

**ANALISIS ALTERASI DAN MINERALISASI BERDASARKAN PENGAMATAN
MEGASKOPIK DAN MIKROSKOPIK PADA DAERAH PROSPEK X
KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW, SULAWESI UTARA**

**ALTERATION AND MINERALIZATION ANALYSIS BASED ON OBSERVATION OF
MEGASCOPIC AND MICROSCOPIC ON PROSPECT "X" IN BOLAANG MONGONDOW
REGENCY AT NORTH SULAWESI**

Gita Dela Christi¹, Sulistiyono¹, Tatik Handayani² dan Denni Widhiyatna²

¹Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung,

²Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

gitadelac8@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.47599/bsdg.v19i1.436>

ABSTRAK

Lengan Utara Pulau Sulawesi merupakan jalur metalogenik yang kaya emas. Daerah penelitian berada di Desa Bakan, Kabupaten Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara pada wilayah IUP PT J. Resources Bolaang Mongondow. Eksplorasi untuk mendapatkan daerah prospek baru masih terus dilakukan, sehingga penelitian tentang karakteristik alterasi dan mineralisasi, diharapkan dapat menjadi acuan untuk ditemukannya daerah prospek baru. Identifikasi data permukaan dan bawah permukaan dilakukan secara megaskopik dan mikroskopik. Pengamatan mikroskopik dengan petrografi dan mineragrafi, untuk mendapatkan data permukaan dilakukan pengamatan alterasi, *channel sampling* dan *grab sampling*, sedangkan data bawah permukaan diperoleh dari pengeboran inti. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui alterasi, mineralisasi, oksidasi, dan tipe cebakan. Daerah penelitian memiliki litologi breksi hidrotermal, breksi diatrem, breksi sesar, dan breksi tuf. Alterasi yang berkembang berupa silika *vuggy*, silika masif, argilik lanjut, dan argilik. Mineralisasi berupa emas dan perak, serta dijumpai mineral sulfida berupa pirit, kalkopirit, sfalerit, enargit, kovelit, serta mineral oksida seperti gutit, jarosit, dan hematit. Tipe cebakan daerah penelitian berupa epitermal sulfidasi tinggi yang terbentuk pada kedalaman menengah, dengan bijih tipe oksida.

Kata kunci: epitermal, sulfidasi tinggi, litologi, alterasi, mineralisasi

ABSTRACT

The North Arm of Sulawesi Island is a gold-rich metallogenic belt. The study area is located in Bakan Village, Bolaang Mongondow Regency, North Sulawesi in the IUP area of PT J Resources Bolaang Mongondow. Exploration to obtain new prospect areas is still being carried out. Therefore, research on alteration and mineralisation characteristics is expected to be a reference for the discovery of new prospects. The research was conducted by identifying surface and subsurface data megascopically and microscopically. Microscopic observations with petrography and mineragraphy. To obtain surface data, alteration observations, channel sampling and grab sampling were carried out, while subsurface data were obtained from core drilling. The purpose of the study was to determine the alteration, mineralisation, oxidation, and deposits type. The study area has lithologies of hydrothermal breccia, diatreme breccia, fault breccia, and tuff breccia. Alteration developed in the form of vuggy sillica, massive sillica, advanced argillic, and argillic. Mineralisation includes gold and silver and sulphide minerals such as pyrite, chalcopyrite, sphalerite, enargite, covellite, and oxide minerals such as goethite, jarosite and hematite. The epithermal high sulphidation deposit type was formed at medium depth, with oxide-type ore.

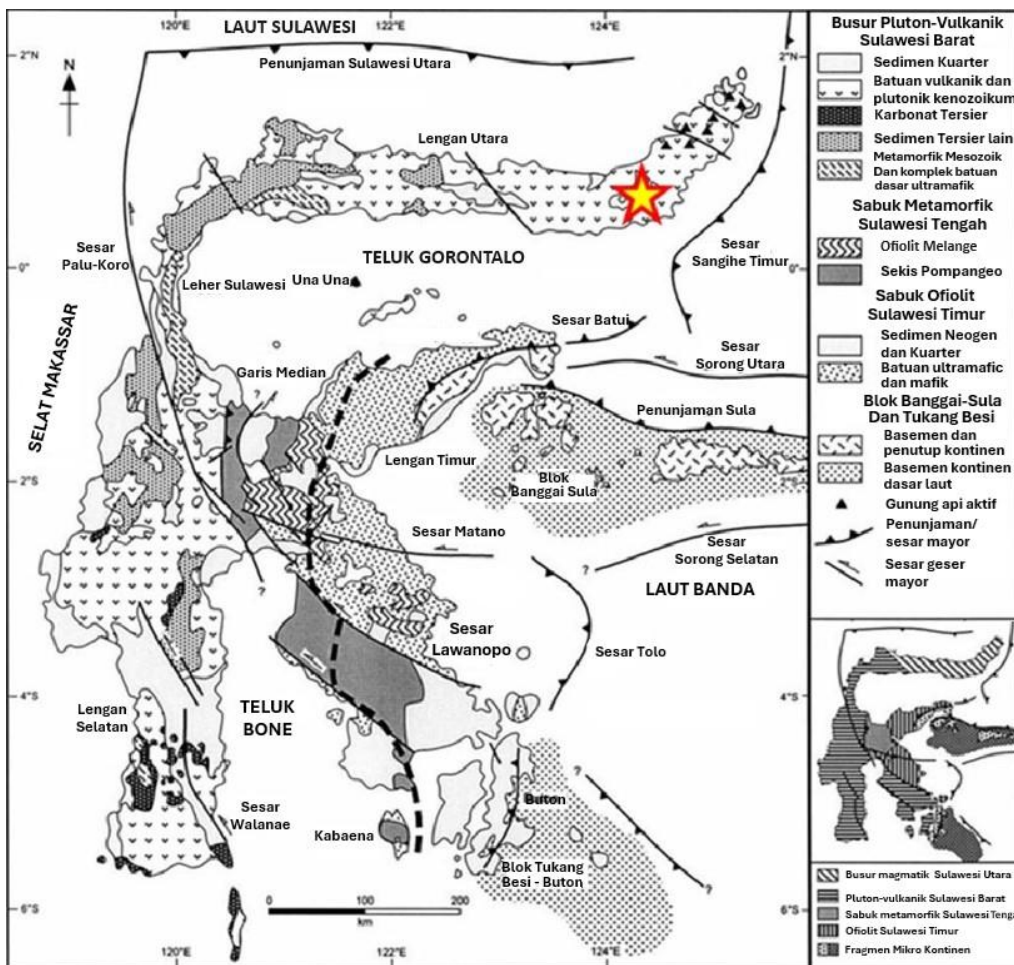
Keywords: epithermal, high sulphidation, lithology, alteration, mineralization

