



## Penentuan Zona Alterasi Hidrotermal dari Bijih Emas Tujuh Bukit

Naufal Abdan S., Solihin\*, Yunus Ashari

*Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.*

### ARTICLE INFO

#### Article history :

Received : 18/9/2023

Revised : 13/12/2023

Published : 19/12/2023



Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Volume : 3

No. : 2

Halaman : 133-140

Terbitan : Desember 2023

### ABSTRAK

Indonesia, sebagai salah satu negara yang terletak pada jalur copper-gold belt, mendudukkan dirinya sebagai salah satu produsen emas terbesar di dunia, masuk dalam 10 besar. Keadaan ini disebabkan oleh jalur magmatis yang terbentuk akibat arus konveksi magma, mendorong lempeng tektonik membentuk zona sesar naik. Zona ini menjadi jalur lemah bagi cairan hidrotermal untuk mencapai permukaan bumi, membentuk zona alterasi tempat terjadinya reaksi kimia antara larutan hidrotermal dan batuan sekitarnya, menghasilkan jalur mineralisasi. Tujuh Bukit, salah satu deposit emas terbesar di Indonesia, terbentuk dari bijih tipe porfiri dan epitermal sulfida menengah hingga tinggi. Penelitian ini menggunakan metode Corbet dan Leach untuk menentukan zona alterasi pada sampel di daerah Tujuh Bukit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan zona alterasi, seperti advanced argilic dan argilic, mempengaruhi pembentukan bijih emas. Zona advanced argilic memiliki temperatur lebih tinggi dan pH lebih rendah dibandingkan zona argilic. Sampel yang termasuk ke dalam zona advanced argilic ditandai dengan keterdapatan alunite hasil perombakan silikat oleh asam sulfat. Kandungan kuarsa juga berpengaruh terhadap pH dan temperatur selama proses alterasi, sementara satu sampel masuk ke zona argilic. Penelitian ini melibatkan pengumpulan data sekunder dan primer, termasuk peta geologi, data cuaca, analisis X-Ray Diffraction, dan Analisis Mineragrafi.

**Kata Kunci :** Mineralisasi; Advanced Argilic; Kuarsa.

### ABSTRACT

Indonesia, situated along the copper-gold belt, establishes itself as one of the world's largest gold producers, ranking among the top 10. This is attributed to the magmatic belt formed by the convection currents of magma, pushing tectonic plates to create uplift fault zones. These zones serve as pathways for hydrothermal fluids to reach the Earth's surface, forming alteration zones where chemical reactions occur between hydrothermal solutions and surrounding rocks, resulting in mineralization pathways. Tujuh Bukit, one of the largest gold deposits in Indonesia, is formed from porphyry and intermediate to high-sulfide epithermal ore types. This research employs the Corbet and Leach method to determine alteration zones in samples from the Tujuh Bukit area. The study reveals that differences in alteration zones, such as advanced argilic and argilic, impact gold ore formation. The advanced argilic zone exhibits higher temperatures and lower pH compared to the argilic zone. Samples falling within the advanced argilic zone are characterized by the presence of alunite, a product of silicate alteration by sulfuric acid. Quartz content also influences pH and temperature during the alteration process, while one sample falls into the argilic zone. The research involves the collection of secondary and primary data, including geological maps, weather data, X-Ray Diffraction analysis, and Mineralogical Analysis.

**Keywords :** Mineralization; *Advanced Argilic*; Quartz.

@ 2023 Jurnal Riset Teknik Pertambangan Unisba Press. All rights reserved.

## A. Pendahuluan

Indonesia berada pada jalur *copper-gold belt* yang terbentuk akibat pergerakan lempeng tektonik yang terdorong oleh arus konveksi magma membentuk zona-zona sesar naik. Sesar naik merupakan zona lemah sebagai media menerobosnya cairan hidrotermal untuk mencapai permukaan bumi. Proses ini membentuk zona alterasi sebagai tempat terjadinya reaksi kimia antara larutan hidrotermal dengan batuan sekitarnya sehingga menghasilkan jalur mineralisasi berupa *porfiri*, *mesothermal* dan *epitermal*. Terdapat tiga deposit emas besar di Indonesia yang dapat dijumpai di daerah Batu Hijau, Sumbawa, Nusa Tenggara Barat; Elang, Sumbawa, Nusa Tenggara Barat dan Tujuh Bukit, Banyuwangi, Jawa Timur [1] menjadikan Indonesia sebagai negara yang memiliki cadangan emas peringkat ke-6 terbesar di dunia dan termasuk dalam daftar 10 negara penghasil emas terbesar di dunia [2].

