

**STUDI PENDAHULUAN ENDAPAN EPITERMAL SULFIDA TINGGI PADA DAERAH
BAKAN KABUPATEN BOLAANG MONGONDOW, PROVINSI SULAWESI UTARA**

Farrel Gibran^{1*}, Aton Patonah¹, Cecep Yandrie Sunarie¹

¹ Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran,

*Corresponding author. Email: farrel562003@gmail.com

ABSTRAK

Daerah penelitian terletak di Daerah Bakan, Kabupaten Bolaang Mongondow, Provinsi Sulawesi Utara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik endapan epitermal sulfida tinggi di daerah penelitian dengan melalui observasi lapangan Hasil pemetaan geologi menunjukkan bahwa daerah penelitian terdiri atas litologi lava andesit, tuf, breksi vulkanik dan breksi diatrem. Berdasarkan hasil observasi lapangan, daerah penelitian terbagi menjadi lima zona alterasi, yaitu zona kuarsa (*vuggy*) + alunit, zona kuarsa (masif) + alunit, zona alunit + mineral lempung + kuarsa, zona mineral lempung, dan zona klorit + epidot. Alterasi pada daerah penelitian terindikasi terbentuk pada kondisi fluida hidrotermal yang asam ditandai dengan kehadiran mineral alterasi berupa alunit serta ditemukan kuarsa bertekstur *vuggy*. Mineral bijih pada daerah penelitian terdiri dari mineral sulfida pirit yang hadir secara terdiseminasi pada batuan dan mineral oksida berupa hematit, gutit, dan jarosit. Daerah penelitian menunjukkan indikasi epitermal sulfida tinggi.

Keywords: Geologi, alterasi, mineralisasi, epitermal sulfida tinggi

ABSTRACT

The research area is located in the Bakan District, Bolaang Mongondow Regency, North Sulawesi Province. This study aims to determine the characteristics of high-sulphidation epithermal deposits in the research area through field observations. The geological mapping results indicate that the research area consists of andesite lava lithology, tuff, volcanic breccia, and diatreme breccia. Based on field observations, the research area is divided into five alteration zones: the vuggy quartz + alunite zone, the massive quartz + alunite zone, the alunite + clay mineral + quartz zone, the clay mineral zone, and the chlorite + epidote zone. The alteration is indicated to have formed under acidic hydrothermal fluid conditions, characterized by the presence of alteration minerals such as alunite and the discovery of vuggy-textured quartz. The ore minerals in the research area consist of disseminated pyrite sulfide minerals in the rocks and oxide minerals such as hematite, goethite, and jarosite. The research area shows indications of high-sulphidation epithermal deposits..

Keywords: *Geology, alteration, mineralization, epithermal high sulphidation*

PENDAHULUAN

Keberadaan Indonesia pada jalur gunung api pasifik atau bisa disebut dengan *ring of fire* menyebabkan banyaknya aktivitas vulkanisme dan magmatisme di Indonesia yang mana merupakan faktor penting dalam proses keterbentukan berbagai mineral ekonomis salah satunya yaitu emas. Emas sendiri merupakan salah satu mineral logam mulia yang banyak dicari sebagai bahan pemenuhan kebutuhan industri maupun sebagai perhiasan.

Keterbentukan mineral logam berharga umumnya berkaitan dengan proses alterasi dan mineralisasi. Secara umum alterasi dan mineralisasi terjadi akibat adanya interaksi antara fluida hidrotermal dengan batuan yang dilewatinya (*wall rock*) sehingga menyebabkan berubahnya mineral-mineral primer menjadi mineral ubahan dan terendapkannya mineral bijih (Pirajno, 1992, dalam Sutarto, 2004). Salah satu jenis endapan dari proses hidrotermal adalah endapan tipe epitermal sulfida tinggi. Endapan epitermal sulfida tinggi biasanya dicirikan dengan kehadiran mineral gangue berupa kuarsa, alunit, kaolin, diorit, dan pirofilit (Corbett dan Leach, 1997). Asosiasi mineral pada tipe endapan ini akan membentuk zona inti berupa silika vuggy kemudian semakin menjauh menjadi zona kuarsa-alunit, zona argilik lanjut, zona argilik hingga zona propilitik (Arribas 1995).