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki beberapa busur magmatik, menurut Carlille dan Mitchell tahun 1994, terdapat 15 busur magmatik yang teridentifikasi, dan terbentuk pada akhir Mesozoik sampai Kenozoik, pelamparan berupa daratan memanjang sekitar 15.000 km. Kondisi ini menjadikan Indonesia kaya akan sumber daya mineral, salah satunya adalah emas. Salah satu di antara busur magmatik tersebut yaitu Busur Sulawesi Utara (Kavalieris et al, 1992).

Pearson dan Cairra (1999) menunjukkan bahwa daerah busur Sulawesi Utara merupakan daerah yang memiliki potensi besar terbentuknya mineralisasi, yakni pada masa Miosen Awal terbentuk di bawah *regime* regional *dextral wrench-*

tectonic dan pada masa Pliosen terbentuk di bawah *regime* sinistral *wrench-tectonic*. Busur normal utara hingga barat laut dan busur sesar paralel timur hingga tenggara, terbentuk pada masa Miosen, mendominasi bentukan struktur. Perpotongan antara beberapa sesar utama umumnya merupakan daerah mineralisasi porfiri Cu-Au berkadar rendah yang terbentuk pada masa Miosen. Pengaktifan kembali sinistral dari struktur utama Miosen pada akhir masa Miosen dan Pliosen menyebabkan terjadinya pemekaran dan dilasi yang berarah timur sampai timur laut. Busur ini diyakini menjadi lebih tebal dan batuan dasarnya adalah batuan kerak samudra (Gambar 1). Busur ini terbentuk selama pembentukan Laut Sulawesi pada masa Eosen (van Leeuwen and Muharjo, 2005).



Gambar 1. Peta Tektonik Regional Sulawesi dan Lokasi Penelitian (Modifikasi dari Wilson and Moss, 1999, dalam Umbal, dkk., 2007)

Hedenquist dkk., (2000) membuat kriteria karakteristik cebakan epitermal sulfidasi tinggi yang didasarkan pada kedalaman, batuan induk, bentuk endapan, tekstur bijih, alterasi, mineral *gangue*, serta mineral sulfida. Pada penelitian ini, karakteristik cebakan ditentukan dengan mengacu pada klasifikasi tersebut.

Kegiatan eksplorasi untuk mendapatkan daerah prospek baru masih terus dilakukan. Pada eksplorasi emas litologi perlu diperhatikan untuk memahami karakteristik alterasi dan mineralisasi serta tipe deposit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui alterasi, mineralisasi, oksidasi, dan tipe cebakan.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi data permukaan dan data bawah permukaan secara megaskopik, analisis petrografi dan analisis mineragrafi. Untuk mendapatkan data permukaan dilakukan pemetaan alterasi, *channel sampling*, dan *grab sampling*, sedangkan data bawah permukaan diperoleh dari pengeboran inti. Pengamatan permukaan dilakukan untuk mendapatkan informasi-informasi geologi di permukaan sehingga dapat memberikan gambaran mengenai

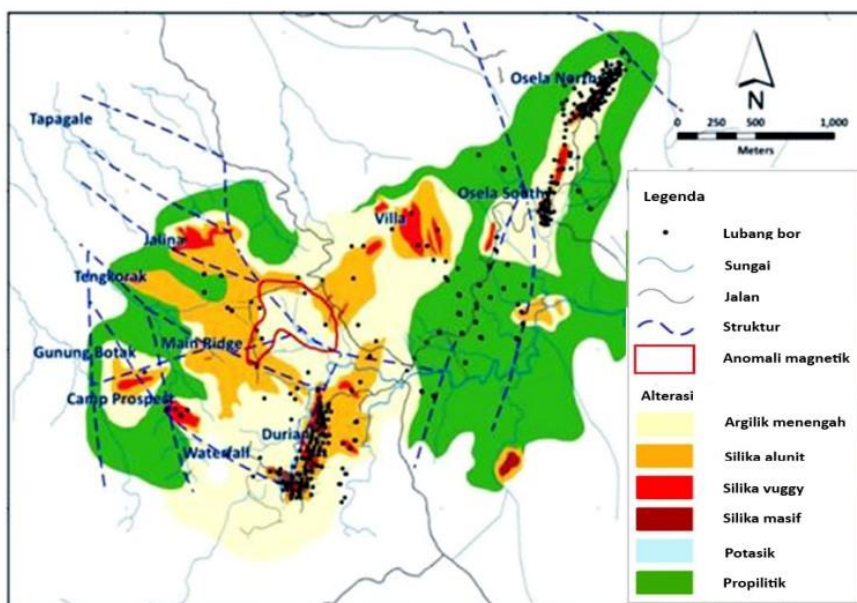
litologi, alterasi, dan mineralisasi yang berkembang di daerah penelitian.