Kondisi geologi Tujuh Bukit berada pada cebakan epitermal Au, Ag, dan Cu yang terbentuk oleh breksi diatrem dan breksi hidrotermal yang dipengaruhi kontrol geologi berupa struktur dan litologi. Mineralisasi Au, Ag, dan Cu yang bersifat diskontinu di zona tersebut bernilai ekonomis. Zona mineralisasi memiliki ukuran 500 – 1000 meter dalam skala planar dengan ketebalan hingga 300 meter. Distribusi batuan vulkanik serta intrusi cairan hidrotermal dipotong oleh beberapa zona breksi hidrotermal yang dikontrol oleh struktur geologi. Kadar Au sangat dipengaruhi oleh keberadaan struktur di sekitarnya. Penentuan zona alterasi dilakukan untuk mengetahui keterbentukan kelompok mineral dalam setiap zona alterasi. Berdasarkan data karakteristik deposit bijih Au di daerah Tujuh Bukit yang terbentuk akibat adanya alterasi hidrotermal terhadap batuan vulkanik.

Dari latar belakang tersebut, adapun tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan zona alterasi sampel yang diperoleh di lapangan berdasarkan Corbet dan *Leach* dan menganalisis data dari sampel bijih emas yang diperoleh di lapangan dengan pengujian *X-RD* dan mineragrafi yang dilakukan di laboratorium.

## B. Metode Penelitian

Metodologi penelitian yaitu dengan menggunakan data sekunder dan data primer dari kegiatan penelitian. Adapun untuk uraian dari setiap data primer dan data sekunder yaitu sebagai berikut.

Data sekunder meliputi data penelitian Harrison [1]; keadaan geologi daerah penelitian lembar Blambangan oleh A. Achdan & S. Bachri [3] dan lembar Banyuwangi oleh Sidarto, T. Suwanti, dan D. Sudana [4]; dan data curah hujan daerah Kecamatan Pesanggaran tahun 2018 – 2022 oleh Banyuwangi Dalam Angka. Data primer meliputi pengambilan data langsung di lapangan, yakni hasil laboratorium pengujian *X-RD* dan analisis mineragrafi di laboratorium PSDMBP.

Berdasarkan data tersebut dapat dilakukan pengolahan data secara kualitatif melalui hasil data pengujian sampel laboratorium sehingga dapat dilakukan analisis karakteristik bijih emas dan menentukan zona alterasi berdasarkan *Corbett & Leach*.

### Konsep Pembentukan Endapan

Menurut Mc. Kenzie dan Robert Paker pada tahun 1968 memunculkan pandangan baru bahwa benua dan samudra mengalami pergerakan (*mobile*). Terdapat dua jenis lempeng, yaitu lempeng benua yang memiliki komposisi utama batuan *felsik* yang terdiri atas mineral-mineral ringan berupa *kuarsa* dan feldspar, sedangkan lempeng samudra yang memiliki komposisi utama batuan *basaltik* yang terdiri atas mineral berat berupa magnesium dan batuan basal. Kedua lempeng saling bergerak akibat adanya arus konveksi magma pada *asthenosphere* (berada dibawah litosfer dan di atas mantel bumi). Pergerakan utama lempeng dibagi menjadi 3 jenis, yaitu Konvergen (saling mendekat); Divergen (saling menjauh); dan Transform (saling berpapasan). Pergerakan lempeng membentuk endapan bahan galian yang merupakan sekumpulan bahan galian terkonsentrasi di suatu tempat akibat adanya proses geologi tertentu yang memiliki kadar dan kuantitas ekonomis untuk ditambang. Konsep pembentukan endapan terbagi menjadi 3 hal utama, di antaranya:

Fluida yang berperan dalam pembentukan endapan, seperti: larutan magmatik (silika), hidrotermal (sisa magma), air meteorik (atmosfer), air laut (endapan bawah laut), air connate (terperangkap dalam pori batuan sedimen), hasil metamorfik;

Proses Differensiasi Magma yang diakibatkan adanya tekanan dan kristalisasi menyebabkan segregasi magma yang terbagi menjadi magma mafik membentuk mineral sulfida atau oksida dengan kandungan unsur krom, nikel, *platinum*. Serta magma silika yang memiliki kandungan unsur timah, *zirkonium*, dan *thorium*;

Proses pembentukan endapan secara internal dan eksternal, meliputi: kristalisasi dan segregasi magma; hidrotermal; *lateral secretion*; dan *metamorphic processes*. Sedangkan secara eksternal meliputi: *mechanical accumulation*; *sedimentary precipitation*; *residual processes*; *supergen enrichment*; dan *volcanic exhalative*.

