

ALTERASI DAN GEOKIMIA BIJIH ENDAPAN EMAS EPITHERMAL KECAMATAN KASIMBAR, KABUPATEN PARIGI MOUTONG PROVINSI SULAWESI TENGAH

Riska Puspita

Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

Jl. Soekarno-Hatta Km. 9 Palu, Sulawesi Tengah.

Email: riskapuspita.untad@gmail.com

Abstrak

Beberapa indikasi mineralisasi dapat di jumpai di Sulawesi Tengah, salah satunya pada Kecamatan Kasimbar Kabupaten Parigi Moutong Provinsi Sulawesi Tengah. Adanya indikasi mineralisasi emas dicirikan oleh alterasi hidrotermal disekitar sungai Tada tepatnya pada Dusun Kelapatiga dan Maliontovo bagian utara Kecamatan Kasimbar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tipe alterasi berdasarkan petrografi, mineral bijih berdasarkan mineragrafi dan geokimia mineral bijih berdasarkan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) serta mengetahui tipe endapan dan model genetik endapan berdasarkan klasifikasi. Kondisi geologi daerah penelitian meliputi geomorfologi satuan bentang alam perbukitan sangat curam, stratigrafi atau litologi yang dijumpai berupa satuan andesit porfiri dan granit kuarsa, serta struktur geologi kekar sistematis dan sesar geser mengiri (*sinistral*). Alterasi hidrotermal terdiri dari alterasi propilitik dalam (klorit+aktinolit±Feldspar) pada batuan andesit porfiri dan alterasi potasik (biotit+klorit±kuarsa) pada batuan granit kuarsa. Berdasarkan hasil mineragrafi indikasi mineral bijih berupa pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2), sphalerit (ZnS) dan kovelit (CuS) sedangkan emas (Au) di jumpai pada *soil* hasil lapukan granit kuarsa. Hasil dari geokimia sampel batuan, *soil* dan aluvial dijumpai kadar emas (Au) mempunyai kadar <0,6-1,5 ppm, perak (Ag) <7 ppm, tembaga (Cu) 10-144 ppm, timbal (Pb) 12-42 ppm, dan besi (Fe) 0,27-4,72 ppm. Berdasarkan tipe alterasi dan mineralisasi bijih maka tipe endapan emas termasuk epitermal sulfidasi tinggi yang dikontrol oleh litologi dan struktur geologi.

Kata kunci: Epitermal Sulfidasi Tinggi, Alterasi Hidrotermal, Mineralisasi Bijih, Geokimia, Kasimbar

Abstract

*Several indications of mineralization can be found in Central Sulawesi, one of which is in Kasimbar District, Parigi Moutong Regency, Central Sulawesi Province. The indication of gold mineralization is characterized by hydrothermal alteration around the Tada river. This study aims to determine the type of alteration based on petrography, ore mineral based on mineragraphy and geochemistry of ore minerals based on AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry) and determine the type of deposit and genetic model of gold deposit. The geological conditions of the study area include geomorphology of very steep hilly landscape units, stratigraphy or lithology found in the form of andesite porphyry and quartz granite units, as well as geological structures of systematic joints and left shear faults (*sinistral*). Hydrothermal alteration consists of deep propylitic alteration (chlorite+actinolite±feldspar) in porphyry andesite rocks and potassic alteration (biotite+chlorite±quartz) in quartz granite rocks. Based on the results of mineragraphy, indications of ore minerals in the form of pyrite (FeS_2), chalcopyrite (CuFeS_2), sphalerite (ZnS) and covellite (CuS) while gold (Au) were found in the soil resulting from weathering of quartz granite. The results of the geochemistry of rock, soil and alluvial samples found gold (Au) levels <0.6-1.5 ppm, silver (Ag) <7 ppm, copper (Cu) 10-144 ppm, lead (Pb) 12- 42 ppm, and iron (Fe) 0.27-4.72 ppm. Based on the type of alteration and ore mineralization, the type of gold deposit includes high sulfidation epithermal which is controlled by lithology and geological structure.*

Key words: High Sulfidation Epithermal, Hydrothermal Alteration, Ore Mineralization, Geochemistry, Kasimbar.

1. Pendahuluan

Pulau Sulawesi merupakan salah satu pulau yang mempunyai karakter geologi yang unik. Pulau Sulawesi terbentuk akibat pertemuan tiga lempeng besar yaitu lempeng Indo-Australia yang bergerak kearah utara, lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat dan lempeng Eurasia yang bergerak ke arah selatan-tenggara serta lempeng yang lebih kecil yaitu lempeng Filipina (Sidarto & Bachri, 2013)

Akibat dari proses tumbukan keempat lempeng tersebut menyebabkan pulau Sulawesi memiliki empat buah lengan dengan proses tektonik yang berbeda-beda yang membentuk satu kesatuan mosaik geologi. Pulau ini seakan dirobek oleh berbagi sesar seperti ; sesar Palu-Koro, sesar Poso, sesar Matano, sesar Walanopo, sesar Walanae, sesar Gorontalo, sesar batui, sesar Tolo, sesar Makassar dan lain-lain (Sidarto & Bachri, 2013). Daerah Sulawesi tengah merupakan salah satu daerah yang dilewati oleh sesar aktif palu-koro (Surono & Hartono, 2013). Akibat dari sesar utama (Palu-Koro) mengakibatkan bukaan atau sesar minor (Riedel dalam K.r mcClay, 1967). Proses sesar tersebut yang telah membuat rekahan, kemudian rekahan menjadi jalur fluida hidrotermal naik ke permukaan dan menjadi tempat terbentuknya mineralisasi.