Daerah Kabupaten Bolaang Mongondow, Provinsi Sulawesi Utara merupakan salah satu daerah dengan potensi endapan emas di Indonesia (Gambar 1). Menurut Hardjana (2011), karakteristik endapan mineral pada daerah penelitian

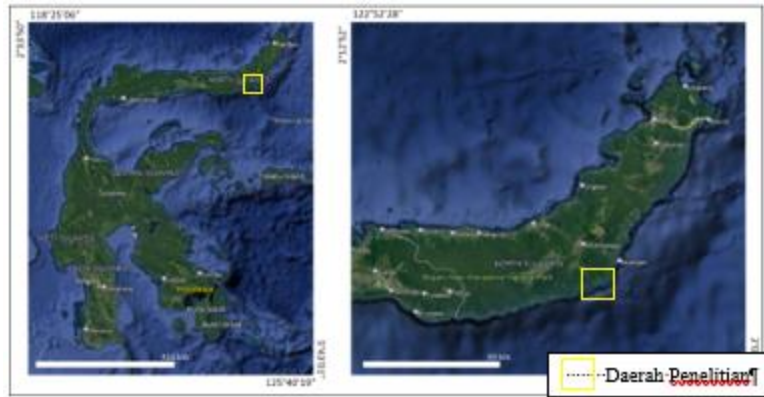
termasuk kedalam tipe endapan epitermal sulfida tinggi dengan *host rock* batuan vulkanik.

Fokus dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi karakteristik endapan mineral di daerah penelitian dari hasil studi pendahuluan.

GEOLOGI REGIONAL

Secara fisiografis, daerah penelitian terletak pada Lengan Utara Sulawesi (Van Bemmelen, 1949). Lengan Utara Sulawesi terbentuk karena adanya tunjaman ganda pada Tersier hingga Miosen yaitu Tunjaman Sulawesi Utara dan Tunjaman Sangihe Timur (Simandjuntak, 1986). Tunjaman Sulawesi Utara di sebelah utara Lengan Utara Sulawesi memiliki arah Utara Selatan (N-S). Tunjaman tersebut menghasilkan gunungapi Tersier yang terbentang dari sekitar Tolitoli sampai Manado. Tunjaman Sangihe Timur di sebelah timur dan selatan Lengan Utara Sulawesi memiliki arah Timur – Barat (E-W). Tunjaman tersebut menyebabkan rotasi pada bagian timur lengan utara Sulawesi berlawanan arah jarum jam dan sistem sesar ekstensional (Apandi dan Bachri, 1997).

Lebih lanjut lagi Hardjana (2011) menjelaskan bahwa Tatanan stratigrafi daerah penelitian tersusun atas batuan dasar berumur Miosen tengah hingga Miosen Akhir yang terdiri dari aliran lava andesit berselingan dengan batuan sedimen yang kemudian diintrusi oleh diorit. Kemudian diatas batuan dasar secara tidak selaras terendapkan sekuen bakan berumur Plio-Pleistosen yang terdiri dari interkalasi batuan piroklastik berkomposisi dasitik (*crystal/vitric/lithic*) kemudian diintrusi oleh breksi diatrem dan hidrotermal.



