

KARAKTERISTIK MINERALOGI PADA VEIN TEMBAGA KLUWIH, PACITAN, JAWA TIMUR

CHARACTERISTICS OF MINERALOGY FROM COPPER ORE VEIN AT KLUWIH, PACITAN, JAWA TIMUR

Okki Verdiansyah

Program Studi Teknik Geologi, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia
Email: okki.verdiansyah@itny.ac.id

Cara sitasi: Okki Verdiansyah, "Karakteristik Mineralogi pada vein tembaga Kluwih, Pacitan, Jawa Timur," *Kurvatek*, vol. 8, no. 2, pp. 133-142, 2023. doi: [10.33579/krvtk.v8i2.4033](https://doi.org/10.33579/krvtk.v8i2.4033) [Online].

Abstrak—Daerah penelitian berada lokasi tambang tembaga di desa Kluwih, Pacitan, Jawa Timur. Mineralisasi tembaga berupa vein masif di daerah Kluwih merupakan bukti adanya sistem mineralisasi epitermal. Penelitian ini bermaksud melakukan uji mineralogi baik secara fisik dan kimia untuk karakteristik dan komposisi mineralogi pembentuk vein sulfida pada daerah Kluwih. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode pemetaan geologi pada terowongan tambang, pengambilan sampel batuan, analisis laboratorium dengan metode petrografi, mikrokopi bijih, geokimia batuan dengan ICP OES/MS – XRF – AAS, mineralogi dengan analisis teraspektral SWIR dan XRD. Hasil penelitian memperoleh karakteristik bijih memiliki densitas 4,65 gr/cm³ sedangkan batuan samping yang teralterasi argilik lanjut memiliki densitas 2,54 gr/cm³. Pada bijih, terlihat mineral sulfida/sulfosalt masif yang terdiri dari ikatan mozaik dan *intergrowth* antara mineral sejenis atau yang berbeda. Mineral logam yang terdeteksi adalah pirit, enargit, kovelit, kalkopirit, dan bornit. Enargit dan pirit merupakan mineral logam dominan yang dijumpai di bijih. Geokimia bijih terlihat sebagai pengisian sulfida/sulfosalt, yang dibuktikan dengan nilai 27,6% Fe, 12,6% Cu, 4,15% As, dan 46,2% S. Analisis teraspektral dan XRD mengkonfirmasi *peak* utama terlihat sebagai pirofilit, phengit, dan diikuti mineral sulfida/sulfosalt yaitu enargit dan pirit. Vein Kluwih merupakan vein tembaga dari sistem epitermal sulfidasi tinggi yang kaya dengan asosiasi mineralisasi Cu-Au-As-Sb.

Kata kunci: logam, mineral ekonomis, tambang, sumberdaya mineral

Abstract—The research area is a copper mine located in Kluwih village, Pacitan, East Java. Copper mineralization in the form of massive veins in the Kluwih area is evidence of the existence of an epithermal mineralization system. This research intends to carry out mineralogical tests both physically and chemically for the characteristics and mineralogical composition of sulfide vein formation in the Kluwih area. The research was carried out using geological mapping methods in mine tunnels, rock sampling, laboratory analysis using petrographic methods, ore microscopy, rock geochemistry using ICP OES/MS – XRF – AAS, mineralogy using XRD and teraspectral analysis. The research results showed that the ore had a density of 4.65 gr/cm³, while the side rock which was further altered by argillic had a density of 2.54 gr/cm³. In the ore, massive sulfide/sulfosalt minerals are visible which consist of mosaic bonds and *intergrowth* between similar or different minerals. The metal minerals detected were pyrite, enargite, covellite, chalcopyrite, and bornite. Enargite and pyrite are the dominant metallic minerals found in ore. The geochemistry of the ore appears to be sulfide/sulfosalt filling, as evidenced by values of 27.6% Fe, 12.6% Cu, 4.15% As, and 46.2% S. Teraspectral and XRD analysis confirms the main peak is seen as pyrophyllite, phengite, and followed by sulfide/sulfosalt minerals, namely enargite and pyrite. The Kluwih Vein is a copper vein from a high sulfidation epithermal system that is rich in Cu-Au-As-Sb mineralization associations.

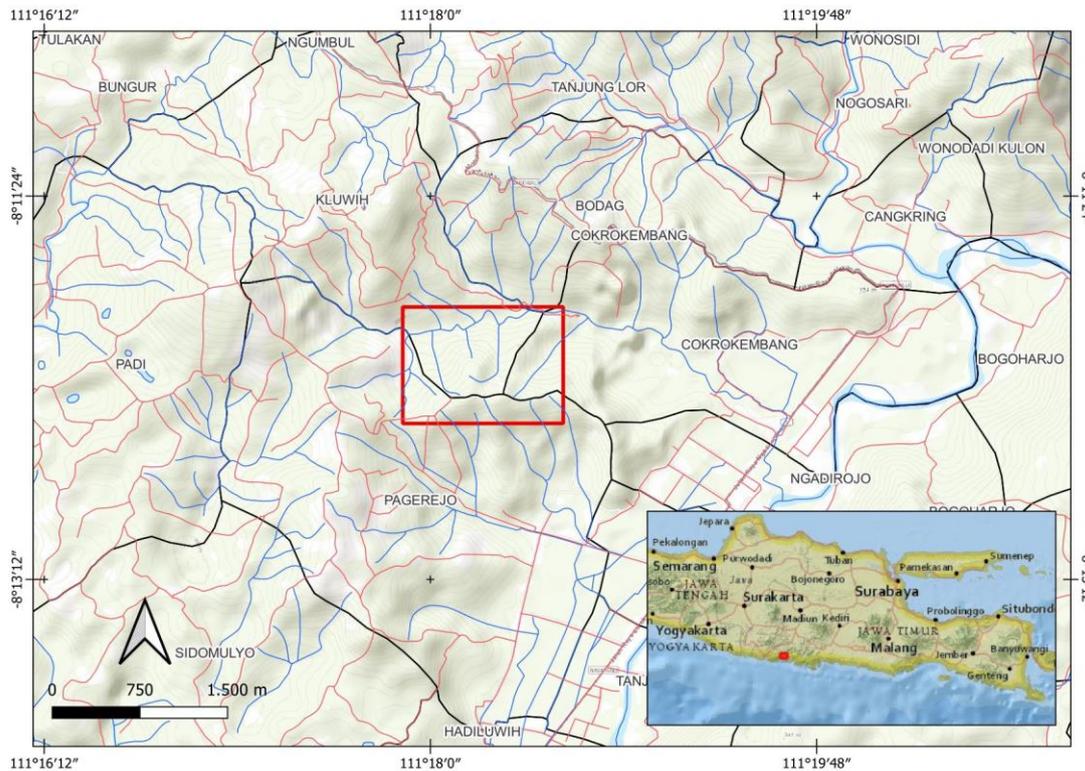
Keywords: metal, economic mineral, mining, mineral resources

