

KARAKTERISTIK ALTERASI -MINERALISASI ENDAPAN EPITERMAL SULFIDASI TINGGI DAERAH KARANGGANDU DAN SEKITARNYA, KECAMATAN WATULIMO, KABUPATEN TRENGGALEK

Ahmad Zaki Zakaria¹, Radhitya Adzan Hidayah², Subhan Arif^{3*}

¹ Mahasiswa Teknik Geologi, Universitas AKPRIND Indonesia, Kalisahak No.28 Yogyakarta, 55222

^{2,3} Teknik Geologi, Universitas AKPRIND Indonesia, Kalisahak No. 28 Yogyakarta, 55222

Email: s.arif@akprind.ac.id

ABSTRACT

The research location is located in the Karanggandu area and its surroundings, Watulimo subdistrict, Trenggalek Regency, with an area of 4 x 4 at coordinates 8°17'45" South Latitude - 8°20'0" South Latitude and 111°41'0" East Longitude - 111°43'0" East Longitude. The aim of this research is to identify geological conditions and characteristics of alteration and mineralization in the research area. The methods used in this research are field mapping (geomorphology, geology, hydrothermal alteration), petrography, mineralography, X-ray diffraction (XRD), and atomic absorption spectrophotometers (AAS). Based on the results of the analysis, it was identified into 3 geological units, namely the andesite lava unit, andesite intrusion unit, and dacite intrusion unit with five alteration zoning zones with the help of the X-Ray Diffraction (XRD) analysis method in the research area, namely, vuggy quartz alteration zone, alteration zone advanced argillic (quartz + alunite + diaspor + pyrophyllite), intermediate argillic alteration zone (quartz + illite + kaolinite ± pyrite - chalcopyrite), argillic alteration zone (illite + kaolinite + quartz ± pyrite), and propylitic alteration zone (chlorite ± epidote + quartz ± pyrite). This alteration zone falls into the type of high sulfidation epithermal deposit with characteristic features of overprinting porphyry and vuggy quartz. Based on the mineralization pattern that develops from mineragraphic observations, it shows a special texture in the form of a disseminated texture in the sulfide minerals pyrite and chalcopyrite, an intergrowth/simultaneous texture, and a replacement texture in the covellite, bornite, pyrite, and chalcopyrite minerals replaced by oxide minerals such as hematite, goethite, and jarosite, which characterize the zone change from the hypogene zone to the supergene zone. In the geochemical analysis of the ore using the Atomic Absorption Spectrophotometry/AAS method on 2 samples LP 95 and LP 93, the Au element content value was 1148 (ppb) and 146 (ppb), the Ag element was 6 (ppm) in both samples, and for the element Cu, it was 140 (ppm) and 215 (ppm).

Keywords: Geology, Alteration, Mineralization, High Sulfidation Epithermal

INTISARI

Lokasi penelitian terletak di daerah Karanggandu dan sekitarnya, kecamatan Watulimo, Kabupaten Trenggalek dengan luasan 4 x 4 pada koordinat 8°17'45" LS - 8°20'0" LS dan 111°41'0" BT - 111°43'0" BT. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kondisi geologi, dan karakteristik alterasi, dan mineralisasi pada daerah penelitian. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pemetaan lapangan (geomorfologi, geologi, alterasi hidrotermal), petrografi, mineragrafi, X-Ray Diffraction (XRD), dan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Berdasarkan hasil analisis, diidentifikasi menjadi 3 satuan geologi, yaitu satuan lava andesit, satuan intrusi andesit, dan satuan intrusi dasit dengan lima zona zonasi alterasi dengan bantuan metode analisis X-Ray Diffraction (XRD) pada daerah penelitian yaitu, zona alterasi vuggy quartz, zona alterasi argilik lanjut (kuarsa + alunite + diaspor + pirofilit), zona alterasi argilik menengah (kuarsa + illit + kaolinit ± pirit - kalkopirit), zona alterasi argilik (illit + kaolinit + kuarsa ± pirit), dan zona alterasi propilitik (klorit ± epidot + kuarsa ± pirit). Zonasi alterasi tersebut masuk kedalam tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi dengan fitur penciri overprinting porphyry dan vuggy quartz. Berdasarkan dari pola mineralisasi yang berkembang pada pengamatan mineragrafi menunjukkan tekstur khusus berupa tesktur disseminated/menyebar pada mineral sulfida pirit, dan kalkopirit, tekstur intergrowth/simultan dan tekstur replacement/penggantian pada mineral kovelit, bornit, pirit, dan kalkopirit digantikan mineral oksida seperti hematit, 71ydrothe, dan 71ydrothe yang mencirikan perubahan zona dari zona hipogen ke zona supergen. Pada analisis geokimia bijih menggunakan metode Atomic Absorption Spectrophotometry/AAS pada 2 sampel LP 95 dan LP 93 menunjukkan nilai kadar unsur Au sebesar 1148 (ppb), dan 146 (ppb), unsur Ag sebesar 6 (ppm) pada kedua sampel, dan untuk unsur Cu sebesar 140 (ppm), dan 215 (ppm).

Kata kunci: Geologi, Alterasi, Mineralisasi, Epitermal Sulfidasi Tinggi

1. PENDAHULUAN

Salah satu wilayah yang memiliki potensi endapan mineral bijih yaitu terletak di Desa Karanggandu dan sekitarnya, Kecamatan Watulimo, Kabupaten Trenggalek, Jawa Timur. Pada daerah penelitian ini terindikasi keterdapatan mineral bijih hidrotermal yang cukup banyak, dan daerah penelitian juga terdapat beberapa prospek di sekitarnya berupa endapan emas epitermal menurut (Takahashi dkk, 2014) dan beberapa endapan tembaga hingga emas porfiri menurut (Maryono dkk, 2018 : Idrus dkk, 2021) (Kresna dan Idrus 2017,) telah terkonfirmasi keterdapatannya suatu tipe mineral porfiri Cu-Au dan tipe epitermal pada daerah Trenggalek. Oleh karena itu, untuk mengkaji lebih lanjut dilakukan penelitian tentang endapan epitermal khususnya endapan epitermal sulfidasi tinggi yang berkembang di daerah penelitian, dimana penelitian ini ditujukan untuk mengetahui karakteristik endapan epitermal sulfidasi tinggi dari daerah penelitian. Oleh karena itu, beberapa metode penyelidikan litologi (batuan) dapat dilakukan untuk mendukung hasil dari penelitian ini, diantaranya yaitu analisis Petrografi, Mineragrafi, *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)*.

