



Karakteristik Alterasi dan Mineralisasi Endapan Emas Tipe Carlin pada Blok Yance dan Leon, Kecamatan Ratatotok, Kabupaten Minahasa Tenggara, Provinsi Sulawesi Utara

Alyna Azarine¹, Muhammad Arba Azzaman^{1,2}, Arifudin Idrus^{1*}

1. Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

2. Departement of Geoscience, Geotechnology, and Material Engineering for Resources, Graduate School of International Resource Science, Akita University, Japan

**Email: arifidrus@ugm.ac.id*

SARI

Studi mengenai endapan emas di daerah Mesel, Ratatotok, Sulawesi Utara telah dilakukan oleh banyak peneliti, namun belum ada studi yang detail mengenai prospek di sekitar Mesel, seperti pada Blok Yance dan Blok Leon. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan karakteristik alterasi hidrotermal dan mineralisasi bijih pada Blok Yance dan Leon. Metode penelitian yang digunakan berupa analisis megaskopis (deskripsi batuan inti), analisis mikroskopis (petrografi, mikroskopi bijih), X-Ray Diffraction, serta SEM-EDX. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa batugamping dan breksi adalah pengontrol alterasi dan mineralisasi di daerah penelitian. Alterasi hidrotermal dikelompokkan menjadi tiga, yaitu alterasi silisifikasi, alterasi silikakalsit, dan ilit-smektit-klorit±kalsit. Mineral bijih ditemukan sebagai diseminasi, penggantian, dan pengisi rekahan, meliputi pirit, arsenopirit, realgar, orpimen, hematit, dan goetit, dengan mineral gangue yang umum ditemukan adalah kuarsa, kalsit, dolomit, gypsum, klorit, kaolinit, ilit, smektit, dan romboklas. Analisis kimia mineral pada pirit dan arsenopirit mengidentifikasi beberapa unsur seperti Fe, S, As, Cu, Au, Ag, Sb, Cd, Co, dan Ni dengan rata-rata kandungan Co lebih dari Ni. Perbedaan karakteristik pada kedua lokasi penelitian, yaitu pada batuan induk Blok Yance memiliki litologi batugamping dan breksi polimiktit, sedangkan di Blok Leon batuan induk adalah batugamping. Alterasi yang berkembang di Blok Yance antara lain adalah dekalsifikasi, silisifikasi, silika-kalsit, dan ilit-smektit-klorit±kalsit dengan tipe mineralisasi penggantian (replacement) dan pengisian rekahan (open-space filling), sedangkan di Blok Leon adalah silisifikasi, silika-kalsit, dan ilit-smektit-klorit±kalsit dengan tipe mineralisasi dominan penggantian. Mineral bijih yang ditemukan di Blok Yance antara lain adalah pirit, arsenopirit, realgar, orpimen, hematit, goetit, sedangkan di Blok Leon adalah pirit dan hematit.

Kata kunci: Alterasi hidrotermal; mineralisasi emas tipe Carlin; Yance; Leon.

How to Cite: Azarine, A., Azzaman, M.A., Idrus, A., 2021. Karakteristik Alterasi dan Mineralisasi Endapan Emas Tipe Carlin pada Blok Yance dan Leon, Kecamatan Ratatotok, Kabupaten Minahasa Tenggara, Provinsi Sulawesi Utara. Jurnal Geomine, 9 (3): 239-253.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Article History:

Submitte 05 Oktober 2021
Received in from 06 Oktober 2021
Accepted 30 Desember 2021

Lisensec By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)



ABSTRACT

Study of gold deposit in Mesel, Ratatotok, North Sulawesi has been conducted by numerous experts, but there has been no detailed research on other prospects near Mesel, like Yance and Leon where this study is conducted. The objectives of this study is to determine the differences in the characteristics of hydrothermal alteration and ore mineralization in the Yance and Leon Prospects. Core sample description, microscopic analyses (petrography, ore microscopy), X-Ray Diffraction, and SEM-EDX are the methods used to identify those characteristics. The results of these analyses indicate that limestone and collapse breccia controlled alteration and mineralization in this area. Hydrothermal alteration that are developed in this area are silicification, silica-calcite, illitesmectite- chlorite±calcite. Ore minerals are found as dissemination, replacement, and open-space fill, such as pyrite, arsenopyrite, realgar, orpiment, hematite, and goethite, with gangue minerals such as quartz, calcite, dolomite, gypsum, chlorite, kaolinite, illite, smectite, and rhomboclase. Analysis on mineral chemistry identify numerous elements, essentially Fe, S, As, Cu, Au, Ag, Sb, Cd, Co, and Ni where average Co content is higher than average Ni. The difference in characteristics between the two research sites is that the source rock of the Yance Block has limestone lithology and polymictite breccia, while in the Leon Block the source rock is limestone. Alterations that have developed in the Yance Block include decalcification, silicification, silica-calcite, and illite-smectite-chlorite±calcite with replacement-type and open-space filling mineralization, while in the Leon Block is silicification, silica-calcite, , and illite-smectite-chlorite±calcite with the dominant type of replacement mineralization. The ore minerals found in the Yance Block include pyrite, arsenopyrite, realgar, orpiment, hematite, goethite, while in the Leon Block they are pyrite and hematite.

Keyword: *Hydrothermal alteration; Carlin-type gold mineralization; Yance; Leon.*