Pengamatan inti bor dilakukan untuk mengetahui karakteristik batuan bawah permukaan berupa perubahan litologi, mineral alterasi, mineral sulfida, dan oksidasi. Analisis petrografi dilakukan untuk mendeskripsi dan mengklasifikasi batuan dengan menggunakan mikroskop polarisasi. Pada analisis petrografi, hal yang penting diperhatikan adalah identifikasi tekstur, struktur, dan komposisi mineral. Analisis mineragrafi bertujuan untuk mengetahui tekstur dan kumpulan mineral logam dengan menggunakan mikroskop refleksi, baik pada batuan samping maupun bijih.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

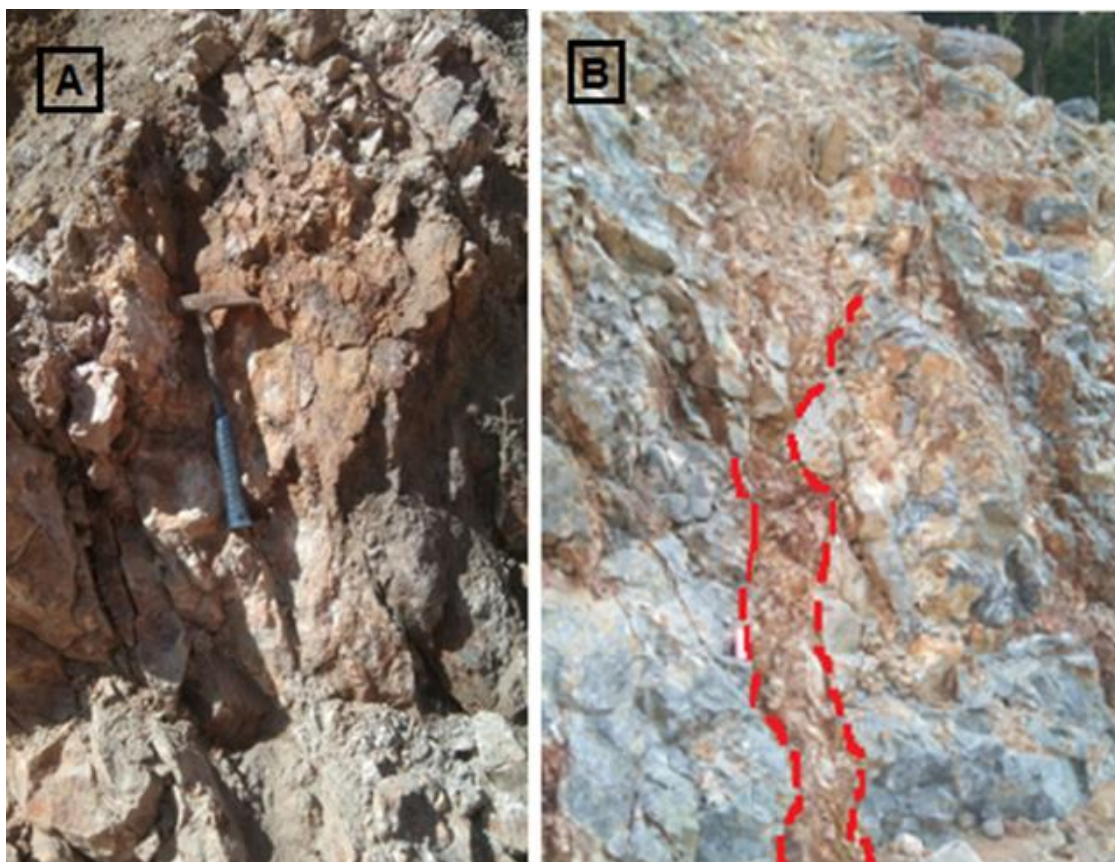
Dari hasil pengamatan litologi, daerah penelitian disusun oleh breksi hidrotermal, breksi diatrem, breksi sesar, tufa andesitik, tufa dasitik, breksi tufa dasitik. Berdasarkan hasil pengamatan megaskopis, alterasi yang dijumpai di daerah penelitian berupa argilik menengah, silika alunit, silika *vuggy*, silika masif, dan propilitik (Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4).



Gambar 2. Peta alterasi PT JRBM pada Blok Bakan (Sumber: Dokumen Perusahaan PT JRBM)



Gambar 3. Singkapan alterasi dan hasil *grab sampling*



Gambar 4. A. Singkapan breksi sesar dengan alterasi silika masif, B. Singkapan breksi sesar dengan alterasi argilik