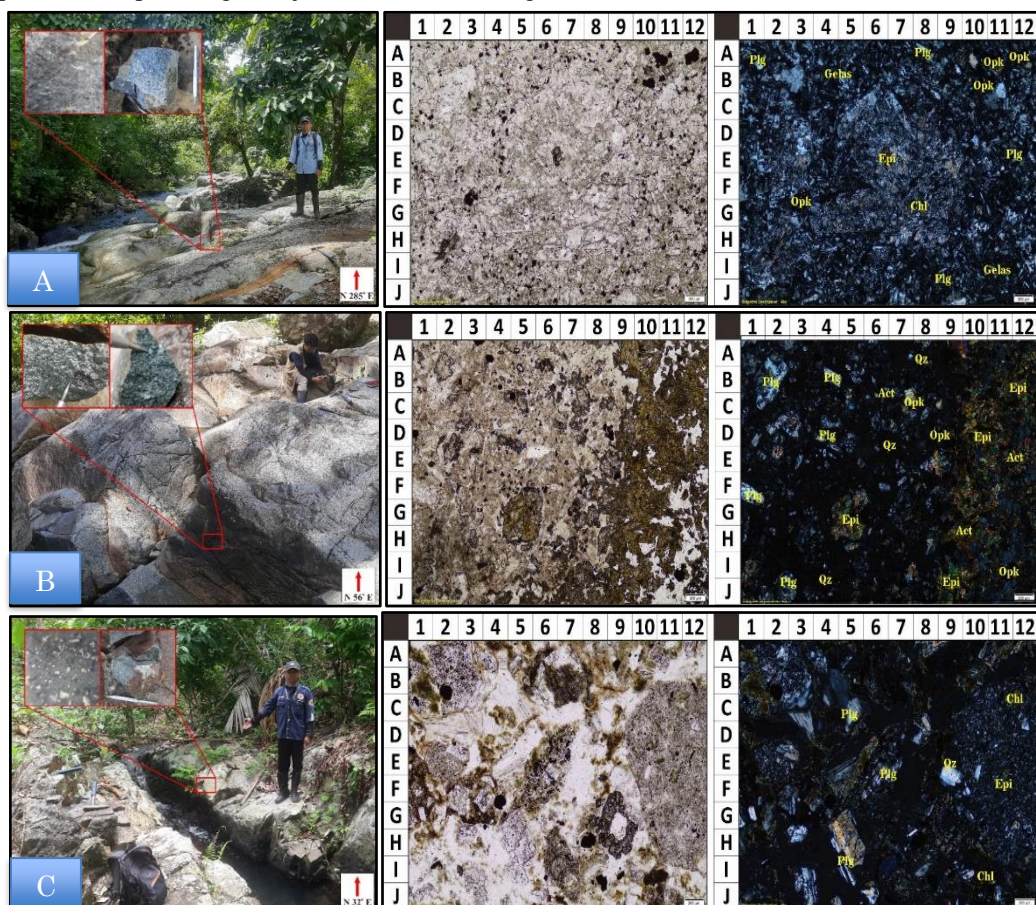
2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode observasi lapangan dan metode analisis. Metode observasi lapangan yaitu mengamati, mengukur, dan menganalisis berupa tahapan dalam jenis pengumpulan data primer yaitu data yang diambil secara langsung di lokasi penelitian baik itu berupa data lokasi pengamatan, geomorfologi, singkapan batuan/litologi, struktur geologi, serta alterasi dan mineralisasi serta menggunakan metode analisis berupa analisis studio dan analisis laboratorium. Analisis studio meliputi pembuatan peta, dari data lapangan yang diperoleh seperti data litologi, struktur geologi, geomorfologi, data alterasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

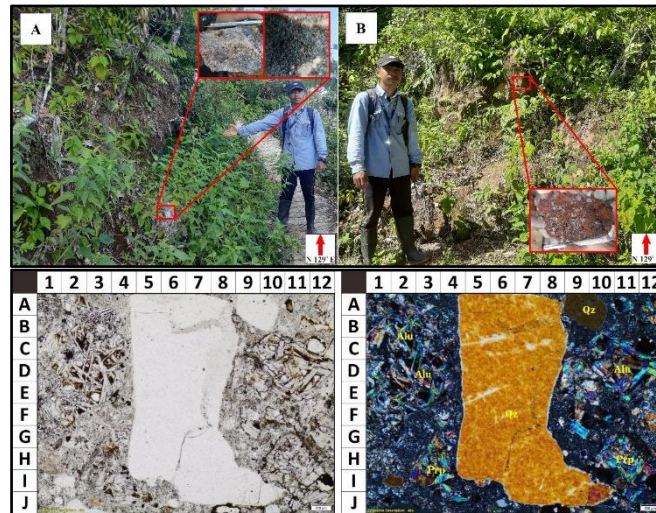
3.1. Geologi daerah penelitian

Berdasarkan uraian yang didapatkan dan setelah melalui berbagai pekerjaan lapangan dan pekerjaan laboratorium, daerah penelitian dapat dibagi menjadi 3 satuan litostratigrafi tidak resmi.



Gambar 2. (A) Singkapan lava andesit struktur massif pada Desa Karanggandu dan Fotomikrografi Lava Andesit Mandalika dengan mineral penciri yaitu Plagioklas (Plg), Epidot (Epi), Klorit (Chl), Opak (Opk), Gelas. (B) Singkapan dan fotomikrografi Intrusi Diorit dengan mineral penciri yaitu Plagioklas (Plg), Kuarsa (Qz), Epidot (Epi), Klorit (Chl), Opak (Opk), Aktinolit (Act). (C) Singkapan dan fotomikrografi Intrusi Andesit Mandalika dengan mineral penciri yaitu Plagioklas (Plg), Epidot (Epi), Klorit (Chl), Kuarsa (Qz).

Berurutan dari satuan paling tua sampai yang paling muda adalah satuan lava andesit Mandalika dengan umur Oligosen Akhir – Miosen Awal dan di terobos secara berurutan oleh satuan intrusi diorit, satuan andesit, dan satuan intrusi dasit dengan umur Miosen Tengah – Miosen Akhir (11 Ma – 12,8 Ma) menurut (Maryono, A. dkk, 2018).