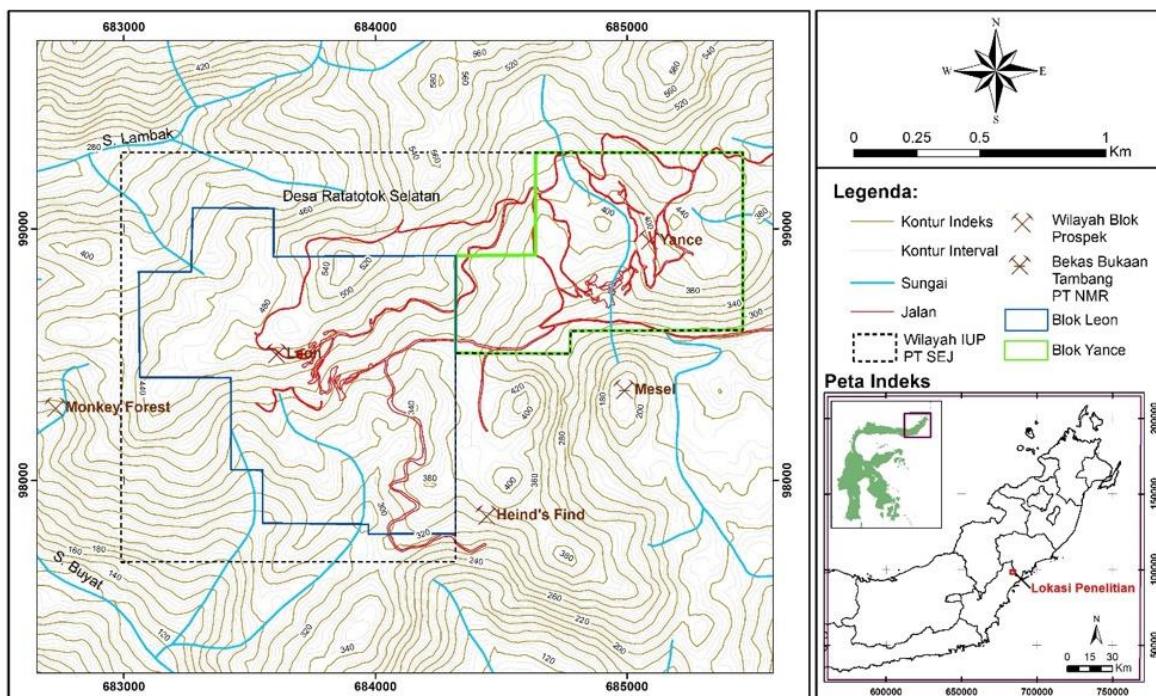
PENDAHULUAN

Indonesia merupakan Negara yang terletak di dalam tatanan tektonik aktif. Tatanan tektonik aktif berupa subduksi ini membentuk berbagai busur magmatik seperti busur Sunda-Banda, busur Sumatra-Meratus, busur Kalimantan Tengah, busur Sulawesi – Mindanao Timur, busur Halmahera, dan busur Irian Jaya Tengah (Carlile dan Mitchel, 1994). Subduksi pada busur magmatik Sulawesi – Mindanao Timur membentuk berbagai endapan mineral di Lengan Utara Sulawesi, salah satunya adalah emas (Kavalieris et al., 1992; van Leeuwen dan Pieters, 2011; van Leeuwen 2018)

Salah satu daerah yang pernah menjadi penghasil emas di Indonesia adalah Kecamatan Ratatotok, Kabupaten Minahasa, Provinsi Sulawesi Utara (Garwin et al., 2005; Maryono et al., 2014) yang digolongkan sebagai endapan emas tipe Carlin (Hofstra dan Christensen, 2002; Berger et al., 2014) atau Carlin-like (Kirwin dan Royle, 2018). Berdasarkan eksplorasi yang pernah dilakukan oleh PT Newmont Minahasa Raya (PT NMR) sebelumnya, mineralisasi emas tersebar luas di daerah Ratatotok, utamanya pada prospek Mesel dengan luas wilayah 8 x 5 km, di mana total sumberdayanya mencapai 12,25 Mt. @ 5,21 g/t Au (Turner et. al., 1993).

Di dekat prospek Mesel, mineralisasi emas ditemukan juga pada bagian utara dan barat dari prospek ini yang secara berturut-turut dinamakan sebagai Prospek Yance dan Prospek Leon (Gambar 1). Kedua Prospek tersebut saat ini masuk ke dalam wilayah IUP PT Sumber Energi Jaya (PT SEJ). Azzaman et al. (2021) melakukan penelitian mengenai geologi dan alterasi hidrotermal pada wilayah di sekitar prospek Mesel namun masih terdapat keterbatasan karena hanya melibatkan data permukaan. Sementara data bawah permukaan belum diketahui dengan baik.

Oleh karena itu, penelitian ini dirasa penting karena akan menambah pemahaman mengenai mineralisasi di daerah ini dalam hal karakteristik alterasi dan mineralisasi hidrotermal berdasarkan data bawah permukaan (data pengeboran). Karakteristik endapan di kedua lokasi prospek tersebut (Yance dan Leon) akan dibandingkan dengan tujuan untuk mengetahui ciri khas dari masing-masing lokasi dan implikasinya terhadap kadar mineral ekonomis yang ada.



Gambar 1. Peta lokasi prospek sekitar Mesel. Penelitian ini difokuskan pada Blok Yance dan Leon

GEOLOGI REGIONAL

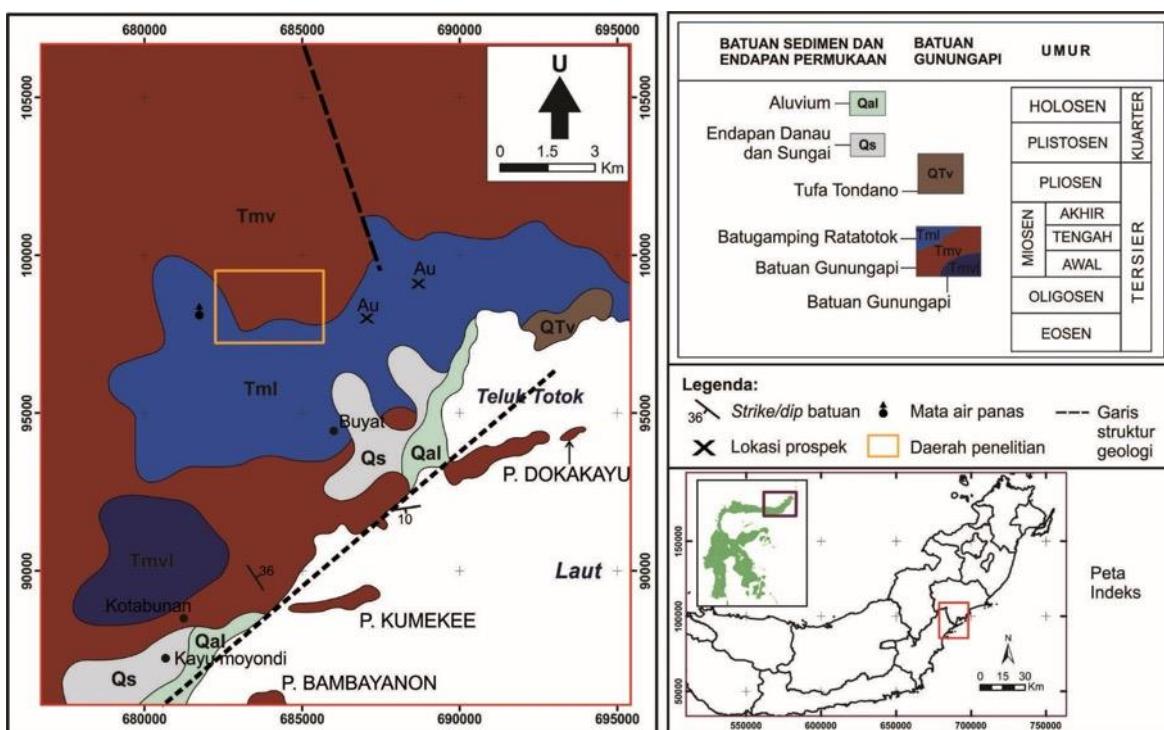
Surono (2010) membagi fisiografi Pulau Sulawesi menjadi beberapa lengan. Mengacu pada pembagian tersebut, daerah Rata totok terletak pada morfologi pegunungan di Lengan Utara Sulawesi bagian timur.

Berdasarkan peta geologi regional lembar Manado (Effendi dan Bawono, 1997), formasi – formasi batuan yang menyusun daerah Rata totok dari yang paling tua adalah



Batuan Gunungapi (Tmvl), Batuan Gunungapi (Tmv), Batugamping Ratatotok (Tml), Tufa Tondano (Tmv), Endapan Danau dan Sungai (Qs) dan Aluvium (Qal). Mengacu pada peta formasi batuan tersbut, maka lokasi penelitian tersusun atas dua formasi batuan, yaitu Batuan Gunungapi Tmv berumur Miosen Tengah – Miosen Akhir dan Batugamping Ratatotok (Tml) berumur Miosen Tengah (Gambar 2).