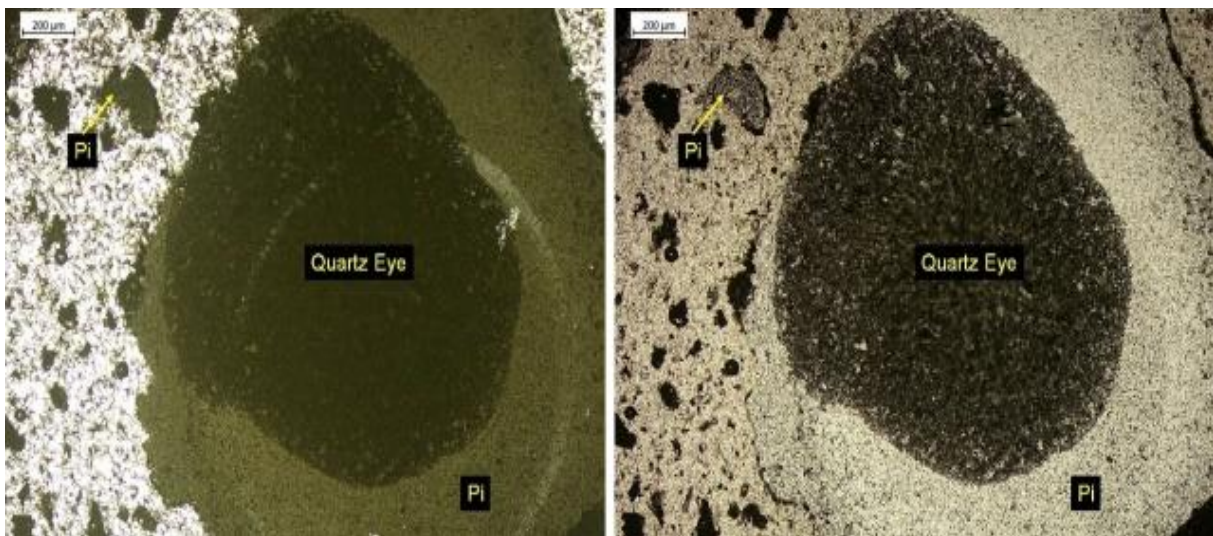
Selain data permukaan, dilakukan juga pengamatan data bawah permukaan dari hasil pengeboran. Pengamatan inti bor dilakukan untuk mendapatkan informasi geologi, terutama alterasi dan mineralisasi. Hasil pengeboran di daerah X pada lapisan penutup dari kedalaman 0 m s.d. 0,4m terdapat *scree*, pada kedalaman 0,4 m s.d. 6,3 m terdapat litologi breksi diatrem dengan alterasi silika masif, selanjutnya pada kedalaman 6,3 m s.d. 6,8 m terdapat litologi breksi sesar teralterasi argilik, pada kedalaman 6,8 m s.d. 27,6 m terdapat

litologi breksi diatrem dengan alterasi silika masif (Gambar 5).

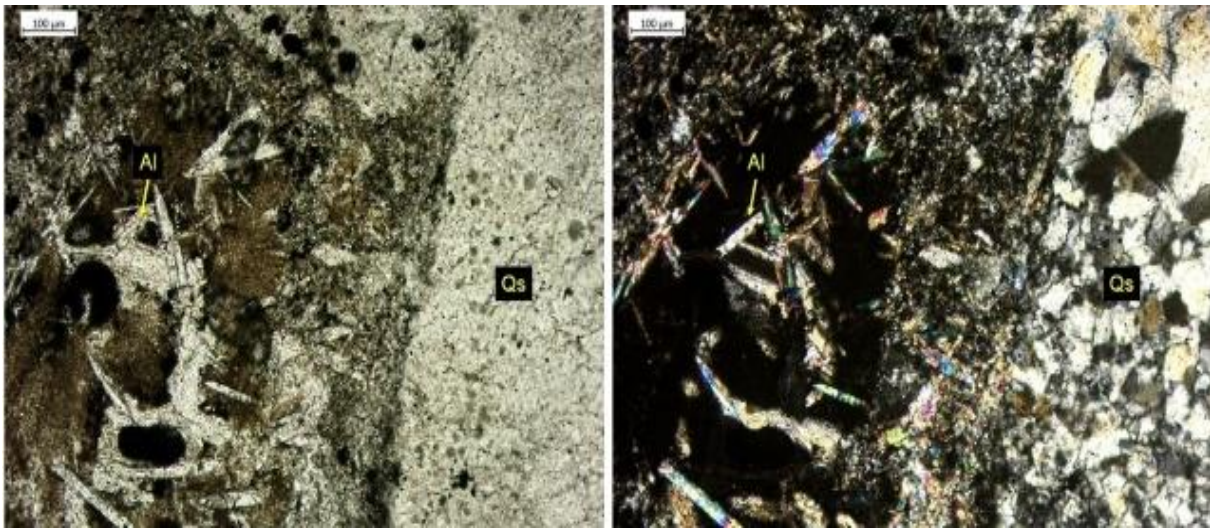
Analisis petrografi dilakukan terhadap empat sampel. Referensi yang digunakan dalam analisis petrografi ini yaitu: Thompson (1996), MacKenzie (1982), Yardley (1990), Adams (1984), dan MacKenzie (2017). Hasil analisis petrografi dari sampel permukaan pada daerah penelitian didapati mineral alunit, piropilit, dan dijumpai *quartz eye* (Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8).