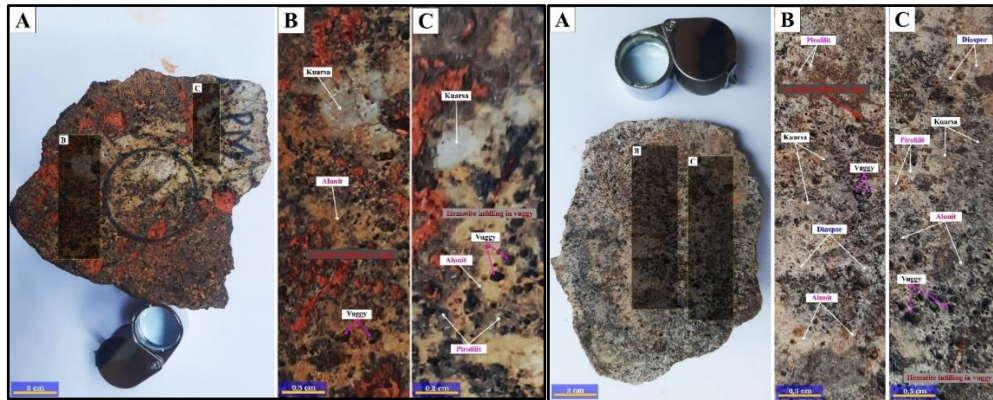
Gambar 3. Singkapan dan fotomikrografi Intrusi Dasit dengan mineral penciri yaitu Alunit (Alu), Pirofilit (Prp), Kuarsa (Qz)

3.2. Alterasi hidrotermal daerah penelitian

Berdasarkan analisis dengan metode-metode yang sudah dilakukan dengan data yang diambil secara langsung dilapangan, zonasi alterasi daerah penelitian dibagi menjadi 5 zona yaitu, (1) Zona Alterasi *Vuggy Quartz*, (2) Zona Alterasi Argilik Lanjut (Kuarsa + Alunit + Diaspor + Pirofilit), (3) Zona Alterasi Argilik Menengah (Kuarsa + Illit + Kaolinit ± Pirit – Kalkopirit), (4) Zona Alterasi Argilik (Illit + Kaolinit + Kuarsa ± Pirit), dan (5) Propilitik (Klorit ± Epidot + Kuarsa ± Pirit).

3.2.1. Zona Alterasi *Vuggy Quartz*

Zona alterasi *vuggy quartz* terletak pada bagian paling tengah dari zona alterasi lainnya dalam sistem endapan epitermal sulfidasi tinggi pada daerah penelitian. Zona alterasi ini ditandai oleh kehadiran kuarsa *vuggy* (berongga) atau berstruktur *vuggy*, yang terbentuk akibat proses hidrotermal yang menghasilkan deplesi (pengurangan) mineral dan pembentukan rongga-rongga atau vug di dalamnya. *Vug/rongga* ini dapat terisi dengan material-mineral tambahan seperti kuarsa, sulfida, atau mineral lain. Tekstur *vuggy* pada kuarsa menjadi fitur penting pada alterasi ini, mengindikasikan fluida dengan pH yang sangat asam < 2 yang dicirikan oleh hadirnya kelompok mineral silika yang melimpah dan suhu sekitar $250-320^{\circ}\text{C}$ (Hedenquist dan Arribas, 2000). Fluida yang sangat asam memicu terjadinya proses *leaching* pada mineral sebelumnya sehingga membentuk tekstur *vug/rongga*. Zona alterasi *vuggy quartz* ini berada pada litologi breksi hidrotermal dan intrusi dasit pada satuan intrusi dasit dengan didominasi oleh kehadiran asosiasi mineral alterasi berupa kuarsa, alunit, diaspor, dan pirofilit. Zona alterasi ini dipengaruhi oleh zona sesar mendatar kiri turun Kumbokarno yang berperan sebagai *pathway* fluida hidrotermal naik ke atas dan diperkuat lagi dengan adanya atau terbentuknya litologi breksi hidrotermal pada daerah penelitian. Zona alterasi ini diperkirakan terbentuk pada 73ydrotherma $250^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$ mengacu pada tabel stabilitas 73ydrotherma dari mineral-mineral 73ydrothermal di lingkungan epithermal (Reyes dan Gigenbach, 1992). Pada zona alterasi ini litologi breksi hidrotermal pada LP 95 dan intrusi dasit pada LP 93 telah mengalami alterasi kuarsa, alunit, diaspor, dan pirofilit dengan intensitas alterasi sangat kuat dan alterasi berpola *pervasive* karena semua mineral primer sudah berubah dengan secara merata.



Gambar 4. *Handsample* Breksi Hidrotermal pada LP 95 teralterasi kuarsa-alunit-diaspor-pirofilit, (B,C) Perbesaran *handsample* menunjukkan tekstur *vuggy* dan mineralisasi goethit, dan hematit (Kiri), dan *Handsample* Intrusi Dasit pada LP 93 teralterasi kuarsa-alunit-diaspor-pirofilit, (B,C) Perbesaran *handsample* menunjukkan tekstur *vuggy* dan mineralisasi goethit, dan hematit (Kanan)

3.2.2. Zona Alterasi Argilik Lanjut (Kuarsa + Alunit + Diaspor + Pirofilit)

Zona alterasi argilik lanjut (kuarsa + alunit + diaspor + pirofilit) terletak pada bagian luar terdekat dari zona *central* atau zona *vuggy quartz* dari zona alterasi lainnya dalam sistem endapan epitermal sulfidasi tinggi pada daerah penelitian. Zona alterasi ini ditandai oleh kehadiran kuarsa yang sangat melimpah dan massif. Keterdapatannya *clay minerals* berupa alunit, diaspor dan pirofilit menjadi fitur penting pada alterasi ini, mengindikasikan fluida dengan pH yang sangat asam < 2 yang dicirikan oleh hadirnya kelompok mineral silika yang melimpah dan suhu sekitar 250-320° C (Hedenquist dan Arribas, 2000). Zona alterasi argilik lanjut (kuarsa + alunit + diaspor + pirofilit) ini berada pada litologi intrusi dasit pada satuan intrusi dasit dengan didominasi oleh kehadiran asosiasi mineral alterasi berupa kuarsa, alunit, diaspor, dan pirofilit. Zona alterasi ini dipengaruhi oleh zona sesar mendatar kiri turun Kumbokarno yang berperan sebagai *pathway* fluida hidrotermal naik ke atas dan diperkuat lagi dengan adanya atau terbentuknya litologi breksi hidrotermal pada daerah penelitian. Zona alterasi ini diperkirakan terbentuk pada temperatur 250°C - 300°C mengacu pada tabel stabilitas temperatur dari mineral-mineral hidrotermal di lingkungan epithermal (Reyes dan Gigenbach, 1992). Pada zona alterasi ini litologi intrusi dasit pada LP 93 telah mengalami alterasi kuarsa, alunit, diaspor, dan pirofilit dengan intensitas alterasi sangat kuat dan alterasi berpola *pervasive* karena semua mineral primer sudah berubah dengan secara merata.