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri pertambangan di Indonesia mengalami peningkatan dalam segi jumlah dan juga karakteristik komoditasnya. Pertambangan tembaga dan emas merupakan sector komoditas yang selalu berkembang di Indonesia. Pegunungan selatan Jawa merupakan jalur mineralisasi tembaga-emas yang terbukti memiliki nilai ekonomis tinggi [1]. Pacitan merupakan bagian dari sistem geologi dan mineralisasi pegunungan selatan, yang merupakan bagian dari jalur magmatisme Sunda [2], [3]. Jalur magmatisme Sunda - Banda merupakan salah satu koridor dimana dijumpai banyaknya prospek endapan

emas-tembaga dari tipe epitermal, porfiri, skarn, dan sediment-hosted [4]. Perkembangan tambang emas di Sabuk Sunda - Banda terlihat ekonomis dan sangat berpotensi dibuktikan dengan hadirnya tambang emas - perak dan logam dasar seperti Lebong Tandai (Bengkulu, 1896-1941; 1957-1985; 1992), Kompleks Cikotok (Banten, 1956-2000), Pongkor (Jawa Barat, sejak 1994-sekarang) dan hadirnya tambang emas baru seperti Cibaliung (Banten), Waylinggo (Lampung), Martabe (Tapanuli), dan Tumpangpitu Banyuwangi [5]

Daerah penelitian merupakan lokasi pertambangan milik PT. Gemilang Limpah Internusa (GLI) yang berada pada desa Kluwih, Kecamatan Tulakan, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur (Gambar 1). Blok Kluwih terletak pada distrik Wonogiri-Pacitan, yang merupakan jalur mineralisasi Cu-Au sebagaimana yang terbukti hadir pada Selogiri dan Trenggalek.



Gambar 1. Lokasi penelitian (kotak merah) berada pada blok izin pertambangan PT. GLI di desa Kluwih, kecamatan Tulakan, kabupaten Pacitan, provinsi Jawa Timur.

Kehadiran mineralisasi tembaga dalam bentuk vein massif sulfida/sulfosalt di daerah Kluwih merupakan bukti adanya sistem mineralisasi epitermal yang jarang dijumpai dan belum dilakukan penelitian intensif. Penelitian ini bermaksud melakukan uji mineralogi baik secara fisik dan kimia untuk karakteristik dan komposisi mineralogi pembentuk vein sulfida/sulfosalt pada daerah Kluwih. Hasil penelitian dapat digunakan untuk memperkuat keyakinan tipe mineralisasi dan dapat dijadikan pengembangan eksplorasi mineralisasi logam berharga di daerah Kluwih dan daerah sekitarnya. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode pemetaan geologi pada terowongan tambang, pengambilan sampel batuan, analisis laboratorium, serta interpretasi untuk memperoleh kesimpulan.

A. Geologi Regional

Fisiografi regional daerah penelitian pada daerah kluwih dan sekitarnya, kecamatan tulakan, kabupaten pacitan, provinsi jawa timur masuk kedalam fisiografi pegunungan selatan bagian Timur [6]. Stratigrafi secara regional daerah eksplorasi lembar peta geologi regional Pacitan terdiri dari Batuan berumur miosen yang terdiri dari Formasi Arjosari (Toma), Batuan Terobosan (Tomi), dan batuan kuartar berupa endapan aluvial [7].

Batuan-batuan terobosan yang menerobos batuan dari formasi-formasi di atasnya berupa dasit, andesit, basal dan diorit berbentuk *stock*, retas dan setempat-setempat memberikan kenampakan seperti

volcanic neck dan berarah timur laut–barat daya serta mempengaruhi sedimen turbidit dan batuan gunungapi yang berumur Oligosen Akhir–Miosen Awal dari Formasi Arjosari-Mandalika.

Secara regional terdapat empat arah kelurusan struktur geologi dari hasil deformasi tektonik dalam kurun waktu Tersier hingga Kuartar. Kelurusan-kelurusan tersebut adalah kelompok sesar yang berarah Baratlaut - Tenggara (N310°E - N330°E), Utara - Selatan (N350°E - N10°E), Timurlaut - Baratdaya (N45°E - N50°E) dan Barat - Timur (N80°E). Hasil rekonstruksi arah tegasan purba yang didasarkan pada studi sesar-sesar minor dan kekar-kekar gerus diperoleh tiga arah tegasan utama, yaitu: Pertama, tegasan yang terjadi pada kala Miosen Awal mempunyai arah σ_1 berkisar antara 15°, N164°E - 09°, N170°E yang menyebabkan terbentuknya sesar berarah NW – SE dan struktur lipatan. Kedua, tegasan yang terjadi pada kala Miosen Tengah mempunyai arah σ_1 berkisar antara 16°, N192°E - 15°, N196°E yang menyebabkan terbentuknya sesar berarah NE - SW dan N - E. Ketiga tegasan yang terjadi pada kala Plio-Pleistosen mempunyai arah $\sigma_1 = 14^\circ$, N198°E yang menyebabkan teraktifnya kembali sesar-sesar yang telah terbentuk sebelumnya.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode pemetaan geologi pada jalur mineralisasi sepanjang lubang penambangan, pengambilan sampel, yang kemudian dilakukan analisis geokimia dengan ICP-OES, analisis XRD, analisis mikrokopi bijih, dan petrografi. Seluruh batuan dilakukan perhitungan densitas, preparasi sayatan tipis dan sayatan poles, serta beberapa preparasi tepung/bubuk untuk analisis geokimia, terraspektral, dan XRD (Tabel 1). Pemetaan dan pengambilan sampel batuan dilakukan pada terowongan tambang PT. GLI, yang terdapat pada elevasi 165 mdpl, dengan panjang jalur sekitar 1 km. Penelitian dilakukan pada kurun bulan Maret 2022, dan memperoleh 3 sampel representatif dari puluhan sampel yang akan dilakukan pengujian detail.

