



## Alterasi dan Mineralisasi Daerah Kolaka Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara

Ayub Pratama Aris<sup>1\*</sup>, Musri Mawaleda<sup>2</sup>, Adi Tonggiroh<sup>2</sup>, Ninasafitri<sup>1</sup>, Kostiawan Sukamto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, UNG, Gorontalo

<sup>2</sup>Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik Unhas, Makassar

<sup>3</sup>Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, UNG, Gorontalo

\*Corresponding author: ayubpratamaaris@ung.ac.id

### Article History

Received : 24 Agustus 2022

Revised : 22 September 2022

Accepted : 1 Oktober 2022

### Abstrak

Proses alterasi menyebabkan terjadinya penggantian mineral, pelarutan, dan pengendapan langsung mineral dari larutan yang mengisi rekahan atau pori batuan, tujuan dilakukan penelitian ini untuk mengetahui alterasi dan mineralisasi di daerah penelitian. data awal berupa kondisi litologi pada daerah penelitian di dominasi oleh batuan metamorf berupa sekis muskovit, sekis klorit dan gneiss. Selain itu juga dijumpai batuan beku yang diindikasikan merupakan batuan intrusi. Metode yang digunakan adalah studi literatur dan survei lapangan dilakukan dengan pengambilan sampel batuan pada setiap lokasi yang representatif di daerah penelitian. Data dianalisis dengan menggunakan analisis petrografi dan mineragrafi, dengan analisis petrografi, diharapkan dapat mengetahui jenis-jenis batuan di daerah penelitian. Analisis Mineragrafi dimaksudkan untuk mengetahui jenis mineral bijih, tekstur mineral bijih dan menentukan paragenesis endapan bijih yang terjadi di daerah penelitian. Tipe alterasi yang berkembang di daerah penelitian yaitu tipe alterasi Propilitik dan Argilik. Sedangkan mineralisasi di daerah Kolaka Utara terbentuk dalam satu tipe, yaitu tipe tersebar (disseminated), dimana mineral bijih sulfida tersebar dalam pada host rock yang mengalami alterasi, temperatur dan pH fluida hidrothermal ditafsirkan tipe endapan mineral bijih yang dijumpai daerah Kolaka Utara adalah tipe epithermal sulfidasi rendah. Agar hasil penelitian semakin detail maka perlu dilakukan pengambilan data dan analisis sampel yang lebih banyak serta mewakili sebaran kontak batuan beku dan metamorf. Hal ini mengingat analisis tersebut dapat menentukan fasies yaitu umur pembentukan batuan di masa lampau dari partial melting sampai naik ke permukaan dan posisi batuan beku terhadap batuan metamorf di daerah Kolaka Utara Provinsi Sulawesi Tenggara.

**Kata kunci:** *alterasi, epitermal sulfidasi rendah, kolaka utara, mineralisasi.*

### Abstract

The alteration process causes mineral replacement, dissolution, and direct deposition of minerals from solutions that fill fractures or rock pores. The purpose of this study was to determine alteration and mineralization in the study area. Preliminary data in the form of lithological conditions in the study area are dominated by metamorphic rocks in the form of muscovite schist, chlorite schist and gneiss. In addition, igneous rocks were also found which are indicated as intrusive rocks. The method used is a literature study and a field survey is carried out by taking rock samples at each representative location in the study area. Data were analyzed using petrographic and mineragraphic analysis, with petrographic analysis, it is expected to be able to determine the types of rocks in the research area. Mineragraphic analysis is intended to determine the type of ore minerals, the texture of ore minerals and determine the paragenesis of ore deposits that occur in the research area. developed in the research area, namely Propylitic and Argillic alteration types. Meanwhile, mineralization in the North Kolaka area is formed in one type, namely the disseminated type, where the sulphide ore minerals are scattered deep in the altered host rock, the temperature and pH of the hydrothermal fluid are interpreted as deposit types. The ore minerals found in the North Kolaka area are of the low sulfidation epithermal type. In order to get more detailed research results, it is necessary to collect data and analyze more samples and represent the distribution of igneous and metamorphic rocks. This is because this analysis can determine facies, namely the age of rock formation in the past from partial melting to rising to the surface and the position of igneous rocks to metamorphic rocks in the North Kolaka area of Southeast Sulawesi Province.

