

**KARAKTERISTIK ALTERASI DAN MINERALISASI BERDASARKAN PENGAMATAN INTI BOR
DENGAN METODE *ANALYTICAL SPECTRAL DEVICES* (ASD) DAN CORESCAN DI AREA PIT
A DAN PIT C DAERAH TUMPANGPITU, KABUPATEN BANYUWANGI, JAWA TIMUR**

***ALTERATION AND MINERALIZATION CHARACTERISTICS BASED ON CORE LOGGING
OBSERVATION WITH ANALYTICAL SPECTRAL DEVICES (ASD) AND CORESCAN
METHODS AT PIT A AND PIT C AREA OF TUMPANGPITU,
BANYUWANGI DISTRICT, EAST JAVA***

**Maftukha Alfiani¹, Dadan Wildan¹, Benny Bensaman¹, M. Hafid Rahadi²,
Trisna Suntara², Lia Novalia³**

¹Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Indonesia

²PT Bumi Suksesindo, Indonesia

³Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Indonesia

Email korespondensi: maftukhaalf05@gmail.com

Diterima: 12 Juli 2024; Direvisi: 16 Desember 2024; Disetujui: 16 April 2025

DOI: <https://doi.org/10.47599/bsdg.v20i1.487>

ABSTRAK

Daerah penelitian terletak di dalam wilayah Izin Usaha Pertambangan-Operasi Produksi (IUP-OP) milik PT Bumi Suksesindo di daerah Tumpangpitu, Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur. Penelitian ini mencakup dua area yaitu *Pit A* dan *Pit C*. Di daerah Tumpangpitu terdapat tipe deposit bijih emas epitermal sulfidasi tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis litologi, alterasi, mineralisasi, dan tipe deposit bijih pada daerah penelitian. Metode penelitian yang digunakan meliputi pemerian inti pengeboran pengukuran *analytical spectral devices* (ASD), *corescan*, dan analisis mineragrafi. Penelitian dilakukan menggunakan data 10 inti bor yaitu, GTD-719, GTD-727, GTD-728, GTD-735, GTD-778, GTD-781, GTD-782, GTD-785, GTD-786 dan GTD-792. Hasil korelasi lubang bor daerah penelitian menunjukkan bahwa litologi tersusun oleh vulkanik andesit, breksi preatomagmatik *phase 1*, vulkanik dasit, diorit, breksi preatomagmatik *phase 2*, dan kubah intrusi dasit. Berdasarkan himpunan mineral ubahan, pH, dan temperatur terdapat 7 zona alterasi yaitu, silika, silika ± alunit, pirofilit ± diaspor ± alunit, alunit ± pirofilit ± dickit ± kaolinit, alunit ± kaolin, kaolinit ± dickit ± monmorillonit-illit, klorit ± monmorillonit-illit. Mineralisasi yang dijumpai berupa pirit (FeS₂), enargit (Cu₃AsS₄) dan sfalerit ((ZnFe)S). Tipe deposit daerah penelitian adalah deposit epitermal sulfidasi tinggi dengan kedalaman 500-1.000 meter (*intermediet*).

Kata kunci: Alterasi, mineralisasi, epitermal sulfidasi tinggi, *analytical spectral devices*, *corescan*, Tumpangpitu

ABSTRACT

The research area is located within the Mining Business Licence-Operation Production (IUP-OP) of PT Bumi Suksesindo in the Tumpangpitu area, Pesanggaran District, Banyuwangi

Regency, East Java. The research area covers two areas, namely Pit A and Pit C. In Tumpangpitu, there are two types of ore deposits: porphyry copper and high-sulfidation epithermal gold. The aim of this research is to determine the types of lithology, alteration, mineralization, and ore deposit types in the research area. The research methods used include detailed core logging, analytical spectral devices (ASD) measurement, corescan, and mineragraphy analysis. The research was conducted using data from 10 drill holes: GTD-719, GTD-727, GTD-728, GTD-735, GTD-778, GTD-781, GTD-782, GTD-785, GTD-786, and GTD-792. The correlation results of the drill holes in the research area indicate that the lithology consists of andesite volcanic, preatamagmatic phase 1 breccia, dacite volcanic, diorite, preatamagmatic phase 2 breccia, and dacite intrusion dome. Based on the set of alteration minerals, pH, and temperature, there are 7 alteration zones: silica, silica $\pm$ alunite, pyrophyllite $\pm$ diaspore $\pm$ alunite, alunite $\pm$ pyrophyllite $\pm$ dickite $\pm$ kaolinite, alunite $\pm$ kaolin, kaolinite $\pm$ dickite $\pm$ montmorillonite-illite, chlorite $\pm$ montmorillonite-illite. The mineralization found includes pyrite (FeS_2), enargite (Cu_3AsS_4), and sphalerite ($(\text{ZnFe})\text{S}$). The type of deposit in the research area is high-sulfidation epithermal deposit with a depth of 500-1,000 meters (intermediate).

Keywords: Alteration, mineralization, high sulfidation epithermal, analytical spectral devices, corescan, Tumpangpitu

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Busur Magmatik Sunda bagian timur membentuk tren timur-barat dengan total panjang sekitar 1.800 km yang menempati Pulau Jawa, Pulau Bali, Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa. Busur tersebut merupakan bagian dari Busur Sunda-Banda sepanjang 3.940 km yang membentang dari ujung utara Pulau Sumatra melalui Pulau Jawa hingga ke timur Pulau Damar (Hamilton, 1979; Carlile dan Mitchell, 1994; Setijadji et al, 2006 dalam Harrison, 2018). Tataan tektonik tersebut disertai aktivitas magmatik menghasilkan mineralisasi yang membawa deposit ekonomis seperti emas dan tembaga.

Lokasi daerah penelitian Tumpangpitu termasuk ke dalam wilayah IUP - OPK (Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi Khusus) PT Bumi Suksesindo, daerah ini terletak di sebelah barat Pulau Merah yang terkenal memiliki deposit tembaga dan emas merupakan situs Geopark Nasional. Daerah Tumpangpitu memiliki deposit tembaga porfiri dan emas sulfidasi tinggi hingga yang merupakan deposit terbesar di Jawa Timur. Sumber daya tembaga porfiri 1,9 miliar ton dengan kadar rata-rata 0,45% Cu dan 0,45 g/t Au

dalam deposit epitermal sulfidasi tinggi teroksidasi (Harrison, 2018).

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui litologi, karakteristik alterasi, mineralisasi, dan tipe deposit pada daerah penelitian. Hasil dari penelitian ini diharapkan menjadi data pendukung untuk eksplorasi lebih lanjut pada sekitar daerah penelitian.

Geologi Regional

Fisiografi

Pulau Jawa bagian tengah dan timur terbagi menjadi 6 zona yaitu: Zona Dataran Aluvial Pantai Utara Jawa, Zona Antiklinorium Rembang, Zona Antiklinorium Kendeng, Zona Randublatung, Zona Solo dan Zona Pegunungan Selatan (Pannekoek, 1949; Van Bemmelen, 1949). Daerah Tumpangpitu termasuk ke dalam Zona Pegunungan Selatan (Gambar 1).

Struktur Geologi

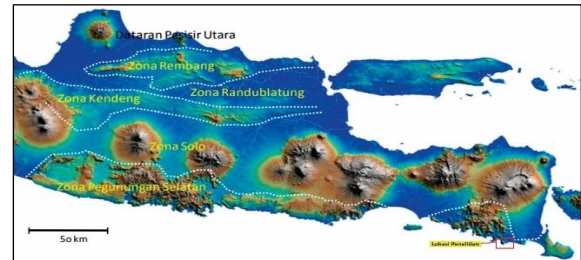
Berdasarkan penelitian Harisson (2018) dalam skala regional daerah Tumpangpitu berada di dalam blok di antara dua sesar utama yang berarah timur laut - tenggara berupa sesar geser mendatar (*sinistral strike slip fault*). Pola struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian berupa tiga sesar utama yang berarah

barat (140°) (Gambar 2) berupa *brittle reverse faults* yang melintasi daerah Tumpangpitu, yakni Sesar Pasanggaran berarah $140^\circ/70^\circ\text{SW}$, Sesar Lampon-Salakan $140^\circ/75^\circ\text{SW}$, dan Sesar Tanjung Jahe $140^\circ/70^\circ\text{SW}$. Pola struktur yang berkembang yaitu berupa sesar “*metallogenetically fertile structure*” sehingga pada pola ini terjadi pengkayaan mineralisasi Au-Ag-Cu pada zona lemah (*feeder zone*).