Gambar 1. Daerah Penelitian

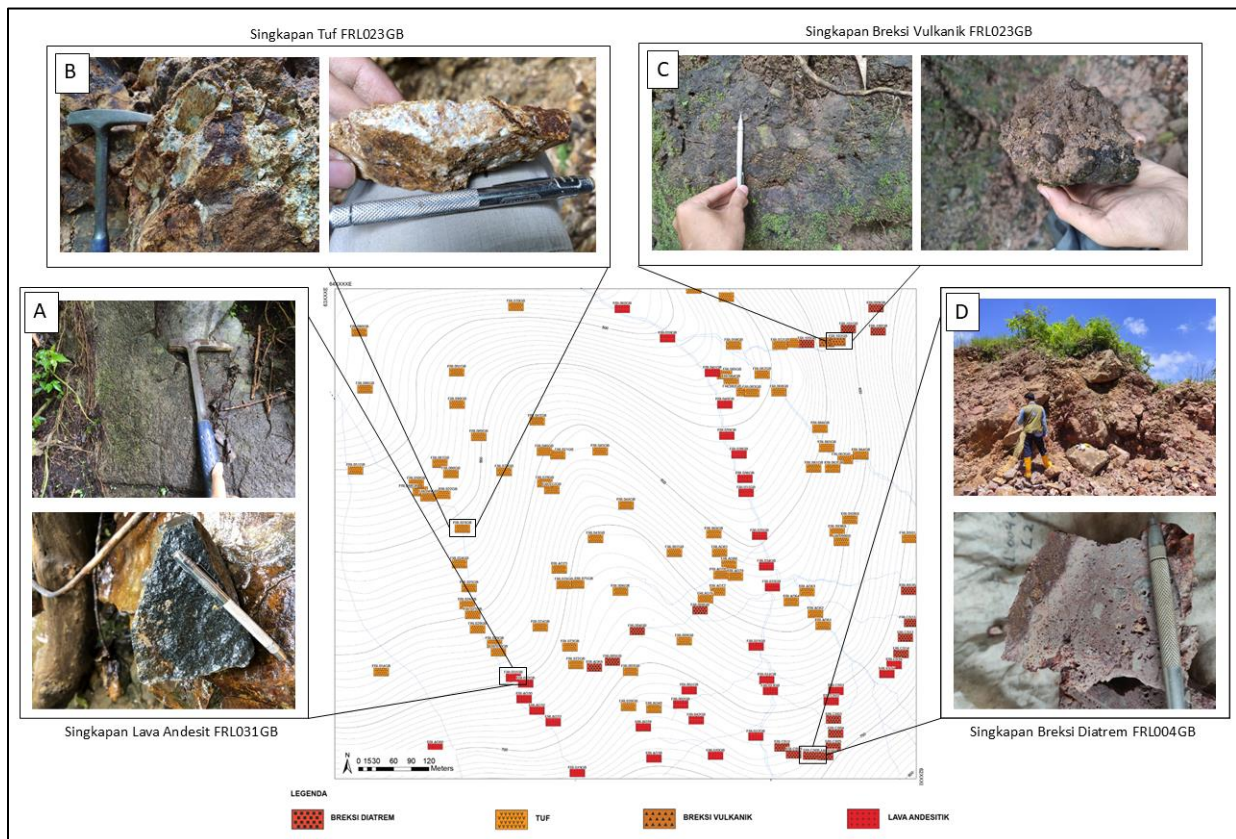
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan melalui kegiatan pemetaan lapangan dengan melakukan pengamatan secara megaskopis terhadap singkapan pada daerah penelitian untuk mengetahui karakteristik litologi, struktur geologi, alterasi dan mineralisasinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Stratigrafi Daerah Penelitian

Berdasarkan hasil observasi lapangan, daerah penelitian tersusun atas litologi yaitu sebagai berikut:



Gambar 2 Singkapan batuan dan sebarannya di daerah penelitian, (A) Lava andesit, (B) Tuf, (C) Breksi vulkanik, (D) Breksi diatrem

1. Lava Andesitik

Lava andesit menempati sekitar 30% daerah penelitian yang tersingkap di sepanjang sungai sebelah timur daerah penelitian. Lava andesit memiliki warna segar putih keabuan dan warna lapuk hitam kecoklatan, indeks warna mesokratik, tekstur porfiritik-afanitik, paramagnetic. Batuan ini tersusun atas mineral plagioklas, hornblenda dan kuarsa. Umumnya teralterasi lemah dengan pola alterasi non-pervasive dan selective pervasive. Teroksidasi secara lemah (weakly oxidize) (Gambar 2A).

Berdasarkan karakteristik batuan, lava andesitik pada daerah penelitian dapat dibandingkan dengan lava andesitik berumur Miosen tengah – Miosen atas yang memiliki karakteristik sebagai batuan lava berkomposisi andesitik yang menindih dan/atau menjemari dengan batuan sedimen feldspatik marin hingga submarin (ABM, 2007 dalam Hardjana, 2011).