### **Endapan Epithermal**

Endapan *epithermal* adalah endapan yang terbentuk dari sistem *hydrothermal* pada kedalaman dangkal yang umumnya pada busur vulkanik dekat permukaan [5]. Berdasarkan karakter fluidanya dibagi menjadi epitermal sulfidasi rendah dan epitermal sulfidasi tinggi. Keterdapat endapan *epithermal* di Indonesia, di antaranya: Endapan *Epithermal Low Sulphidation* yang terdapat di daerah Pongkor, Bogor; Endapan *Epithermal High Sulphidation* yang terdapat di daerah Blitar, Jawa Timur; Endapan *Epithermal High Sulfidation* yang terdapat di Cijulang, Garut. Bahan galian utama berupa emas.

### **Alterasi Hidrotermal**

Alterasi hidrotermal dapat diartikan sebagai perubahan mineralogi dan tekstur batuan asli yang disebabkan oleh interaksi antara fluida dengan batuan sampling [6]. Alterasi hidrotermal merupakan proses yang kompleks disebabkan adanya perubahan mineralogi, kimia dan tekstur pada kondisi fisik tertentu [7]. Pola mineralisasi yang terjadi yakni mineral bijih akan mengisi rongga-rongga dan rekahan (*open space & cavity filling*). Adapun faktor utama yang berpengaruh pada proses hidrotermal ialah temperatur, kandungan kimia fluida (*potential hydrogen*), konsentrasi larutan hidrotermal, tekanan, komposisi batuan sampling, energi kinetik reaksi, waktu hidrotermal berlangsung, dan permeabilitas batuan sampling [8]. Terdapat beberapa reaksi yang terjadi pada proses alterasi hidrotermal dengan H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, dan S<sub>2</sub> sebagai senyawa utama, di antaranya ialah: (1) Hidrasi (penambahan air) / Dehidrasi (pengurangan air); (2) Karbonasi (pengikatan CO<sub>2</sub>) / Dekarbonasi (pelepasan CO<sub>2</sub>); (3) Oksidasi / Reduksi; (4) Sulfidasi.

### **Pembagian Zona Alterasi Berdasarkan Corbett dan Leach**

Menurut *Corbett* dan *Leach* pada tahun 1996 membagi zona alterasi hidrotermal ke dalam 6 zona ubahan yang didasarkan pada kumpulan dan asosiasi mineral yang terbentuk pada kesetimbangan yang sama dan pH berikut:

*Zona Potasik*; Terdapat mineral utama berupa *potash* (K) *feldspar* sekunder & *biotit* sekunder, serta *aktinolit* + *klinopiroksen*.

*Zona Filik*; Zona ini dicirikan oleh mineral silikat yang hampir seluruhnya mengalami *serisitisasi*, kecuali *kuarsa*. *Filik* tersusun atas anggota *kaolin* (*piropilit-andalusit*) dan *illit* (*serisit-mika* putih) berasosiasi dengan mineral pada temperatur tinggi seperti *serisit-mika-klorit*.

*Zona Argilik*; Alterasi yang dicirikan oleh kehadiran anggota dari *kaolin* (*hallosit*, *kaolinit*, dan *dickit*) dan *illit* (*smektit*, *interlayer*, *illit-smektit*, *illit*), beserta asosiasi mineral transisi yang terbentuk pada pH menengah dan suhu rendah.