Surono dan Hartono (2013) membagi pembahasan struktur di Lengan Utara Sulawesi menjadi tiga bagian, yaitu bagian barat (daerah Tolitoli dan sekitarnya), bagian tengah (daerah Gorontalo dan sekitarnya) dan bagian timur (daerah Manado dan sekitarnya). Struktur geologi yang berkembang pada bagian timur yaitu sesar geser, sesar turun dan depresi. Secara lokal, struktur geologi utama yang melewati daerah Rataotok yaitu Zona Patahan Limpoga yang memiliki arah relatif Barat Daya – Timur Laut. Struktur geologi lain yang berkembang di daerah Ratatotok adalah struktur sesar oblique naik sinistral sudut menengah hingga tinggi berarah Utara Barat Laut. Struktur ikutan sesar oblique tersebut memiliki arah relatif Barat Laut atau sekitar N 300° E dan Barat Daya - Timur Laut (Turner et al., 1994).



Gambar 2. Peta geologi regional bagian barat daya dari peta geologi regional lembar Manado (Effendi dan Bawono, 1997) dan lokasi penelitian

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dalam 5 tahap utama yang terdiri dari tahap persiapan, tahap pengambilan data, tahap analisis data, dan tahap penyelesaian (Gambar 2)

Tahap persiapan dilakukan sebelum melakukan pengambilan data lapangan dan terdiri dari studi pustaka mengenai kondisi geologi regional daerah penelitian dan tinjauan umum mineralisasi di daerah penelitian. Setelah itu, dilakukan juga tahap persiapan ketika di lapangan, yaitu perencanaan pekerjaan, pemilihan titik-titik pemboran yang akan dilakukan *logging* dan pengambilan sampel, persiapan format *logging*, dan pembuatan domain-domain agar pekerjaan dilakukan secara efektif.

Pengambilan data di lapangan dilakukan pada coreshed PT. Sumber Energi Jaya site Ratahotok. Data yang diakuisisi antara lain adalah kedalaman, litologi meliputi struktur batuan, tekstur, komposisi mineralogi, alterasi meliputi mineralogi alterasi, intensitas alterasi, dan style alterasi, mineralisasi bijih, dan tingkatan oksidasi. Pengambilan data lapangan dilakukan dengan mencatat segala informasi tersebut, kemudian dilakukan dokumentasi *core box*, dokumentasi secara detail pada bijih, dan pengambilan sampel. Pemilihan titik pengambilan sampel mempertimbangkan kebutuhan analisis dan yang mewakili kondisi geologi secara keseluruhan. Selain itu, dari tahap pengambilan data lapangan juga didapatkan penampang titik bor yang akan membantu dalam tahap integrasi hasil analisis dan interpretasi.

Tahap analisis data dilakukan di laboratorium. dan dilakukan terhadap sampel yang telah diperoleh dari perusahaan. Beberapa metode analisis yang digunakan adalah sebagai berikut:

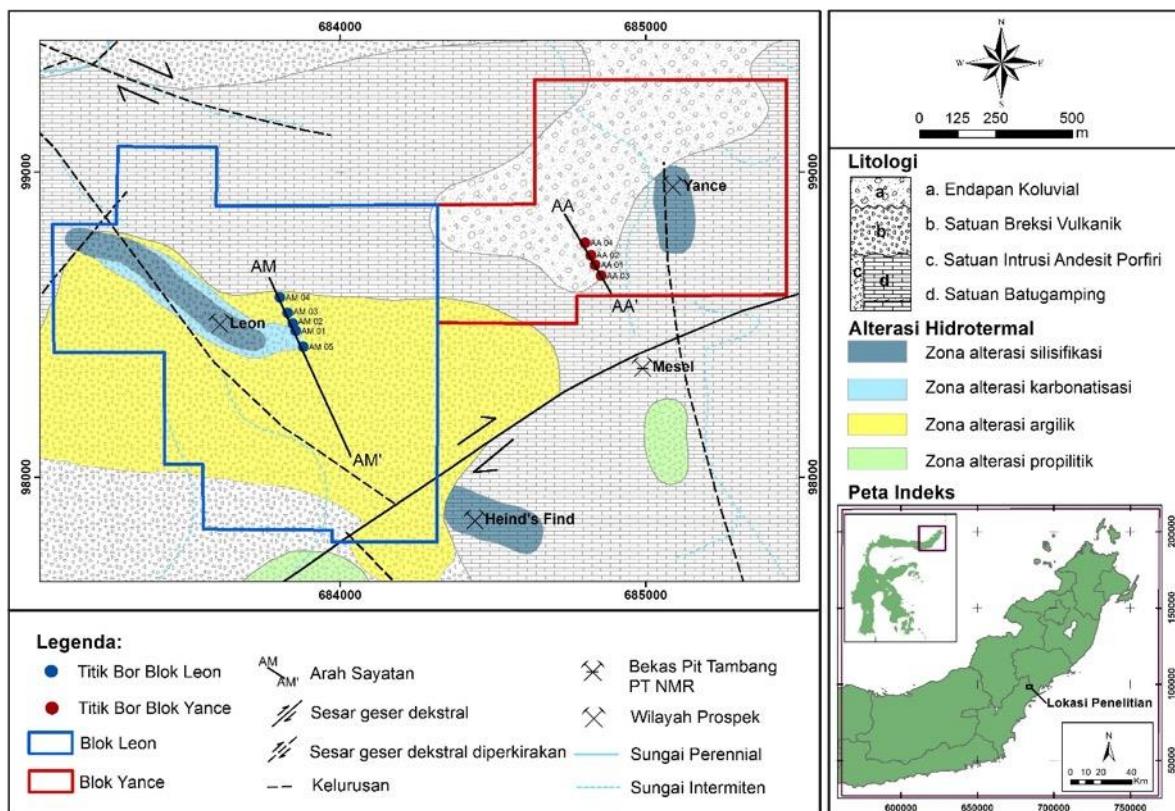
- Analisi mineralogi dan tekstur, dilakukan secara megaskopis (16 sampel batugamping, 2 sampel breksi polimiktit dan 11 sampel andesit), mikroskopis berupa petrografi (17 sampel) dan minerografi (9 sampel bijih), serta *x-ray diffraction* atau XRD (6 sampel). Analisis petrografi dan minerografi dilakukan di Lab. Geologi Optik, Departemen Teknik Geologi UGM dengan menggunakan mikroskop polarisasi dan refleksi trinokular Euromex (Holland) 1053. Sementara analisis XRD dilakukan di Lab. Pusat Departemen Teknik Geologi UGM dengan menggunakan instrumen X-Ray Diffractometer Rigaku Multiflex.
- Analisis Kimia Mineral, dilakukan dengan metode Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). Analisis ini melibatkan 4 sampel dan dikerjakan di Lab. BLU TekMIRA, Bandung dengan batas deteksi 0.01% atau 100 ppm (*part per million*).
- Analisis Geokimia Bijih, dilakukan melalui *assay* dengan metode AAS (Atomic Absorption Spectroscopy). Data assay diperoleh dari PT. Sumber Energi Jaya. Metode AAS yang digunakan adalah menggunakan metode roasting pada suhu 650°C selama 2 jam dan aqua regia. Analisis terbatas pada mengetahui kadar unsur logam Au dan Ag. Sampel diambil dalam interval setiap 1 meter pada batuan inti dengan batas deteksi unsur 0.02 ppm.

