen ortogonal menjadi konvergen miring (Corbett dan Leach, 1997) | 50 |
| Gambar 3.7. | Model ilustrasi dari tiga tatanan struktur utama dimana urat epitermal termineralisasi terbentuk dan geometri dari tiap struktur (Corbett, 2013;2017) | 51 |
| Gambar 3.8. | Model rekahan pada tatanan konvergen miring berdasarkan aspek dari model Riedel Shear (Corbett dan Leach, 1997) ... | 53 |
| Gambar 3.9. | Sistem ekstensi dan mineralisasi pada kedalaman kerak yang berbeda (Corbett dan Leach, 1997) | 54 |
| Gambar 3.10. | Sistem struktur tatanan konvergen miring (Corbett dan Leach, 1997) | 54 |
| Gambar 4.1. | Diagram alir penelitian | 65 |
| Gambar 5.1. | Satuan pegunungan dome berlereng curam yang terletak di (A) tenggara prospek 'Altin' dan (B) timur prospek 'Altin' (garis kuning: bentukan morfologi)..... | 71 |
| Gambar 5.2. | Satuan pegunungan dome berlereng landai-terjal yang terletak di (A) barat daya prospek 'Altin' dan (B) barat daya prospek 'Altin' (garis kuning: bentukan morfologi).. .. | 72 |
| Gambar 5.3. | Litologi dasit ekuigranular (A) dalam contoh setangan pada stasiun pengamatan 105 dan (B) dalam singkapan pada stasiun pengamatan 1 (garis kuning: arah rekahan kekar)..... | 74 |
| Gambar 5.4. | Litologi dasit ekuigranular pada sampel 1 pada kenampakan (A) nikol sejajar (//) dan (B) nikol bersilang (X). (Chl: Klorit, Cly: Mineral lempung, Pl: Plagioklas, Ms: Muskovit, Or: Ortoklas, Ms: Muskovit, Qz: Kuarsa.) | 74 |
| Gambar 5.5. | Litologi dasit porfiri (A) dalam contoh setangan pada stasiun pengamatan 62 dan (B) dalam singkapan pada stasiun pengamatan 58 (garis kuning: arah rekahan kekar)..... | 76 |
| Gambar 5.6. | Litologi dasit porfiri pada sampel 2 pada kenampakan (A) nikol sejajar (//) dan (B) nikol bersilang (X). (Chl: Klorit, Cly: Mineral lempung, Pl: Plagioklas, Ms: Muskovit, Or: Ortoklas, Ms: Muskovit, Bt: Biotit, Adl: Adularia, Hbl: Hornblende, Ser: Serisit, Qz: Kuarsa, Opq: Mineral opak.).. | 77 |
| Gambar 5.7. | Litologi breksi polimik (A) dalam contoh setangan pada stasiun pengamatan 4 dan (B) dalam singkapan pada stasiun pengamatan 37 (garis kuning: arah rekahan kekar dan sesar) | 78 |
| Gambar 5.8. | Litologi breksi polimik pada sampel 10 pada kenampakan (A) nikol sejajar (//) dan (B) nikol bersilang (X). (Cly: mineral lempung, Pl: plagioklas, Chl: klorit, Qz: Kuarsa, Or: Ortoklas.) | 78 |