*Zona Argilik Lanjut (Advanced Argilic)*; Alterasi yang terbentuk dari hasil pencucian alkali dan kalsium dari fase alumina seperti *feldspar* dan mika, tetapi hanya hadir jika alumunium tidak bersifat *mobile*, apabila alumunium bergerak kembali diikuti dengan bertambahnya *serisit* dan terjadi alterasi *serisit* (Evans, 1992). Alterasi ini dicirikan dengan hadirnya mineral yang terbentuk pada kondisi asam terutama *kaolinit*, *dickit*, *piropilit*, diaspor, *alunit*, *jarosit*, dan *zunyit*. Alterasi *advanced argilic* terbentuk dalam 2 macam, pertama dapat terbentuk oleh kondensasi gas hasil pemanasan fluida hidrotermal yang membentuk air tanah yang teroksidasi oleh atmosfer merubah H<sub>2</sub>S membentuk asam sulfur yang akan merombak silikat lalu membentuk *kaolinit* dan *alunit*. Pada tahap terlepasnya ikatan silikat akan membentuk deposit (bersama *alunit*) sebagai layer silikaan yang berasal dari *kaolinit* dan membentuk silika cap. Kedua alterasi ini terbentuk akibat pelapukan batuan yang kaya akan *sulfida oksida* membentuk asam sulfur yang merusak batuan, lalu membentuk *kaolinit* dan *alunit*.

*Propilitik*; Alterasi yang umumnya dicirikan oleh kehadiran mineral *klorit-epidot-aktinolit* yang terbentuk pada temperatur rendah. Alterasi jenis ini memiliki penyebaran paling luas tetapi keterkaitannya

dengan mineralisasi sangat kecil. Kristal plagioklas mengalami argilitisasi dengan intensitas kecil, biotit mengalami perubahan menjadi klorit dengan atau tanpa karbonat.

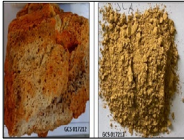

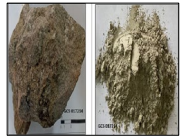
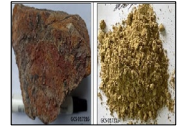
*Skarn*; Terbentuk akibat adanya interaksi fluida magmatik bertemperatur tinggi dengan batuan samping *limestone* yang diikuti oleh proses *metasomatisme* dan pengendapan bijih. *Skarn* tersusun atas mineral *kalk-silikat* (*Ca-garnet, klinopiroksen, tremolit*).

### C. Hasil dan Pembahasan

#### Proses Pengambilan Sampel

Pada penelitian kali ini, sampel yang digunakan adalah sampel yang diperoleh di lapangan menggunakan metode chip sampling, yakni pengambilan sampel batuan dengan cara memecahkan batuan yang memotong zona mineralisasi atau bidang kontak menggunakan palu / pahat lalu pecahan batuan (*rock chip*) dikumpulkan ke dalam karung. Pengambilan sampel yang menjadi acuan yaitu zona pemineralan *silica clay* dan *massive silica* untuk kemudian dilakukan pengujian ekstraksi menggunakan metode *pulverized bottle roll test* sebagai simulasi ekstraksi heap *Leach* dalam skala penelitian. Terdapat 4 sampel yang diperoleh dari hasil chip sampling berupa 1 sampel zona pemineralan *massive silica* dan 3 sampel zona pemineralan *silica clay*. Lebih jelasnya dapat dilihat pada (Tabel 1).

**Tabel 1.** Data Hasil Sampling di Lapangan

No	Kode Sampel	Zona Pemineralan	X	Y	Z	Foto Sampel
1	GCS017212 (SCO)	<i>Silica clay</i>	173832	9046109	195	
2	GCS017213 (MSO)	<i>Massive silica</i>	173812	9046135	195	
3	GCS017214 (SC)	<i>Silica clay</i>	173828	9046118	195	
4	GCS017216 (SCA)	<i>Silica clay</i>	173815	9046116	195	