Tahapan terakhir adalah **tahap penyelesaian** yang terdiri dari integrasi hasil analisis dan interpretasi dan ditutup dengan penyusunan laporan penelitian.

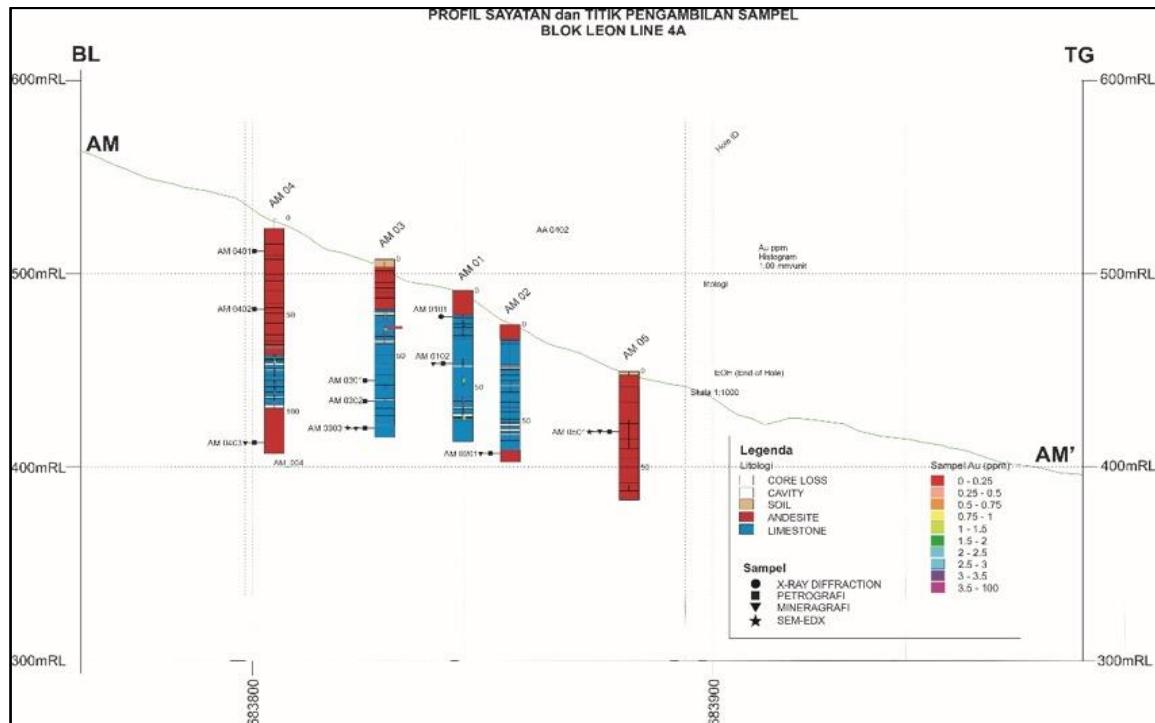


HASIL PENELITIAN

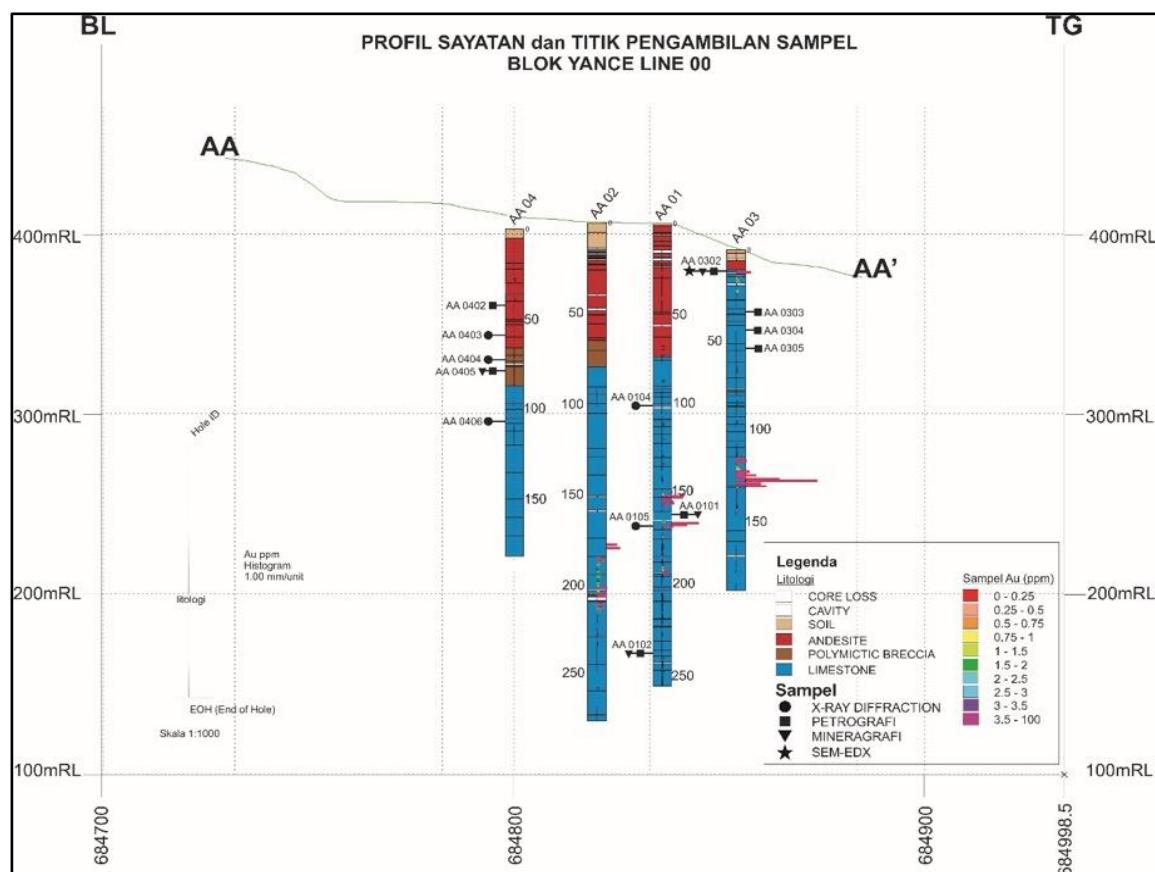
Kondisi geologi permukaan blok Yance dan Leon termasuk dalam wilayah penelitian Azzaman dkk. (2021) di mana peta geologi dan alterasi dapat dilihat pada Gambar 3. Namun penelitian tersebut tidak menyajikan data bawah permukaan. Oleh karena itu, pembahasan mengenai kondisi geologi bawah permukaan dan alterasi hidrotermal yang terjadi akan didasarkan atas penampang titik bor pada blok Leon dan Yance seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 3. Peta alterasi hidrotermal (Azzaman dkk., 2021) dan lokasi titik bor penelitian ini



Gambar 4. Penampang titik bor blok Leon pada *line 4A* berdasarkan sayatan AM-AM'



Gambar 5. Penampang titik bor blok Yance pada line 00 berdasarkan sayatan AA-AA'

1. Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan data logging hasil pengeboran batuan inti (Gambar 4 dan Gambar 5), terlihat bahwa batuan penyusun bawah permukaan pada blok Leon dan blok Yance tersusun atas litologi berupa batugamping, breksi polimik dan andesit.