3.2.3. Zona Alterasi Argilik Menengah (Kuarsa + Illit + Kaolinit ± Pirit - Kalkopirit)

Zona Alterasi Argilik Menengah (Kuarsa + Illit + Kaolinit ± Pirit - Kalkopirit) terletak pada bagian luar kedua dari zona *central* berangsur setelah zona argilik lanjut dan berada ditengah-tengah zona alterasi lainnya dalam sistem endapan epitermal sulfidasi tinggi pada daerah penelitian. Zona alterasi ini ditandai oleh kehadiran *clay minerals* yang sangat melimpah dan massif. Keterdapatannya *clay minerals* berupa illit, kaolinit menjadi fitur penting pada alterasi ini, mengindikasikan fluida dengan pH yang sangat asam < 2 yang dicirikan oleh hadirnya kelompok mineral silika yang melimpah dan suhu sekitar 250-320° C (Hedenquist dan Arribas, 2000). Zona alterasi argilik menengah (kuarsa + illit + kaolinit ± pirit - kalkopirit) ini berada pada litologi intrusi dasit pada satuan intrusi dasit dengan didominasi oleh kehadiran asosiasi mineral alterasi berupa kuarsa, illit, kaolinit, pirit, kalkopirit. Zona alterasi ini dipengaruhi oleh zona sesar mendatar kiri turun Kumbokarno yang berperan sebagai *pathway* fluida hidrotermal naik ke atas dan diperkuat lagi dengan adanya atau terbentuknya litologi breksi hidrotermal pada daerah penelitian. Zona alterasi ini diperkirakan terbentuk pada temperatur 150°C - 220°C mengacu pada tabel stabilitas temperatur dari mineral-mineral hidrotermal di lingkungan epithermal (Reyes dan Gigenbach, 1992). Pada zona alterasi ini litologi intrusi dasit pada LP 92 telah mengalami alterasi kuarsa, illit, kaolinit, pirit, kalkopirit dengan intensitas alterasi kuat dan alterasi berpola *pervasive* karena semua mineral primer sudah berubah dengan secara merata.

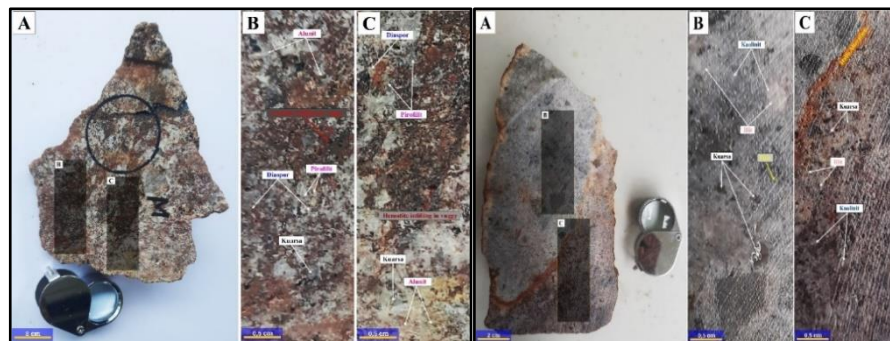
3.2.4. Zona Alterasi Argilik (Illit + Kaolinit + Kuarsa ± Pirit)

Zona Alterasi Argilik (Illit + Kaolinit + Kuarsa ± Pirit) terletak pada bagian luar ketiga dari zona *central* berangsur setelah zona argilik menengah dan berada ditengah-tengah zona alterasi lainnya dalam sistem endapan

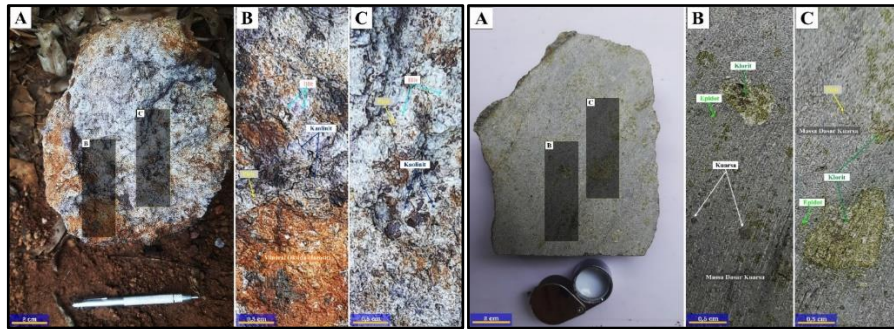
epitermal sulfidasi tinggi pada daerah penelitian. Zona alterasi ini ditandai oleh kehadiran *clay minerals* yang sangat mendominasi, melimpah dan massif. Keterdapatannya berupa illit, kaolinit menjadi fitur penting pada alterasi ini, mengindikasikan fluida dengan pH yang asam < 2 yang dicirikan oleh hadirnya kelompok mineral silika dan suhu sekitar $250-320^{\circ}\text{C}$ (Hedenquist dan Arribas, 2000). Zona alterasi argilik (Illit + Kaolinit + Kuarsa \pm Pirit) ini berada pada litologi intrusi dasit pada satuan intrusi dasit dengan didominasi oleh kehadiran asosiasi mineral alterasi berupa illit, kaolinit, kuarsa, dan pirit. Zona alterasi ini dipengaruhi oleh zona sesar mendatar kiri turun Kumbokarno yang berperan sebagai *pathway* fluida hidrotermal naik ke atas dan diperkuat lagi dengan adanya atau terbentuknya litologi breksi hidrotermal pada daerah penelitian. Zona alterasi ini diperkirakan terbentuk pada temperatur $150^{\circ}\text{C} - 220^{\circ}\text{C}$ mengacu pada tabel stabilitas temperatur dari mineral-mineral hidrotermal di lingkungan epithermal (Reyes dan Gigenbach, 1992). Pada zona alterasi ini litologi intrusi dasit pada LP 15 telah mengalami alterasi illit, kaolinit, kuarsa, dan pirit dengan intensitas alterasi kuat dan alterasi berpola *pervasive* karena semua mineral primer sudah berubah dengan secara merata.

3.2.5. Zona Alterasi propilitik (Klorit \pm Epidot + Kuarsa \pm Pirit)

Zona alterasi propilitik (Klorit \pm Epidot + Kuarsa \pm Pirit) terletak pada bagian paling luar zona *central* berangsur setelah zona argilik dan berada paling luar zona alterasi lainnya dalam sistem endapan epitermal sulfidasi tinggi pada daerah penelitian. Zona alterasi ini ditandai oleh kehadiran mineral klorit yang sangat mendominasi, melimpah dan massif. Keterdapatannya berupa illit, kaolinit menjadi fitur penting pada alterasi ini, mengindikasikan fluida dengan pH yang asam < 2 yang dicirikan oleh hadirnya kelompok mineral silika dan suhu sekitar $250-320^{\circ}\text{C}$ (Hedenquist dan Arribas, 2000). Zona alterasi propilitik (Klorit \pm Epidot + Kuarsa \pm Pirit) ini berada pada litologi intrusi andesit pada satuan intrusi andesit dengan didominasi oleh kehadiran asosiasi mineral alterasi berupa klorit, epidot, kuarsa, dan pirit. Zona alterasi ini dipengaruhi oleh zona sesar mendatar kiri turun Kumbokarno yang berperan sebagai *pathway* fluida hidrotermal naik ke atas dan diperkuat lagi dengan adanya atau terbentuknya litologi breksi hidrotermal pada daerah penelitian. Zona alterasi ini diperkirakan terbentuk pada temperatur $240^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$ mengacu pada tabel stabilitas temperatur dari mineral-mineral hidrotermal di lingkungan epithermal (Reyes dan Gigenbach, 1992). Pada zona alterasi ini litologi intrusi dasit pada LP 15 telah mengalami alterasi illit, kaolinit, kuarsa, dan pirit dengan intensitas alterasi kuat dan alterasi berpola *pervasive* karena semua mineral primer sudah berubah dengan secara merata.