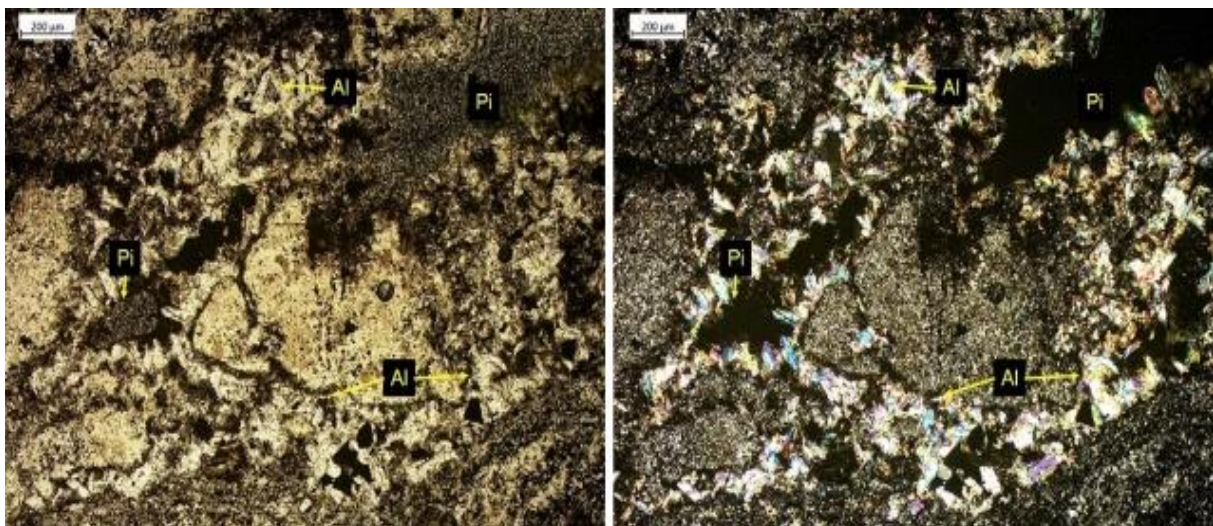
Gambar 5. Sample inti bor pada daerah X



Gambar 6. Fotomikrograf sample PX 001. Piropilit (Pi) dan *quartz eye* ± 1%, posisi nikol sejajar (kiri); *quartz eye* berasosiasi dengan piropilit 0,1% posisi nikol silang (kanan)



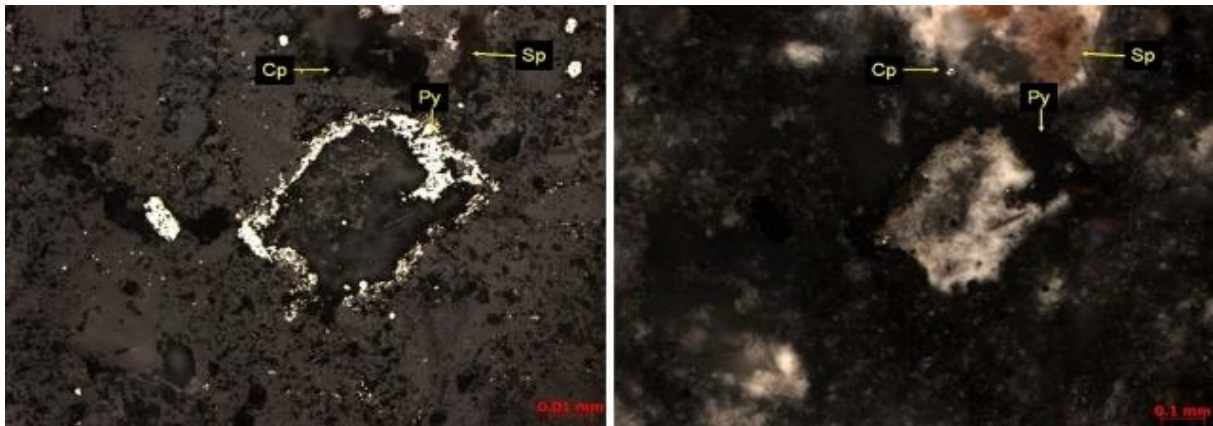
Gambar 7. Fotomikrograf anisotropik kuarsa (Qs) serta dijumpainya alunite (Al), posisi nikol sejajar pada sample PX 002 (kiri); Fotomikrograf kuarsa 1% sebagai fragmen dan dijumpai alunite 0,3%, posisi nikol silang pada sample PX 002 (kanan)



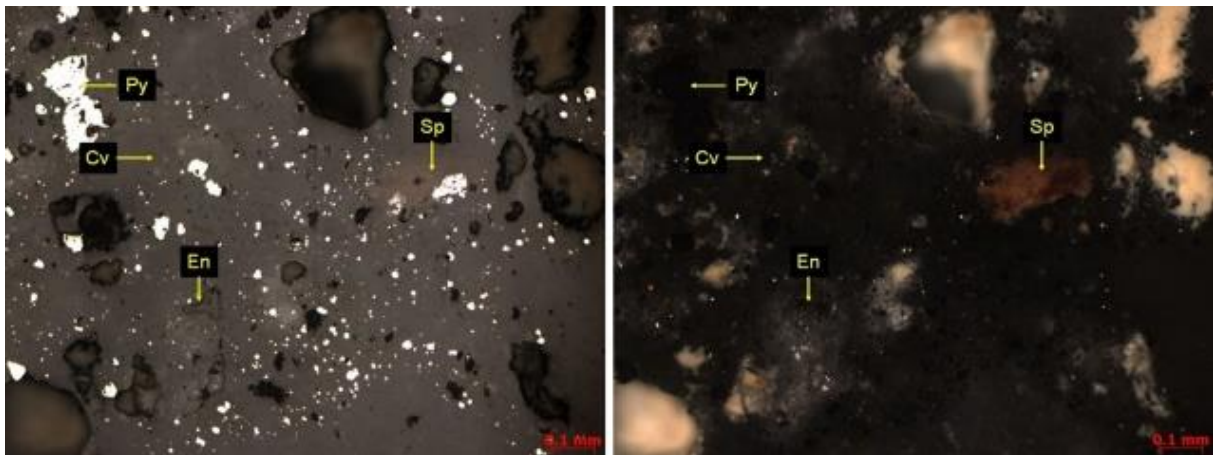
Gambar 8. Fotomikrograf piropilit (Al) 0,1% dan alunite posisi nikol sejajar pada sample PX 006 (kiri); Fotomikrograf anisotropik piropilit (Pi) dan dijumpai alunite 1% mengisi retakan, posisi nikol silang pada sample PX 006 (kanan)

Dari semua sampel yang dianalisis petrografi, seluruhnya terindikasikan mengalami alterasi. Pada sampel PX 001, dijumpai piropilit, berasosiasi dengan *quartz eye* sekitar 1% yang merupakan ciri utama litologi tufa dasitik. Pada sampel PX 002 dijumpai kuarsa 1% dan alunite 0,3%. Sampel PX 006 terdapat piropilit 0,1% dan alunite 1% mengisi retakan. Dari keempat sampel yang dianalisis tersebut alterasi utama berupa silika, alunite, dan piropilit. Analisis mineragrafi dilakukan terhadap tiga sampel. Referensi yang digunakan