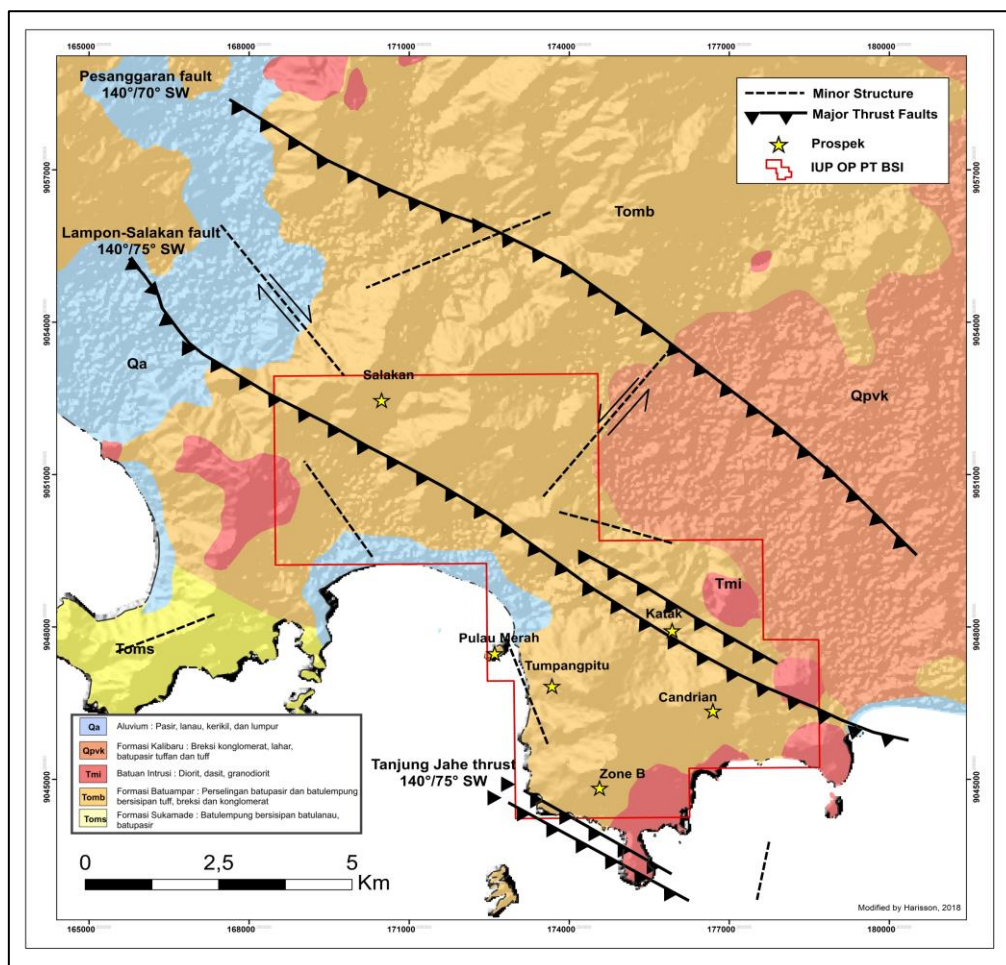
Stratigrafi

Mengacu pada peta geologi regional lembar Blambangan (Achdan dan Bahri, 1993) daerah Tumpangpitu disusun oleh batuan vulkanik dan vulkaniklastik Formasi Batuampar berumur Oligosen Akhir sampai Miosen Tengah (Dermawan, 2019). Batuan tersebut memiliki afinitas magma kalk-alkali rendah potassium (*low-*

K-calc-alkaline) sampai alkali, berupa batuan beku andesitik berselang-seling dengan sikuen batuan vulkaniklastik (Harrison, 2012 dalam Myaing dkk, 2018). Pada Miosen Tengah formasi ini diintrusi oleh batuan beku dasit-diorit-granodiorit yang memiliki potassium rendah (Gambar 2).



Gambar 1. Peta Pembagian Zona Fisiografi Berdasarkan Klasifikasi Pannekoek 1949; Van Bemmelen 1949 (Husein 2016)



Gambar 2. Peta Geologi Regional dan Pola Struktur Daerah Tumpangpitu (dimodifikasi dari Harrison, 2018)

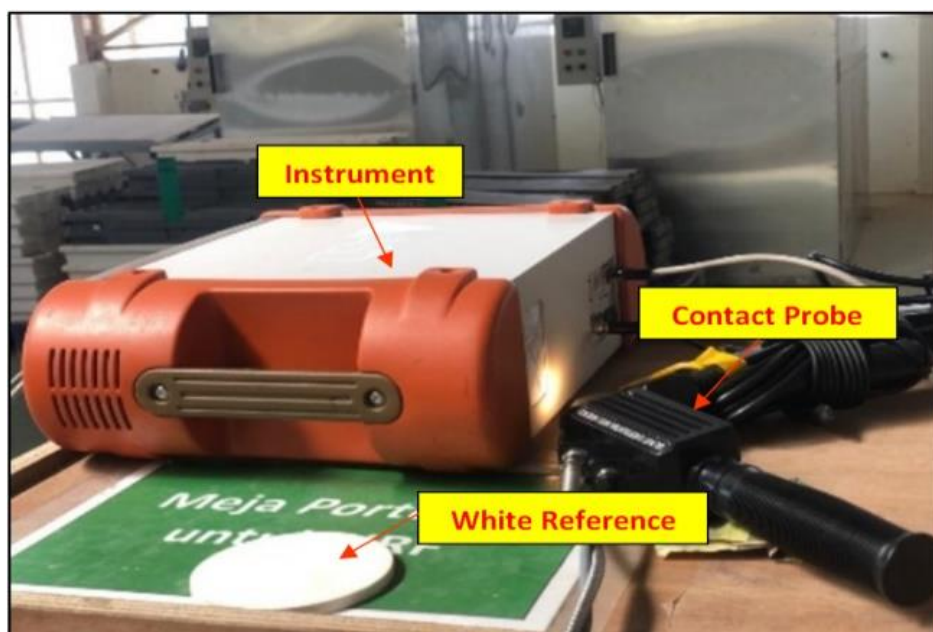
METODOLOGI

Data yang digunakan untuk penelitian ini berupa data sekunder dan data primer. Data primer didapatkan dari *detail logging core*, pengukuran menggunakan *analytical spectral devices* (ASD) dan *corescan* serta mineragrafi.