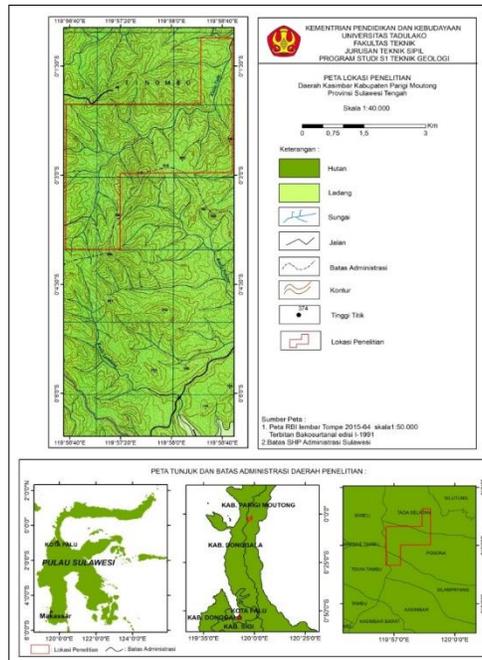
Beberapa indikasi mineralisasi dapat di jumpai di Sulawesi Tengah, salah satunya pada kecamatan Kasimbar. Adanya temuan indikasi mineral bijih pada daerah Kecamatan Kasimbar Kabupaten Parigi Moutong Provinsi Sulawesi Tengah. Data geologi atau penelitian terdahulu menyebutkan adanya prospek mineralisasi pada beberapa tempat di Kecamatan Kasimbar yaitu daerah Toriapes, Ranang dan Tovalo penelitian tersebut di lakukan oleh tim eksplorasi PT. Erde Ressourcen Mineral. Penelitian tersebut menemukan adanya prospek mineralisasi yang ditandai munculnya urat kuarsa serta adanya alterasi atau ubahan pada batuan daerah tersebut (Salamah *et al*, 2014). Namun penelitian ini belum mencakup seluruh daerah yang dicurigai mempunyai indikasi mineralisasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tipe alterasi dan mineral bijih yang berkembang pada daerah penelitian. Untuk mengetahui geokimia mineral bijih pada daerah penelitian dan mengetahui tipe dan model genetik endapan emas.

2. Bahan dan Metode

2.1 Lokasi Penelitian

Secara administrasi lokasi penelitian terletak pada daerah Kasimbar Kabupaten Parigi Moutong provinsi Sulawesi Tengah, dengan dua alternatif jalan yaitu dapat melewati jalan trans Sulawesi Palu-Sabang memotong di Desa Tambu menuju Kecamatan Kasimbar dengan jarak 120 km. Apabila melewati jalan trans Palu-Parigi menuju Kecamatan Kasimbar dengan jarak tempuh 134 km menggunakan kendaraan umum roda dua maupun roda empat (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Lokasi Daerah Penelitian

2.2. Kajian Pustaka

2.1.1. Geologi Regional

Kondisi geologi regional daerah penelitian termasuk dalam Geologi Regional Palu dan sekitarnya yang dimodifikasi dari Rab Sukanto (1973) dan Van Leeuwen & Muhardjo (2005). Pulau Sulawesi secara morfologi terdiri atas daratan dengan ketinggian 0 – 50 meter, dan pegunungan dengan ketinggian tertinggi mencapai 3.428 meter (puncak Gunung Latimojong). Secara fisiografis, Van Bemmelen (1949) membagi Pulau Sulawesi menjadi tujuh satuan fisiografis, yaitu Lengan Utara, Lengan Timur, Kepulauan Banggai, Lengan Tenggara, Kepulauan Buton dan Tukang Besi, Lengan Selatan, dan Sentral *Celebes*. Berdasarkan pembagian tersebut, daerah penelitian termasuk dalam satuan fisiografis Sentral *Celebes*. Van Bemmelen (1949). Stratigrafi daerah Palu tersusun oleh batuan berumur Eosen tengah hingga Kwartar. Batuan tertua adalah Formasi Tinombo yang berumur Eosen Tengah hingga Eosen Atas yang di tindih tidak selaras oleh batuan intrusi yang berumur Miosen Tengah hingga Miosen Atas kemudian di ikuti oleh proses metamorfisme yang membentuk Kompleks Metamorf Palu (*Palu Metamorphic Complex*) yang tersingkap pada jajaran pegunungan timur yang berumur Miosen Atas-Pliosen Tengah (Van Leeuwen *et al*, 2016). Batuan Intrusi (*Granitoid Undivided*) dijumpai menerobos kompleks batuan metamorf dan Formasi Tinombo, merupakan hasil aktivitas vulkanik dari Formasi Tinombo berdasarkan kesamaan geokimia dan penanggalan K/Ar (Van Leeuwen *et al*, 2016) tetapi tidak terpetakan (Sukanto, 1973). Molasa *Celebes* (*Celebes Mollase*) yang berumur Pliosen – Plistosen (Van Leeuwen *et al*, 2016) terendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Tinombo. Endapan Molasa Celebes terdiri dari

rombakan yang berasal dari formasi-formasi lebih tua, antara lain konglomerat, batupasir, batulumpur, batugamping-koral, dan napal, yang hanya mengeras lemah. Di atas endapan Molasa Celebes, terendapkan secara tidak selaras endapan aluvial pada lingkungan sungai, delta, dan laut dangkal berumur Holosen (Sukanto, 1973). Struktur geologi utama Pulau Sulawesi terdiri dari Sesar Palu-Koro, Sesar Walanae, Sesar Matano, Sesar Batui, Sesar Naik Poso, Sesar Balantak, Sesar Gorontalo, Tunjaman Sulawesi Utara, dan Teluk Bone (Surono dan Hartono, 2013)

2.1.2. Pembagian larutan pembawa bijih (*ore-bearing fluids*)

Menurut Robbs (2006) terdapat empat hal yang memegang peranan penting dalam pembentukan mineral bijih, yaitu:

1. Sumber dan karakter dari larutan pembawa bijih.
2. Sumber dari penyusun bijih dan bagaimana mereka terkandung dalam larutan.
3. Migrasi dari larutan pembawa bijih.
4. Pola pengendapan.

Hal yang paling pertama kali harus diketahui untuk mengetahui tempat terbentuknya suatu endapan bijih adalah mengetahui asal-usul dari media transportasi yaitu larutan atau *liquid* dan gas. Meskipun endapan bijih secara langsung berhubungan dengan magma, atau berasosiasi dengan proses metamorfisme, atau hubungan dengan air tanah dan proses-proses sedimenter, semuanya sangat berkaitan erat dengan pergerakan larutan. Oleh karena itu pengetahuan tentang larutan sangat penting.

Fluida atau larutan pembawa bijih secara umum dibagi menjadi empat, yaitu:

1. Air magmatik.
2. Air meteorik.
3. Air metamorfik.
4. Air konat.

Keempat jenis fluida atau larutan ini dapat dijumpai dalam kondisi panas atau dingin, di kedalaman atau dekat dengan permukaan. Apabila terpanaskan dan dalam fase cair, fluida-fluida tersebut disebut dengan istilah *hydrothermal fluid* atau larutan hidrotermal, sedang apabila dijumpai dalam fase atau wujud gas disebut dengan *pneumatolitik* (Park & Macdiarmid, 1975). Seperti yang telah dijelaskan, larutan pembawa bijih telah dibagi beberapa jenis dan berikut penjelasan dari larutan pembawa bijih tersebut.