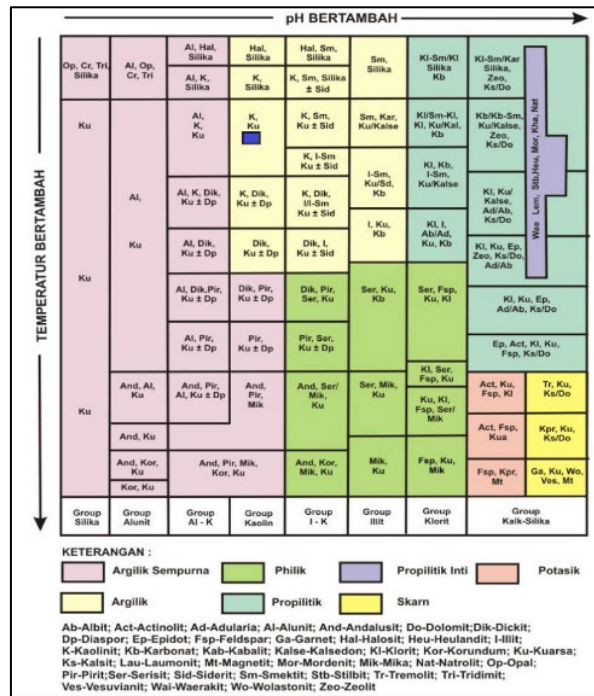
Sumber: Data Penelitian, 2022.

#### Penentuan Zona Alterasi

Penentuan zona alterasi didasarkan pada mineralogi alterasi di dalam sistem hidrotermal menurut *Corbett* dan *Leach* pada tahun 1996 dengan cara menganalisis komposisi mineral pada 4 sampel yang diperoleh melalui pengujian *X-RD* dan analisis mineragrafi dapat dilihat pada gambar 3 dengan penjelasan sebagai berikut:

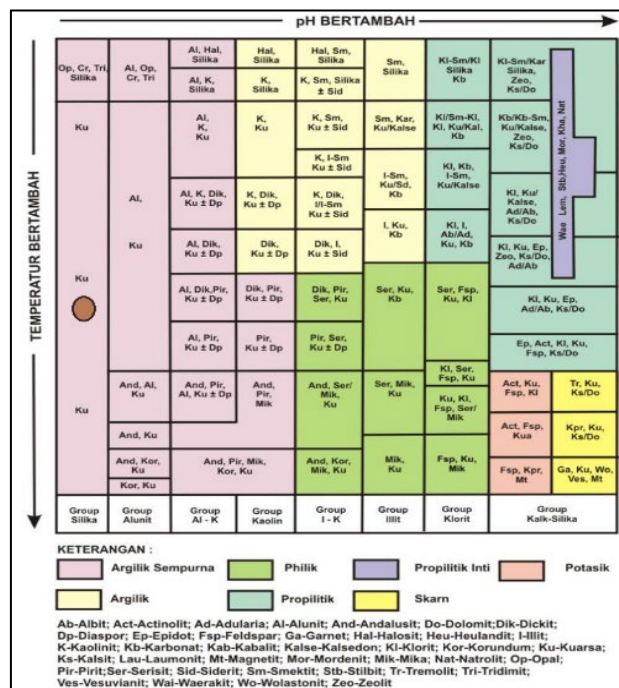
Analisis Sampel GCS 017212 (SCO); Termasuk ke dalam zona pemineralan *silica clay* yang memiliki kandungan mineral dominan berupa *kuarsa* sebesar 51,2 % dan *kaolin* sebesar 47,3 %. Berdasarkan keterdapatannya mineral dominan *kuarsa* dan *kaolin* dengan perbedaan tidak terlalu signifikan dapat diketahui

bahwa keterbentukan sampel ini berada pada zona alterasi *argilic* yang terbentuk pada pH menengah dan suhu rendah 100 - 300°C. Terdapat kehadiran mineral sulfida yakni pirit hasil analisis mineragrafi.



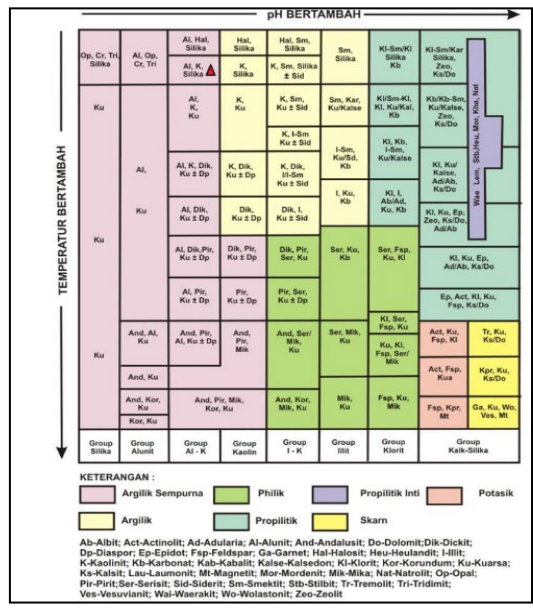
Gambar 1. Penentuan Zona Alterasi Sampel GCS 017212 (SCO)

Analisis Sampel GCS 017213 (MSO); Termasuk ke dalam zona pemineralan *massive silica* yang memiliki mineral dominan berupa *kuarsa* sebesar 93,2%. Keterbentukan *kuarsa* yang terkompaksi disebabkan oleh keterbentukan batuan yang berada pada suhu 180 – 350°C dengan pH asam < 7. Terdapat mineral sulfida yakni pirit hasil analisis mineragrafi.