Berdasarkan hasil analisis petrografi, terdapat dua jenis batugamping yang menyusun daerah penelitian, yaitu batugamping yang teralterasi kuat dan batugamping yang teralterasi secara lemah. Batugamping yang teralterasi kuat tersusun atas mineral sekunder berupa kuarsa dan terkadang mineral lempung. Kuarsa dan mineral lempung hadir sebagai mineral pengisi rongga batugamping sehingga dapat diinterpretasikan pembentukan mineral tersebut merupakan tahap awal dari mineralisasi. Sementara, batugamping yang teralterasi lemah teridentifikasi sebagai *floatstone*, *wackestone*, *grainstone*, dan *packstone* (Embry dan Klovan, 1971). Mineral alterasi yang hadir pada batuan tersebut adalah kalsit yang mengisi rekahan sebagai uratan (*veinlet*) sehingga mineral penyusun dan tekstur dari batuan asli masih dapat teramat. Secara komposisi, batugamping tersebut didominasi oleh fragmen skeletal berupa fosil foraminifera planktonik, fosil foraminifera besar, dan fosil alga (Gambar 6).

Litologi lain yang menyusun daerah penelitian adalah breksi. Azzaman dkk. (2021) menyebutkan bahwa jenis breksi yang menyusun wilayah ini adalah breksi vulkanik. Namun pada batuan inti hasil pengeboran ditemukan fragmen non vulkanik berupa batugamping sehingga penamaan breksi pada penelitian ini menjadi breksi polimiktif. Batuan ini berkomposisi atas litik batugamping dan litik andesit sebagai fragmen batuan, sementara matriksnya merupakan material sedimen berukuran lanau hingga pasir. Selain itu, terdapat uratan yang mengisi rekahan antar fragmen, yaitu uratan kalsit dan uratan kuarsa.

Jenis batuan beku berupa andesit teridentifikasi pada penelitian ini. Berdasarkan studi petrologi, teridentifikasi satu kejadian intrusi yang dapat diinterpretasikan sebagai sumber panas utama dari sistem mineralisasi di daerah penelitian. Selain sebagai batuan intrusi, andesit juga ditemukan sebagai fragmen litik dari breksi polimiktif yang hadir bersamaan dengan fragmen litik batugamping dan secara umum memiliki karakteristik yang sama dengan andesit sebagai batuan intrusi. Karakteristik andesit pada daerah penelitian adalah memiliki tekstur porfiritik, dengan granularitas porfirofanitik dan kristalinitas holokristalin. Andesit yang terdapat sebagai fragmen breksi polimiktif diinterpretasikan terbentuk pra-mineralisasi, karena tidak terdapat alterasi pada fragmen tersebut dan terbentuk sebelum breksi polimiktif yang merupakan batuan induk dari mineralisasi.



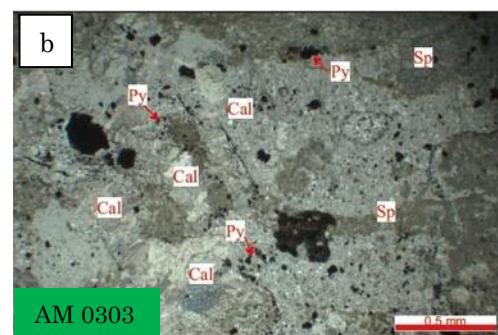
Di antara ketiga jenis litologi tersebut, batugamping dan breksi polimiktit merupakan batuan induk (*host rock*) dari mineralisasi yang terjadi di daerah penelitian. Di tinjau dari geologi regional batugamping ini termasuk ke dalam Formasi Batugamping Ratatotok berumur Miosen Awal – Miosen Tengah (Effendi dan Bawono, 1997).

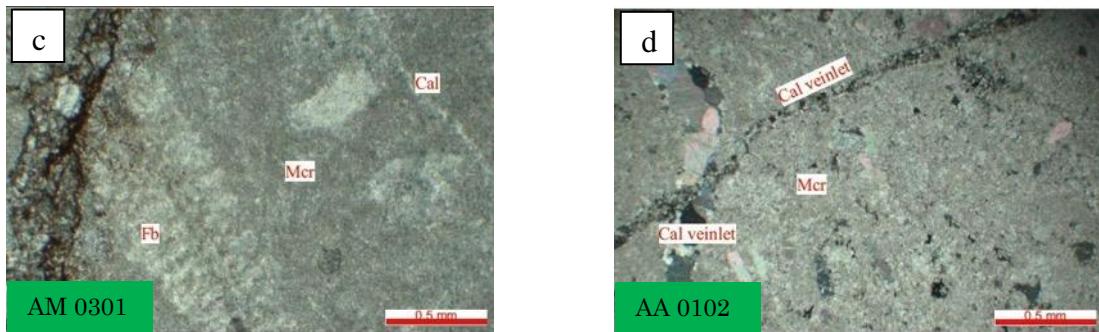
2. Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal pada daerah penelitian (blok Leon dan blok Yance) dapat dibagi menjadi beberapa kelompok alterasi berdasarkan jenis mineral penyusunnya, yaitu alterasi dekalsifikasi, silisifikasi, silika-kalsit, dan ilit-smektit-klorit±kalsit.

Alterasi dekalsifikasi dicirikan oleh relatif berkurangnya material karbonat, hadirnya mineral dolomit dan terbentuknya rongga pada batugamping yang diklasifikasikan sebagai *floatstone*, *wackestone*, *grainstone* dan *packstone* (Embry dan Klovan, 1971). Alterasi ini berlangsung dengan intesitas kuat dan lemah. Batuan yang teralterasi kuat akan membentuk lebih banyak rongga yang kemudian akan terisi oleh mineral lainnya (Gambar 6a dan Gambar 6b) sedangkan yang teralterasi lemah hanya membentuk sedikit rongga dan rekahan sehingga tekstur asli batuan masih dapat terlihat (Gambar 6c dan Gambar 6d).