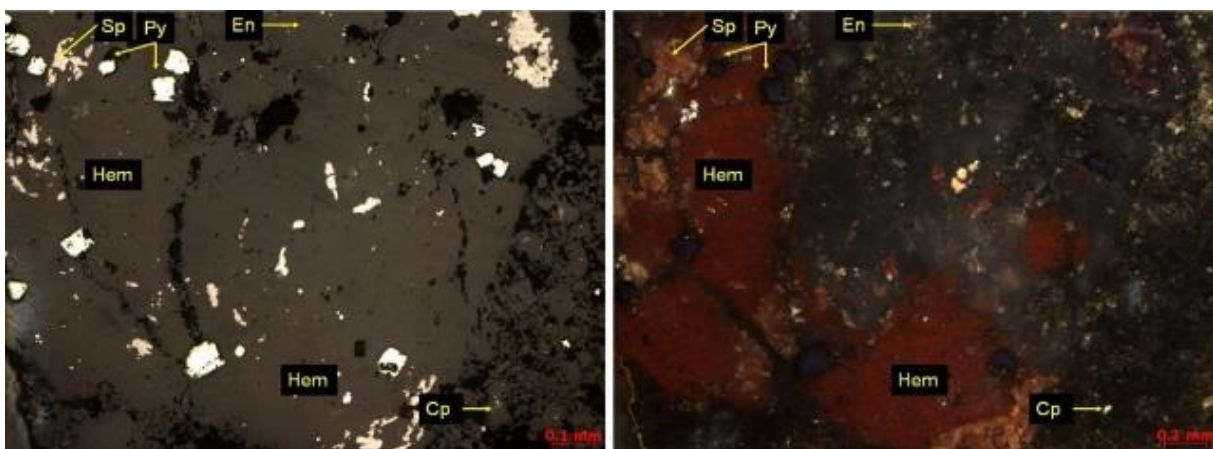
dalam analisis mineragrafi ini yaitu: Augustithis (1995), Uytenbogaardt (1971), Parjecus (2008), Parcejus (2015), dan Ineson (1989). Hasil analisis mineragrafi dari sampel permukaan pada daerah penelitian didapati beberapa mineral pirit (FeS_2) tersebar pada seluruh sampel yang dianalisis, kalkopirit ($CuFeS_2$) keberadaannya tidak merata, sfalerit (ZnS), enargit (Cu_3AsS_4), kovelit (CuS), dan hematit (Fe_2O_3) (Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12).



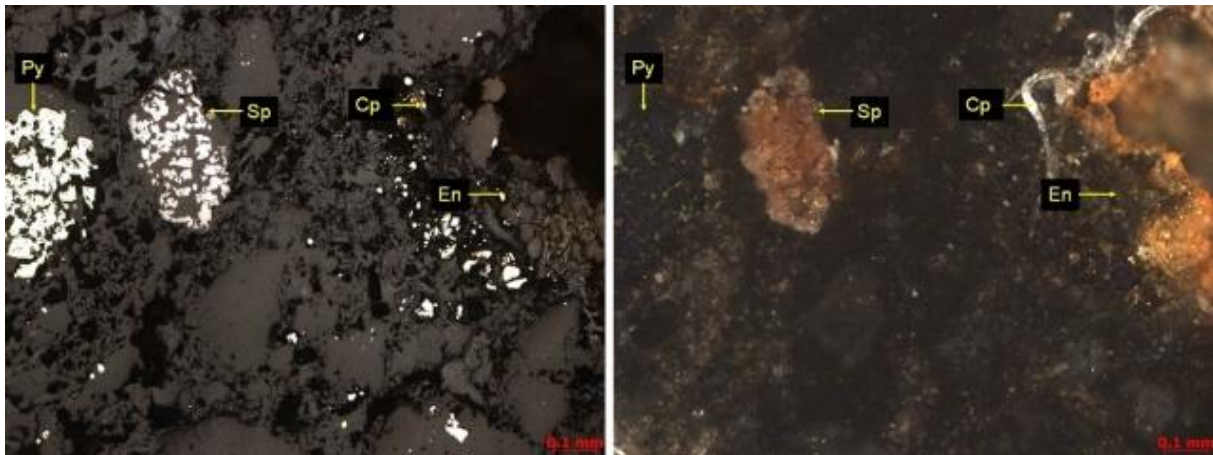
Gambar 9. Fotomikrograf Anisotropik sfalerit serta keterdapatan pirit 0,3% yang mengisi rongga pada tubuh batuan dan kalkopirit, posisi nikol sejajar pada sample MX 002 (kiri); Fotomikrograf anisotropik pirit mengisi rongga pada tubuh batuan dijumpai kalkopirit 0,1% dan sfalerit 0,1%, posisi nikol silang pada sample MX 002 (kanan)



Gambar 10. Fotomikrograf anisotropik enargit, sfalerit 0,1%, dan kovelit serta dijumpai pirit 0,3%, posisi nikol sejajar pada sample MX 004 (kiri); Fotomikrograf anisotropik pirit serta dijumpai kovelit 0,1% dan enargit 0,1% serta di jumpai asosiasi pirit dengan sfalerit, posisi nikol silang pada sample MX 004 (kanan)



Gambar 11. Fotomikrograf anisotropik enargit, sfalerit, dan hematit serta dijumpai pirit 0,1% dan kalkopirit, posisi nikol sejajar pada sample MX 004 (kiri); Fotomikrograf anisotropik pirit serta dijumpai sfalerit 0,1% dan pirit berasosiasi dengan hematit 1% serta keterdapatan mineral kalkopirit 0,1% dan enargit 0,1%, posisi nikol silang pada sample MX 006 (kanan)