Tabel 1. Metode laboratorium yang dilakukan

No	Metode Laboratorium	Jumlah sampel, tipe preparasi, kode sampel	Alat dan laboratorium
1	Petrografi	3 sampel, sayatan tipis R7037, R7038, R7039	Mikroskop Bestscope 5062TTR / Lab Geomineral Sukma Analisis - Yogyakarta
2	Mikroskopi bijih	3 sampel, sayatan poles R7037, R7038, R7039	Mikroskop Bestscope 5062TTR / Lab Geomineral Sukma Analisis - Yogyakarta
3	ICP-OES, XRF, FAAS	3 sampel, bubuk 200 mehs R7037, R7038, R7039	Laboratorium Intertek – Jakarta
4	Terraspektral ASD	3 sampel, bubuk R7037, R7038, R7039	ASD Terraspec 4 SWIR/NIR Instrument/ Laboratorium mineral – Unit Geomin PT. Antam
5	XRD	2 sampel, bubuk R7037, R7038	Bruker D8 Advance Laboratorium mineral – Unit Geomin PT. Antam

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Geologi lokal

Geomorfologi daerah Kluwih dan sekitarnya terdiri atas morfologi dataran alluvial dan perbukitan intrusi. Perbukitan intrusi menempati elevasi >100 mdpl dengan relief sedang – kasar, kelerengan 20 – 40 derajat, dan beberapa tempat memiliki kemiringan 40-48 derajat terutama pada daerah yang terlewati struktur geologi atau membentuk lembah sungai. Punggungan perbukitan ini memanjang dari tenggara – barat, yang dipengaruhi oleh sebaran litologi dan proses selanjutnya seperti system hidrotermal yang berkembang di Kluwih. Dataran alluvial terletak pada bagian timur yang memanjang hingga kebagian tengah dengan litologi penyusun yaitu endapan alluvial. Morfologi ini dimanfaatkan sebagai pemukiman dan juga persawahan. Morfologi perbukitan Intrusi di dominasi oleh morfologi perbukitan dengan litologi penyusun yaitu dasit porfiri, breksi dasit, dan dasit. Morfologi ini dimanfaatkan sebagai perkebunan.

Daerah Kluwih dan sekitarnya tersusun atas batuan vulkanik – subvulkanik, yang terdiri dari litologi dasit porfir, dasit, breksi dasit, dan alluvium (Gambar 2). Batuan dasit dan breksi dasit merupakan *hostrock* mineralisasi, yang merupakan kelompok batuan yang memotong sistem dasit porfir yang lebih tua. Dasit porfir merupakan litologi utama yang menempati keseluruhan blok Kluwih yang kemudian beberapa tempat terpotong atau tertutupi satuan batuan lainnya seperti breksi dasit, dasit, dan alluvial. Dasit merupakan batuan dominan yang terbentuk di Kluwih dan sekitarnya, dengan penyebaran hampir pada keseluruhan daerah IUP. Batuan ini diinterpretasi sebagai bagian dari batuan subvulkanik sampai kubah lava yang dicirikan adanya kekar pendinginan dan sifatnya koheren, dengan teksutr porfiritik

dengan fenokris kuarsa, sanidin, dan sedikit hornblenda, serta kehadiran megafenokris berupa kuarsa bipiramidal-oktahedron yang jelas, dan yang dikelilingi oleh massa dasar gelas dan kristalit berwarna abu-abu cerah. Batuan ini merupakan hostrock alterasi dan mineralisasi terutama pada daerah yang terlewati struktur sebagai zona lemah. Dasit porfir, memiliki tekstur porfiritik dengan megafenokris kuarsa euhedra berukuran kasar (1 – 10 mm), yang dikelilingi oleh fenokris kuarsa ukuran halus, sanidin dan plagioklas yang terubah menjadi illit-serisit, dan massadasar berupa gelas vulkanik yang banyak terubah menjadi smektit. Mineral mafik dijumpai hornblenda dan magnetit dalam jumlah yang sangat sedikit.

Dasit, memiliki tekstur porfiritik dengan fenokris kuarsa, feldspar berukuran sedang – halus, pada massadasar bersifat mesokratik. Satuan ini merupakan hostrock utama mineralisasi pada blok Kluwih yang saat ini ada penambangan. Satuan dasit tersebar pada area sekitar 50 Ha, yang merupakan *hostrock* utama dari mineralisasi yang tertambang saat ini. Satuan ini memiliki sebaran melingkar, sehingga diinterpretasi sebagai batuan subvulkanik - lava yang memotong dasit porfir. Karakter litologi batuan ini adalah memiliki tekstur porfiritik dengan fenokris berupa kuarsa ekuian sampai anhedral, kehadiran sanidin dan plagioklas, serta sedikit hornblenda dan magnetit. Ukuran fenokris sedang – kasar, yaitu 5mm – 1 cm. Litologi ini terletak dibagian utara dengan kondisi fisik batuan telah mengalami proses alterasi kuat dan pelapukan yang intensif. Pada beberapa tempat terlihat adanya struktur flow banded yang mengindikasikan sebagai bagian dari system kubah lava.