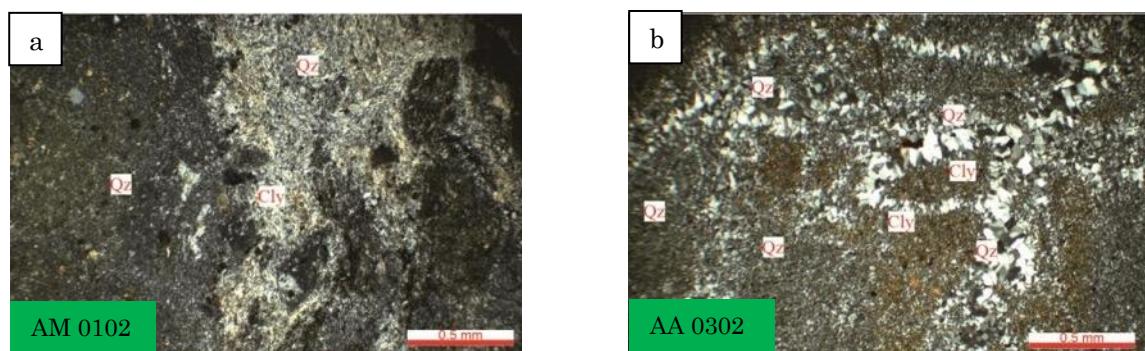
Alterasi silisifikasi berkembang juga pada litologi batugamping. Alterasi silisifikasi pada batugamping hadir sebagai penggantian dari mineral asli secara selektif dan pengisian rekahan. Selain itu, batuan yang telah teralterasi silisifikasi lebih keras dan kompak daripada batugamping yang segar. Perubahan fisik yang terjadi diakibatkan oleh perubahan komposisi mineral penyusun batuan. Secara komposisi, kehadiran mineral kuarsa adalah penciri utama dari alterasi silisifikasi ini. Kuarsa hadir sebagai mineral pengganti dan sebagai pengisi rekahan. Perbedaannya adalah pada ukuran kristalnya. Tekstur penggantian menunjukkan ukuran kristal kuarsa lebih halus (Gambar 7a) dari pada ukuran kristal kuarsa pengisi rekahan (Gambar 7b). Selain kuarsa, terdapat juga mineral lempung berwarna coklat dan terdapat di sekitar rekahan (Gambar 7b) di mana berdasarkan analisis XRD mineral lempung ini terdiri dari ilit, montmorilonit, klorit dan alunit pada Blok Leon, sementara pada Blok Yance berupa smektit dan ilit.





Gambar 6. Kenampakan petrografi (a) *floatstone*, (b) *wackestone*, (c) *grainstone* dan (d) *packstone* pada pengamatan XPL.

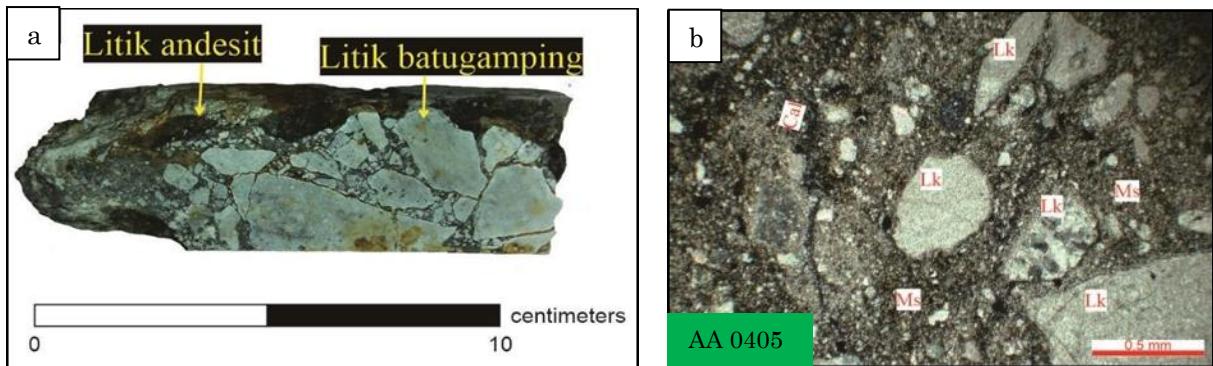
Keterangan: Alg = alga, Cal = kalsit, Cal veinlet = uratan tipis kalsit, Fb = foraminifera besar, Mcr = mikrit, Py = pirit.



Gambar 7. Kenampakan petrografi batugamping teralterasi silisifikasi pada (a) Blok Leon dan (b) Blok Yance, pada pengamatan XPL

Keterangan: Cly = mineral lempung, Qz = kuarsa

Alterasi silika-kalsit terjadi pada breksi polimiktit dan batugamping (Gambar 7a) pada zona kontak antara andesit dengan batugamping. Kehadiran kuarsa sebagai pengisi rekahan dan kehadiran urat kalsit adalah penciri utama dari alterasi silika-kalsit ini. Terdapat juga mineral gypsum (sebagai pengisi rekahan berbentuk tabular) dan mineral lempung berwarna coklat yang menempati daerah sekitar rekahan. Berdasarkan analisis XRD teridentifikasi mineral romboklas dan mineral lempung yang berupa ilit dan smektit.

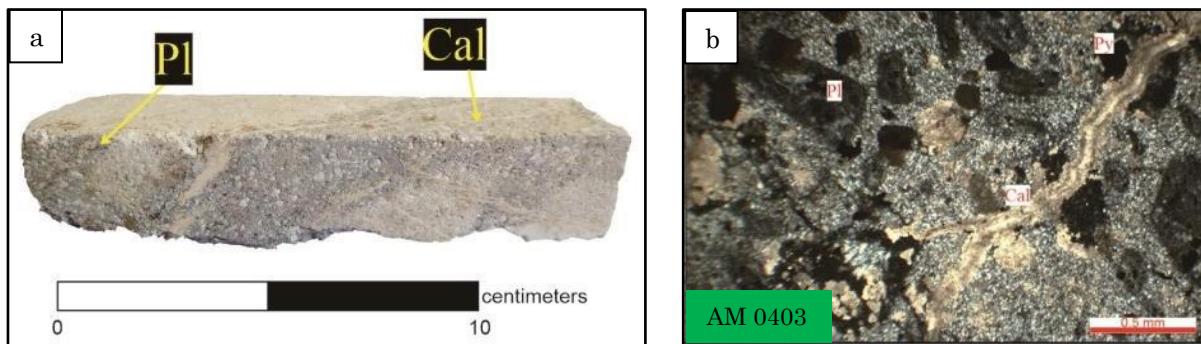


Gambar 7. Kenampakan breksi polimiktit secara (a) megaskopis dan (b) mikroskopis

Keterangan: Cal = kalsit, Ms = material sedimen, Lk = litik batuan karbonatan



Alterasi ilit-smektit-klorit±kalsit terjadi pada batuan intrusi subvolkanik berupa andesit (Gambar 8a) dan hadir sebagai mineral pengganti. Tekstur batuan telah teralterasi ilit-smektit lebih lunak daripada andesit yang segar. Alterasi ini dicirikan oleh hadirnya mineral ilit, smekti, klorit dan kalsit (Gambar 8b).