2.1.3. Endapan Epitermal

Endapan epitermal didefinisikan sebagai salah satu endapan dari sistem hidrotermal yang terbentuk pada kedalaman dangkal yang umumnya pada busur vulkanik yang dekat dengan permukaan (Simmons *et al.*, 2005). Data inklusi fluida mengindikasikan endapan bijih epitermal mempunyai kisaran

temperatur <150°C hingga 300°C, dari kedalaman sekitar 1 – 2 km (White dan Hedenquist, 1995) dengan tekanan tidak lebih dari 100 atm dari cairan meteorik dominan yang agak asin (Pirajno, 2009).

Pada lingkungan epitermal terdapat 2 (dua) kondisi sistem hidrotermal yang dapat dibedakan berdasarkan reaksi yang terjadi dan ketersediaan mineral-mineral alterasi dan mineral bijihnya yaitu epitermal *low sulphidation* dan *high sulphidation* (White dan Hedenquist, 1995). Menentukan karakteristik suatu endapan bijih dapat dilihat dari bentuk, mineralogi, tekstur, dan zoning alterasi. Pada beberapa observasi karakteristik endapan epitermal sulfidasi rendah dan sulfidasi tinggi sering terjadi *overlap*, namun tetap terdapat perbedaan diantara keduanya.

2.1.4. Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal adalah perubahan komposisi mineral dari suatu batuan akibat adanya interaksi antara larutan hidrotermal dengan batuan tersebut. Proses alterasi akan menyebabkan terubahnya mineral primer menjadi mineral sekunder yang kemudian disebut mineral yang teralterasi (*alteration mineral*).

Alterasi hidrotermal merupakan proses yang kompleks karena terjadinya perubahan secara mineralogi, kimia dan tekstur oleh akibat adanya interaksi larutan hidrotermal dengan batuan sampling (*wall rock*) yang di lalunya pada kondisi fisika-kimia tertentu (Pirajno, 2009).

Ada tiga hal yang menjadikan penyelidikan terhadap proses alterasi sangat penting dalam mempelajari suatu endapan hidrotermal yaitu:

1. Komposisi kimia dan struktur dari mineral-mineral yang terbentuk dari hasil proses alterasi merupakan respon terhadap kondisi pembentukannya. Oleh karena itu, mineral atau kumpulan mineral-mineral alterasi akan memberikan informasi tentang kondisi kimia-fisika dari proses hidrotermal yang terjadi.
2. Mineral-mineral alterasi pada umumnya dijumpai pada zona yang akan menggambarkan kondisi pembentukannya.
3. Mengenali zonasi mineral-mineral hasil alterasi sangat akan membantu dalam mengidentifikasi jalur dari larutan hidrotermal yang akan membawa kita pada jalur mineralisasi

2.1.5. Faktor yang mempengaruhi proses alterasi

Beberapa faktor yang berpengaruh pada proses alterasi hidrotermal adalah suhu, kimia fluida (pH), komposisi batuan sampling, durasi aktivitas hidrotermal dan permeabilitas. Namun, faktor kimia fluida (pH) dan suhu merupakan faktor yang paling berpengaruh (Corbett & Leach, 1996)

2.1.6. Zona alterasi

Suatu zona yang memperlihatkan adanya penyebaran himpunan mineral-mineral tertentu yang akan terbentuk dari hasil proses alterasi disebut sebagai zona alterasi (*alteration zone*). Penggunaan istilah zona dan tipe terkadang membingungkan untuk pemula, namun hal ini tidak untuk terlalu dipermasalahkan.

Beberapa ahli telah melakukan pengelompokan alterasi berdasarkan parameter yang berbeda-beda, namun pada intinya pengelompokan tersebut untuk mempermudah dalam mempelajari proses alterasi yang terjadi (Lowell & Guilbert, 1970).

2.2. Metode

Adapun metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu penelitian lapangan dan analisis laboratorium baik kualitatif dan kuantitatif. Kegiatan penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan penelitian yang secara sistematis terdiri atas tahap persiapan, tahap pengambilan data lapangan, analisis laboratorium (analisis laboratorium, analisis mikroskopis, dan analisis *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS)), Tahap analisis dan interpretasi data, serta penyusunan laporan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Geologi Daerah Penelitian

Satuan geomorfologi daerah yaitu satuan geomorfologi perbukitan sangat curam. Satuan perbukitan sangat curam menempati keseluruhan daerah penelitian atau 100% dari luas keseluruhan daerah penelitian. Stratigrafi daerah penelitian terdisir dari satuan Andesit Porfiri dan satuan Granit Kuarsa. Struktur daerah penelitian terdapat sesar local yaitu sesar geser sinistral Kelapatiga

3.2. Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal yang terdapat pada daerah penelitian tersingkap cukup luas, yaitu sekitar 42,77% dari luas daerah penelitian. Alterasi hidrotermal ini terdapat pada satuan granit kuarsa dan satuan andesit porfiri. Secara umum alterasi pada daerah penelitian terdapat 2 jenis alterasi berdasarkan kelompok mineral yang hadir (mineral *assemblages*) yaitu:

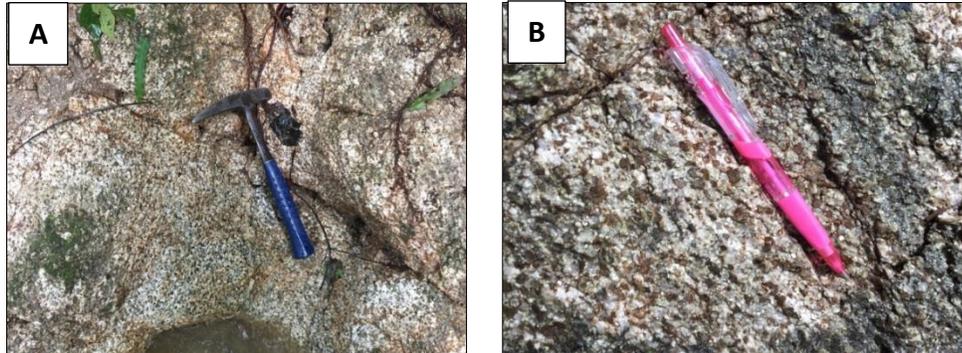
1. Alterasi potasik (biotit + klorit ± kuarsa)
2. Alterasi propilitik dalam (klorit + aktinolit ± feldspar).