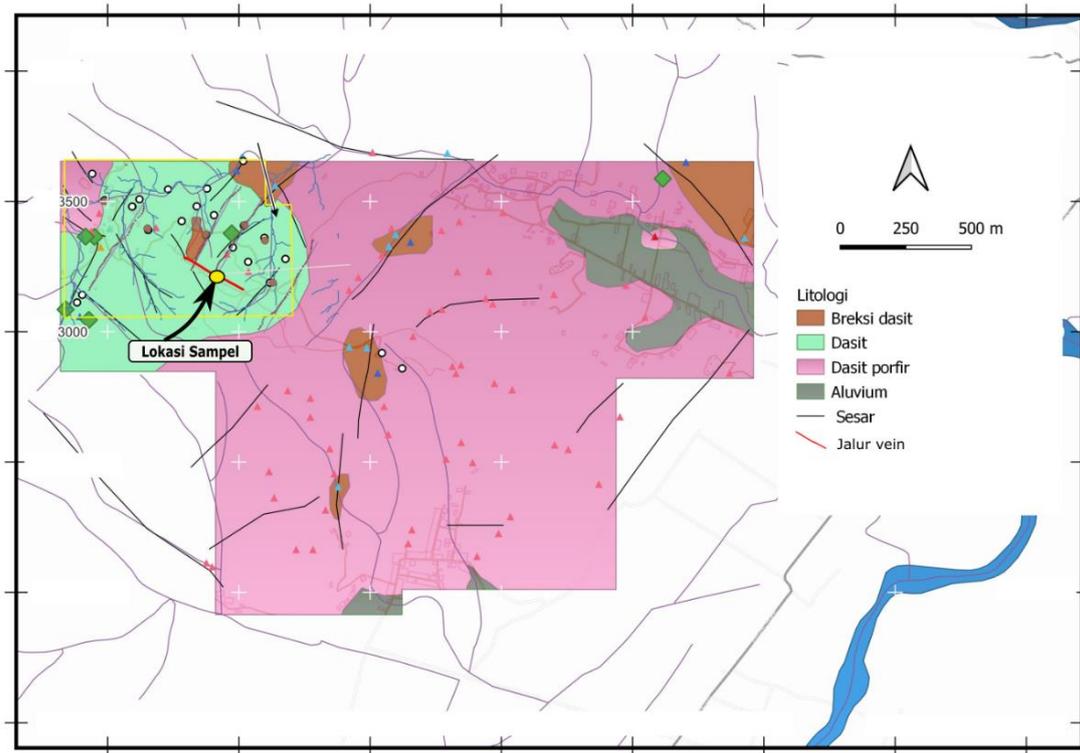
Breksi dasit, merupakan batuan dengan fragmen dominan dasit dan juvenil dasitik berukuran 1-5cm, dengan tekstur *milled – rotated breccia*, beberapa spot dijumpai fragmen silika dan batuan teralterasi. Batuan ini merupakan produk freatomagmatik yang memotong beberapa tempat baik sepola struktur ataupun tidak. Aluvium, merupakan endapan material lepas baik bongkah maupun pasir – lumpur yang terendapkan pada sungai besar dan elevasi <50 mdpl. Endapan ini berada pada sungai besar dan Sebagian juga terlihat adanya setempat singkapan dasit porfir.

B. Alterasi dan mineralisasi lokal

Alterasi yang berkembang pada daerah Kluwih, terutama pada wilayah sekitar tambang (tunnel) didominasi oleh alterasi kaolinite-illit, pirofilit-dikit-serisit, kloritisasi, dan mineralisasi dijumpai berupa vein irregular yang memiliki komposisi sulfida/sulfosalt masif dengan teksturs internal dominan adalah breksiasi. Sebaran alterasi mengikuti pola struktur dan vein dengan arah umum N280°-300°E atau beberapa memiliki arah 30-50E. Alterasi tipe vein pada daerah Kluwih tidak diikuti pengkayaan silika, namun cenderung diikuti pengisian sulfida/sulfosalt masif seperti enargit, tenantit, tetrahedit, kovelit, kalkopirit, pirit dan arsenopirit. Mineral bijih yang dominan mengandung Cu (tembaga) ini beberapa spot mengalami oksidasi membentuk azurit dan malakit, serta hematit-jarosit pada batuan sampingnya. Tekstur atau struktur mineralisasi berupa breksiasi (breksi hidrotermal), sulfida/sulfosalt -pirofilit-kaolinit, kuarsa- sulfida/sulfosalt, dan massif sulfida/sulfosalt.

Mineralisasi logam dasar basemetal pada daerah pemetaan dikontrol oleh dua faktor yaitu faktor litologi dan faktor struktur geologi. Berdasarkan hasil data dan ditinjau dari aspek stratigrafi daerah pemetaan. Litologi dari satuan tertua hingga termuda tersusun atas satuan dasit, satuan dasit porfiri (intrusi dasit), satuan breksi dasit (*phreatomagmatic breccia*) dan satuan breksi piroklastik. Mineralisasi dalam bentuk vein sulfida/sulfosalt yang secara dominan ditemukan pada litologi dasit, yang terpotong oleh jalur bukaan pada arah N260-280E, yang diinterpretasi disebabkan oleh ekontrol struktur. Hal ini mengakibatkan jalur vein sulfida/sulfosalt terlihat menerus dengan tebal beragam, serta beberapa membentuk breksiasi atau zona vein. Secara umum daerah pemetaan memiliki arah breksiasi dengan pola WNE – ESE, NW – SE., dan NE – SW.

Pada pemetaan tunnel terlihat alterasi yang intensif yaitu alterasi silisifikasi, zona kaolinit – pirofilit – illit dan zona smektit – kaolinit. Kandungan sulfida pada batuan samping terlihat sangat jarang, dan lebih dominan tidak mengalami mineralisasi dan tidak diikuti pengkayaan silika. Berdasarkan pengamatan, maka vein dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu vein masif sulfida/sulfosalt (komposisi enargite-tenantit-tetrahedit-kalkopirit-kovelit-sfalerit-pirit, yang sebagian teroksidasi menjadi malakit-azurit dan hematit-goetit, vein pirit, vein pirit-kuarsa, vein kuarsa dengan sulfida pada bagian tengah, vein oksidasi berisi hematit, dan vein pirit – sulfida/*sulfosalt*). Tipe masif umumnya berwarna gelap, karena dominan tersusun oleh enargit sehingga disebut bijih hitam. Tipe sulfida-ilit dan kuarsa-sulfida umumnya didominasi oleh pirit, sehingga terlihat cerah dan disebut sebagai bijih putih.



Gambar 2. Peta geologi dan lokasi sampel pada jalur vein.



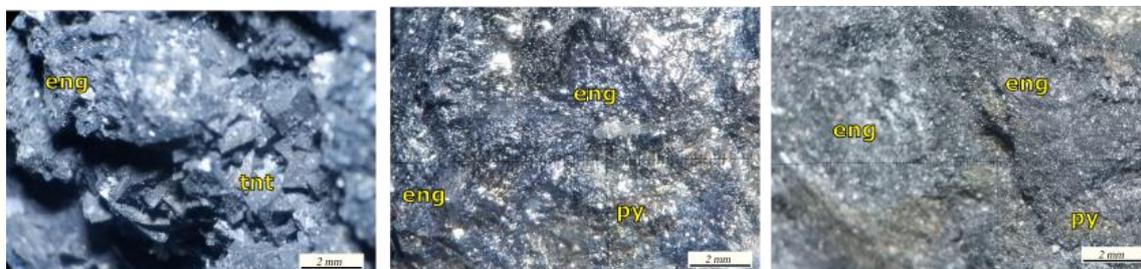
Gambar 3. Singkapan vein sulfida/sulfosalt masif pada terowongan tambang elevasi 145 mdpl.