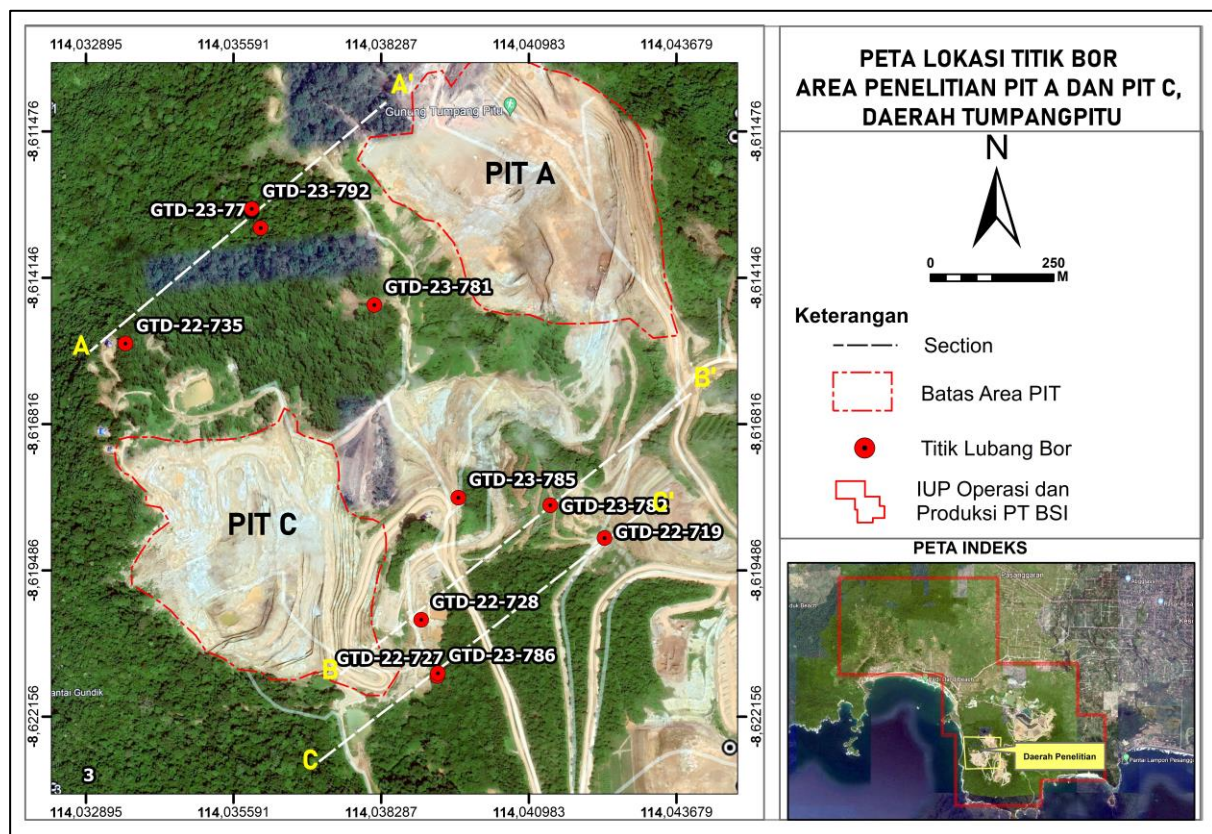
Untuk memperoleh data mineral alterasi dilakukan pengukuran ASD dan *corescan*. Pengukuran ASD menggunakan alat spektrometer beresolusi tinggi yang mengukur VNIR (*Visible Near Infra Red*) s.d. SWIR (*Short Wave Infra-Red*) pada rentang panjang gelombang 350-2.500 nanometer. Proses perekaman data ASD relatif mudah dilakukan dengan detektor dinamis. Komponen alat ASD terdiri dari instrument, *contact probe* yang digunakan untuk mengambil pembacaan secara langsung pada permukaan sampel, dan *white reference* berfungsi sebagai kalibrasi *contact probe* setiap sebelum pengukuran dan 20 menit sekali (Gambar 3). ASD merupakan salah satu teknik analisis portabel dalam eksplorasi yang dapat digunakan secara cepat dan akurat di lapangan. Kekurangan dari analisis ini yaitu tidak bisa mendeteksi *anhydrous minerals* atau mineral yang tidak memiliki OH. Setiap mineral memiliki ciri spektrum

reflektansi, absorpsi dan transmisi yang berbeda, sehingga himpunan mineral yang teranalisis digunakan untuk menentukan zona alterasi (Thompson, 1996). Mineral assemblages alterasi yang teridentifikasi oleh SWIR berupa *clay minerals* (*illite-smectite*, *kaolinit*, *dickite*), karbonat (*kalsit*, *dolomite*, *siderite*), chlorite (Fe, Mg, Al), *sulfates* (*alunite*, *jarosite*, *gypsum*), dan *selected silicates* (*talca*, *phyrophilite*, *epidote*, *topaz*) (Tabel 1). Sampel inti bor yang digunakan pada penelitian ini dari 10 inti bor pada 2 area di Tumpangpitu.

Luas area penelitian adalah 5,12 km². Area 1 merupakan wilayah cakupan *Pit A* dengan 4 lubang bor dan area 2 merupakan *Pit C* dengan data 6 lubang bor. Kedua *pit* ini memiliki jarak ± 500 meter (Gambar 4). Empat dari 10 lubang bor tersebut merupakan *hole historical* yang dilakukan deskripsi dengan foto dan hasil analisis *corescan* untuk mendukung data alterasi. Hasil deskripsi litologi dan alterasinya kemudian diolah untuk mendapatkan hubungan antar lubang bor secara vertikal untuk mengetahui kondisi geologi pada dua area penelitian. Dari pengamatan lapangan didapatkan 5 sampel untuk analisis laboratorium berupa mineragrafi.



Gambar 2. Instrument *Analytical Spectral Devices* (ASD)



Gambar 4. Peta lokasi dan section titik bor penelitian di Area *Pit A* dan *Pit C*

Tabel 1. Himpunan mineral alterasi identifikasi SWIR yang dikelompokkan berdasarkan terminologi tipe deposit (Thompson, 1996)

Enviroment of formation	Standard terminology	SWIR active mineral assemblage (key minerals are in bold)
Intrusion-related	Potassic (biotite-rich), K silicate, biotitic	Biotite (phlogopite), actinolite, sericite, chlorite, epidote, muscovite, anhydrite
	Sodic, sodic-calcic	Actinolite, clinopyroxene (diopside), chlorite, epidote, scapolite
	Phyllic, sericitic	Sericite (muscovite-illite), chlorite, anhydrite
	Intermediate argillic, sericite-chlorite-clay (SCC), argillic	Sericite (illite-smectite), chlorite, kaolinite (dickite), montmorillonite, calcite, epidote
	Advanced argillic	Pyrophyllite, sericite, diaspore, alunite, topaz, tourmaline, dumortierite, zunyite
	Greisen	Topaz, muscovite, tourmaline
	Skarn	Clinopyroxene, wollastonite, actinolite-tremolite, vesuvianite, serpentine-talc, calcite, chlorite, illite-smectite, nontronite,
	Propylitic	Chlorite, epidote, calcite, actinolite, sericite, clay
High-sulfidation epithermal	Advanced argillic—acid sulphate	Kaolinite, dickite, alunite, diaspore, pyrophyllite, zunyite
	Argillic, intermediate argillic	Kaolinite, dickite, montmorillonite, illite-smectite

Enviroment of formation	Standard terminology	SWIR active mineral assemblage (key minerals are in bold)
	Propylitic	Calcite, chlorite, epidote , sericite, clay
Low-sulfidation epithermal	"Adularia"—sericite, sericitic, argillic	Sericite, illite-smectite , kaolinite, chalcedony, opal, montmorillonite, calcite, dolomite
	Advanced argillic—acid-sulphate (steam-heated)	Kaolinite, alunite, cristobalite (opal, chalcedony), jarosite
	Propylitic, zeolitic	Calcite, epidote, wairakite , chlorite, illite-smectite, montmorillonite
Mesothermal	Carbonate	Calcite, ankerite , dolomite, muscovite (Cr-V-rich), chlorite
	Chloritic	Chlorite , muscovite, actinolite
	Biotitic	Biotite , chlorite
Sediment-hosted gold	Argillic	Kaolinite, dickite , illite
Volcanogenic massive sulfide	Sericitic	Sericite , chlorite, chloritoid Chlorite , sericite, biotite
Sediment-hosted massive sulfide	Carbonate	Dolomite, siderite , ankerite, calcite, sericite, chlorite
	Tourmalinite	Tourmaline , muscovite
	Carbonate	Ankerite, siderite, calcite , muscovite
	Sericitic	Chlorite, chlorite
	Albite	Chlorite, muscovite , biotite

Minerals are grouped by assemblages of alteration minerals, and keyed to commonly used terminology; Complete assemblages are in Thompson and Thompson (1996)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi Daerah Penelitian

Acuan penamaan stratigrafi daerah penelitian mengacu terhadap konseptual model geologi Tujuh Bukit (PT Bumi Suksesindo). *Detail logging core* dilakukan pada 10 lubang bor dengan mengamati ciri-ciri fisik litologi secara megaskopis. Berikut merupakan satuan batuan yang diurutkan dari umur tua ke muda.