3.2.1. Alterasi Potasik

Di daerah penelitian alterasi potasik berada pada daerah utara- selatan dengan luas sekitar 41,09% yang meliputi daerah dusun Kelapatiga dan dusun Maliontovo. Kondisi singkapan di lapangan dicirikan oleh batuan granit kuarsa yang berwarna putih yang mengalami alterasi yang dicirikan melimpahnya mineral biotit berwarna coklat yang sangat jelas diamati secara megaskopis (Gambar 2).

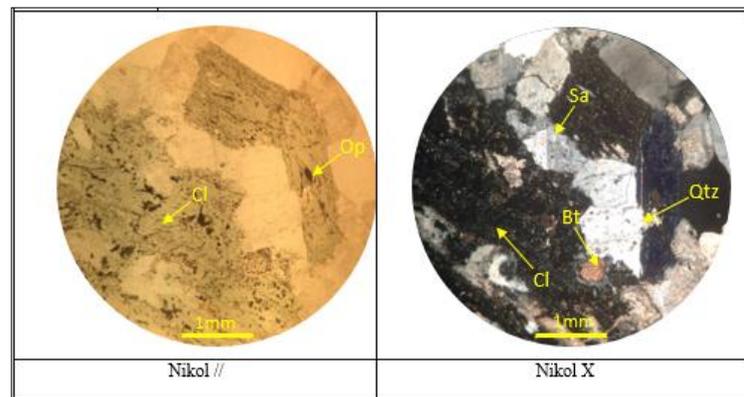
Berdasarkan pengamatan analisis petrografi alterasi potasik ini dicirikan oleh kehadiran mineral alterasi yang terdiri dari biotit dan klorit. Kenampakan mikroskopis sayatan petrografi pada sampel STB 026 yang secara umum menunjukkan warna kuning kecoklatan pada nikol sejajar dan abu-abu kehitaman pada nikol silang yang telah mengalami alterasi dimana proses ubahan hanya pada mineral tertentu. Kumpulan mineral alterasi yang dijumpai yaitu klorit (50%) dan biotit (5%). Pada kenampakan sayatan petrografi sampel STB 026 menunjukkan ubahan biotit sekunder menjadi klorit (Gambar 3). Biotit

sekunder merupakan ubahan dari mineral biotit primer seperti pada sampel petrografi STB 06 (Gambar 3).



Gambar 2. A. Kenampakan di lapangan satuan batuan granit kuarsa berwarna coklat keabu-abuan dan B. Kenampakan alterasi potasik dengan kehadiran mineral biotit yang melimpah berwarna coklat.

Berdasarkan kumpulan mineral alterasi yang didominasi oleh mineral klorit, kuarsa dan sebagian biotit yang mengalami perubahan pada kenampakan nikol sejajar menjadi klorit. Dimana klorit merupakan ubahan mineral yang mengandung Mg / Fe piroksin dan biotit atau massa dasar batuan. Maka dapat dimasukkan dalam jenis altersai potasik sesuai dengan klasifikasi Corbett dan Leach (1997). Terbentuk pada Suhu >300°C, salinitas tinggi, dekat dengan intrusi (Guilbert & Park, 1986).

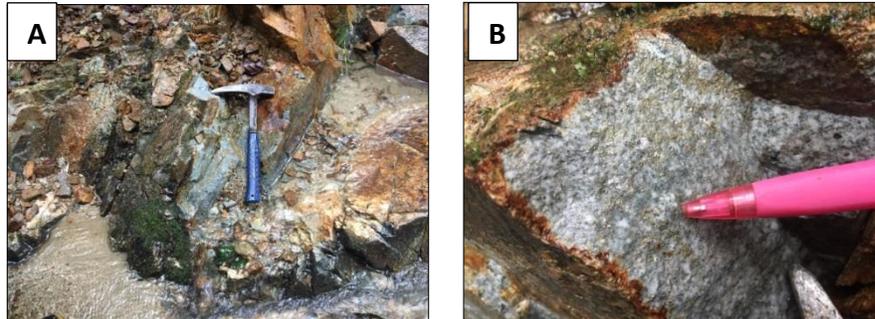


Gambar 3. Sayatan petrografi kode sampel STB 026 dengan kenampakan nikol sejajar // dan nikol silang X. Terdiri dari mineral kuarsa (Qtz), biotit (Bt), klorit (Cl), sanidin (Sa) dan mineral opak (Op).

3.2.2. Alterasi Propilitik Dalam (*Inner propylitic*)

Di daerah penelitian alterasi propilitik dalam (*Inner propylitic*) berada pada daerah selatan dengan luas sekitar 1,68% yang meliputi daerah dusun Maliontovo. Sungai Kondisi singkapan di lapangan dicirikan oleh batuan andesit porfiri yang berwarna hijau kehitaman yang mengalami alterasi yang dicirikan melimpahnya mineral klorit dan mineral sulfida berupa pirit yang sangat jelas diamati secara

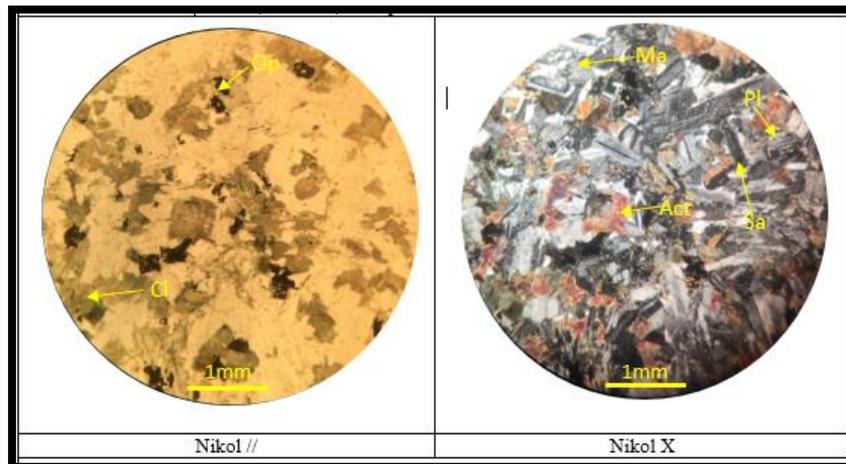
megaskopis (Gambar 4). alterasi ini juga tersingkap di beberapa titik pada daerah penelitian yang merupakan intrusi-intrusi kecil andesit pofiri seperti pada stasiun 03 dan 016.