- Gambar 5.9.** Kekar pada (A) pada stasiun pengamatan 48 dengan arah timur laut-barat daya (kamera menghadap tenggara) dan (B) dalam singkapan pada stasiun pengamatan 30 B dengan arah utara timur laut-selatan barat daya (kamera menghadap ke arah timur) (garis kuning: arah rekahan kekar)80
- Gambar 5.10.** Diagram mawar seluruh kekar pada lokasi penelitian menunjukkan tidak adanya arah gaya dominan pada data kekar lokasi penelitian.81
- Gambar 5.11.** Diagram mawar seluruh urat pada lokasi penelitian menunjukkan arah gaya dominan pada data kekar lokasi penelitian berupa arah TL-BD.83
- Gambar 5.12.** Analisis stereonet sesar pada lokasi penelitian orde 1.....87
- Gambar 5.13.** Analisis stereonet sesar pada lokasi penelitian orde 2.....87
- Gambar 5.14.** Kenampakan sesar pada prospek 'Altin' (A) striasi pada STA 30 B (kamera menghadap ke utara) dan (B) *chattenmark* pada STA 48 (kamera menghadap ke tenggara) (C) *displacement* pada STA 50 (kamera menghadap ke selatan) (Garis kuning dan merah menunjukkan struktur kekar, sesar, *chattenmark* dan *displacement*).88
- Gambar 6.1.** Alterasi silisik pada: (A) conto setangan batuan dasit porfiri pada stasiun pengamatan 28 dengan tingkat oksidasi yang cukup tinggi, (B) singkapan dasit porfiri STA 28, (C) kenampakan sayatan tipis sampel 8 nikol sejajar, (D) kenampakan sayatan tipis sampel 8 nikol bersilang. (Or: Ortoklas, Pl: Plagioklas, Qz: Kuarsa).91
- Gambar 6.2.** Alterasi silika-clay pada: (A) conto setangan batuan dasit porfiri pada stasiun pengamatan 79, (B) singkapan dasit ekuigranular STA 95, (C) kenampakan sayatan tipis sampel 7 nikol sejajar, (D) kenampakan sayatan tipis sampel 7 nikol bersilang. (Or: Ortoklas, Plag: Plagioklas, Qtz: Kuarsa, Clay: Mineral lempung, Ms: Muskovit, Chl: Klorit, Ser: Serisit, Hbl: Hornblende.)92
- Gambar 6.3.** Alterasi argilik pada: (A) conto setangan batuan breksi polimik pada stasiun pengamatan 37, (B) singkapan breksi polimik STA 52, (C) kenampakan sayatan tipis sampel 5 nikol sejajar, (D) kenampakan sayatan tipis sampel 5 nikol bersilang. (Or: Ortoklas, Pl: Plagioklas, Qz: Kuarsa, Cly: Mineral lempung, Ms: Muskovit, Chl: Klorit, Ser: Serisit, Hbl: Hornblende, Bt: Biotit, Adl: Adularia, Opq: Mineral opak.)92
- Gambar 6.4.** Macam tekstur urat pada lokasi penelitian sesuai urutan pembentukan: (A) drussy-sakaroidal teroksidasi pada STA 48, (B) sakaroidal-botroidal teroksidasi pada STA 58, (C) masif teroksidasi pada STA 18, (D) drussy dengan sistem bukaan cavity filling pada STA 44, (E) comb yang bercabang pada STA 68, (F) sakaroidal-botroidal pada STA 44.97

| | | |
|---------------------|--|-----|
| Gambar 6.5. | Mineral pirit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang. | 100 |
| Gambar 6.6. | Mineral pirrhotit ditemukan mengisi rekahan pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang.. | 101 |
| Gambar 6.7. | Mineral sfalerit hadir bersama mineral pirit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang.. | 101 |
| Gambar 6.8. | Mineral galena pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang... .. | 102 |
| Gambar 6.9. | Mineral kalkopirit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang... .. | 102 |
| Gambar 6.10. | Mineral tennantit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang... .. | 103 |
| Gambar 6.11. | Mineral bornit, kovelit, dan kalkosit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang... .. | 104 |
| Gambar 6.12. | Mineral kovelit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang... .. | 104 |
| Gambar 6.13. | Mineral digenit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang... .. | 105 |
| Gambar 6.14. | Mineral azurit menggantikan mineral kalkopirit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang... .. | 106 |
| Gambar 6.15. | Keterdapatan mineral logam emas (Au) lepas secara pada (A) kenampakan setangan, (B) dengan lup perbesaran 40x, (C) pengamatan mikroskopis nikol sejajar, (D) pengamatan mikroskopis nikol bersilang..... | 106 |
| Gambar 6.16. | Mineral geothit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang... .. | 107 |
| Gambar 6.17. | Mineral hematit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang... .. | 108 |
| Gambar 6.18. | Mineral anatase pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang... .. | 108 |
| Gambar 6.19. | Kenampakan tekstur disseminasi mineral pirit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang.. | 110 |
| Gambar 6.20. | Kenampakan tekstur kristalisasi simultan antara mineral pirit dan sfalerit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang. | 111 |
| Gambar 6.21. | Kenampakan mineral hematit yang menggantikan mineral pirit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang.... .. | 111 |
| Gambar 6.22. | Kenampakan mineral kovelit yang menggantikan mineral kalkopirit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang.... .. | 113 |
| Gambar 6.23. | Kenampakan mineral pirit sebagai inklusi pada mineral pirrhotit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang.... .. | 113 |