Gambar 5. *Handsample* Intrusi Dasit pada LP 93 teralterasi kuarsa-alunit-diaspor-pirofilit, (B,C) Perbesaran *handsample* menunjukkan tekstur masif dan mineralisasi goethit, dan hematit (Kiri), dan *Handsample* Intrusi Dasit pada LP 92 teralterasi kuarsa-illit-kaolinit \pm pirit-kalkopirit, (B,C) Perbesaran *handsample* menunjukkan tekstur khusus masif dan *quartz eye* pada litologi dasit (Kanan)

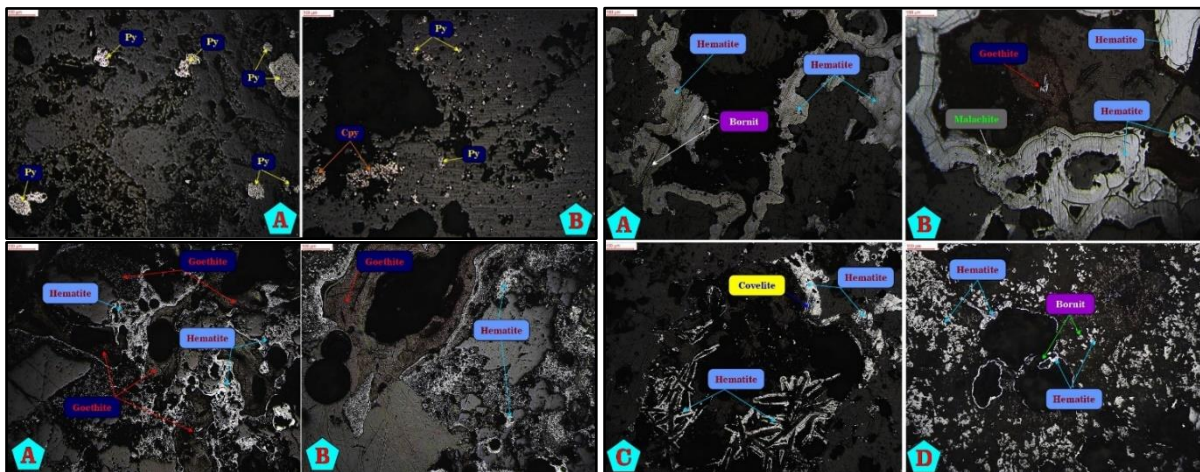


Gambar 6. *Handsample* Intrusi Dasit pada LP 15 teralterasi Illit-Kaolinit-Kuarsa ± Pirit (B,C) Perbesaran *handsample* menunjukkan tekstur masif dan pada litologi dasit (Kiri), dan *Handsample* Intrusi Andesit pada LP 24 teralterasi Illit-Kaolinit-Kuarsa ± Pirit (B,C) Perbesaran *handsample* menunjukkan tekstur masif dan pada litologi dasit (Kanan)

3.3. Mineralisasi daerah penelitian

3.3.1. Tekstur mineral bijih

Tekstur mineral bijih menunjukkan hubungan antara satu mineral bijih dengan mineral bijih lainnya. Tekstur bijih dapat memberikan bukti proses alam seperti deposisi awal bijih, *post depositional requilibrium*, deformasi, *annealing*, dan pelapukan oleh air meteorik. Tekstur mineral bijih yang dapat dijumpai di daerah penelitian adalah tekstur sebaran (*disseminated*) yang merupakan tekstur primer yang dicirikan dengan kehadiran mineral bijih yang tersebar secara individu tanpa mengenai mineral yang lain (Vaughan, 1994). Di daerah penelitian, tekstur sebaran dapat dijumpai pada pirit, dan kalkopirit. Tekstur kristalisasi simultan (*intergrowth*) merupakan tekstur primer yang menunjukkan pertumbuhan mineral bijih secara bersamaan dengan ciri berupa kontak antar mineral bijih yang sejajar. Tekstur kristalisasi simultan di daerah penelitian dapat dijumpai pada mineral – mineral oksida seperti hematit, dan goethite. Tekstur ini dijumpai pada zona alterasi *vuggy quartz* dan argilik lanjut pada daerah penelitian. Tekstur penggantian (*replacement*) merupakan tekstur sekunder yang dapat dihasilkan dari beberapa proses seperti (1) *disolusi* dan *subsequent resipitation*, (2) *oksidasi*, dan (3) *solid state diffusion*, menurut (Craig dan Vaughan, 1994). Pada daerah penelitian, tekstur penggantian (*replacement*) dapat dijumpai pada mineral sulfida, contohnya adalah penggantian mineral pirit, kalkopirit, kovelit dan bornit oleh mineral oksida seperti hematit, goethit, dan jarosit.



Gambar 7. Foto mineragrafi yang menunjukkan mineral Py/Pirit, dan Cpy/Kalkopirit dengan tekstur disseminated (A) mineral Py/Pirit (B) mineral Py/Pirit, dan Cpy/Kalkopirit (Kiri Atas), Foto mineragrafi yang menunjukkan mineral hematit, dan goethite dengan tekstur *intergrowth* (A) mineral hematit dan goethit (B) mineral hematit dan goethite (Kiri Bawah), Foto mineragrafi yang menunjukkan mineral sulfida covelit, bornit, malachite dan di gantikan mineral oksida hematit, dan goethite dengan tekstur *replacement* (A) mineral bornit digantikan oleh mineral hematit, (B) mineral malachite digantikan oleh mineral hematit dan goethite, (C) mineral covelit digantikan oleh mineral hematit, (D) mineral bornit digantikan oleh mineral hematit (Kanan Atas dan Bawah)