C. Mineralogi

Studi mineralogi menggunakan data petrografi, mikroskopi bijih, geokimia, terraspektral, dan XRD yang digunakan sebagai penguat dan pendetil data pemetaan. Data megaskopik memperlihatkan bahwa mineralisasi berkembang pada *hostrock* dasit teralterasi argilik (kaolinit-ilit) dan argilik lanjut (kaolinit-pirofilit-phengit) (Tabel 2). Dengan mineralisasi secara megaskopik (Gambar 3), hadir sebagai enargit $[\text{Cu}_3\text{AsS}_4]$, pirit $[\text{FeS}_2]$, kovelit $[\text{CuS}]$, tennantit $[(\text{Cu},\text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}]$ dan kalkopirit $[\text{CuFeS}_2]$, serta setempat dijumpai arsenopirit $[\text{FeAsS}]$.

Tabel 2. Tabel hasil deskripsi megaskopik dan nilai berat jenisnya

No	Kode	Tipe	Foto	Deskripsi batuan	Berat Jenis (gr/cm ³)
1	R7037	Wallrock		Dasit teralterasi argilik lanjut, dengan silisifikasi menengah, mineral alterasi kaolinit, pirofilit, serisit, disseminasi pirit 5%, dan enargit setempat	2.64
2	R7038	Ore		Bijih tembaga, vein massif sulfida/sulfosalt pada singkapan 1,5 m, dengan mineralogi enargite, tetrahedrit, kalkopirit, pirit, setempat terlihat malakit.	4.65
3	R7039	Wallrock		Dasit teralterasi argilik lanjut, dengan silisifikasi lemah, mineral alterasi kaolinit, pirofilit, serisit, disseminasi pirit 1%, dan enargit setempat	2.42

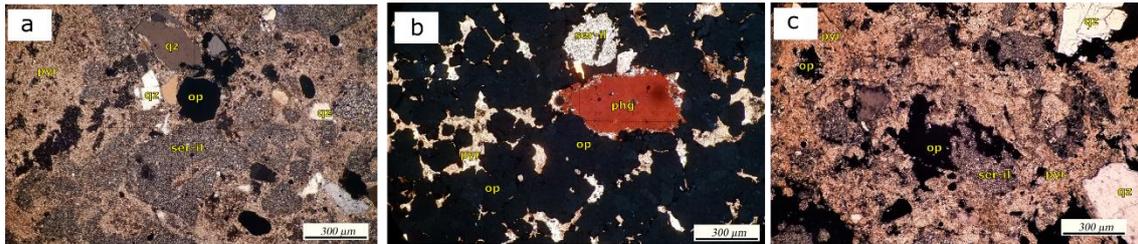
**Gambar 3.** Kenampakan mineral tembaga sulfosalt yaitu enargit dan setempat tennantit secara megaskopik pada tubuh vein, dan juga asosiasi dengan pirit.

D. Petrografi dan mikroskopi bijih

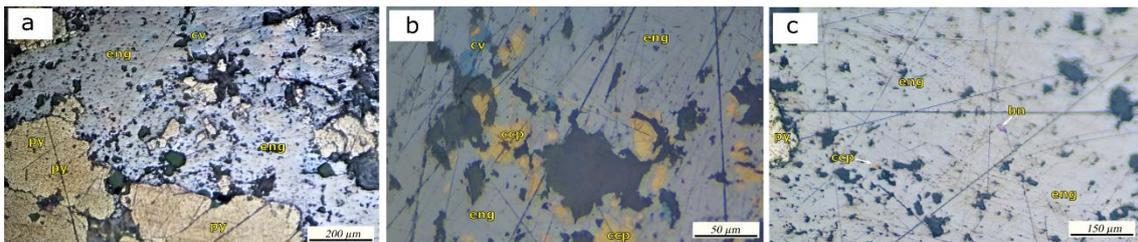
Hasil analisis batuan diperoleh secara petrologi batuan terbagi menjadi bijih dengan sulfida di atas 60% dan batuan samping dengan sulfida <5%. Analisis densitas memperlihatkan berat-jenis batuan yang kontras, yang kemungkinan dipengaruhi oleh kehadiran sulfida di batuan. Bijih memiliki densitas 4,65 gr/cm³ sedangkan batuan samping yang teralterasi argilik lanjut memiliki densitas 2,54 gr/cm³ (Tabel 1). Batuan samping (*wallrock*) secara petrologi memiliki karakter kaya akan mineral lempung dan silika, serta sedikit sulfida. Mineral lempung terdeteksi sebagai mineral lempung berwarna cerah, yang terdeteksi sebagai pirofilit, serisit dan illit, serta dijumpai setempat phengit yang mengindikasikan suhu pembentukan tinggi (Gambar 3a). Pada petrografi bijih (Gambar 3b), terlihat mineral opak sangat melimpah 62%, dengan tekstur granular – massif, terdiri dari kumulasi kristal mineral opak berukuran 30 – 500 µm, saling mengikat dan juga disisipi kehadiran mineral silika seperti pirofilit, serisit-ilit, dan phengit.

Mineralisasi yang terbentuk pada batuan samping dan vein terlihat serupa, namun dengan tekstur dan kelimpahan yang berbeda. Pada bijih, terlihat mineral sulfida/sulfosalt masif yang terdiri dari ikatan mozaik dan *intergrowth* antara mineral sejenis atau yang berbeda. Mineral sulfida/sulfosalt yang

terdeteksi adalah pirit, enargit, kovelit, kalkopirit, dan bornit. Enargit dan pirit merupakan mineral logam dominan yang dijumpai di bijih (Gambar 4). Paragenesa mineral bijih terlihat terjadi pada satu fase mineralisasi dengan urutan kristalisasi terlihat pirit berkembang terlebih dahulu, kemudian diikuti mineralogi kaya tembaga seperti bornit-kovelit-kalkopirit dalam ukuran halus (5 - 50 μm), yang kemudian terselimuti oleh enargit secara intensif. Enargit terlihat memiliki pleikroik kuat dengan warna coklat kemerahan sampai abu-abu kebiruan, terutama pada pengamatan polarisasi tunggal dan polarisasi ganda sudut 5°-20°. Kristal enargit terlihat memiliki ukuran 56 - 160 μm dengan bentuk subhedra – anhedral, tekstur mozaik – granular dan berkelompok sehingga terlihat masif. Untuk pirit terakumulasi dengan bentuk kristal anhedral dengan ukuran 120 – 900 μm , dan pada kristal dalam enargit berukuran 50 - 140 μm yang hadir bersamaan dengan kovelit-kalkopirit±bornit yang berukuran halus 5 - 20 μm .