Gambar 8. Kenampakan breksi polimikt secara (a) megaskopis dan (b) mikroskopis
Keterangan: Cal = kalsit, Pl = plagioklas, Py = pirit

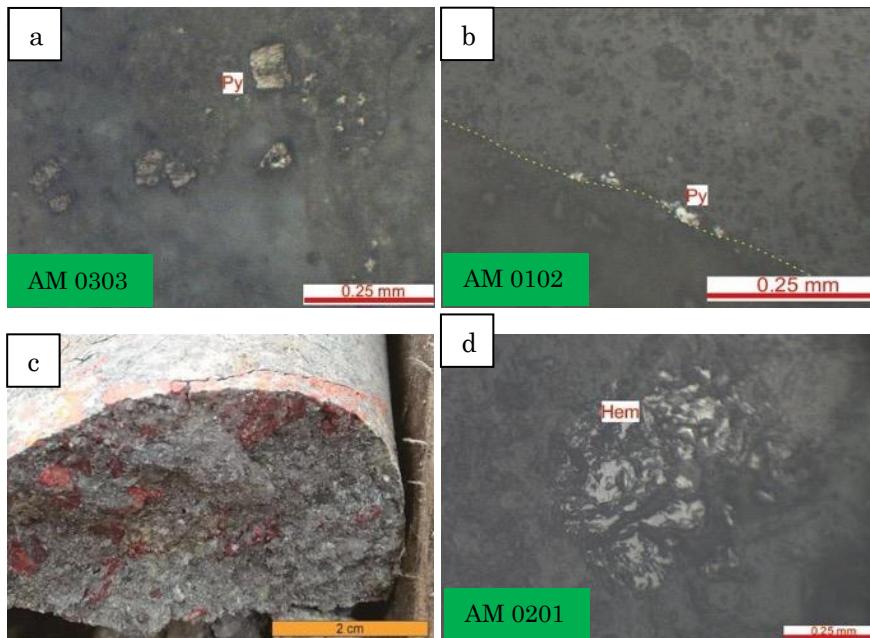
3. Mineralisasi Bijih

Mineralisasi bijih terjadi baik pada batuan intrusi dan batuan dinding dan secara umum dapat dijumpai pada seluruh jenis alterasi. Mineralalisasi bijih terjadi pada tiga tahap yaitu pada tahap *main ore* (pirit dan arsenopirit, tahap *late ore* (realgar dan orpimen), kemudian tahap supergen (hematit, goetit dan jarosit).

Mineral pirit paling umum di jumpai dan mudah dikenali baik dengan mata secara langsung maupun menggunakan bantuan mikroskop karena berukuran kasar dan bentuknya kubik euhedral dan biasanya muncul sebagai mineral pengisi (*open space filling texture*) baik sebagai pengisi ruang antar mineral (Gambar 9a) maupun sebagai pengisi rekahan (Gambar 7b). Analisis kimia mineral dengan SEM EDX menunjukkan rata-rata konten unsur minor (%berat) dalam pirit adalah sebagai berikut; Co 0.48; Ni 0.83; Cu 0.53; As 1.42; Ag 0.43; Cd 0.96; dan Sb 0.33; dengan konten Au rata-rata tidak dapat ditentukan karena konten Au kurang dari batas deteksi alat (0.01%).

Realgar juga mineral sulfida yang cukup banyak ditemukan pada contoh setangan batuan inti dan hadir sebagai kristal berbentuk granular berwarna merah (Gambar 7c) serta biasanya berasosiasi dengan mineral orpimen berwarna jingga sebagai mineral pengisi. Mineral sulfida lain yang hadir adalah arsenopirit dan diidentifikasi hanya berada pada blok Yance di mana berdasarkan hasil analisis SEM EDX menunjukkan bahwa kandungan unsur minor dalam arsenopirit yaitu Co 0.46; Ni 1.24; Cu 0.53; As 25.59; Ag 0.03; Cd 0.43; dan Sb 0.38; dengan konten Au juga tidak dapat ditentukan karena konten Au kurang dari batas deteksi alat (0.01%). Kehadiran emas diidentifikasi dari analisis AAS oleh PT SEJ yang menunjukkan kadar bervariasi yaitu mulai dari 8 ppm – 43 ppm.

Selain golongan sulfida, mineral oksida seperti hematit, goetit dan jarosit juga ditemukan. Hematit yang hadir sebagai mineral pengganti (*replacement texture*), menggantikan pirit (Gambar 7d) umum dijumpai di daerah penelitian.



Gambar 7. Kenampakan mineral pirit berbentuk kubik euhedral sebagai (a) mineral pengisi antar mineral dan (b) pengisi rekahan. (c) Realgar yang teramati pada batuan inti, (d) Hematit sebagai mineral pengganti pirit.

4. Perbedaan Karakteristik Endapan Blok Yance dan Blok Leon

Perbedaan karakteristik pada kedua lokasi penelitian, yaitu pada batuan induk Blok Yance memiliki litologi batugamping dan breksi polimiktif, sedangkan di Blok Leon batuan induk adalah batugamping. Alterasi yang berkembang di Blok Yance antara lain adalah dekalsifikasi, silisifikasi, silika-kalsit, dan ilitsmektit-klorit±kalsit dengan tipe mineralisasi penggantian (*replacement*) dan pengisian rekahan (*open-space filling*), sedangkan di Blok Leon adalah silisifikasi, silika-kalsit, dan ilit-smektit-klorit±kalsit dengan tipe mineralisasi dominan penggantian. Mineral bijih yang ditemukan di Blok Yance antara lain adalah pirit, arsenopirit, realgar, orpimen, hematit, goetit, sedangkan di Blok Leon adalah pirit dan hematit. Kadar emas dan perak pada kedua blok memiliki perbedaan. Blok Yance memiliki Au yang lebih tinggi yaitu secara berturut turut 43 pm dan 25 ppm. Sementara pada Blok Leon kadar Au dan Ag relatif lebih rendah yaitu hanya sekitar 8 ppm Au dan 3 ppm Ag.

Perbedaan kadar Au dan Ag pada kedua blok ini kemungkinan disebabkan utamanya oleh litologi yang mengontrol mineralisasi dan karakteristik fluida hidrotermal pembawa mineralisasi. Batugamping yang terbreksiasi dan batuan yang memiliki permeabilitas tinggi (bagian yang terbreksiasi) lebih berkembang di Blok Yance dibandingkan Blok Leon. Fluida

hidrotermal yang berperan di Blok Yance berdasarkan analisis kimia mineral menunjukkan karakter yang lebih terkayakan oleh arsenik (As), dicirikan oleh kehadiran arsenopirit, sementara pada Blok Leon cenderung tidak terkayakan oleh arsen. Dalam fluida hidrotermal yang Au-saturated seperti pada endapan tipe Carlin (Zhu et al., 2011), kehadiran arsenik sangat penting untuk menyerap emas (Zhu et al., 2011) sehingga sering kali Au ditemukan berada pada pirit yang kaya akan arsenik (disebut juga pirit arsenian) ataupun di dalam mineral arsenopirit (Cline et al., 2013; Hu et al., 2002; Chen et al., 2015; Hu et al., 2017; Kirwin dan Royle, 2018 dan yang lainnya). Secara singkat perbedaan karakteristik endapan pada Blok Yance dan Leon dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan perbandingan karakteristik Blok Yance dan Leon