2. Tuf

Tuf menempati sekitar 55% daerah penelitian yang tersebar di seluruh daerah penelitian. Tuf memiliki warna segar putih keabuan dan warna lapuk kuning kecoklatan, memiliki ukuran butir ~1mm – 2 mm, bentuk butir menyudut tanggung, sortasi sedang hingga baik, kemas terbuka, tersusun atas fragmen litik, kristal dan gelas vulkanik. Batuan ini umumnya teralterasi sedang hingga kuat dengan pola alterasi yang dominan pervasive. Umumnya teroksidasi secara menengah hingga kuat (moderately oxidize – strongly oxidize) (Gambar 2B).

Berdasarkan karakteristik batuan, secara stratigrafi tuf pada daerah penelitian dapat dibandingkan dengan tuf berumur

Pliosen-Pleistosen yang memiliki karakteristik berupa *intercalated* dan *intertonguing* abu dasitik, kristal litik dan breksi tuf (ABM, 2007 dalam Hardjana, 2011).

3. Breksi Vulkanik

Tuf menempati sekitar 5% daerah penelitian yang tersingkap bagian timur laut daerah penelitian. Breksi vulkanik memiliki warna segar putih keabuan dan warna lapuk hitam kecoklatan, memiliki ukuran butir 1cm – 10 cm, bentuk butir menyudut tanggung hingga membundar tanggung, sortasi buruk, kemas terbuka, tersusun atas fragmen berupa andesit dan matriks berupa tuf. Batuan ini umumnya teralterasi kuat dengan pola alterasi yang dominan *selective pervasive*. Umumnya teroksidasi secara kuat (*strongly oxidize*) (Gambar 2C).

Berdasarkan karakteristik batuan, secara stratigrafi brekse vulkanik pada daerah penelitian dapat dibandingkan dengan breksi tuf berumur Pliosen-Pleistosen yang memiliki karakteristik berupa *intercalated* dan *intertonguing* abu dasitik, kristal litik dan breksi tuf (ABM, 2007 dalam Hardjana, 2011).

4. Breksi Dietrem

Breksi diatrem menempati sekitar 10% daerah penelitian yang tersingkap di bagian tengah dan timur daerah penelitian. Breksi diatrem memiliki warna segar putih keabu abuan dan warna lapuk abu-abu kemerahan, sortasi buruk, kemas terbuka, supported - matriks supported. Batuan ini dicirikan dengan matriks yang memiliki tekstur milled-matrix (*rock-flour*), fragmen polimik, dengan bentuk fragmen membundar tanggung – menyudut ditemukan pula tekstur

whispy-cusate. Umumnya teralterasi secara kuat dengan pola alterasi dominan pervasive. Ditemukan dengan tingkat oksidasi lemah hingga kuat (*weakly oxidize-strongly oxidize*) (Gambar 2D).

Berdasarkan karakteristik batuan, breksi diatrem pada daerah penelitian dapat dibandingkan dengan breksi diatrem berumur Pliosen-Pleistosen yang memiliki karakteristik berupa breksi diatrem yang menerobos sekuen batuan vulkanik dengan membawa klas dari unit basement (ABM, 2007 dalam Hardjana, 2011).