Satuan Vulkanik Andesit

Vulkanik andesit berupa lava yang terdapat pada Formasi Batuampar. Hasil deskripsi sampel inti bor menunjukkan bahwa vulkanik andesit terdapat pada

kedalaman 210 meter (GTD-735) dan 310 meter (GTD-778) dari lubang bor yang berada di area *Pit A* atau sebelah utara blok lokasi penelitian (Gambar 5). Karakteristik satuan vulkanik andesit adalah berwarna abu-abu tekstur afanitik.



Gambar 5. Vulkanik andesit, abu-abu gelap, afanitik, teralterasi kuat oleh silika, diaspor, dan pirofilit, mineralisasi berupa urat pirit (GTD-778 ; 421,8 – 426,08 meter)

Satuan Breksi Preatomagmatik phase 1

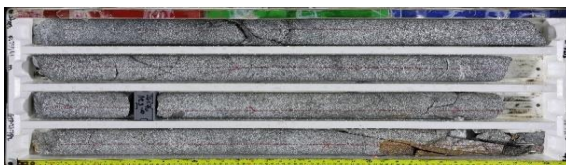
Breksi preatomagmatik *phase 1* merupakan litologi breksi yang terbentuk hasil aktivitas intrusi pertama (pra-porfiri) di daerah Tumpangpitu. Breksi ini memiliki warna abu-abu pucat (Gambar 6). Proses letusan magma yang membentuk breksi ini membawa fragmen-fragmen batuan yang terbentuk lebih dahulu seperti vulkanik andesit. Bentuk fragmen *sub rounded – sub angular*. Batuan teralterasi menghasilkan mineral lempung dan silika. Breksi preatomagmatik *phase 1* dijumpai hanya pada lubang bor di area PIT C (GTD-727) pada kedalaman kisaran 260 – 400 meter (Gambar 13).



Gambar 6. Breksi Preatomagmatik 1 (BXg 1), abu-abu, polimik, sub angular, teralterasi kuat alunit dan silika, fragmen: andesit teralterasi dan silika. (GTD-727; 299,82 – 303,2 meter)

Satuan Vulkanik Dasit

Vulkanik dasit adalah salah satu batuan intrusi vulkanik yang mengintrusi Formasi Batuampar pada Miosen Akhir – Pliosen Awal. Vulkanik dasit ditemukan pada lubang bor daerah *Pit A* (GTD-792) dan *Pit C* (GTD-719, GTD-727, GTD-728, GTD-782 dan GTD-785) (Gambar 11, 12 & 13). Secara megaskopis vulkanik dasit memiliki warna segar abu-abu, komposisi mineral terdiri dari plagioklas (20%), kuarsa (10%) dan biotit (3%) telah terlaterasi menghasilkan mineral lempung dan silika. Terdapat kuarsa dalam bentuk *quartz eye* (15-20%) (Gambar 7).



Gambar 7. Vulkanik Dasit (VDa), abu-abu muda, teralterasi sedang oleh silika, kaolinit dan dickit, (GTD-782 ; 25,62 – 262,75 meter)

Satuan Diorit

Diorit terbentuk akibat *parental magma* yang naik dan terjadi peristiwa kristalisasi magma menghasilkan residu magma yang kaya uap, pada tahap selanjutnya residu magma ini akan menjadi deposit porfiri Tujuh Bukit pada Miosen Tengah (Harrison, 2018). Diorit dalam kondisi segar berwarna putih keabuan. Mineral penyusunnya memiliki tekstur fanero porfiritik, ukuran butirnya sedang – hingga kasar keseragaman *inequigranular*. Komposisi mineral berupa plagioklas, kuarsa, dan amfibol. Diorit hanya ditemukan pada lubang bor area *Pit C* (GTD-727 dan GTD-728) pada kedalaman sekitar 300 – 400 meter (Gambar 12 & 13).



Gambar 8. Diorit (IPDi), teralterasi kuat berupa silika, dan alunit, pirit *open space filling*. (GTD-727 ; 403,7 – 407,78 meter)

Satuan Breksi Preatomagmatik phase 2

Breksi preatomagmatik *phase 2* merupakan breksi yang terbentuk akibat aktivitas magma pasca porfiri yang menghasilkan letusan (Harrison, 2018). Litologi ini mendominasi kedalaman dangkal pada semua lubang bor di area *Pit C* (GTD-719, GTD-727, GTD-728, GTD-782, GTD-785, GTD-786) (Gambar 12 dan Gambar 13). Breksi preatomagmatik *phase 2* warna segar abu-abu gelap, fragmen polimik berupa dasit, silika, dan pirit. Batuan ini telah terlaterasi menghasilkan mineral lempung dan silika.

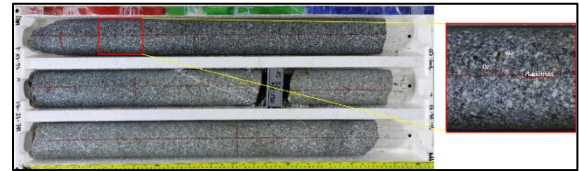


Gambar 9. Breksi Preatomagmatik 2 (BXg 2), coklat kemerahan, *clast supported*, *very coarse grain*, teralterasi kuat oleh dickit, teroksidasi oleh goethit (GTD-727 ; 72.04 – 74.2)

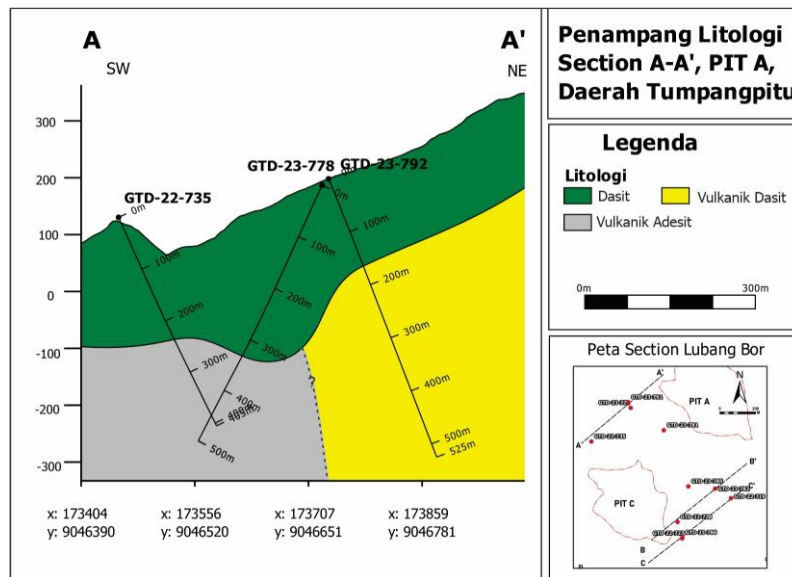
Satuan Kubah Intrusi Dasit

Litologi ini tidak tersingkap pada lubang bor area *Pit C* hanya terdapat di area *Pit A* pada lubang bor GTD-735, GTD-778, GTD-781, dan GTD-792 (Gambar 11). Batuan kubah intrusi dasit secara umum dalam kondisi segar berwarna abu-abu, tekstur batuan porfiro afanitik (ukuran fenokris >1 – 5 mm), terdapat *quartz eyes* sekitar 3%. Mineral penyusun batuan yang teramati berupa kuarsa (20%), plagioklas (45%), dan biotit (5%) dan masa dasar (25%) (Gambar 10). Sebagian dasit teralterasi menghasilkan mineral lempung

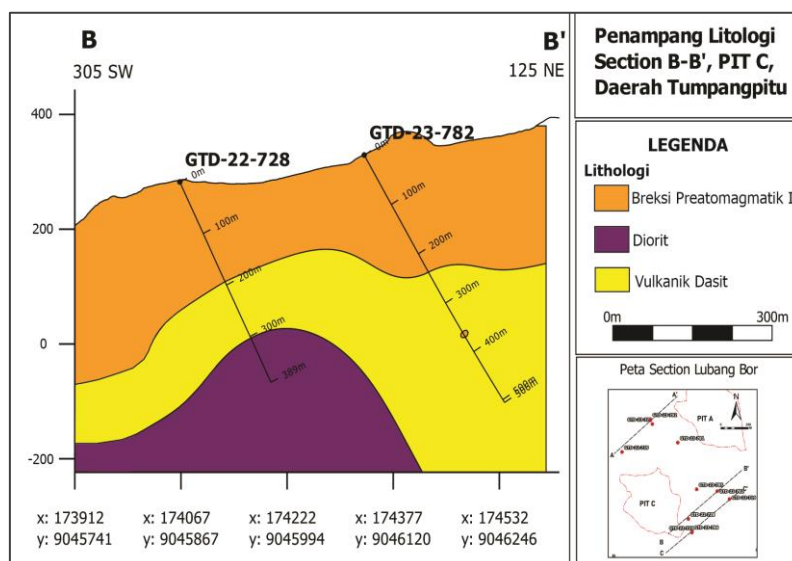
dan silika. Dasit ini terbentuk pada umur 2,9 – 0,5 juta tahun yang lalu (Harrison, 2018).