- Gambar 6.24.** Kenampakan mineral sfaleris melingkupi mineral galena pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang.....114
- Gambar 6.25.** Mineral sfalerit dan mineral pirit pada: (A) kenampakan nikol sejajar (B) kenampakan nikol bersilang.....116
- Gambar 7.1.** Sayatan skematik pada deposit tembaga yang menunjukkan horizon teroksidasi yang berada di atas horizon reduksi (Robb, 2005), emas dan tembaga terkonsentrasi pada zona oksidasi di atas muka air tanah.....122
- Gambar 7.2.** Pembentukan deposit emas sekunder saat lapisan paling atas tererosi (Butt, 1998).....123
- Gambar 7.3.** Struktur bending yang terbentuk akibat arah gaya orde 1 dan perubahan arah pergeseran akibat berubahnya arah gaya pada orde 2128
- Gambar 7.4.** Sistem *riedel shear* pada lokasi penelitian (<http://rogermarjoribanks.info/sense-movement-structures-part-1-theory/>).....129
- Gambar 7.5.** Dua buah sesar pada sistem riedel shear pada lokasi penelitian dan hubungannya dengan elipsoid regangan (https://howlingpixel.com/i-en/Strike-slip_tectonics)131
- Gambar 7.6.** Model rekonstruksi geologi dan mineralisasi prospek 'Altin' 136

DAFTAR TABEL

| | | |
|-------------------|--|-----|
| Tabel 2.1. | Evolusi Seksi Gorontalo, Lengan Utara Sulawesi (Van Bemmelen, 1949)..... | 16 |
| Tabel 3.1. | Nomenklatur moderen untuk tipe deposit epitermal (modifikasi dari Sillitoe dan Hedenquist, 2003; Corbett, 2017)..... | 34 |
| Tabel 3.2. | Hubungan keadaan sulfidasi dari lingkungan pembentuk bijih, berhubungan dengan komposisi batuan beku dan tatanan tektonik (Sillitoe dan Hedenquist, 2003, dalam Simmons dkk., 2005)..... | 35 |
| Tabel 3.3. | Karakteristik tipe deposit emas epitermal (Hedenquist dkk., 2000)..... | 36 |
| Tabel 3.4. | Kontrol temperatur dan kedalaman pada karakteristik alterasi hipogen pada endapan epitermal sulfidasi rendah (Hedenquist dkk., 2000)..... | 43 |
| Tabel 3.5. | Karakteristik geologi dan genetik dari endapan epitermal sulfidasi rendah dan menengah (Gemmell., 2006)..... | 45 |
| Tabel 3.6. | Beberapa terminologi yang digunakan untuk mendeskripsikan struktur dilatasi bijih yang berkembang pada tatanan konvergen miring (Corbett., 2017)..... | 52 |
| Tabel 4.1. | Waktu tahapan penelitian | 58 |
| Tabel 5.1. | Klasifikasi morfologi berdasarkan aspek morfometri (Van Zuidam dan Cancelado (1979) dalam Soetoto dan Setianto (2005)). | 69 |
| Tabel 5.2. | Hasil pengukuran sesar pada prospek 'Altin' | 86 |
| Tabel 6.1. | Mineral bijih hipogen dan supergen pada lokasi penelitian .. | 94 |
| Tabel 6.2. | Paragenesis mineral bijih pada lokasi penelitian berdasarkan pengamatan mikroskopi bijih | 117 |
| Tabel 7.1. | Perbandingan karakteristik geologi dan genetik dari lokasi penelitian dan endapan epitermal sulfidasi rendah dan menengah (Gemmell., 2006) | 133 |

DAFTAR ABREVIASI MINERAL

(berdasarkan Whitney dan Evans, 2010)

| | |
|------------|-----------------|
| Adl | Adularia |
| Ant | Anatase |
| Au | Aurum (emas) |
| Az | Azurit |
| Bn | Bornit |
| Bt | Biotit |
| Ccp | Kalkopirit |
| Cct | Kalkosit |
| Chl | Klorit |
| Cly | Mineral lempung |
| Cv | Kovelit |
| Dg | Digenit |
| El | Elektrum |
| Gn | Galena |
| Gth | Goetit |
| Hbl | Hornblende |
| Hem | Hematit |
| Ms | Muskovit |
| Opq | Mineral opak |
| Or | Ortoklas |
| Pl | Plagioklas |
| Po | Pyrrhotit |
| Py | Pirit |
| Qz | Kuarsa |
| Ser | Serisit |
| Sp | Sfalerit |
| Tnt | Tennantit |