Gambar 4. Petrografi batuan teralterasi dan bijih pada Kluwih, mineral yang terlihat berupa kuarsa primer (qz), serisit (ser), illit (il), dan pirofilit (pyr). (a) sampel dasit (R7037) teralterasi argilik lanjut dengan mineral utama pirofilit, (b) bijih sulfida/sulfosalt (R7038) dengan mineral opak sebanyak 62% yang berasosiasi dengan pirofilit-phengit-serisit-illit. c) sampel dasit (R7039) teralterasi argilik lanjut dengan mineral utama pirofilit,



Gambar 5. Tipe mineral logam yang hadir pada vein, sampel R7038, (a) mineral sulfida/sulfosalt utama yaitu kumulasi pirit granular kasar dan enargit menyelimuti pirit dan tergantikan kovelit, (b) mineral kalkopirit dan kovelit bersama enargit, (c) mineral kalkopirit dan bornit ukuran halus ($\pm 5 \mu\text{m}$). *mineralogi* : pirit (py), enargit (eng), kalkopirit (ccp), kovelit (cv), dan bornit (bn).

E. Geokimia batuan

Analisis kimia dilakukan pada Laboratorium Intertek Jakarta dengan metode *Fire Assay – Atomic Absorption Spectromete (FA-AAS)*, *Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry/ Mass Spectrometry (ICP-OES/MS)*, *X-Ray Fluoresence (XRF)*, dengan jumlah total sampel adalah 3 sampel yang diambil pada tunnel.

Data keseluruhan unsur ditunjukkan dari analisis ICP-OES dan FAAS menunjukkan (Tabel 3) data geokimia batuan sampling, yang merupakan batuan dasit terargilikkan memiliki mineralisasi ringan – sedang yang dibuktikan dengan nilai Cu 0,07 – 3,2 % dan nilai belerang (S) adalah 3,6 – 4,4 %, serta diikuti nilai As sebesar 642 ppm. Mineralisasi memperlihatkan nilai Cu – Au – As – Sb yang tinggi, serta spot terlihat adanya anomali Sn. Mineralisasi vein kaya tembaga pada blok Kluwih memiliki bijih massif dengan nilai Au 2.8 ppm, Ag 32,6 ppm Ag, dan 12,6 % Cu dan diikuti nilai Zn yaitu maksimum 0,05%. Hal ini menandakan adanya asosiasi mineralisasi dengan Cu-Au-Ag pada daerah ini. Nilai As dan Sb yang terlihat secara fisik sebagai mineral enargit-tetrahedrit terbukti dengan nilai maksimum 4,15% As dan 0,2 % Sb. Tingginya nilai arsen ini dimungkinkan karena kehadiran dominan enargit dan juga beberapa mineral garam tembaga seperti tennantite.

Analisis XRF memperlihatkan kontras antara bijih dan batuan, dimana mineralisasi bijih terlihat sebagai pengisian sulfida/sulfosalt, yang dibuktikan dengan nilai SiO_2 hanya 4,5 % yang diikuti dengan pengkayaan logam berupa 27,6% Fe, 12,6% Cu, 4,15% As, dan 46,2% S. Mineral alterasi yang hadir bersama sulfida/sulfosalt kemungkinan adalah kelompok mika seperti phengit dengan ditandai adanya kemunculan unsur 0,7% MgO dan 1,9 % Al_2O_3 . Unsur besi (Fe) terlihat tinggi sebagai indikasi kehadiran

mineral logam kaya besi seperti pirit dan juga kemungkinan bagian dari kehadiran mineral mika kaya besi.

Geokimia batuan sampling terlihat memiliki nilai SiO₂ tinggi 71,7%, yang diikuti tingginya unsur alkali pembentuk mineral alterasi seperti pirofilit dengan nilai Al₂O₃ mencapai 15,3 % dengan nilai total Ca-Na-K rendah sebesar 0,25%, serta terdapat sisa TiO₂ sebesar 0,38 %. Unsur tanah jarang (REE) pada bijih memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan batuan sampling, namun terdapat beberapa yang mengalami peningkatan tinggi yaitu Cs (0,22 ppm), Se (23 ppm), dan Cd (1,5 ppm). Unsur lain yang mengalami peningkatan adalah 205 ppm Te dan 16 ppm W.

Tabel 3. Analisis kimia batuan dengan metode ICP-OES determination aqua regia digest (dalam ppm)

ppm	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs
R7037	0.92	1810	642	36	<0.05	2.5	800	0.1	0.35	4.1	2	0.19
R7038	32.6	800	>10000	22	<0.05	370	200	1.54	0.11	2.1	5	0.22
R7039	0.55	1580	532	12	<0.05	2.45	400	0.1	0.57	3.5	2	0.1
ppm	Cu	Dy	Er	Eu	Fe	Ga	Gd	Hf	Ho	In	K	La
R7037	1880	0.21	0.05	0.13	45300	0.49	0.39	0.02	0.03	0.03	70	0.15
R7038	>20000	0.03	0.01	0.02	264000	0.54	0.05	<0.01	<0.01	0.17	<20	0.06
R7039	1400	0.38	0.25	0.06	41200	0.63	0.24	0.02	0.08	0.34	30	0.23
ppm	Li	Lu	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Nd	Ni	P	Pb	Pr
R7037	0.4	0.01	<100	32	0.4	<100	0.2	0.22	1.8	310	50.7	0.05
R7038	0.2	<0.005	<100	88	2.3	<100	0.25	0.04	1	370	97.4	0.01
R7039	0.2	0.03	<100	65	0.9	<100	0.36	0.34	1.1	90	48.1	0.07
ppm	Rb	Re	S	Sb	Sc	Se	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te
R7037	0.56	<0.001	44000	9	1	2	0.2	3.2	7.89	0.01	0.05	2.5
R7038	0.21	<0.001	>50000	1960	<0.1	23	0.02	<0.05	2.66	<0.01	<0.005	205
R7039	0.28	<0.001	36700	3.51	0.9	1	0.12	1.62	8.96	0.01	0.05	1.21
	Th	Ti	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr	
R7037	0.24	<5	0.6	0.01	0.33	2	0.81	0.54	0.05	27	0.3	
R7038	0.06	<5	35.5	<0.01	0.39	4	16	0.1	0.02	589	0.1	
R7039	0.15	<5	1.32	0.04	0.24	2	0.5	2.07	0.24	29	0.2	
wt %	SiO₂	Al₂O₃	CaO	Cr₂O₃	Fe₂O₃	Fe	K₂O	MgO	MnO	Na₂O	P₂O₅	TiO₂
R7037	71.71	15.26	0.10	<0.005	6.49	4.54	0.04	0.04	<0.01	0.11	0.115	0.38
R7038	4.49	1.93	<0.01	0.008	39.53	27.64	0.02	0.71	0.02	0.10	0.013	0.04
	Cu	Ni	Co	P	Cu	Zn	Cl	As	S	SO₃	LOI	
R7037	3.20	0.017	<0.005	0.050	3.204	0.008	<0.002			>5	5.81	
R7038	12.6	0.022	<0.005	0.005	>5	0.060	<0.002	4.15	46.2	>5	31.76	