Gambar 10. Dasit (IDMDa), abu-abu gelap, teralterasi sedang menghasilkan klorit, monmorillonit-illit, dan *veinlet* kalsit (GTD-781; 113,96 – 116,33 meter)



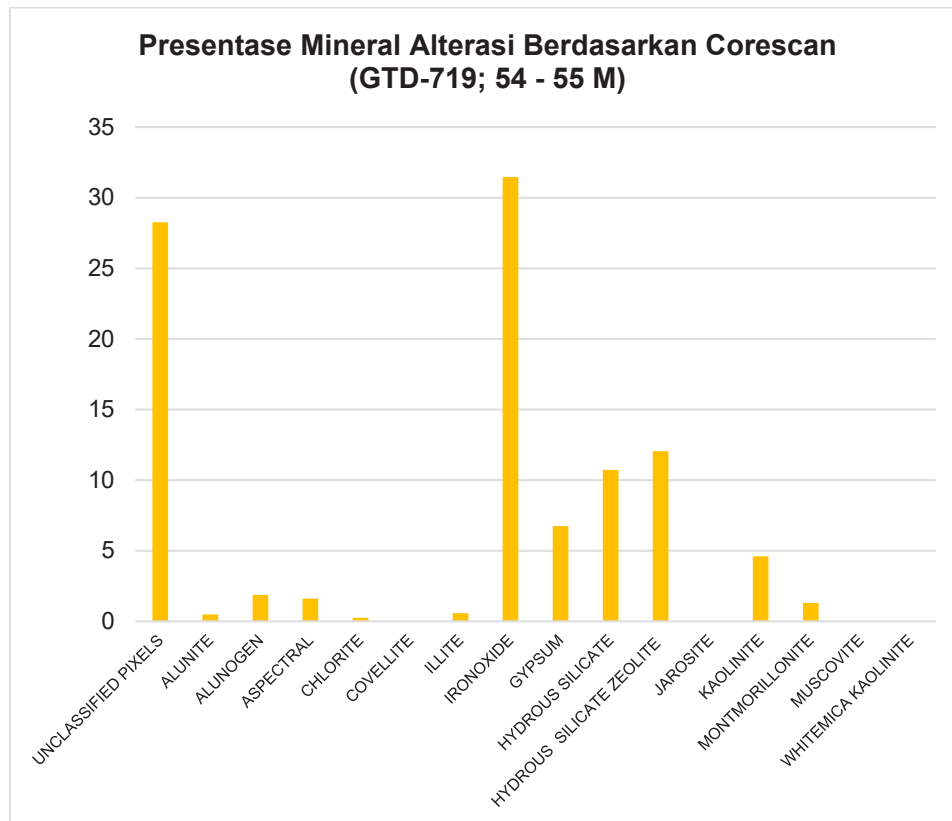
Gambar 11. Penampang litologi A-A', area *Pit A*



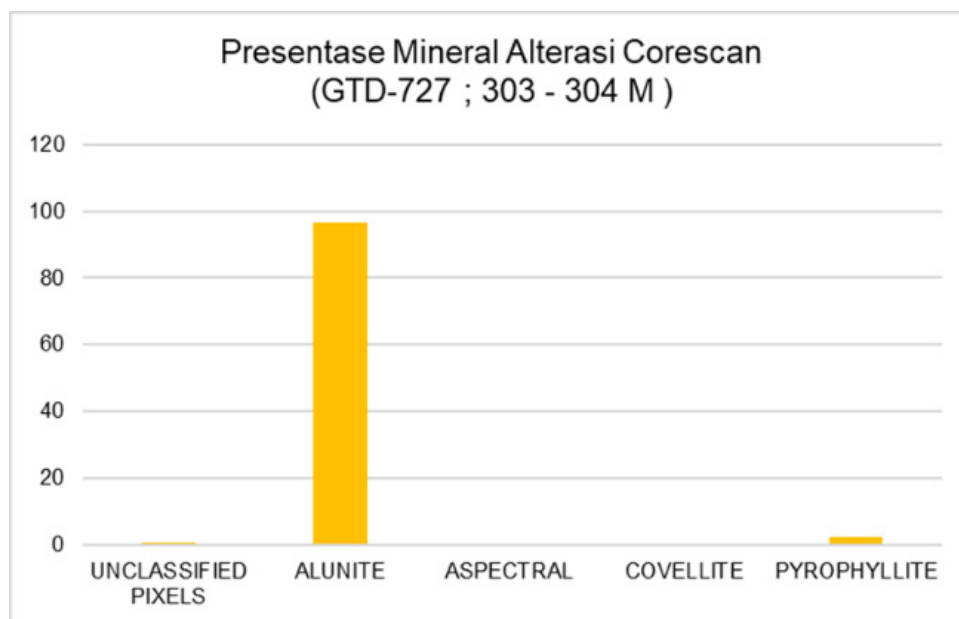
Gambar 12. Penampang litologi B-B', area *Pit C*

memiliki bentuk *doublets* (Hauff, 1999). Mineral lempung yang hadir pada zona ini nakrit. Topaz hadir berasosiasi dengan alunit. Himpunan mineral pada zona ini

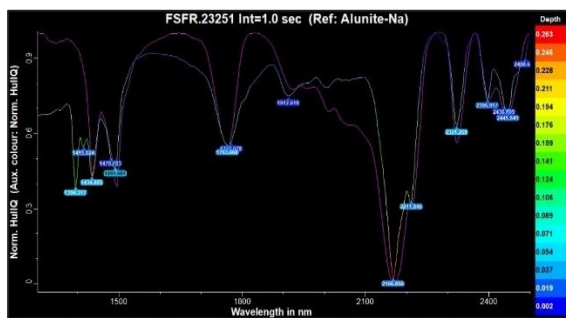
terbentuk pada temperatur kisaran 180 - 230 °C (White & Hedenquist, 1995) dan pH 2 -3 (Corbett & Leach, 1997).