Gambar 4. A. Kenampakan di lapangan satuan batuan andesit porfiri pada stasiun 016 berwarna hijau kehitaman dengan mineral alterasi berupa klorit dan B. Kenampakan litologi andesit profiri yang terisi oleh mineral sulfida berupa pirit yang berwarna kekuningan.

Berdasarkan analisis petrografi alterasi propilitik dalam (*inner propylitic*) ini dicirikan oleh kehadiran mineral alterasi yang terdiri dari klorit, aktinolit dan mineral opak. kenampakan mikroskopis sayatan petrografi pada sampel STB 016 yang secara umum menunjukkan warna kuning kecoklatan pada nikol sejajar dan abu-abu pada nikol silang yang telah mengalami alterasi, dimana proses ubahan hanya pada mineral tertentu. Kumpulan mineral alterasi yang dijumpai yaitu klorit (20%), aktinolit (15%) dan mineral opak (5%). Pada kenampakan sayatan petrografi sampel STB 016 dapat dilihat bahwa mineral aktinolit yang berwarna merah kekuningan pada nikol silang telah berubah warna menjadi kehijauan pada nikol sejajar yang menunjukkan perubahan mineral aktinolit menjadi klorit. Dimana sifat khas dari klorit yaitu berwarna hijau dan mempunyai bentuk subhedral-anhedral (Gambar 5). Pada sayatan petrografi STB 03 juga dijumpai mineral alterasi berupa aktinolit, biotit, klorit dan muskovit.

Berdasarkan kumpulan mineral alterasi yang didominasi oleh mineral klorit dan sebagian aktinolit yang mengalami perubahan pada kenampakan nikol sejajar menjadi klorit. Maka dapat dimasukkan dalam jenis altersai propilitik dalam (*Inner propylitic*) sesuai dengan klasifikasi Corbett & Leach (1996). Suhu 200-300°C, salinitas bervariasi, pH mendekati netral, permeabilitas rendah (Guilbert & Park, 1986).



Gambar 5. Sayatan petrografi kode sampel STB 016 dengan kenampakan nikol sejajar // dan nikol silang X. Terdiri dari masa dasar (Ma), aktinolit (Act), klorit (Cl), sanidin (Sa), plagioklas (Pl) dan mineral opak (Op).

3.2.3. Karakteristik Mineralisasi Bijih

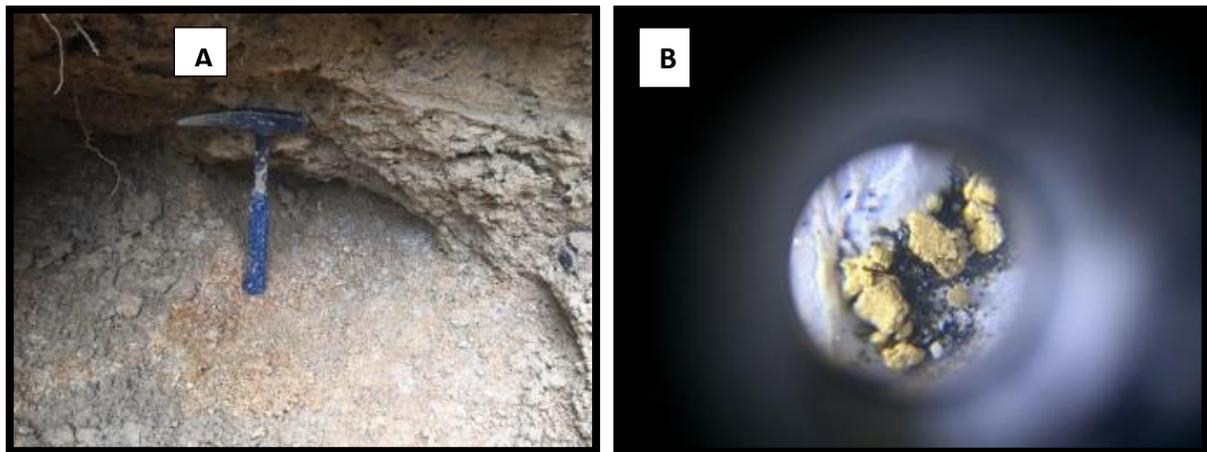
Mineralisasi bijih dijumpai pada batuan granit kuarsa dan andesit porfiri. Sampel mineral bijih diambil dari batuan yang kenampakan bijihnya masih dapat teramati oleh *loupe* untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Berdasarkan analisis mikroskopis bijih, mineralisasi bijih pada daerah penelitian dijumpai cukup beragam. Secara umum mineral bijih dijumpai antara lain: pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2), Sphalerit (ZnS), dan kovelit (CuS). Mineral bijih dijumpai dalam bentuk *disseminated* pada mineral dalam batuan dan vein kuarsa. Tekstur mineral bijih terdiri dari tekstur penggantian (*replacement*) dan tekstur sebaran (*disseminated*).

3.2.4. Jenis-Jenis Mineral Bijih

Mineralisasi bijih yang ada daerah penelitian memiliki jenis yang cukup beragam. Untuk mengetahui secara detail jenis mineralisasi bijih yang hadir maka perlu digunakan 3 metode pengamatan mulai dari pengamatan megaskopis, pengamatan mikroskopis dan AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*) untuk mengetahui unsur mineral, terutama kadar dari unsur mineral tersebut.