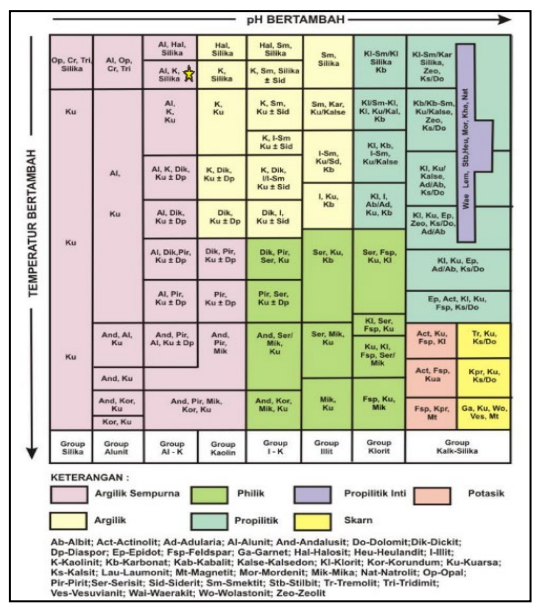
Gambar 2. Penentuan Zona Alterasi Sampel GCS 017213 (MSO)

Analisis Sampel GCS 017214 (SC); Termasuk ke dalam zona pemineralan *silica clay* yang memiliki mineral dominan berupa *kuarsa* sebesar 64,2%; *kaolin* sebesar 18,9%; dan *alunit* sebesar 11,5%. Terdapat *alunit* sebagai mineral penciri dari alterasi *advanced argilic* yang terbentuk pada kondisi asam dari hasil kondensasi gas hasil pendidihan fluida hidrotermal yang membentuk air tanah teroksidasi. Peristiwa oksidasi oleh atmosfer merubah gas hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) membentuk asam sulfur yang akan merombak silikat kemudian membentuk *kaolinit* dan *alunit*. Terdapat mineral sulfida yang dominan berupa *sفالerit*, *pirit*, dan *kalkopirit* hasil analisis mineragrafi.



Gambar 3. Penentuan Zona Alterasi Sampel GCS 017214 (SC)

Analisis Sampel GCS 017216 (SCA); Termasuk ke dalam zona pemineralan *silica clay* yang memiliki mineral dominan berupa *kuarsa* sebesar 74,8%; *kaolin* sebesar 19,4%; dan *alunit* sebesar 5,3%. Terdapat *alunit* sebagai mineral penciri dari alterasi *advanced argilic*.



Gambar 4. Penentuan Zona Alterasi Sampel GCS 017216 (SCA)

Berdasarkan analisis 4 sampel di atas, dapat diketahui bahwa terdapat 3 sampel yang termasuk ke dalam zona alterasi *advanced argilic* sedangkan satu sampel yakni GCS 017212 termasuk ke dalam zona alterasi *argilic*. Hal ini dapat terjadi ketika sampel GCS 017212 terdapat ke dalam zona peralihan antara zona alterasi *argilic* dengan *advanced argilic* pada fase keterbentukannya. Perbedaan yang cukup signifikan antara zona *argilic* dan *advanced argilic* adalah keterdapatannya *alunit* hasil perombakan silikat oleh asam sulfat. Adapun pengaruh keterdapatannya *kuarsa* yang menunjukkan pH dan temperatur pada saat alterasi terjadi. Semakin banyak *kuarsa* maka lingkungan pembentukan semakin asam dengan suhu lebih tinggi dibanding zona *argilic*.