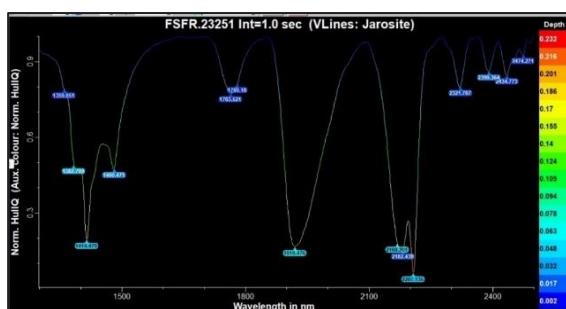
Gambar 14. Grafik presentase mineral silika yang ditunjukkan *unclassified pixels* dari *corescan* pada lubang bor GTD - 719



Gambar 15. Grafik presentase mineral alunit dan pirofilit dari *corescan* pada lubang bor GTD- 727



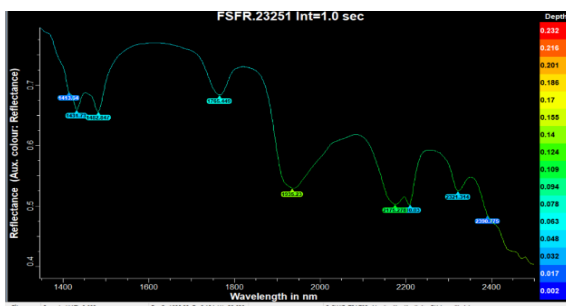
Gambar 16. Hasil ASD pada GTD-782 (kedalaman: 462,64 meter)



Gambar 17. Hasil ASD GTD-786; kedalaman 32,26 meter

5. Zona Alunit ± Kaolinit

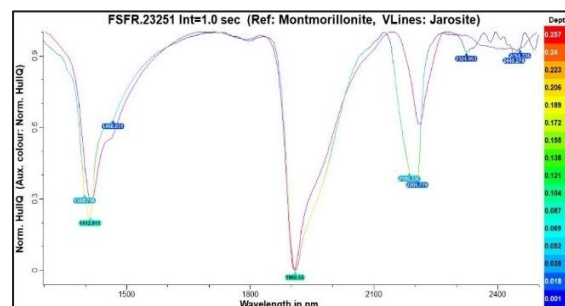
Zona alterasi alunit ± kaolinit tersebar pada 4 lubang bor pada kedalaman dangkal yaitu GTD-727, GTD-728, GTD-782 dan GTD-786 (area *Pit C*) (Gambar 22 dan Gambar 23). Hasil ASD (Gambar 18) pada GTD-786 kedalaman 16,73 m, menunjukkan bahwa spektrum alunit dan kaolin memiliki bentuk *doublets*. Mineral alunit dan kaolin pada zona ini berasosiasi dengan nakrit dan dickit. Himpunan mineral pada zona ini terbentuk pada temperatur rendah (10 - 220 °C) (White & Hedenquist, 1995) dan pH asam (pH 2-3) (Corbett & Leach, 1997).



Gambar 18. Hasil ASD pada GTD-786; kedalaman 16,73 meter

6. Zona Kaolinit ± Dickit ± Monmorillonit-Illit

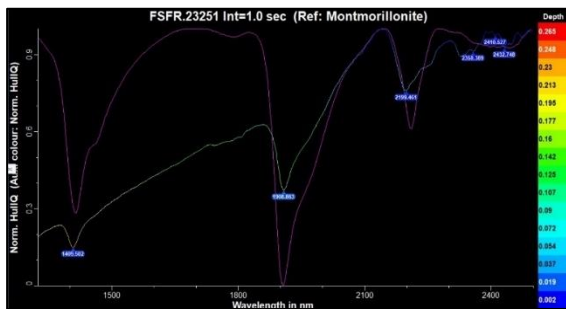
Zona alterasi kaolinit ± dickit ± monmorillonit-Illit tersebar pada 6 lubang bor area *Pit A* dan *Pit C* yaitu GTD-727, GTD-728, GTD-735, GTD-778, GTD-782, GTD-786, dan GTD-792 (Gambar 21, Gambar 22 & Gambar 23). Hasil ASD (Gambar 19) pada GTD-782 kedalaman 11,35 meter, menunjukkan bahwa spektrum kaolinit memiliki bentuk *doublets* dengan *wavelength* 1.396 nm dan 1.418 nm dan 2.186 nm dan 2.205 nm. Monmorillonit memiliki bentuk *board* dan nilai *wavelength* 1900 nm (Hauff, 1999). Himpunan mineral pada zona ini terbentuk pada temperatur 160°C – 220 °C dengan pH asam (4) – netral (6) (White & Hedenquist, 1995; Corbett & Leach, 1997).



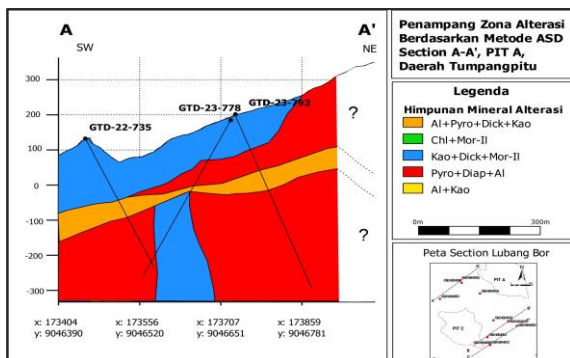
Gambar 19. Hasil ASD pada GTD-782; kedalaman 11,05 meter

7. Zona Klorit ± Monmorillonit-Illit

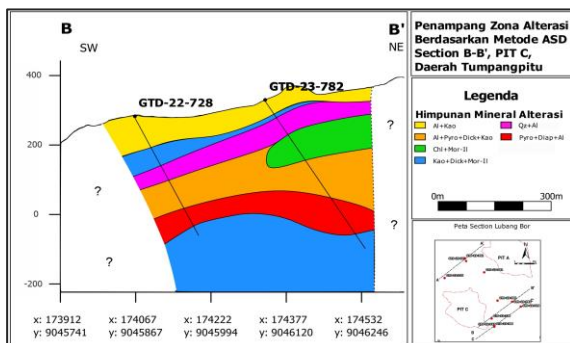
Zona alterasi klorit ± monmorillonit-illit tersebar pada 2 lubang bor GTD-781 dan GTD-782 (Gambar 22). Hasil ASD (Gambar 20) pada GTD-782 kedalaman 195,90 m, menunjukkan bahwa spektrum klorit memiliki bentuk *sharp* dengan *wavelength* 1.409 nm. Monmorillonit memiliki bentuk *board* dan nilai *wavelength* 1.900 nm (Hauff, 1999). Berdasarkan temperatur mineral alterasi (White dan Hedenquist, 1995), himpunan mineral mineral alterasi klorit ± monmorillonit-illit terbentuk pada kisaran temperatur 200°C – 260°C. Berdasarkan asosiasi himpunan mineral alterasi menurut (Corbett dan Leach, 1997), zona ini dapat dibandingkan tipe alterasi sub-propilitik dengan pH fluida relatif netral (pH 5,5- pH 7).



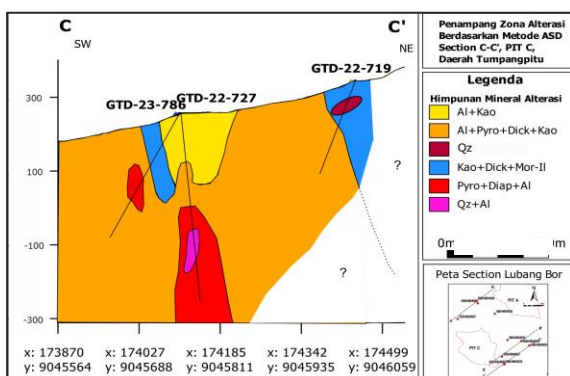
Gambar 20. Hasil ASD pada GTD-792; kedalaman 11,05 meter



Gambar 21. Penampang zona alterasi A-A', area Pit C



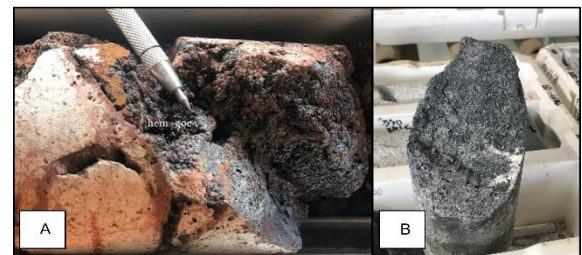
Gambar 22. Penampang zona alterasi B-B', area Pit C



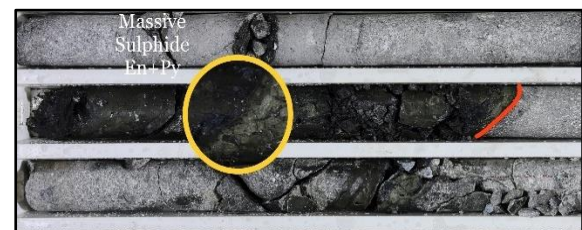
Gambar 23. Penampang zona alterasi C-C', area Pit C

Mineralisasi

Kehadiran mineral sulfida pada sampel inti bor secara megaskopis banyak dengan presentase 1 – 10%. Mineral-mineral ini hadir berupa urat, *stockwork*, *massive*, dan *disseminated* yang terdapat pada litologi vulkanik andesit, dasit, diorit dan breksi preatomagmatik (Gambar 24 & Gambar 25). Mineral sulfida yang hadir (*Pit A* dan *Pit C*) berupa pirit (FeS_2), enargit (Cu_3AsS_4), sfalerit ($(\text{ZnFe})\text{S}$), serta mineral oksida magnetit, hematit, goetit.