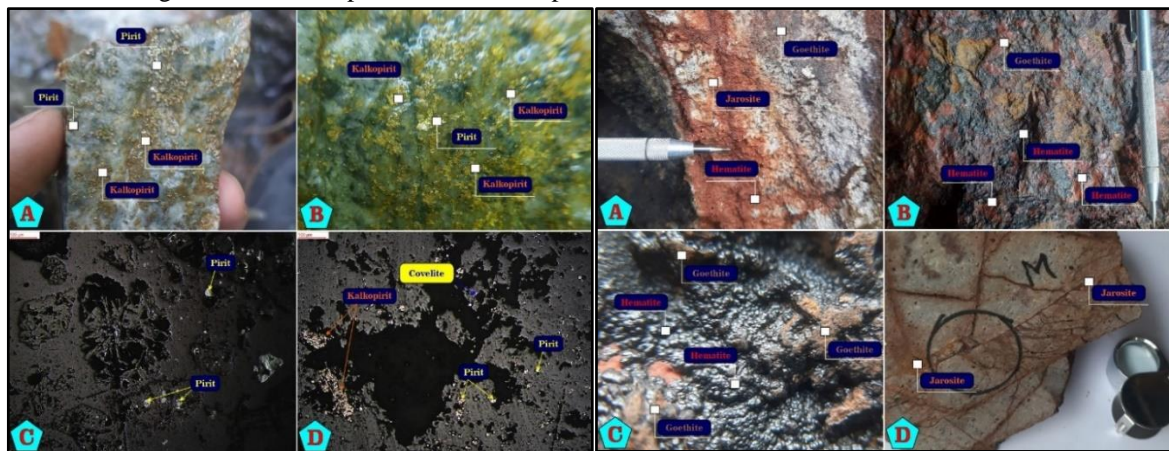
3.3.2. Mineral Sulfida

Golongan mineral sulfida adalah golongan mineral yang tersusun oleh unsur sulfur yang berikatan dengan unsur

logam. Mineral sulfida yang dapat dijumpai di daerah penelitian adalah pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2), kovelit (CuS). Kehadiran mineral sulfida dapat diamati secara mikroskopis dan megaskopis. Mineral sulfida secara umum dapat dijumpai pada urat maupun menyebar pada batuan. Pirit secara megaskopis dapat diidentifikasi melalui sifat fisiknya yang berbentuk kubik - granular, warna perak kekuning - kuning cerah dan memiliki cerat hitam. Secara mikroskopis, pirit memiliki warna putih kekuningan, tidak ada pleokroisme, bentuk subhedral, isotropik, dan reflektansi sedang. Kalkopirit dapat diidentifikasi melalui pengamatan megaskopis dari warna yang lebih kuning kecoklat - coklatan dibandingkan dengan pirit. Melalui pengamatan mikroskopis, kalkopirit dapat diidentifikasi melalui warnanya yang kuning keemasan, bentuk subhedral, anisotropi lemah, tidak memiliki pleokroisme, reflektansi sedang, bireflektansi lemah, dan internal reflektansi abu - abu gelap. Kalkopirit dapat dijumpai di hampir semua urat hidrotermal yang termineralisasi (dominan).

3.3.3. Mineral Oksida

Mineral oksida merupakan golongan mineral yang mengandung unsur oksigen yang berikatan dengan unsur logam atau semilogam. Mineral oksida yang dapat dijumpai di daerah penelitian adalah *hematite* (Fe_2O_3), *goethite* ($\text{Fe}_3+\text{O}(\text{OH})$), dan *jarosite* ($\text{KFe}_3+ 3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$). *Hematite* dapat diidentifikasi memiliki ciri khas berwarna merah bata dengan kilap tanah dan cerat merah bata. *Hematite* merupakan mineral hasil proses oksidasi. Selain itu, *hematite* juga hadir sebagai mineral oksida primer berupa *specularite* dengan warna hitam keabuan metalik, kilap logam, dan cerat merah bata. Mineral *goethite* hadir sebagai hasil pencucian batuan di daerah penelitian. Secara fisik mineral *goethite* dapat diidentifikasi dari hasil ceratnya, dimana mineral *goethite* memiliki cerat berwarna coklat. Mineral *jarosite* hadir sebagai hasil pencucian batuan di daerah penelitian. Secara fisik mineral *jarosite* dapat diidentifikasi dari hasil ceratnya, dimana mineral *jarosite* memiliki cerat berwarna orange. Mineral oksida pada daerah penelitian termasuk kedalam zona *iron hydroxide* mengacu kepada zona oksidasi *supergene* menurut (Harraz, 2012), dimana oksidasi pada daerah penelitian sangat dipengaruhi oleh kontak litologi dan mineralisasi dengan air tanah ataupun udara di dekat permukaan bumi.



Gambar 8. Mineral sulfida pada daerah penelitian (A, B) mineral pirit, kalkopirit pada handsample (C, D) mineral pirit, kalkopirit kenampakan secara mikroskopis (Kiri), dan Handsampel mineral oksida pada daerah penelitian (A) mineral jarosite, goethite, hematit (B) mineral goethite, hematit, (C) mineral goethite, hematit, (D) mineral jarosite (Kanan)

3.4. Geokimia Bijih

Geokimia bijih didapatkan dari analisis *Atomic Absorbtion Spectrometry* (AAS) terhadap sistem *High Sulfidation Epithermal* (HSE). Analisis geokimia bijih dilakukan pada LP 95 dengan litologi breksi hidrotermal dan LP 93 dengan litologi intrusi dasit dengan zona alterasi *vuggy quartz*. analisis *Atomic Absorbtion Spectrometry* (AAS) dilakukan untuk mencari unsur target berupa Au, Cu, dan Ag yang nantinya akan digunakan untuk saling mengaitkan unsur satu dengan yang lain, sehingga akan membentuk suatu *vectoring to ore and deposit type*. Berdasarkan hasil analisis geokimia mineral bijih menggunakan metode *Atomic Absorbtion Spectrometry* (AAS) dengan *limit detection* alat 8 ppb yang dilakukan pada sampel LP 95 dengan litologi breksi hidrotermal dan LP 93 pada litologi intrusi dasit dengan zona alterasi *vuggy quartz* didapatkan hasil kadar unsur Au sebanyak 1148 ppb pada LP 95 dan 146 ppb pada LP 93, kemudian kadar unsur Ag sebanyak 6 ppm pada LP 95 dan 6 ppm pada LP 93, serta kadar unsur Cu sebanyak 140 ppm pada LP 95 dan 215 ppm pada LP 93.

Tabel 1. Hasil analisis geokimia dengan metode *Atomic Absorbtion Spectometry* (AAS) pada Lp 95 dan Lp 93 pada zona alterasi *vuggy quartz*

No.	Kode Sampel	Litologi	Zona Alterasi	Parameter		
				Au ppb	Ag ppm	Cu ppm
1	Lp 95	Breksi Hidrotermal	<i>Vuggy Quartz</i>	1148	6	140
2	Lp 93	Intrusi Dasit	<i>Vuggy Quartz</i>	146	6	215