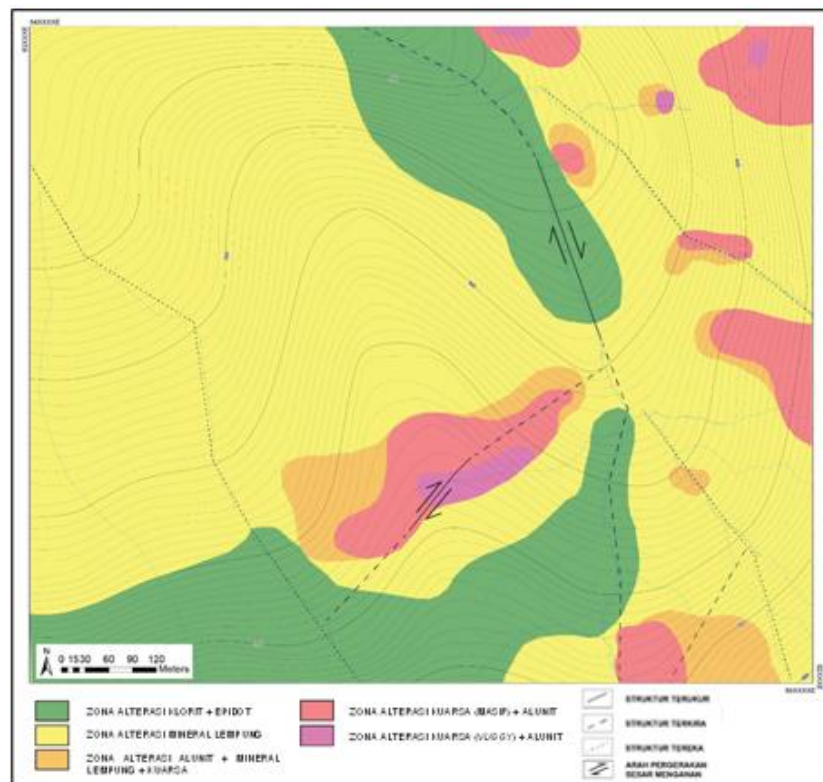
Struktur Geologi Daerah Penelitian

Struktur geologi berkembang dengan sangat intensif di daerah penelitian. Struktur geologi yang teridentifikasi berupa bidang kekar, sesar dan zona breksiasi. Secara umum, daerah penelitian terdiri dari struktur

lokal berarah Barat Laut – Tenggara (NW-SE) yang ditandai dengan sesar di Sungai sebelah timur daerah penelitian dan kelurusan yang dominan berorientasi Barat Laut – Tenggara (NW-SE). Struktur tersebut diinterpretasikan menghasilkan struktur orde selanjutnya yang berorientasi Timur Laut – Barat Daya (NE-SW). Struktur ini menjadi jalur – jalur pembawa mineralisasi pada daerah penelitian (Gambar 3).

Alterasi Daerah Penelitian

Berdasarkan pada himpunan mineral alterasi yang diidentifikasi secara makroskopis. Daerah penelitian terbagi menjadi lima zona alterasi yaitu Zona Alterasi Kuarsa (*vuggy*) + Alunit, Zona Alterasi Kuarsa (masif) + Alunit, Zona Alterasi Alunit + Mineral Lempung + Kuarsa, Zona Mineral Lempung, dan Zona Alterasi Klorit + Epidot (Gambar 3).



Gambar 3. Peta alterasi daerah penelitian

1. Zona Alterasi Kuarsa (vuggy) + Alunit

Zona ini tersebar pada bagian tengah dan timur daerah penelitian. Umumnya berkembang pada litologi breksi diatrem. Batuan pada zona ini memiliki warna cokelat kemerahan dan cokelat kekuningan. Zona ini dicirikan dengan kehadiran mineral kuarsa bertekstur vuggy dengan intensitas intens (Morrison, 1997) dan mineral alunit. Mineral tersebut hadir mengubah fragmen dan matriks batuan dengan pola *pervasive* (Pirajno, 2009). Pada zona alterasi ini ditemukan mineral sulfida pirit berukuran halus hingga kasar (*disseminated*) dan mineral oksida dominan berupa hematit dan gutit menyebar pada matriks, semen, fragmen dan mengisi *vuggy*. Zona ini umumnya memiliki tingkat oksidasi yang tinggi (Gambar 4).



Gambar 4. Kenampakan megaskopis breksi diatrem tersilisifikasi menunjukkan tekstur *vuggy*

2. Zona Alterasi Kuarsa (masif) + Alunit

Zona ini hadir melingkupi zona alterasi Kuarsa (*vuggy*) + Alunit. Umumnya berkembang pada litologi breksi diatreme dan tuf. Batuan pada zona ini memiliki warna cokelat kemerahan dan cokelat kekuningan. Zona ini dicirikan dengan kehadiran mineral kuarsa dan alunit dengan intens (Morrison,

1997). Mineral tersebut hadir mengubah fragmen dan matriks pada batuan dengan pola *pervasive* (Pirajno, 2009). Pada zona alterasi ini ditemukan mineral sulfida pirit (*disseminated*) dan mineral oksida dominan berupa hematit dan gutit *disseminated* pada fragmen, semen, dan matriks pada batuan dan terakumulasi pada rekahan membentuk *veinlet*. Zona ini umumnya memiliki tingkat oksidasi yang tinggi namun beberapa ditemukan teroksidasi lemah seperti yang banyak ditemukan pada area tenggara daerah penelitian (Gambar 5).