3.2.4.1. Pengamatan megaskopis mineral bijih

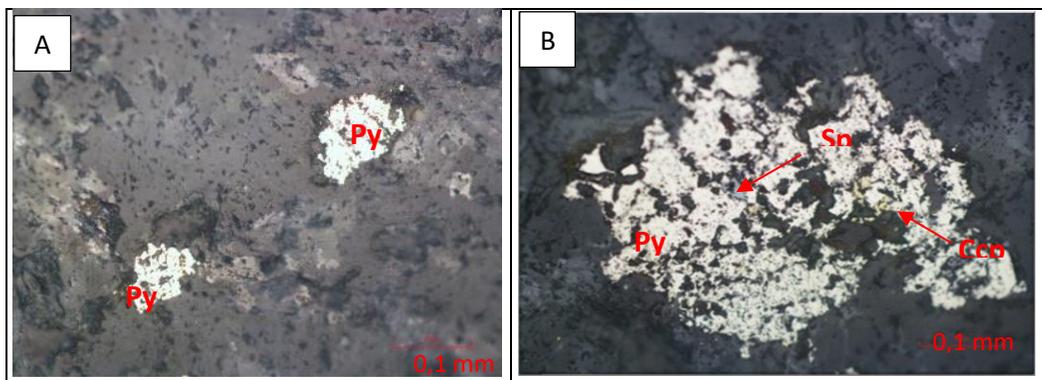
Kenampakan megaskopis di daerah penelitian menunjukkan kenampakan mineral bijih yang jelas seperti emas. Untuk emas berukuran halus sehingga perlu digunakan bantuan *loupe* atau mikroskop mini yang dapat digunakan pada *handphone* (Gambar 6)

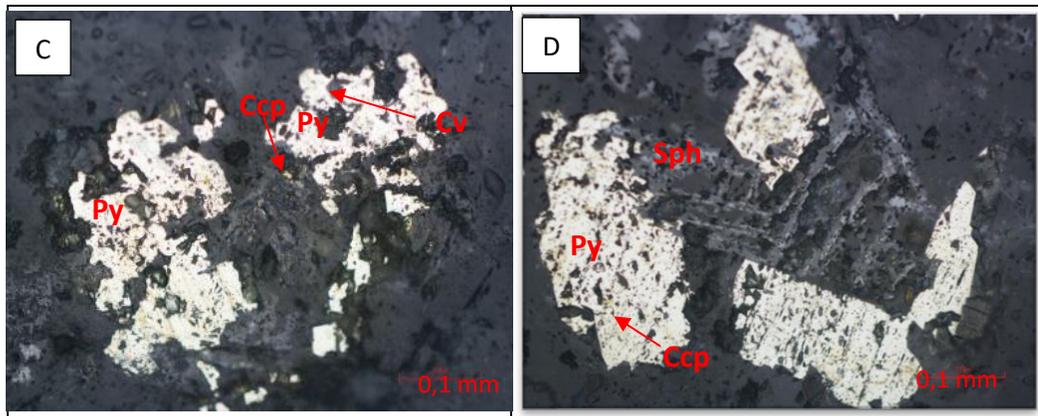


Gambar 6. A. Kenampakan *native element* emas (Au) difoto menggunakan mikroskop mini perbesaran 60X dengan bantuan *handphone*. B. Kenampakan soil yang mengandung *native element* emas (Au), soil ini merupakan lapukan dari granit kuarsa pada stasiun 01 di sungai Tada dengan arah foto N195°E.

3.2.4.2. Pengamatan Mikroskopis Mineral bijih

Pengamatan mineral bijih secara detail dibawah mikroskop untuk mengetahui paragenesis dari mineral-mineral bijih. Jenis-jenis mineral bijih dapat diidentifikasi secara baik melalui analisis mikroskopis bijih (mineragrafi) pada 3 sampel batuan. Berdasarkan analisis tersebut, mineralisasi bijih yang dapat diidentifikasi antara lain golongan sulfida: pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2), kovelit (CuS), dan spalerit (ZnS).





Gambar 7. Pirit (FeS_2) (A), Kalkopirit (CuFeS_2) (B), Kovelit (CuS) (C), Sphalerit (ZnS) (D).

3.2.4.3. Tekstur Mineral Bijih

Tekstur mineral bijih dapat membantu interpretasi urutan waktu pengendapan atau paragenesa mineral bijih dan proses-proses yang terjadi saat mineral bijih tersebut terbentuk. Berdasarkan analisis mineragrafi pada tiga sayatan poles batuan dan vein kuarsa, diketahui tekstur mineral bijih pada daerah penelitian terdiri dari tekstur sebaran (*Disseminated*), tekstur penggantian (*Replacement*) dan tekstur tumbuh bersama (*Intergrowth*).

Tekstur sebaran (*disseminated*) ini menunjukkan mineral bijih yang tersebar pada batuan atau urat. Mineral bijih yang memiliki tekstur ini yaitu pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2), spalerit (ZnS) dan kovelit (CuS) dijumpai pada batuan (Gambar 8B). Tekstur penggantian (*replacement*) dicirikan oleh penggantian suatu mineral oleh mineral lain tanpa ada perubahan ukuran dan volume rongga (Edward, 1952 dalam Evans, 1993). Kenampakan tekstur ini menggantikan mineral-mineral yang sudah terbentuk sebelumnya atau mengelilingi mineral-mineral yang lebih tua. Penggantian mineral ini terjadi pada batuan atau vein. Kenampakan tekstur pada analisis mineragrafi ditunjukkan oleh mineral spaleriti (ZnS) menggantikan mineral pirit (FeS_2) serta mineral kovelit (CuS) menggantikan mineral pirit (FeS_2). Tekstur tumbuh bersama (*intergrowth*) terjadi akibat perubahan temperature yang tinggi serta pengaruh dari jenis mineral yang menyebabkan terjadinya penyimpangan struktur kristalografi atau dengan kata lain susunannya tidak beraturan (Ramdhor, 1969). Tekstur tumbuh bersama pada sebagian pirit dan kalkopirit, hal ini menunjukkan pirit (FeS_2) dan kalkopirit (CuFeS_2) tumbuh bersama.

3.2.4.4. Paragenesa Mineral Bijih

Kriteria yang digunakan untuk mendeterminasi paragenesis mineral-mineral hipogen dan supergen adalah bentuk individu Kristal dan sifat kontak antar butiran yang berdampingan. Tahap supergen adalah tahap penggantian mineral karena oksidasi atau pelapukan (Craig & Vaugan, 1994). Berdasarkan hasil pengamatan mineragrafi berupa tekstur sebaran (*Disseminated*), tekstur penggantian (*Replacment*) dan

tekstur tumbuh bersama (*Intergrowth*) maka dapat diurutkan pembentukan mineral bijih yang terbentuk pada daerah penelitian.