Gambar 12. Fotomikrograf anisotropik enargit dan sfalerit serta dijumpai pirit 0,3% dan kalkopirit 0,1%, posisi nikol sejajar pada sample MX 004 (kiri); Fotomikrograf anisotropik pirit serta dijumpai sfalerit 0,3% dan berasosiasi dengan enargit 0,3%, posisi nikol silang pada sample MX 006 (kanan)

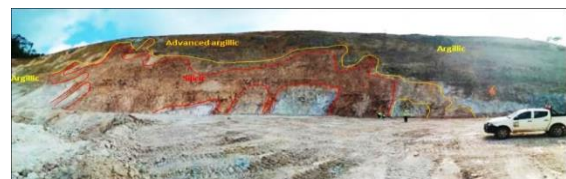
PEMBAHASAN

Hasil pengamatan litologi daerah penelitian, baik dari data permukaan (Gambar 13) maupun hasil pengeboran inti (Gambar 14), diperoleh litologi penyusun terdiri dari breksi hidrotelmal, breksi diatrem, breksi sesar, tufa andesitik, tufa dasitik, breksi tufa dasitik, dan vulkanik andesitik. Dari hasil pengamatan megaskopik dan mikroskopik didapati bahwa daerah penelitian mengalami alterasi kuat yaitu silisifikasi (silika *vuggy* dan silika masif), argilik lanjut dibagi menjadi dua jenis yaitu dominan silika (*silica advanced argillic*) dan dominan argilik (*clay advanced argillic*), lalu pada bagian akhir terdapat argilik, dan propilitik (Gambar 15).

Menurut Corbett and Leach (1998) epitermal sulfidasi tinggi dikontrol oleh litologi dan struktur. Litologi daerah penelitian yang terdiri dari breksi dan breksi tuf menjadi faktor yang intensif proses alterasi berlangsung.

Dari hasil penelitian, alterasi pada daerah X dengan didasarkan pada kandungan silika dan kandungan lempung dikelompokkan menjadi empat tipe alterasi. Alterasi silika *vuggy* dan silika masif (SV dan SM) memiliki *clay content* 0% s.d. 10% dengan silika sebanyak >90%, dan

dijumpai himpunan mineral seperti alunit – piropilit – haloisit. Alterasi *silica advanced argillic* (SAA) memiliki kandungan lempung 11% s.d. 25% dengan silika sebanyak 75% s.d. 89%, dan dijumpai himpunan mineral seperti alunit – piropilit – kaolinit – dickit – haloisit. Alterasi *clay advanced argillic* (CAA) memiliki kandungan lempung 25% s.d. 50% dengan silika sebanyak 50% s.d. 75%, dan dijumpai himpunan mineral seperti piropilit – illit - kaolinit – dickit – alunit – haloisit. Alterasi argilik (AR) memiliki kandungan lempung >50% dengan silika sebanyak <50%, dan dijumpai himpunan mineral seperti smektit - illit – kaolinit.



Gambar 13. Singkapan alterasi pada *pit* (MGD Overview)



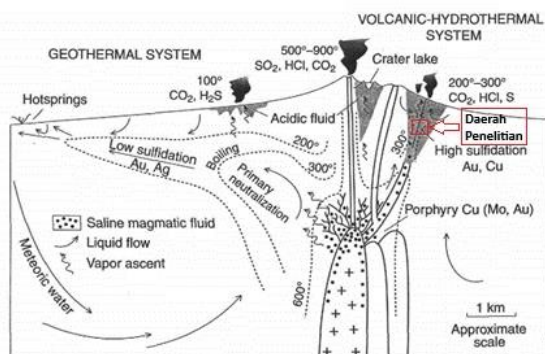
Gambar 14. Litologi pada daerah penelitian. (A) Singkapan breksi sesar, (B) Breksi hidrotelmal, (C) Breksi diatrem, (D) Scree, (E) Tanah



Gambar 15. Alterasi pada daerah penelitian. (A) Silika *Vuggy*, (B) Silika masif, (C) *Silica advanced argillic*, (D) *Clay advanced argillic*, (E) Argilik

Cebakan bijih di daerah penelitian mengandung rata-rata 0,47 g/t Au dan 3,5 g/t Ag. Berdasarkan hasil pengamatan data permukaan, data bawah permukaan, serta hasil analisis petrografi dan mineragrafi, dijumpai juga mineral-mineral silika, piropilit, alunite, dan tekstur silika *vuggy*, dengan mineral-mineral sulfida berupa pirit, kalkopirit, sfalerit, enargit, dan kovelit, maka tipe cebakan daerah penelitian adalah epitermal sulfidasi tinggi. Dengan membandingkan antara karakteristik cebakan daerah penelitian dan klasifikasi Hedenquist et al., (2000) dapat disimpulkan bahwa tipe cebakan daerah X adalah epitermal sulfidasi tinggi dengan kedalaman menengah.

Daerah penelitian umumnya mengalami oksidasi menengah (*moderate oxide*) sampai dengan oksidasi kuat (*strong oxide*) ditandai dengan hadirnya mineral oksidasi seperti jarosit, gutit, dan hematit. Faktor yang mempengaruhi berkembangnya oksidasi yaitu porositas dan permeabilitas dari batuan, yakni pada batuan breksi terutama breksi diatrem dan breksi sesar mengalami oksidasi lebih intensif.