Gambar 5. Kenampakan megaskopis tuf tersilisifikasi

3. Zona Alterasi Alunit + Mineral Lempung + Kuarsa

Zona ini umumnya berkembang pada breksi diatrem serta tuf dengan melingkupi zona alterasi Kuarsa (masif) + Alunit. Batuan pada zona ini memiliki warna putih kekuningan dan abu-abu kecoklatan dengan intensitas alterasi kuat (Morrison, 1997) secara *pervasive* (Pirajno, 2009). Zona alterasi ini dicirikan dengan dominansi mineral alterasi berupa alunit dan mineral lempung yang mengubah fragmen maupun matriks pada batuan. Pada zona alterasi ini teramati mineral sulfida berupa pirit (*disseminated*). Mineral oksida berupa hematit, gutit, dan *jarosit disseminated* pada

matriks, semen dan fragmen pada batuan dan mengisi *vuggy* (Gambar 6). Zona alterasi ini termasuk kedalam tipe alterasi argilik lanjut yang terbentuk pada kondisi pH yang asam ditandai dengan kehadiran mineral alunit (Corbett dan Leach, 1997)



Gambar 6. Kenampakan megaskopis tuf terubahkan menjadi mineral alunit dan mineral lempung

4. Zona Alterasi Mineral Lempung

Zona ini tersebar di seluruh daerah penelitian. Zona ini umumnya berkembang pada litologi tuf dengan intensitas alterasi kuat dan melemah semakin jauh dari pusat fluida (Morrison, 1997) dengan pola alterasi *selective pervasive* dan *pervasive* (Pirajno, 2009). Secara megaskopis batuan pada zona alterasi ini memiliki warna abu-abu kecoklatan dan putih kekuningan. Zona alterasi ini dicirikan dengan dominansi mineral lempung yang mengubah fragmen maupun matriks pada batuan. Pada zona alterasi ini ditemukan mineral sulfida berupa pirit (*disseminated*). Mineral oksida berupa gutit *disseminated* pada batuan dan mengisi rekahan membentuk veinlet. Zona alterasi ini termasuk kedalam tipe alterasi argilik ditandai dengan kehadiran mineral lempung yang dominan (Corbett dan Leach, 1997)(Gambar 7).



Gambar 7. Kenampakan megaskopis tuf terubahkan menjadi mineral lempung

5. Zona Alterasi Klorit + Epidot

Zona ini tersebar pada sungai sebelah barat dan timur daerah penelitian. Umumnya berkembang pada litologi lava andesit. Batuan pada zona ini memiliki warna abu-abu kehijauan. Umumnya ditemukan dalam intensitas alterasi lemah (Morrison, 1997) secara *selective* (Pirajno, 2009). Zona alterasi ini dicirikan dengan mineral alterasi klorit dan epidot yang mengubah fragmen mineral hornblenda. Mineral sulfida berupa pirit berukuran halus hingga menengah (*disseminated*). Zona alterasi ini umumnya memiliki tingkat oksidasi lemah. Zona alterasi ini termasuk kedalam tipe alterasi propilitik ditandai dengan kehadiran mineral ubahan klorit (Corbett dan Leach, 1997) yang terbentuk pada kisaran suhu 170 -300 °C (Hedenquist et al, 2000)(Gambar 8).