Karakteristik	Yance	Leon
Batuan induk (<i>host rock</i>)	batugamping dan breksi polimiktit	batugamping
Batuan tudung (<i>cover rock</i>)	andesit	andesit
Alterasi	deksifikasi, silisifikasi, silika-kalsit, ilit-smektit-klorit-kalsit	silisifikasi, silika-kalsit, ilit-smektit-klorit-kalsit
Style mineralisasi	Penggantian dan pengisian pada rongga dan/atau rekahan	Penggantian
Geokimia	Fe > S, Sb, As	Fe < S, Cu, Ag, Cd, Ni
Komposisi urat/uratan	Kuarsa, kalsit	Kalsit
Mineralogi bijih	pirit, arsenopirit, realgar, orpimen, hematit, goetit	pirit, hematit
Kadar Au, Ag	Au ~43 ppm, Ag ~25 ppm	Au ~8 ppm, Ag ~3 ppm

KESIMPULAN

Alterasi hidrotermal yang berkembang pada lokasi penelitian meliputi alterasi deksifikasi, silisifikasi, silika-kalsit, dan alterasi ilit-smektit-klorit±kalsit. Terdapat tiga tipe mineralisasi bijih, yaitu pada tahap *main ore* (pirit dan arsenopirit), tahap late ore (realgar dan orpimen), kemudian tahap supergen (hematit dan goetit).

Perbedaan karakteristik pada kedua lokasi penelitian, yaitu pada batuan induk Blok Yance memiliki litologi batugamping dan breksi polimiktit, sedangkan di Blok Leon batuan induk adalah batugamping. Alterasi yang berkembang di Blok Yance antara lain adalah deksifikasi, silisifikasi, silika-kalsit, dan ilitsmektit-klorit±kalsit dengan tipe mineralisasi penggantian (*replacement*) dan pengisian rekahan (*open-space filling*), sedangkan di Blok Leon adalah silisifikasi, silika-kalsit, dan ilit-smektit-klorit±kalsit dengan tipe mineralisasi dominan penggantian. Mineral bijih yang ditemukan di Blok Yance antara lain adalah pirit, arsenopirit, realgar, orpimen, hematit, goetit, sedangkan di Blok Leon adalah pirit dan hematit.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai sebagian oleh Hibah Penelitian dari Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Kami mengucapkan terimakasih kepada manajemen dan geologist lapangan PT SEJ atas izin untuk melakukan kegiatan lapangan dan akses data AAS untuk penelitian ini. Ucapan terimakasih juga dihaturkan kepada pengelola Laboratorium Geologi Optik dan Laboratorium Pusat Departemen Teknik Geologi UGM atas fasilitas yang disediakan untuk melakukan analisis petrografi, minerografi dan XRD.

REFERENSI

- Azzaman, M.A., Idrus, A., dan Titisari, A.D., 2021, Geology, hydrothermal alteration and mineralization of the Carlyn-type gold deposit at South Ratatotok, Southeast Minahasa Regency, North Sulawesi Province, Indonesia, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Sci. 789 012078
- Berger, V.I., Mosier, D.L., Bliss, J.D., Moring, B.C., 2014, Sediment-Hosted Gold Deposits of the World – Database and Grade and Tonnage Models (ver. 1.1, June 2014), U.S. Geological Survey Open-File Report 2014-1074
- Chen, M., Zhang, Z., Santosh, M., Dang, Y., dan Zhang, W., 2015, The Carlin-type gold deposits of the “golden triangle” of SW China: Pb and S isotopic constraint for the ore genesis, Journal of Asian Earth Sciences 103, p. 115-128
- Carlile, J.C., dan Mitchell, 1994. Magmatic arcs and associated gold and copper mineralization in Indonesia. Journal of Geochemical Exploration, Amsterdam.
- Cline, J.S., Muntean, J.L., Gu, X., dan Xia, Y., 2013, A comparison of Carlin-type gold deposits: Guzhou Province, Golden Triangle, Southwest China, and Northern Nevada USA, Earth Science Frontiers, v. 20, No. 1
- Effendi, A.C. dan Bawono, S.S., 1997, Peta geologi lembar Manado, Sulawesi Utara, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Skala 1:250.000, 1 lembar.
- Embry, A. F., dan Klovan, J. E., 1971. A late Devonian reef tract on Northeastern Banks Island, NWT., Canadian Petroleum Geology Bulletin, v. 19, p. 730–781.
- Garwin, S., Hall, R., dan Watanabe, Y., 2005, Tectonic setting, geology, and gold and copper mineralization in Cenozoic magmatic arcs of Southeast Asia and the West Pacific, v. 100, p. 891-930
- Hofstra, A.H., dan Christensen, 2002, Comparison of Carlin-type deposits in the United States, China, and Indonesia: Implications for genetic models and exploration, U.S. Geological Survey Open-File Report 02-131.
- Hu, R.Z., Su, W.C., Bi, X.W., Tu, G.Z. dan Hofstra, A.H., 2002, Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China, in Mineralium Deposita, v. 37, p. 378-392
- Hu, K., Pan, M., Cao, J., Liu, Y. dan Han, S., 2017, The Au-hosting minerals and process of formation of the Carlin-type Bojitian Deposit, Southwestern China, Hindawi, Geofluid, v. 2017, Article ID 2417209
- Kavalieris, I., van Leeuwen, T.M., dan Wilson, M., 1992, Geological setting and styles of mineralization, north arm of Sulawesi, Indonesia, Journal of Southeast Asia Earth Sciences, v. 7, No. 2/3, p. 113-129
- Kirwin, D.J. dan Royle, D.Z., 2018, Sediment-hosted gold deposits in Southeast Asia, The Society of Resource Geology
- Maryono, A., Setijadji, L.D., Arif, J., Harrison, R., dan Soeriatmadja, E., 2014, Gold, silver, and copper Metallogeny of the Eastern Sunda magmatic arc Indonesia, in Majalah Geologi Indonesia, v. 29, No. 2, p. 85-99.
- Surono, 2013, Geologi lengan tenggara Sulawesi, Bandung: Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

- Surono dan Hartono, U., 2013, Geologi sulawesi, Jakarta: LIPI Press
- Turner, S.J., Flindell, P.A., Hendri, D., Hardjana, I., Lauricella, P.F., Lindsay, R.P., Marpaung, B., dan White, G.P., 1994, Sediment-hosted gold mineralization in the Ratatotok district, North Sulawesi, Indonesia, Journal of Geochemical Exploration, v. 50, p. 317-336.
- van Leeuwen, T.M., dan Pieters, P.E., 2011, Mineral deposits of Sulawesi, in Proceedings of the Sulawesi Mineral Resources, MGEI-IAGI, p. 1-109
- van Leeuwen, T.M., 2018, Twenty five more years of mineral exploration and discovery in Indonesia, Masyarakat Geologi Ekonomi Indonesia, 10th Anniversary Special Publication.
- Zhu, Y., An, F., dan Tan J., 2011, Geochemistry of hydrothermal gold deposits: A review, Geoscience Frontiers, v. 2, No. 3, p. 367 – 374