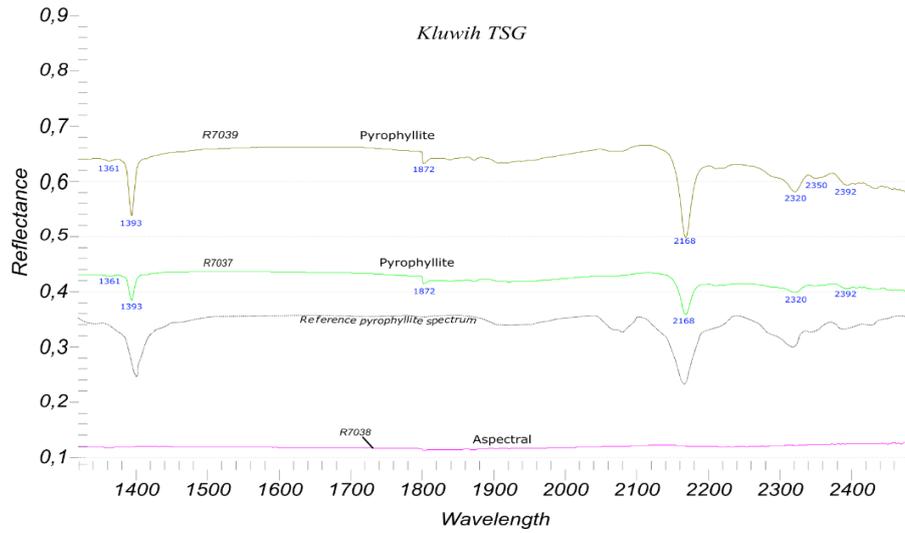
F. Analisis terraspectral dan XRD

Analisis mineralogi dilakukan dengan alat Terraspektral Analysis (ASD) dengan jumlah total sampel adalah 3 sampel permukaan dan diperkuat dengan analisis XRD (X-Ray Difrraction) pada sampel yang representatif. Analisis terraspektral pada batuan dasit teralterasi argilik lanjut menunjukkan pola yang sama pada setiap sampel, dengan nilai *peak* atau titik absorbsi terkuat pada panjang gelombang 1392 nm, 2168 nm, dan 2320 nm. Mineral pirofilit pada Kluwih terlihat memiliki komposisi utama yaitu OH+H₂O yang terlihat pada absorpsi di 1361nm dan sekunder pada 1392nm, dan AlOH pada 2168 nm dan *peak* sekunder pada 2320 nm, 2350 nm, dan 2392 nm. Terdapat *peak* lemah pada 1872 nm yang diinterpretasi sebagai kehadiran CO₃ atau terdapat pencampuran dengan mineral kalsit.

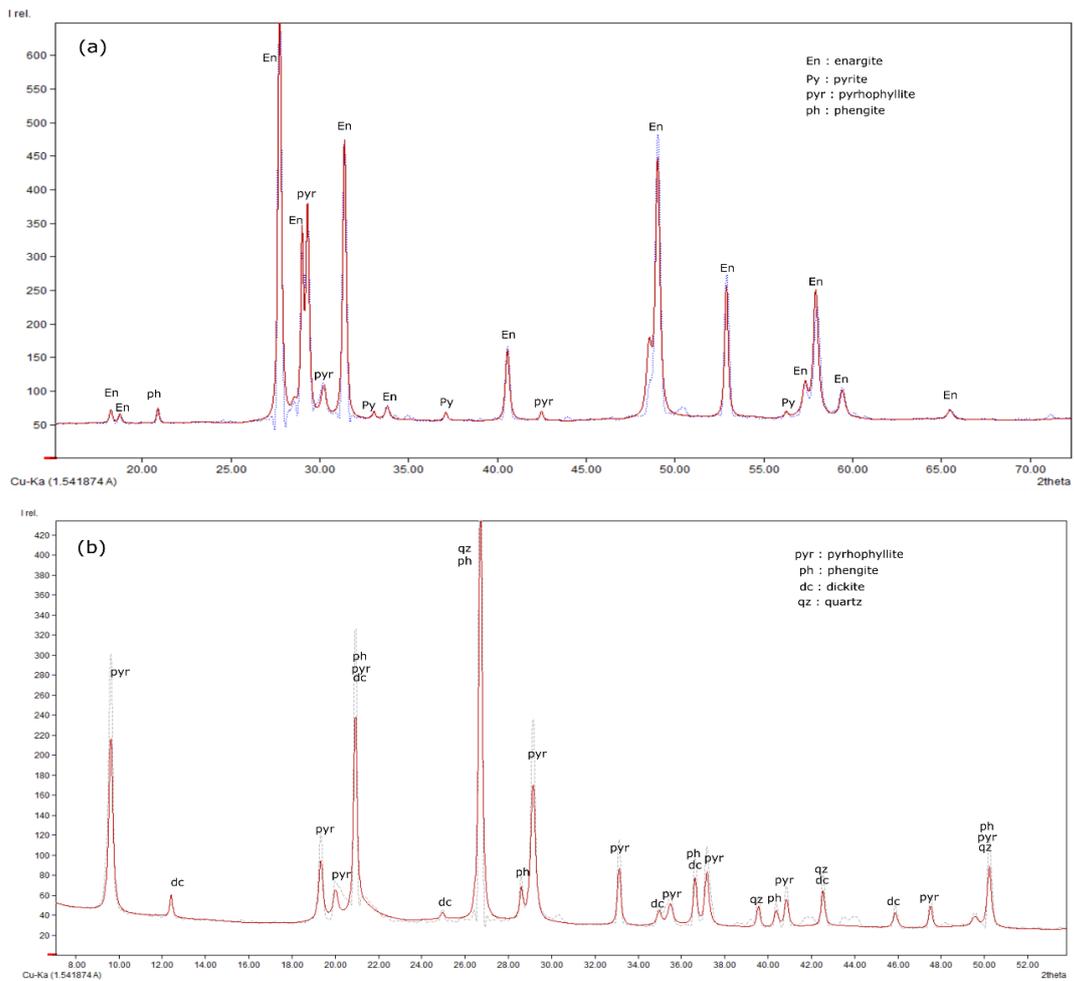
Analisis XRD dilakukan untuk memperoleh *peak* 2 theta antara 5° - 101°, dan memperlihatkan kehadiran enargit-pirit-pirofilit pada bijih, dan mineral pirofilit-dikit-kuarsa-phengit pada batuan sampling (Gambar 6). Pada pengamatan sampel R7038, enargit merupakan mineral yang dominan terlihat, dengan deteksi nilai 2theta intensitas kuat pada 29°, 40°, 59° dan 64° (Tabel 4) dengan karakter kimia kemungkinan mendekati Cu₃AsS₄ [8]. Berdasarkan *peak*-intensitas terlihat mineral enargite memiliki bidang kristalografi yaitu 002-212-331-133 yang membentuk morfologi enargit sebagai prisma-piramida. Mineral logam lainnya yang terlihat dalam XRD adalah pirit dengan intensitas yang lemah.