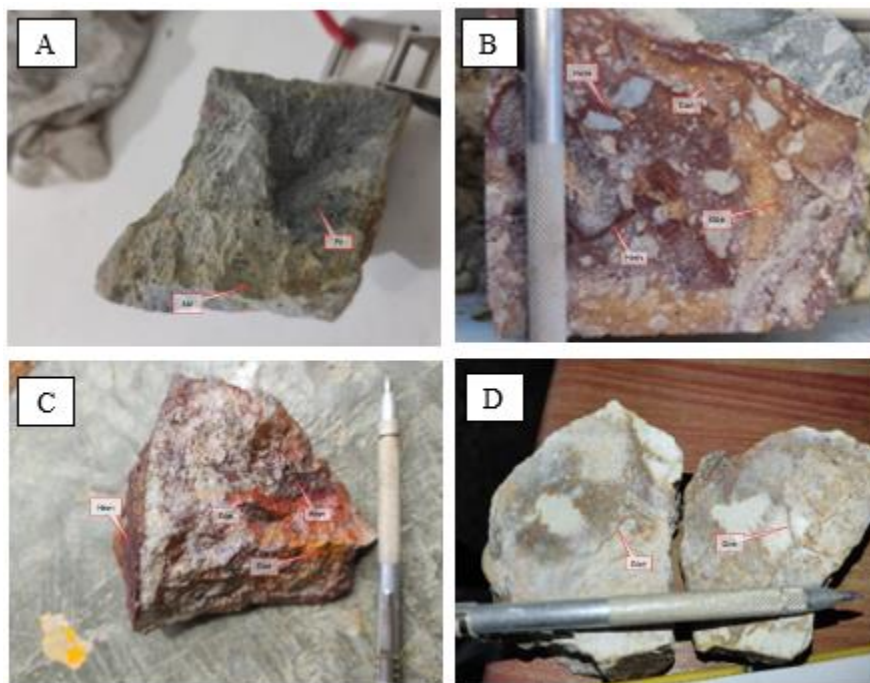


Gambar 8. Kenampakan megaskopis lava andesit teralterasi klorit + epidot

Mineralisasi Daerah Penelitian

Mineralisasi bijih berkembang secara intensif di daerah penelitian. Secara umum mineral bijih di daerah penelitian terdiri dari mineral sulfida dan mineral oksida. Mineral sulfida di daerah penelitian umumnya berupa pirit yang hadir terdiseminasi pada tubuh batuan (Gambar 9A). Beberapa ditemukan terkonsentrasi pada *veinlet* dan *vuggy*. Mineral oksida di daerah penelitian tersusun atas hematit, gutit, dan jarosit. Hematit

memiliki warna coklat kemerahan, umumnya hadir menyebar pada batuan sebagai semen, fragmen maupun matriks dan mengisi *vuggy* (Gambar 9B & 9C). Gutit memiliki warna coklat kekuningan, umumnya hadir menyebar pada batuan sebagai semen, fragmen maupun matriks. Pada beberapa lokasi juga hadir terkonsentrasi pada *veinlet* (Gambar 9D). Jarosit memiliki warna kuning terang, hadir menyebar pada batuan. Umumnya jarosit hadir berasosiasi dengan kehadiran pirit yang melimpah (Gambar 9A).



Gambar 9. (A) Jarosit (Jar) hadir bersama pirit (Py) yang melimpah, (B) Hematit (Hem) menggantikan semen dan gutit (Goe) menyebar pada matriks, (C) Tuf teroksidasi hematit (Hem) – gutit (Goe), (D) Gutit (Goe) terakumulasi pada *veinlet*

PEMBAHASAN

Interpretasi mengenai tipe endapan yang berkembang pada daerah penelitian didasarkan pada aspek litologi, asosiasi mineral ubahan dan mineral bijih, dan pola alterasi dan mineralisasi yang terbentuk oleh proses hidrotermal. Alterasi dan mineralisasi di daerah penelitian berasosiasi dengan host

rock berupa breksi diatrem, tuf dan lava andesit. Alterasi di daerah penelitian ditandai dengan zona alterasi silika vuggy (kuarsa (*vuggy*) + alunit) dan silika masif (kuarsa (masif) + alunit) pada pusat keluarnya fluida yang secara gradasional berubah menjadi zona alterasi argilik lanjut (alunit + mineral lempung + kuarsa), argilik (mineral lempung), dan propilitik (klorit + epidot).

Kehadiran mineral alunit dan kuarsa dengan tekstur *vuggy* menunjukkan kondisi lingkungan dengan pH yang asam. Tekstur *vuggy* terbentuk akibat proses *leaching* akibat interaksi batuan dinding dengan fluida asam (Hedenquist, 2000). Zona alterasi yang berkembang pada daerah penelitian menunjukkan suatu pola perubahan pH dan dimana pH semakin mendekati netral dari silika *vuggy* menuju propilitik. Hal tersebut terjadi karena interaksi fluida hidrotermal dengan batuan dinding. Mineral sulfida yang hadir berupa mineral pirit yang umumnya hadir secara disseminated. Beberapa hadir terakumulasi pada *veinlet* dan *vuggy* Mineral

tersebut sebagian besar telah teroksidasi menjadi hematit, gutit, dan jarosit.