**Keywords:** *alteration, low sulfidation epithermal, mineralization, northern kolaka.*

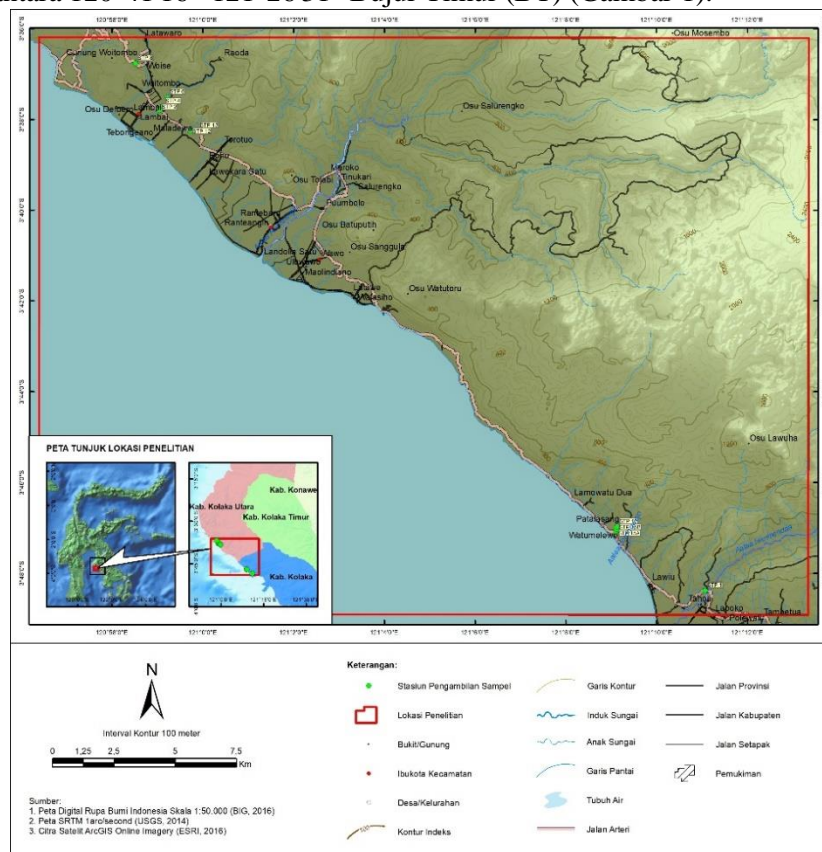
## 1. Pendahuluan

Alterasi merupakan perubahan komposisi mineralogi batuan (dalam keadaan padat) karena adanya pengaruh Suhu dan Tekanan yang tinggi dan tidak dalam kondisi isokimia menghasilkan mineral lempung, kuarsa, oksida atau sulfida logam [1]. Alterasi umumnya disebabkan oleh temperatur, tekanan, permeabilitas, komposisi kimia, dan konsentrasi larutan hidrotermal serta komposisi batuan sampling [2]. Proses alterasi menyebabkan terjadinya penggantian mineral, pelarutan, dan pengendapan langsung mineral dari larutan yang mengisi rekahan atau pori batuan [3]. Penelitian dilakukan untuk mengetahui alterasi dan mineralisasi yang tercakup dalam wilayah administrasi Kabupaten Kolaka Utara Provinsi Sulawesi Tenggara. Daerah ini merupakan bagian dari Kompleks Mekongga (Pzm) yang merupakan batuan metamorf paleozoikum yang terdiri atas batuan metamorf berupa sekis, gneiss, filit dan kuarsit. Secara Regional daerah penelitian tercakup dalam Peta Geologi Regional Lembar Lasusua-Kendari [4]. Peneliti mendapatkan data awal berupa kondisi litologi pada daerah penelitian di dominasi oleh batuan metamorf berupa sekis muskovit, sekis klorit dan gneiss. Selain itu juga dijumpai batuan beku yang diindikasikan merupakan batuan intrusi.

Penelitian mengenai intrusi batuan di daerah Kolaka Utara diketahui oleh hasil dating radiometrik diketahui bahwa batuan yang ditemukan merupakan dasit yang batuan dasit tersebut berumur  $\pm 4,2$  juta tahun yang lalu [5]. Penelitian lainnya yang dilakukan menyebutkan bahwa alterasi dan mineralisasi di Lengan Tenggara Sulawesi dijumpai pada batuan sekis albit di Kompleks Rumbia berupa alterasi tipe porpilitik dan filik, berasosiasi dengan mineral-mineral sulfida (pirit, arsenopirit, antimoni, galena dan cinabar) [6].