3.5. Karakteristik Endapan Daerah Penelitian

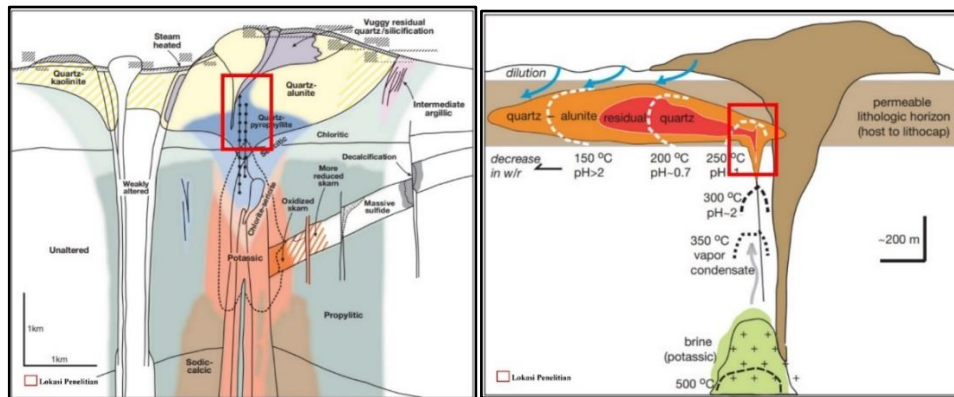
Karakteristik tipe endapan pada daerah penelitian merupakan tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi, namun dalam hal ini tentunya penulis menganalisis beberapa parameter yang mendukung untuk menentukan bahwa daerah penelitian masuk kedalam tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi. Mengacu pada penentuan tipe endapan menurut Sillitoe dan Hedenquist (2003) dengan beberapa parameter seperti lingkungan dan tipe batuan dinding terkait, batuan vulkanik terkait, mineral kunci alterasi proksimal, mineral silika penyerta, mineral karbonat penyerta, mineral penyerta lain, mineral sulfida kunci, logam utama, karakteristik mineralisasi, dan fitur penciri. Dari berbagai parameter tersebut, dan disertai data-data yang diambil penulis menyimpulkan daerah penelitian termasuk kedalam tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi, karena sesuai dengan karakteristik tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi yang dijelaskan oleh Sillitoe dan Hedenquist (2003) dan penulis jabarkan secara ringkas dalam (Tabel 2)

Tabel 2. Karakteristik tipe endapan pada daerah penelitian mengacu pada Sillitoe dan Hedenquist (2003)

Parameter	Karakteristik Endapan			Research Area
Tipe Endapan	<i>High Sulfidation Epithermal</i>	<i>Intermediate Sulfidation Epithermal</i>	<i>Low Sulfidation Epithermal</i>	<i>High Sulfidation Epithermal</i>
Lingkungan dan tipe batuan dinding terkait	Dome, diaterm, batuan vulkanik, batuan sedimen, silsiklastik	Dome (andesit/dasit), diaterm	Dome, piroklastik dan batuan sedimen	<i>Andesite, Dacite</i>
Batuan vulkanik terkait	Andesit, riodasit	Andesit & riodasit (utama), riolit (lokal)	Basalt, riolit, trakit	<i>Dacite, andesite</i>
Mineral kunci alterasi proksimal	Kuarsa-alunit, Kuarsa-pirofilit/dikit	Serisit, adularia	Illit/smektit-adularia	<i>Quartz-alunite-pirofilit-diaspore</i>
Mineral silika penyerta	Silisifikasi masif berbutir halus dan <i>vuggy residual quartz</i>	Pengisian urat kuarsa <i>crustiform</i> dan <i>comb</i>	Pengisian urat <i>crustiform</i> dan <i>colloform</i> , kalsedon, kuarsa dan silika amorf	<i>Vuggy residual quartz, massive sillica</i>
Mineral karbonat penyerta	Absen	Sering hadir, umumnya berasosiasi dengan <i>manganiferous</i>	Hadir, namun biasanya minor dan pada fase akhir	<i>Absen</i>
Mineral penyerta lain	Barit di fase akhir	Barit dan <i>manganiferous sillicate</i>	Barit tidak umum; fluorit hadir setempat	<i>Absen</i>
Mineral sulfida kunci	Enargit, luzonit, famatinit, kovelit	Sfalerit, galena, tetraherite, tenanstit, kalkopirit	Minor arsenopirit ± pirohtit; minor sfalerit, galena, tetraherit, tenanstit, kalkopirit	<i>covelite, bornit, chalcopyrite, pyrite, malachite</i>
Logam utama	Au-Ag, Cu, As-Sb	Ag-Au, Pb, Zn, Ba, Mn, Se	Au-Ag	Au-Ag, Cu
Karakteristik mineralisasi	Pengisian vuggy, diseminasi, tubuh breksi	Pengisian urat, tubuh breksi, <i>stockworking</i>	Pengisian urat kuarsa, <i>crustiform & colloform</i>	<i>Infilling in vuggy, dissiminated, breccia bodies</i>
Fitur penciri	<i>Steam heated lithocap, vuggy quartz, overprinting porphyry</i>	<i>Manganese carbonate vein</i>	Sinter, chalcedony blanket, urat kuarsa <i>crustiform-colloform</i>	<i>Overprinting porphyry, vuggy quartz</i>

3.6. Zonasi Alterasi dan Paragenesis Mineralisasi

Zonasi alterasi dan mineralisasi daerah penelitian dalam kerangka konsep *lithocap* pada endapan epitermal sulfidasi tinggi (Hedenquist dan Taran, 2013) dan mengacu konsep sistem endapan porfiri oleh (Sillitoe, 2010) daerah penelitian relatif terletak pada zona transisi antara endapan epitermal sulfidasi tinggi dengan endapan porfiri. Berdasarkan stabilitas temperatur dari mineral-mineral hidrothermal di lingkungan epithermal (Reyes dan Gigenbach, 1992) daerah penelitian umumnya memiliki temperatur berkisar rata-rata 250°C - 447°C, didukung oleh data inklusi fluida oleh (Aldan, dkk. 2019) dengan nilai salinitas fluida 12wt% - 45wt% menunjukkan daerah penelitian sebagai zona transisi antara endapan sulfidasi tinggi dan endapan porfiri yang kemungkinan besar berada di bawah daerah penelitian (*Overprinting Porphyry Zone*).



Gambar 9. Pengeplotan posisi zona alterasi daerah penelitian terhadap model alterasi oleh (Sillitoe, 2010) (Kiri), dan Pengeplotan posisi zona alterasi daerah penelitian terhadap model alterasi oleh (Hedenquist dan Taran, 2013) (Kanan)

Paragenesis mineralisasi daerah penelitian dimulai dari fase hipogen yang membentuk mineral sulfida pertama seperti pirit, dan kalkopirit dengan tekstur *disseminated*/menyebar secara merata pada daerah penelitian. Setelah proses pembentukan mineralisasi sulfida pertama seperti pirit, dan kalkopirit kemudian mineral pirit dan kalkopirit mengalami proses pengkayaan unsur Cu berubah menjadi mineral sulfida lanjutan berupa bornit dan covelit karena pengaruh kadar ph yang asam oleh fluida hidrothermal, proses ini mengakhiri fase hipogen pada mineralisasi daerah penelitian. Fase selanjutnya yaitu supergen, dimana pada fase ini mineral-mineral hipogen mengalami oksidasi karena dipengaruhi oleh perubahan kimia dan fisika yang terjadi akibat interaksi air meteorik/air tanah dengan mineral-mineral di zona-zona terdekat dari endapan yang terbuka dimana proses ini membentuk mineral *malachite*.