Tabel 4. Hasil *peak* enargit Kluwih

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I ₀	FWHM	hkl
1	29.12	3.0670	1000.00	0.2154	002
2	40.83	2.2104	201.23	0.1695	212
3	59.07	1.5639	44.49	0.2029	331
4	64.30	1.4488	59.56	0.3919	133



Gambar 6. Spektrum hasil analisis terraspektral dan posisi *peak absorption*, yang menunjukkan mineral pirofilit pada batuan argilik lanjut (R7037, R7039) sedangkan pada sampel bijih (R7038) menunjukkan *aspectral* atau tidak terdeteksi mineral alterasi.



Gambar 7. Spektrum hasil analisis XRD (a) pada sampel bijih / massif sulfida/sulfosalt (R7038), dengan kehadiran enargit (en), pirofilit (pyr), dan pirit (py). (b) batuan sampling, yaitu dasit yang teralterasi argilik lanjut, terlihat kehadiran pirofilit (pyr), dikit (dc), phengit (ph) dan kuarsa (qz).

IV. KESIMPULAN

Vein daerah Kluwih merupakan vein tembaga yang berasosiasi dengan alterasi argilik lanjut yang terbentuk pada pH rendah (asam) dan suhu tinggi, dicirikan dengan kehadiran pirofilit dan phengite [9]. Mineralogi vein adalah massif (>60% logam) dengan komposisi enargit-pirit±tennantit±kalkopirit±kovelit, yang mencirikan sistem mineralisasi tembaga yang berasosiasi dengan As dan Sb kuat. Tipe mineralisasi yang terbentuk diinterpretasi sebagai sistem vein pada epitermal sulfidasi tinggi bagian dalam [10], dengan asosiasi logam Cu-Au-As-Sb.

Kehadiran sebaran vein tembaga pada Kluwih, membuka kemungkinan ditemukannya sistem mineralisasi yang berasosiasi dengan tipe sulfidasi tinggi lainnya yaitu mineralisasi vein epitermal Au, *massive replacement* Cu-Au, dan sistem diseminasi pada porfiri atau skarn Cu-Au, sebagaimana hadir dalam beberapa deposit serupa [11], [12].

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin berterimakasih kepada Bapak Shandy N.R selaku manajemen PT. Javadwipa Java Abadi, Bapak Sugiharto dan Bapak Cahyo dari manajemen PT. Gemilang Limbah Internusa atas dukungan sarana prasarana, dan kepada para geologiawan lapangan yaitu Hadi Prayoga dan Reynaldo atas bantuannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Maryono, R. L. Harrison, D. R. Cooke, I. Rompo, dan T. G. Hoschke, "Tectonics and Geology of Porphyry Cu-Au Deposits along the Eastern Sunda Magmatic Arc, Indonesia," *Econ. Geol.*, vol. 113, no. 1, pp. 7–38, Jan 2018, [Daring]. DOI: <http://dx.doi.org/10.5382/econgeo.2018.4542>
- [2] J. A. Katili, "A review of the geotectonic theories and tectonic maps of Indonesia," *Earth-Science Rev.*, vol. 7, no. 3, pp. 143–163, 1971.
- [3] J. C. Carlile dan A. H. G. Mitchell, "Magmatic arcs and associated gold and copper mineralization in Indonesia," *J. Geochemical Explor.*, vol. 50, no. 1–3, hal. 91–142, 1994.
- [4] J. M. Hammarstrom *et al.*, *Porphyry copper assessment of Southeast Asia and Melanesia: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5090–D*. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2013 This, 2013. DOI: <http://pubs.usgs.gov/sir/2010/5090/d/>
- [5] T. Van Leeuwen, *Twenty five More Years of Mineral Exploration and Discovery in Indonesia (1993 - 2017)*. Jakarta: 10 th anniversary Special Publication-Masyarakat Geologi Ekonomi Indonesia, 2018.
- [6] R. W. Van Bemmelen, *The Geology of Indonesia, vol. IA, "General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes"*, 2 ed. The Hague. Netherlands, 1949.
- [7] H. Samodra, S. Gafoer, dan Tjokrosapoetro, "Peta geologi regional lembar Pacitan, Jawa Timur, Skala 1:100.000." Direktorat Geologi, Bandung, 1992.
- [8] S. Gražulis *et al.*, "Crystallography Open Database (COD): an open-access collection of crystal structures and platform for world-wide collaboration," *Nucleic Acids Res.*, vol. 40, no. D1, pp. D420–D427, Jan 2012, doi: 10.1093/nar/gkr900.
- [9] G. J. Corbett dan T. M. Leach, "Southwest Pacific rim gold–copper systems: structure, alteration and mineralization.," *Soc. Econ. Geol.*, vol. Special Pu, no. May 1997, hal. 236, 1998.
- [10] J. W. Hedenquist, A. R. Arribas, dan E. Gonzalez-Urien, "Exploration for Epithermal Gold Deposits," *Soc. Econ. Geol. Rev. Econ. Geol.*, vol. 13, hal. 245–277, 2000.
- [11] R. H. Sillitoe, "Porphyry Copper Systems," *Econ. Geol.*, vol. 105, pp. 3–41, 2010.
- [12] N. T. Arndt, L. Fontboté, J. W. Hedenquist, S. E. Kesler, J. F. H. Thompson, dan D. G. Wood, "Future global mineral resources," *Geochemical Perspect.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–171, 2017.



©2023. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).