## 2. Metode

Penelitian alterasi dan mineralisasi dilakukan di daerah Kolaka Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara. Secara administratif, wilayah penelitian terletak di Kabupaten Kolaka Utara yang terletak di pulau tenggara Pulau Sulawesi dan secara geografis terletak di bagian barat. Kabupaten Kolaka Utara memanjangdari utara ke selatan antara  $2^{\circ}46'45'' - 3^{\circ}50'50''$  Lintang Selatan (LS) dan membentang dari barat ke timur antara  $120^{\circ}41'16'' - 121^{\circ}26'31''$  Bujur Timur (BT) (Gambar 1).



Gambar 1. Peta kesampaian lokasi daerah penelitian

Pengumpulan data penelitian dilakukan dengan beberapa pendekatan berupa studi literatur untuk menentukan rancangan penelitian serta persiapan yang menyangkut segala sesuatu yang dibutuhkan selama pelaksanaannya, dan pengambilan sampel lapangan, pada singkapan batuan di masing-masing lokasi representatif di daerah penelitian. Peralatan yang digunakan saat pengambilan data di lapangan antara lain, yaitu kompas geologi, palu geologi, GPS (*Global Positioning System*) untuk *plotting* titik dan *tracking* lintasan pengamatan (navigasi dan orientasi medan), loupe dengan pembesaran 20x, kamera digital, alat tulis menulis, *clipboard*, dan ransel lapangan. Adapun alat yang akan digunakan pada saat analisa laboratorium adalah sayatan tipis untuk pengamatan petrografi dan sayatan poles untuk pengamatan mineragrafi. Bahan yang digunakan saat pengambilan data di lapangan antara lain, yaitu peta topografi berskala 1:25.000 yang merupakan hasil perbesaran dari Peta Rupa Bumi Lembar Lasusua skala 1:50.000 terbitan Badan Informasi Geospasial tahun 2013, Peta geologi regional berskala 1:25.000 yang merupakan hasil perbesaran dari Peta Geologi Lembar Lasusua-Kendari skala 1:250.000 terbitan Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi tahun 1993, peta citra satelit daerah penelitian dan sekitarnya, buku catatan lapangan, kantong sampel, dan perlengkapan pribadi.

Pemilihan sampel yang didapatkan dari data lapangan akan dilanjutkan dengan Analisa petrografi dan mineragrafi, dengan adanya analisis petrografi, maka dimaksudkan untuk dapat melihat komposisi konstituen mineral batuan dan untuk mengetahui jenis-jenis batuan di daerah penelitian. Selain itu analisis petrografi juga digunakan untuk menganalisis tekstur perubahan tertentu seperti tekstur pengganti atau tekstur pengisian fug. Informasi ini sangat diperlukan untuk melakukan studi paragenesis mineral. Dalam analisis petrografi, sampel dibuat menjadi sayatan tipis dan dianalisis di bawah mikroskop polarisasi. Persiapan sampel dilakukan di Laboratorium Persiapan dan analisis petrografi. Analisis Mineragrafi dimaksudkan untuk mengetahui jenis mineral bijih, tekstur mineral bijih dan menentukan paragenesis endapan bijih yang terjadi di daerah penelitian. Dalam analisis ini sampel dibuat menjadi sayatan pemoles dan diamati di bawah mikroskop bijih. Persiapan sampel untuk sayatan pemolesan dilakukan di Laboratorium Sediaan dan Mineragrafi di Laboratorium Optik Mineral, Departmen Geologi, Universitas Hasanuddin.