Mineral yang hadir pada pengamatan mineragrafi yaitu pirit, kalkopirit, kovelit dan sphalerit. Urutan pembentukan mineral bijih berdasarkan pengamatan tekstur diawali dengan pirit yang mengisi rekahan-rekahan pada batuan. Kehadiran pirit dijumpai pada ketiga sayatan poles mineragrafi, baik sebagai mineral tunggal ataupun berasosiasi dengan mineral lain. Berdasarkan hasil pengamatan tekstur mineral bijih, dapat diketahui tahapan pembentukan bijih di daerah penelitian yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Paragenesa Mineral Bijih pada Daerah Penelitian

Mineral Bijih	Tahapan Mineralisasi		
	Hipogen		Supergen
	Awal	Tengah	
Pirit (FeS ₂)			
Kalkopirit (CuFeS ₂)			
Sphalerit (ZnS)			
Kovelit (CuS)			

3.2.4.5. Geokimia Bijih

Berdasarkan data geokimia menggunakan analisis AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) terhadap 18 stasiun meliputi batuan, vein kuarsa, alluvial, dan soil. Secara umum data hasil geokimia bijih yang didapatkan sangat mendukung untuk interpretasi terhadap tahapan mineralisasi di daerah penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis Geokimia AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*)

No.	Kode Sampel	Au ppm	Ag (ppm)	Cu ppm	Pb ppm	Fe %	Keterangan
1	ST 20A soil T3	0,8	<7	21	42	1,69	soil
2	ST 20A soil T4	1,5	<7	21	39	1,84	soil
3	ST 08 Andesit A3	<0,6	<7	123	24	4,43	andesit
4	ST 19 Soil T1	<0,6	<7	21	17	2,49	soil
5	ST 19 Soil T2	<0,6	<7	20	15	1,68	soil
6	ST 07 Vein Granit A1	<0,6	<7	16	19	0,44	vein kuarsa
7	ST 20B Soil T5	<0,6	<7	29	20	2,1	soil
8	ST 20B Soil T6	<0,6	<7	34	16	2,35	soil
9	ST 07 Vein Granit A2	<0,6	<7	11	38	0,27	vein kuarsa
10	ST 08 Andesit A4	<0,6	<7	144	29	4,72	andesit
11	ST 11 Pasir S5	<0,6	<7	¹⁶	12	1,41	aluvial
12	ST 10 Granit A5	<0,6	<7	13	12	1,78	granit
13	ST 11 Pasir S6	<0,6	<7	15	12	1,33	aluvial
14	ST 11 Pasir S7	<0,6	<7	13	12	1,26	aluvial
15	ST 11 Pasir S8	<0,6	<7	12	12	1,16	aluvial
16	ST 10 Granit A6	<0,6	<7	10	12	1,65	granit

3.2.4.6. Karakteristik Tipe Endapan Hidrotermal dan Model Genetik Pembentukan Endapan

Secara umum endapan mineral di daerah penelitian dicirikan oleh kehadiran sulfida dengan kelimpahan 1-50% pada urat kuarsa dan batuan, dengan rata-rata kelimpahan 25%. Mineral sulfida tersebut yaitu pirit-kalkopirit-sphalerit-kovelit dengan mineral *gangue* yaitu kuarsa yang hadir secara lokal. Pembahasan mengenai karakteristik tipe endapan serta model genetik endapan epitermal dapat menggunakan klasifikasi endapan epitermal oleh White & Hedenquist (1995), klasifikasi menurut Cobertt & leach (1997) dan klasifikasi Cobertt (2013) sebagai acuan dalam penentuan tipe endapan. Secara umum tipe endapan di daerah penelitian masuk dalam endapan epitermal sulfidasi tinggi dapat dilihat pada Tabel 5.

Setelah mengetahui tipe endapan berupa *high sulphidation lithologi control and structural*, maka dapat dibuat model genetik yang lebih mendetail mengenai daerah penelitian berdasarkan model yang dibuat oleh Cobertt (2008).

Tabel 5. Karakteristik Endapan di Daerah Penelitian dengan Pembanding Berupa Karakteristik Endapan dengan Tipe *High Sulphidation Lithologi Control-Structural* Yang Dibuat Oleh White & Hedenquist (1995), Cobertt & Leach (1997) Dan Cobertt (2013)

Karakteristik	Klasifikasi (White dan Hedenquest,1995)	Klasifikasi (Cobertt dan leach, 1997)	Klasifikasi (Cobertt, 2013)	Daerah Penelitian
Sistem vein	Urat hadir secara lokal	Vein dan breksi sulfida : kuarsa, alunit, barit, pirit, dan sulfida Cu	Berbutir halus, residu, <i>slaggy</i> (<i>vuggy</i>) kuarsa, umumnya berasosiasi dengan bijih	Hadir secara lokal pada dua stasiun pengamatan, masif dan berasosiasi dengan pirit
Tekstur mineral bijih	Dominan tekstur sebaran (<i>disseminated</i>) dan tekstur penggantian umum dijumpai (<i>replacemen</i>)	Dominan tekstur penggantian (<i>replacemen</i>) pada vein	-	Tekstur mineral bijih yang terdapat pada batuan ataupun vein yaitu tekstur sebaran (<i>disseminated</i>) dan penggantian (<i>replacemen</i>) yang terjadi pada litologi andesit. Tekstur penggantian (<i>replacemen</i>) juga terjadi pada vein dimana sphalerit menggantikan pirit
Sistem bukaan urat	Struktur <i>stockwork</i> sangat minor	Struktur dilational dan bijih umumnya muncul sebagai matrxs breksi	-	Sistem bukaan urat pada lokasi sangat minor dijumpai
Alterasi dan mineral kunci	-	Potasik, filik, argilik lanjut dan propilitik	Kristal alunit dan propilitik pada level sangat dalam	Tipe alterasi yang berkembang pada daerah penelitian yaitu potasik dan propilitik dalam
Kontrol geologi dan batuan induk	-	Struktur geologi regional atau lokal dapat mengontrol, intrusi dan permeabilitas batuan sebagai zona keluar masuknya larutan fluida	Kehadiran andesit-ryodasit secara luas (sampai beberapa kilometer)	Kontrol struktur geologi sesar geser mendatar mengiri dan kekar gerus sebagai jalur fluida dan intrusi granit serta yang menjadi batuan sampung (<i>wallrock</i>) batuan andesit.
Karakteristik	Klasifikasi (White dan Hedenquest,1995)	Klasifikasi (Cobertt dan leach, 1997)	Klasifikasi (Cobertt, 2013)	Daerah Penelitian