Gambar 16. Posisi daerah penelitian pada diagram model Hedenquist, 2000

Dari hasil penelitian ini tingkat oksidasi pada daerah X dapat dikelompokkan dalam lima tingkat oksidasi yaitu tidak teroksidasi, teroksidasi lemah, teroksidasi sedang, teroksidasi kuat, dan teroksidasi sempurna (Gambar 16). Bijih yang tidak mengalami oksidasi sama sekali (0% oksidasi) disebut juga *unoxidized* (UOX), tingkat oksidasi UOX ini dicirikan dengan dijumpainya banyak mineral logam dengan persentase >1%. Teroksidasi lemah atau *Weak oxidized* (WOX) terjadi pada bijih yang mengalami > 0% s.d. ≤ 30% oksidasi, pada tingkat oksidasi ini dijumpai mineral logam sebanyak 0,5% s.d. <1%. Selanjutnya tingkat teroksidasi sedang atau *moderate oxidized* (MOX) terjadi pada bijih yang mengalami >30% s.d. ≤ 70 % oksidasi, dengan ciri dijumpainya mineral logam sebanyak 0,3% s.d. < 0,5%. Teroksidasi kuat atau *strong oxidized* (SOX) terjadi pada bijih yang hampir seluruhnya mengalami oksidasi dengan persentase oksidasi > 70% s.d. ≤ 90%, mineral logam yang dapat dijumpai pada tingkat oksidasi ini sebanyak > 0% s.d. < 0,3%. Teroksidasi sempurna atau *Complete oxidized* (COX) terjadi pada bijih yang sudah mengalami oksidasi seluruhnya dengan persentase oksidasi > 90% s.d. ≤ 100 %, pada oksidasi COX ini tidak akan dijumpai lagi mineral logam.



Gambar 17. Tingkat oksidasi di daerah penelitian. (A) tidak teroksidasi, (B) teroksidasi lemah, (C) teroksidasi sedang (D) teroksidasi kuat, (E) teroksidasi sempurna

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada daerah X dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Daerah penelitian teralterasi kuat yaitu silika *vuggy*, silika masif, *silica advanced argillic*, *clay advanced argillic*, argilik, dan propilitik.

- Karakteristik mineralogi pada daerah penelitian ditandai dengan kehadiran emas, perak, pirit, kalkopirit, sfalerit, enargit, kovelit, serta mineral oksida seperti gutit, jarosit, dan hematit.
- Oksidasi berkembang kuat pada zona bijih, maka bijih emas daerah penelitian termasuk bijih tipe oksida.
- Tipe cebakan pada daerah penelitian, berdasarkan aspek litologi, alterasi, asosiasi mineral sulfida, yaitu epitermal sulfidasi tinggi dengan kedalaman menengah (*intermediate*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *Mine Geology Departement* PT J. Resources Bolaang Mongondow yang telah memberikan ijin untuk melakukan penelitian, dan kepada Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi yang sudah memberikan kesempatan untuk melaksanakan analisis laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams. A. E, MacKenzie, and C. Guilford., 1984, *Atlas of sedimentary rocks under the microscope*.
- Augustithis, 1995, *Atlas of the Textural Patterns of Ore Minerals and Metallogenic Processes*.
- Corbett, G. J., and Leach, T. M., 1998, *Southwest Pacific Rim Gold Copper Systems: Structures, Alteration, and Mineralization*.
- Hedenquist. J. W, Arribas. A, Urien. E. G., 2000, *Exploration for epithermal gold deposit. 99 Fifth Avenue, Suite 420, Ottawa, Ontario K1S 5P5, Canada*.
- Ineson, P. R., 1989, *Introduction to Practical Ore Microscopy. University of Manchester. British Library Cataloguing in Publication Data*.
- Internal JRBM Data, 2020, *Alteration map of ARS Pit, Unpublished, PT J Resources Bolaang Mongondow, Mine Geology Departement Internal Report*.
- Kavalieris, I., van T.M Leeuwe, dan Wilson M., 1992, *Geological Setting and Styles of Mineralisation, North Arm of Sulawesi, Indonesia*. J. SE Asian Earth.
- Li Linda, 2020, *Equipment Manufacturing & Solutions for Crushing, Grinding, Washing, Drying, Beneficiating. China*.
- MacKenzie W. S, A. E. Adams, and K. H. Brodie, 2017, *Rocks and Minerals in Thin Section*. CRC Press/Balkema.
- MacKenzie, W. S, C. H. Donaldson, C. Guilford, 1982, *Atlas of Igneous Rocks and Their Texture*.
- Parcejus, B., 2008, *The Ore Minerals under The Microscope. First Edition*. Elsevier, Amsterdam.
- Parcejus, B., 2015, *The Ore Minerals under The Microscope. Second Edition*. Elsevier, Amsterdam.
- Pearson, D. F. and Caira, N.M., 1999, *The Geology and Metallogeny of Central North Sulawesi. In: PACRIM '99 Congress. Australian Institute of Mining and Metallurgy, 4/99, p.311 - 326*.
- Thompson, 1996, *Atlas of Alteration, Canada*.
- Uytenbogaardt, W. dan Burke, E. A. J., 1971, *Table for the Microscopic Identification of Ore Minerals. Elsevier Scientific Publishing Company, New York*.
- Van Leeuwen, T. M. dan Muhardjo, 2005, *Stratigraphy and Tectonic Setting of the Cretaceous and Palaeogene Volcanic-Sedimentary successions in Northwest Sulawesi, Indonesia: Implications for the Cenozoic evolution of Western and Northern Sulawesi. Journal of Asian Earth Sciences, 25, p. 481 - 511*.
- Yardley, B. W. D, W. S. MacKenzie, and C. Guilford, 1990, *Atlas of metamorphic rocks and their textures*.

Diterima : 16 Oktober 2023
Direvisi : 29 April 2024
Disetujui : 19 Mei 2024