Tabel 3 Zonasi alterasi dan paragenesis mineralisasi daerah penelitian

Asosiasi Mineral		Zonasi Alterasi		Fase Mineralisasi	
		← Lokal	→ Muka	Hypogene	Supergene
Tipe Alterasi	Quartz-Alunite-Diaspore-Pyrophilite(Vuggy Quartz)	—————			
	Quartz-Alunite-Diaspore-Pyrophilite (Argilik Lanjut)	—————			
	Quartz-Illite-Kaolinite (Argilik Menengah)	—————			
	Illite-Kaolinite-Quartz (Argilik)	—————			
	Chlorite-Epidote-Quartz (Propilitik)	—————			
Mineral Alterasi	Quartz	- - - - -			
	Alunite	—————			
	Diaspore	—————			
	Pyrophilite	—————			
	Kaolinite	- - - - -			
	Illite	- - - - -			
	Smectite	- - - - -			
Mineral Bijih	Chackopyrite			—————	
	Pyrite			—————	
	Covelite				—————
	Bornite				—————
	Malachite				—————
	Hematite				—————
	Goethite				—————
	Jarosite			—————	

Keterangan : Melimpah ————— Jarang - - - - -

Pada fase ini mineral hipogen seperti pirit, kalkopirit, bornit, dan kovelit berubah menjadi mineral *hydrous oxide* dan *iron oxide* seperti jarosite, goethite, dan hematit. Tekstur pada mineralisasi menunjukkan adanya tekstur *replacement*/penggantian mineral hipogen ke mineral supergen. Mineral bijih seperti Au, Ag, dan Cu terbentuk pada zona transisi antara fase hipogen dan supergen menyebabkan penurunan kadar unsur Cu oleh proses oksidasi pada fase supergen dan peningkatan unsur Au dan Ag dengan ditandai hasil dari analisis kadar unsur dengan metode *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS).

4. KESIMPULAN

Dari pemetaan dan analisis karakteristik alterasi dan mineralisasi pada daerah penelitian sebagai studi kasus dengan luasan 4 x 4 pada koordinat 8°17'45" LS - 8°20'0" LS dan 111°41'0" BT - 111°43'0" BT, diidentifikasi menjadi lima zona zonasi alterasi dengan bantuan metode analisis X-Ray Diffraction (XRD) pada daerah penelitian yaitu, zona alterasi *vuggy quartz*, zona alterasi argilik lanjut (kuarsa + alunit + diaspor + pirofilit), zona alterasi argilik menengah (kuarsa + illit + kaolinit ± pirit - kalkopirit), zona alterasi argilik (illit + kaolinit + kuarsa ± pirit), dan zona alterasi propilitik (klorit ± epidot + kuarsa ± pirit). Zonasi alterasi tersebut masuk kedalam tipe endapan epitermal sulfidasi tinggi. Berdasarkan dari pola mineralisasi yang berkembang pada pengamatan mineragrafi menunjukkan tekstur khusus berupa tekstur *disseminated*/menyebar pada mineral sulfida pirit, dan kalkopirit, tekstur *intergrowth*/simultan dan tekstur *replacement*/penggantian pada mineral kovelit, bornit, pirit, dan kalkopirit digantikan mineral oksida seperti hematit, goethit, dan jarosit yang mencirikan perubahan zona dari zona hipogen ke zona supergen. Pada analisis geokimia bijih menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry*/AAS pada 2 sampel LP 95 dan LP 93 menunjukkan nilai kadar unsur Au sebesar 1148 (ppb), dan 146 (ppb), unsur Ag sebesar 6 (ppm) pada kedua sampel, dan untuk unsur Cu sebesar 140 (ppm), dan 215 (ppm)

DAFTAR PUSTAKA

- Arc Exploration, 2018, *Update on Trenggalek Project, Inonesia. Drilling Results form Jerambah Prospect*, Asx Announcement
- Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*. v. IA. The Hague. Gov. Printing Office. Martinus Nijhoff. Amsterdam.
- Berger, Byron R., Ayuso, Robert A., Wynn, Jeffrey C., dan Seal, Robert R., *Preliminary Model of Porphyry Copper Deposits*, Open-File Report 2008– 1321 U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2008.
- Burrows, David R., Michael Rennison, David Burt, Rod Davis, 2020, *The Onto Cu-Au Discovery, Eastern Sumbawa, Indonesia: A Large, Middle Pleistocene Lithocap-Hosted High-Sulfidation Covellite- Pyrite Porphyry Deposit*
- Hedenquist, J.W., 2017, *Transitions form Porphyry to Epithermal Ore Environments*, UNR, Ralph J. Roberts lecture.
- Hedenquist, J.W., Taran, Y.A., 2013, "Modelling the Formation of Advanced Argillic Lithocaps: Volcanic Vapor Condensation Above Porphyry Intrusions", *Economic Geology*
- Maryono, A., 2013. in SEG-MGEI *Gold Deposit Workshop 2013, Gold Deposits: "Porphyry Cu-Au Deposit Short Course"*, Bali, Indonesia.
- Maryono, A., Harrison, R.L., Cooke, D.R., Rompo, I., Hoschke, T.G., 2018, "Tectonics and Geology of Porphyry Cu-Au Deposits Along the Eastern Sunda Magmatic Arc, Indonesia", Society of Economic Geologists
- Samodra, H., Suharsono, Gafoer, S., Suwanti, T., 1992, *Peta Geologi Lembar Tulungagung Skala 1:100.000*, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sillitoe, R.H., and Hedenquist, J.W., 2003, *Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits*: Society of Economic Geologists Special Publication 10, p. 315–343.
- Sillitoe, R.H., and Khan, S.N., 1977, *Geology of the Saindak porphyry copper deposit*, Pakistan: Institution of Mining and Metallurgy Transactions, sec. B, v. 86, p. B27–B42.
- Sillitoe, R.H., 1995, *Exploration of Porphyry Copper Lithocaps*, in Mauk, J.L. and St George, J.D. eds., Pacific Rim Congress 1995, Auckland, Proceedings: Parkville, Australasian Institute of Mining and Metallurgy, p. 527-532.
- Takahashi, R., Shingo, Y., Imai, A., Watanabe, K., Harijoko, A., Warmada, I. W., Idrus, A., Setijadji, L.D., Phoumphone, P., Schersten, A., Page, L., 2014, "Epithermal Gold Mineralization in the Trenggalek District, East Java, Indonesia", *Resource Geology*
- White, N.C. & Hedenquist, J.W., 1995, *Epithermal Gold Deposits Style Characteristics and Exploration*, A workshop presented for the Society of Economic Geologist.
- Van Bemmelen. R. W, 1970. *Geology of Indonesia*. Vol. 1. General Geology Adjaent Archipelago. Government office. The Haque