#### D. Kesimpulan

Zona alterasi sampel yang diperoleh di lapangan berdasarkan *Corbett* dan *Leach* terdiri atas zona alterasi *advanced argilic* dan *argilic*. Perbedaan zona alterasi *advanced argilic* dan *argilic* yakni keterdapatannya mineral *alunit* hasil perombakan silikat oleh asam sulfat akibat suhu tinggi dan lingkungan asam lebih menguntungkan dalam pembentukan zona alterasi *advanced argilic* dibandingkan dengan zona alterasi *argilic*.

#### Daftar Pustaka

- [1] A. Maryono, R. L. Harrison, D. R. Cooke, I. Rompo, and T. G. Hoschke, "Tectonics and Geology of Porphyry Cu-Au Deposits along the Eastern Sunda Magmatic Arc, Indonesia," *Economic Geology*, vol. 113, no. 1, pp. 7–38, Jan. 2018, doi: 10.5382/econgeo.2018.4542.
- [2] "Mineral commodity summaries 2022," 2022. doi: 10.3133/mcs2022.
- [3] A. Achdan and S. Bachri, "Peta Geologi Lembar Blambangan, Jawa Timur," *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*. Bandung, 1993.
- [4] Sidarto, Suwarti, and Sudana, "Geologi Lembar Banyuwangi, Jawa, Skala 1:100.000," *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*. Bandung, 1993.
- [5] S. F. Simmons, N. C. White, and D. A. John, "Geological Characteristics of Epithermal Precious and Base Metal Deposits," in *One Hundredth Anniversary Volume*, Society of Economic Geologists, 2005. doi: 10.5382/AV100.16.
- [6] A. W. Rose and D. M. Burt, *Hydrothermal alteration, in Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1979.
- [7] F. Pirajno, *Hydrothermal Mineral Deposits. Principles and Fundamental Concept for the Exploration Geologist*. New York: Springer-Verlag, 1992.
- [8] G. J. Corbett, *Epithermal Gold For Explorationists*. Australia: AIG Journal Applied Geoscientific Practice and Research, 2002.
- [9] Waode Jelita Ma'ruff Bay and Linda Pulungan, "Pemanfaatan Bahan Galian Mineral Kalsit Berdasarkan Karakteristik Sifat Fisik di Cikembar Sukabumi," *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, pp. 40–47, Jul. 2022, doi: 10.29313/jrtp.v2i1.994.
- [10] D. D. Atmoko, A. D. Titisari, and A. Idrus, "Mineralogi Dan Geokimia Batugamping Merah Ponjong, Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta – Indonesia," *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, vol. 26, no. 1, p. 55, 2016, doi: 10.14203/risetgeotam2016.v26.269.
- [11] Muhammad Aziz Rahmatullah, Sri Widayati, and Solihin, "Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Karbon Aktif Fine Coal di Penambangan Batubara," *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, pp. 47–54, Jul. 2023, doi: 10.29313/jrtp.v3i1.2126.
- [12] Sufriadin, F. Mawardi, and Sri Widodo, "Analisis Pengaruh Ukuran Butir Terhadap Desulfurisasi dan Deashing Batubara Menggunakan Larutan NaOH," *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, pp. 15–26, Jul. 2023, doi: 10.29313/jrtp.v3i1.1681.

- [13] S. Widodo, Sufriadin, M. Thamrin, Wahyufirmansyah, and N. Jafar, “Mineralogy and quality of Banti Coal, Baraka District, Enrekang Regency, South Sulawesi Province, Indonesia.,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, May 2020. doi: 10.1088/1755-1315/473/1/012112.
- [14] Menteri ESDM, *Pelaksanaan Kaidah Pertambangan Yang Baik Dan Pengawasan Pertambangan Mineral Dan Batubara*. Indonesia, 2018.
- [15] C. R. Ward, “Analysis origin and significance of mineral matter in coal: An update review,” *Int J Coal Geol*, vol. 165, pp. 1–27, Aug. 2016.
- [16] Ilya Rahma Putri and Dudi Nasrudin Usman, “Analisis Kualitas Batubara Berdasarkan Korelasi Nilai HGI, Moisture Content, dan Volatile Matter,” *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, pp. 57–64, Jul. 2022, doi: 10.29313/jrtp.v2i1.997.
- [17] Vicky Kurnia Nugraha and Noor Fauzi Isniarno, “Analisis Hidrologi untuk Mendukung Rencana Penentuan Temporary Sump pada Tambang Emas,” *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, pp. 48–56, Jul. 2022, doi: 10.29313/jrtp.v2i1.995.