Alterasi dan mineralisasi di daerah penelitian umumnya berasosiasi dengan struktur yang berorientasi Timur Laut – Barat Daya (NE-SW).

Berdasarkan karakteristik alterasi dan mineralisasi pada daerah penelitian diindikasikan termasuk ke dalam karakteristik endapan epitermal (Sillitoe dan Hedenquist, 2003), tepatnya menunjukkan indikasi tipe endapan epitermal sulfida tinggi (Tabel 1).

Tabel 1 Kesebandingan karakteristik tipe endapan daerah penelitian dengan karakteristik epitermal sulfida tinggi (Sillitoe dan Hedenquist, 2003))

Variabel	Karakteristik Epitermal High Sulphidation (Sillitoe dan Hedenquist, 2003)	Daerah Penelitian
<i>Host Rock</i>	Dome, diatrem, batuan vulkanik, batuan sedimen, silisiklastik	Breksi diatrem, lava andesit, batuan piroklastik (tuf dan breksi tuf)
Mineral alterasi proksimal kunci	Kuarsa-alunit, kuarsa-pirofilit/dikit	Kuarsa-alunit, alunit-mineral lempung-kuarsa
Mineral Silika Penyerta	Silika masif berbutir halus dan silika <i>vuggy</i>	Silika masif, silika <i>vuggy</i>
Mineral Bijih	Enargit, luzonit, kovelit, famatinit	Pirit
Style Mineralisasi	Pengisian <i>vuggy</i> , <i>Disseminated</i> , Tubuh Breksi	<i>Disseminated</i> , pengisian <i>vuggy</i> , <i>Veinlet</i> , tubuh breksi

KESIMPULAN

Daerah penelitian tersusun atas litologi lava andesit, tuf, breksi vulkanik, dan breksi diatrem. Alterasi di daerah penelitian terbagi ke dalam lima zona alterasi yaitu Zona Alterasi Kuarsa (*vuggy*) + Alunit, Zona Alterasi Kuarsa (masif) + Alunit, Zona

Alterasi Alunit + Mineral Lempung + Kuarsa, Zona Alterasi Mineral Lempung, dan Zona Alterasi Klorit + Epidot. Mineral bijih di daerah penelitian terdiri dari mineral sulfida berupa pirit dan mineral oksida berupa hematit, gutit, dan jarosit. Mineral bijih di daerah penelitian hadir dengan pola

disseminated, mengisi *vuggy* dan *veinlet*. Daerah penelitian menunjukkan indikasi tipe endapan epitermal sulfida tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada PT. J Resources Bolaang Mongondow yang telah memberikan kesempatan melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arribas Jr, A., (1995). Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid. Mineralogical Association of Canada Short Course, 23, pp.419-454.
- Corbett, G., & Leach, T. (1997). Southwest Pacific rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralisation. Society of Economic Geologists Special Publication, 6.
- Hardjana.(2011). The Discovery, Geology and Exploration of the High Sulphidation Au-Mineralization System in the Bakan District, North Sulawesi. JResources Nusantara. Manado, North Sulawesi, Indonesia.
- Hedenquist, J. W., Arribas R., A., & Gonzalez-Urien, E. (2000). Exploration for Epithermal Gold Deposits. In Gold in 2000. <https://doi.org/10.5382/Rev.13.07>
- Morrison, Kingston. (1997). Hydrothermal Minerals and Their Significance. Geothermal and Mineral Service Division of Kingston Morrison Ltd: Auckland.
- Pirajno, F. (1992). Hydrothermal Mineral Deposits: Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist.<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-642-75671-9>
- Pirajno, F. (2009). Hydrothermal Processes and Mineral Systems. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8613-7>
- Sillitoe, R.H. and Hedenquist, J.W. (2003). Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposits. Society of Economic Geologist, Special Publication 10. London. Hal 1-73.
- Simandjuntak, T.O. (1986). Sedimentology and tectonics of the collision complex of the East arm of Sulawesi, Indonesia. Ph.D. Thesis, Royal Holloway and Bedford New College, London University, 374 p.
- Van Bemmelen, R. W. (1949). The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes. Government Printing Office, The Hague, hal. 1–766.