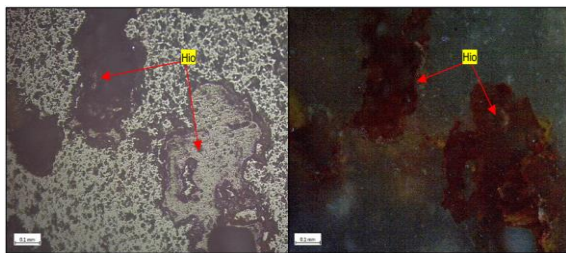


Gambar 24. (A) Mineralisasi oksida hematit dan *barcharoidal* goethit; (B) Tekstur mineralisasi *disseminated*



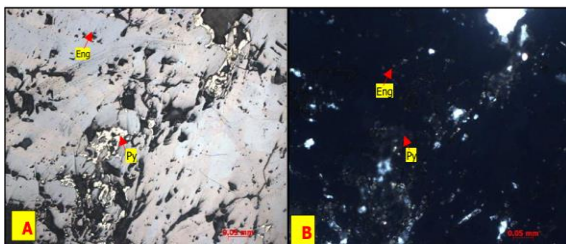
Gambar 25. Mineralisasi bijih sulfida berupa *open space filling* dan *massive sulfide* (GTD-785 ; kedalaman 265 meter)

Sampel TBO-01 diambil pada lubang bor GTD-792 pada kedalaman 142,20 – 142,30 meter, hasil pengamatan berupa besi hidroksida berwarna merah bata (Gambar 26). Mineral besi hidroksida merupakan hasil pelapukan dan pencucian pada tubuh sulfida. Warna mineral besi hidroksida sangat bergantung pada komposisi mineralogi fase besi hidroksida dan oksida, seperti kemerahan (hematit), goetit (coklat) dan kuning (jarosit).



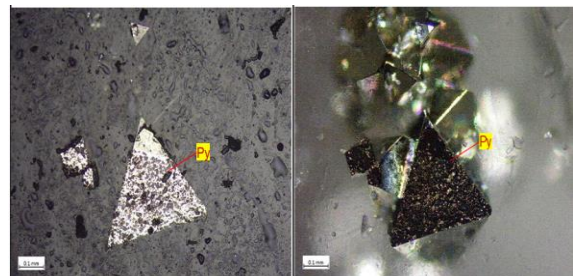
Gambar 26. Fotomikrograf perbesaran 10 x Sampel TBO-01, Mineral besi hidroksida berwarna merah bata, Nikol Sejajar/PPL (kiri) dan Nikol Silang/ XPL (kanan)

Hasil pengamatan makroskopis sampel TBO-02 diambil pada lubang bor GTD-786 kedalaman 281,95 – 282,05 meter didapatkan berupa pirit (FeS_2) sebagai inklusi dalam enargit (Cu_3AsS_4) (Gambar. 27). Enargit berwarna abu-abu – kemerahan, warna birefleksan (abu-abu – merah muda), isotrop kuat (biru tua ke coklat), bentuk butir subhedral dengan tekstur *massive*. Pirit berwarna kuning pucat, anisotrop, bentuk butir anhedral dengan ukuran butir 0,1 – 0,16 mm.

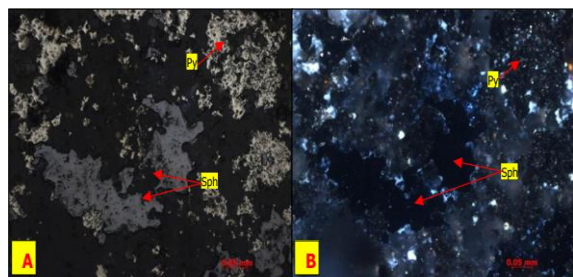


Gambar 27. Fotomikrograf perbesaran 20 x sampel TBO-02, Massive enargite yang terinklusi oleh pirit, Nikol Sejajar/PPL (kiri), Nikol Silang/PPL (kanan)

Pada sampel TBO-03 dari lubang bor GTD-778 pada kedalaman 299,60 – 295,70 meter dan TBO-04 diambil dari lubang bor GTD-786 (Pit C) pada kedalaman 120,35 – 13,45 meter hasil analisis berupa mineral sfalerit ($(\text{ZnFe})\text{S}$) memiliki warna abu-abu gelap, tidak memiliki warna birefleksan, isotrop (abu-abu gelap ke abu-abu terang). Bentuk butir euhedral dengan ukuran 0,05 – 0,3 mm (Gambar 28 dan Gambar 29). Mineral pirit hadir tersebar berbentuk *subhedral* di sekitar sfalerit.

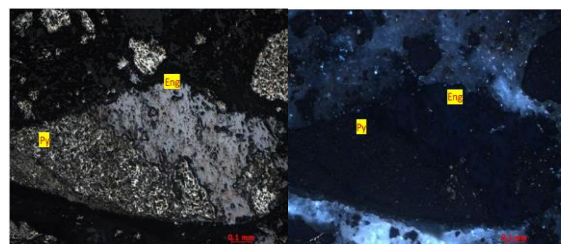


Gambar 28. Fotomikrograf perbesaran 20 x sampel TBO-04, Sfalerit dan pirit *disemminated*, Nikol Sejajar/PPL (kiri) Nikol Silang (kanan)



Gambar 29. Fotomikrograf perbesaran 20 x sampel TBO-04, Sfalerit dan pirit *disemminated*, Nikol Sejajar/PPL (kiri) Nikol Silang (kanan)

TBO-05 merupakan sampel yang diambil dari lubang bor GTD-781 (Pit A) pada kedalaman 288,95 – 289,05 meter terdapat Mineral pirit (FeS_2), kuning pucat, tidak memiliki warna birefleksan, eudral, anisotrop. Mineral pirit dikelilingi oleh mineral sekunder hasil alterasi.