Kemunculan mineral sulfida	-	Kovelit-pirit-enargit-luzonit-tennantite-kalkopirit. Logam dasar sulfida	10-90% terutama pirit halus yang membentuk seperti laminasi. Pirit 10-20% tetapi biasanya <5%	Mineral sulfida yang terdapat pada daerah penelitian (pirit-kalkopirit-sphalerit-kovelit)
Kemunculan logam	-	-	Cu, Au, As, (Ag, Pb)	Logam yang terdapat pada daerah penelitian yaitu tembaga (Cu), emas (Au) dan timbal (Pb)
Kemunculan logam secara lokal	-	-	Bi, Sb, Mo, Sn, Zn, Te (He)	Kemunculan logam secara lokal terjadi pada pirit (FeS ₂) <i>replacemen</i> Sphalerit (ZnS)
Tipe Endapan	<i>high sulphidation</i>	<i>high sulphidation lithologi control and structural</i>	<i>high sulphidation</i>	Endapan epitermal sulfida tinggi kontrol litologi dan struktur (<i>high sulphidation lithologi control and structural</i>)

4. Kesimpulan

Secara umum alterasi pada daerah penelitian terdapat dua tipe alterasi yaitu alterasi potasik (biotit + klorit ± kuarsa) pada litologi granit kuarsa dan alterasi propilitik dalam (klorit + biotit + aktinolit) pada litologi andesit. Mineralisasi bijih di daerah penelitian dicirikan oleh kehadiran mineral pirit (FeS₂), kalkopirit (CuFeS₂), sphalerit (ZnS) dan kovelit (CuS). Urutan pembentukan mineral bijih berdasarkan tekstur yaitu diawali dengan pirit yang hadir mengisi rekahan pada batuan, kalkopirit tumbuh bersama (*intergrowth*) dengan pirit pada tahap hipogen dari awal hingga akhir, kemudian mineral sphalerit mengganti (*replacement*) mineral pirit pada tahap akhir dan pada tahap supergen mineral kovelit terbentuk menggantikan (*replacement*) mineral pirit. Geokimia Mineral Bijih Hasil dari pengujian kadar mineral di dapatkan kadar emas (Au) antara <0,6-1,5 ppm, kadar perak (Ag) <7 ppm, kadar tembaga (Cu) antara 10-144 ppm, timbal (Pb) antara 12-42 ppm, dan besi (Fe) antara 0,27-4,72 ppm. Anomali geokimia berada di beberapa sampel yaitu emas (Au) 0,8-1,5 ppm pada sampel soil lapukan granit dengan kode sampel ST 20A soil T3 dan ST 20A soil T4, perak (Ag) <7 ppm semua sampel memiliki kadar yang sama, tembaga (Cu) 123-144 ppm berada litologi andesit dengan kode sampel ST 08 Andesit A3 dan ST 08 andesit A4, timbal (Pb) 39-42 ppm berada pada sampel soil hasil lapukan granit dengan kode sampel ST 20A soil T3 dan ST 20A soil T4, besi (Fe) 4,43-4,72 % berada pada sampel andesit dengan kode sampel ST 08 Andesit A3 dan ST 08 Andesit A4. Berdasarkan karakteristik tipe endapan dan model genetik endapan. Endapan mineral pada lokasi daerah penelitian merupakan endapan epitermal sulfida tinggi kontrol litologi dan struktur (*high sulphidation lithologi control and structural*). Sistem endapan ini dicirikan oleh jenis alterasi pada temperatur tinggi dan mineral sulfida tembaga.

Daftar Pustaka

- Corbett, G.J. & Leach, T.M. (1996). *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration and Mineralization*. Workshop manual, 185 hlm.
- Corbett, G. (2002). *Epithermal Au-Ag – The Magmatic Connection Comparisons Between East and West*

Pacific Rim. Workshop Manual Exploration short course.

- Corbett, G.J. (2013). *Pacific Rim Epithermal Au-Ag. for World Gold Conference*, Brisbane 26-27 september 2013 Australian institute of minning and metallurgy
- Guilber, J.M & Park, C.F. (1986). *The Geology of Ore Deposit*. Freeman, 985 hlm
- Lowell, J., & Guilbert, J. (1970). Lateral and Vertical Alteration-Mineralization Zoning in Phorphyry Ore Deposits. *Economic Geology* 64, hlm.373-408
- McClay, K. (1987). *The Mapping of Geological Structures London*. Open University Press
- Van Leeuwen. *et al.* (2016). *The Palu Metamorphic Complex, NW Sulawesi, Indonesia: Origin and Evolution of a Young Metamorphic Terrane with Links to Gondwana and Sundaland*. *Journal of Asian Earth Science* Vol. 115
- Park, F.C. & Macdiarmid R.A. (1975). *Ore Deposit 3rd Edition*. USA: Freeman and company, hlm 529.
- Pirajno, F., 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral System*, Springer – Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Robb, L.J. (2006). *Introduction to Ore-Forming Process*. Malden: Blackwell Publishing., 373 hlm.
- Salamah, A. F. Aribowo, Y., Widiarso, D.A., Ali, R. K. (2014). Penentuan Tipe Alterasi Berdasarkan Analisis Petrografi, Mineragrafi, dan Geokimia pada Daerah Kasimbar, Kabupaten Parigi Moutong, Provinsi Sulawesi Tengah. *Geological Engineering Journal*, 6(1), pp. 255–270
- Sidarto & Bachri, S. (2013). *Struktur Geologi*, Geologi Sulawesi, pp. 277–302
- Simmon, S.F, White, N.C., John, D.A. (2005). *Geological Characteristic of Epithermal Precious and Base Metal Deposits*. Society of Economic Geologist.
- Sukanto, R & Simandjuntak, T.O. (1983). *Tectonic Relationship Between Geologic Provinces of Western Sulawesi, Eastern Sulawesi And Banggai-Sula In The Light of Sedimentological Aspects*. Indonesian Geological Research Development Centre, Bulletin
- Surono & Hartono, U. (2013). *Geologi Sulawesi*. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. LIPI Press, Jakarta
- Van Bemmelen, R.W. (1949). *The Geology of Indonesia*, Vol. IA. General Geology the Hague, Martinus, Nijhoff.
- White, N.C. dan Hedenquist, J.W. (1995). Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration. *SEG Newsletter*.