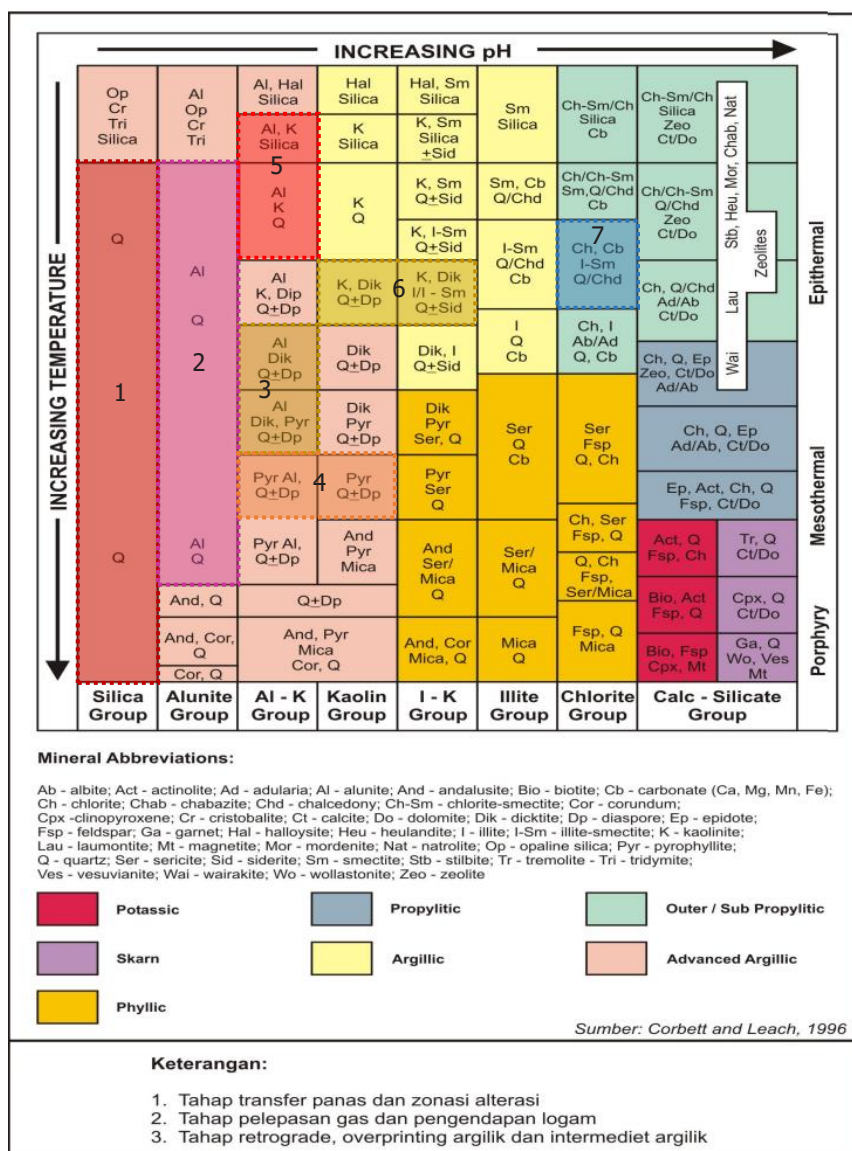
Gambar 30. Fotomikrograf perbesaran 20 x sampel TBO-04, Sfalerit dan pirit *disemminated*, Nikol Sejajar/PPL (kiri) Nikol Silang (kanan)

Proses hidrotermal merupakan suatu proses perubahan batuan akibat naiknya H_2O panas ke permukaan (Lindgreen, 1993). Schwartz (1954) dalam Noor (2016) menyatakan bahwa akan terjadi penambahan dan penyebaran zona

alterasi, semakin jauh dari pusat hidrotermal tingkat alterasi semakin lemah. Corbett dan Leach (1997) membagi 5 zona berdasarkan kumpulan mineral alterasi berdasarkan pH dan suhu yaitu: Argilik Lanjut, Argilik, Filik, Propilitik dan Potasik (Gambar 31). Himpunan mineral alterasi hasil analisis ASD dan *corescan* telah dikelompokkan untuk mengetahui zona alterasi dan tipe deposit. Himpunan mineral yang dominan teranalisis oleh ASD pada daerah penelitian berupa silika, alunite, pirofilit serta kaolinit relatif terbentuk pada suhu kisaran 100 - 250°C (White & Hedenquist, 1995) dan pH asam (2-3), yang termasuk

ke dalam zona alterasi argilik lanjut. Beberapa sumur lubang bor hadir himpunan mineral kaolinit, monmorillonit-illite dan smektit yang terbentuk pada temperatur relatif rendah dan pH asam mendekati netral mengindikasikan zona intermediet argilik (Corbett and Leach, 1997)

Mineragrafi pada kelima sampel didominasi oleh mineral - mineral sulfida seperti pirit, sfalerit dan enargit. Himpunan mineral ini digunakan untuk menentukan jenis deposit dan kedalaman keterbentukannya (Tabel 1).



Gambar 31. Himpunan mineral ubahan berdasarkan temperatur dan pH larutan (Corbett & Leach, 1997)

Tabel 2. Karakteristik Endapan Epitermal Sulfidasi Tinggi dan Rendah (Hedenquist dan Arribas, 1995). Dalam kotak merah merupakan tipe endapan pada daerah penelitian

Genetically related volcanic rocks	Low-sulfidation deposits		High-sulfidation deposits		
	Andesite-rhyodacite (AR), bimodal rhyolite-basalt (RB), alkalie (A)		Andesite-ryodacite, dominated by calc-alkalie magmas		
	Shallow	Deep	Shallow	Intermediet	Deep (porphyry)
Depth of formation	0-300 m	300-800 m (rarely >1,000 m)	<500	500-1,000 m	>1,000 m
Setting, typical host rock	Domes; pyroclastic and sedimentary rocks	Domes, diatremes (AR,A); pyroclastic and sedimentary rocks	Domes, central vent; pyroclastic and sedimentary rocks	Domes, diatremes; volcanic rocks	Dome-diatreme; porphyry, volcanic, elastic sedimentary rocks
Deposit form	Vein, vein swarm, stockwork, disseminated	Vein, breccia body, disseminated	Disseminated, breccia and veinlet	Massive sulfide veins, breccia, ledges	Dissemination, veinlets, breccia
Ore textures	Fine bands, combs, crustiform, breccia	Coarse bands	Vuggy quartz hosts replacement	Massive sulfide, late veins/breccias	Replacement
Alteration	Alunite-kaolinite blanket, clay halo	Clays, sericite, carbonates; roscollite, fluorite (A)	Silicie (vuggy), quartz-alunite	Silicie (vuggy), quartz-alunite, pyrophyllitedickite-sericite	Pyrophyllitesericite, quartzsericite
Gangue	Chalcedonyadularia-illitecalcite	Quartz-carbonaterhodonite-sericiteadularia ± barite ± anhydrite ± hematite ± chlorite (AR)	Alunite, barite, kaolinite	Anhydrite, kaolinite, dickite	Sericite, pyrophyllite
Sulfides	Cinnabar, stibnite; pyrite/marcasite arsenopyrite, Au-Ag selenides, Se sulfosalts, pyrrhotite, Fe-rich sphalerite (RB) Au-Ag-As-Sb-SeHg-Tl (RB)	Pyrite-Au-Ag sulfides/sulfosalts, variable sphalerite, galena, chalcoppyrite, tetrahedrite/tennantite (AR)	Enargite/luzonite, covellite, pyrite	Enargite/luzonite, chalcoppyrite, tetrahedrite/tennantite, sphalerite, late covellite, pyrite	Bornite, digenite, chalcocite, covellite
Metals	Au-Ag-As-Sb-SeHg-Tl (RB), low Ag:Au; <0.1-1 % base metals	Ag-Au-Pb-Zn, Ba, Mn, Se (AR), high Ag:Au; 2-10 (20+)% base metals	Au-Ag, Cu leached (Hg overprint)	Cu-Au-Ag-Bi-TeSn	Cu-Au
Notable features	Sinter, chalcedony blanket	Some intermediate sulfidation-state veins adjacent to high-sulfidation ore	Steam-heated blanket	Vuggy quartz host	Overprinted on porphyry features
Fluids	<1% NaCl, gas-rich, <220°C (RB)	3-10+% NaCl, 220-280°C+ (AR)	<2 wt% NaCl	4-15+wt%NaCl	Variable
Examples	McLaughlin, Midas, Round Mountain, Sleeper, Hishikari (lowsulfidation)	Comstock, Tonopah, Creede, Fresnillo, Casapalca, Victoria (intermediate sulfidation-state)	Yanacocha, Pueblo Viejo, Pierina, La Coipa, Tambo, Pascua, Paradise Peak, Summitville, Rodalquilar, Kasuga	El Indio, Lepanto, Chinkuashih, Goldfield, Lahoca	Bisbee, MM, Chuquicamata

KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan dan analisis yang telah dilakukan pada 10 lubang bor dari 2 area (*Pit A* dan *Pit C*), litologi yang menyusun berupa satuan kubah intrusi dasit, breksi preatomagmatik *phase 2*, diorit, vulkanik dasit, breksi

preatomagmatik *phase 1* dan vulkanik andesit.

Zona alterasi yang dominan pada daerah penelitian adalah argilik lanjut. Terdapat juga zona alterasi argilik, dan sub-propilitik atau intermediet argilik (Gambar 32). Penggunaan analisis *corescan* dan *ASD*