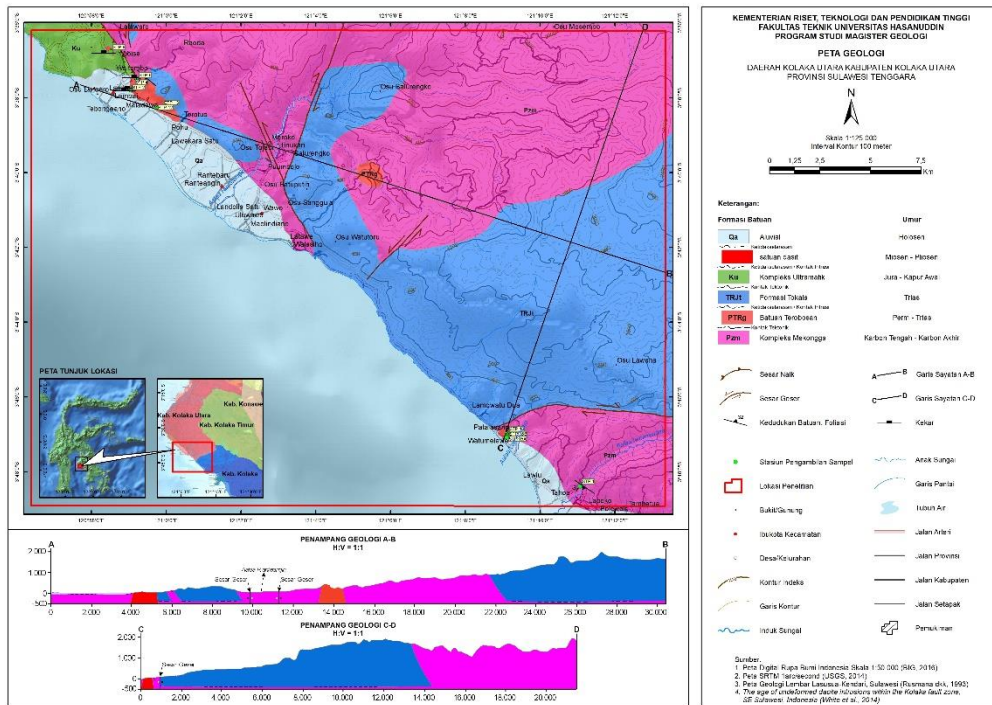
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### a. Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan pengamatan lapangan, daerah penelitian memiliki bentukan geomorfologi sebagian besar merupakan daerah perbukitan dengan ketinggian antara 75m sampai 750m di atas permukaan laut. Umumnya disusun atas batu gamping dan konglomerat oleh molas Sulawesi. Satuan ini umumnya membentuk perbukitan bergelombang yang ditumbuhi semak dan alang-alang. Sungai di daerah penelitian ini berpola aliran dendritik. Bentang alam dataran rendah menempati daerah pantai dan sepanjang aliran sungai besar dan muaranya yang memiliki ketinggian berkisar dari beberapa meter hingga 75m di atas muka laut [7].

Di daerah penelitian dijumpai adanya satuan dasit terdiri atas batuan beku vulkanik berupa dasit. Satuan ini menerobos satuan batuan metamorf, satuan batugamping paleozoikum dan batuan ultramafik serta diperkirakan berumur Miosen-Pliosen di daerah penelitian terjadi kegiatan magma yang menghasilkan terobosan batuan dasit yang menerobos Batuan Metamorf [5] (Gambar 2).

Secara regional Lengan Timur Sulawesi, dimana daerah penelitian berada, adalah daerah dengan pola tektonik kompresi berarah relatif Barat-Baratlaut-Timur-Tenggara (WNW-ESE). Dimana struktur geologi yang berkembang meliputi penunjaman dan zona tumbukan, sesar naik dan sesar geser. Struktur geologi regional tersebut adalah Parit Sulawesi Utara (*North Sulawesi Trench*), Sistem Sesar Palu-Koro, Sesar Naik Batui, Sesar Naik Poso, Sesar Walanae, dan pemekaran Samudra di Selat Makassar [7].



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian

Berdasarkan hasil studi lapangan dan kompilasi Peta Geologi Regional Lembar Lasusua dan Kendari [4], diketahui litologi daerah penelitian secara umum disusun oleh Batuan Metamorf Kompleks Mekongga (**Pzm**), Batuan Terobosan (**PTR(g)**), Formasi Tokala (**TRJt**), Kompleks Ultramafik (**Ku**), dan Alluvial (**Qa**). Litologi di daerah penelitian diketahui dengan menggunakan analisis petrografi. Sampel batuan yang dijumpai pada daerah penelitian terdiri dari batuan beku dan batuan metamorf. Sebanyak 14 sampel batuan yang dilakukan analisis petrografi diketahui sebagai batuan beku Dasit [8], serta batuan metamorf terdiri dari atas Sekis Muskovit-Kuarsa, Sekis Kuarsa-Muskovit [9].

**b. Tipe Alterasi Hidrotermal**

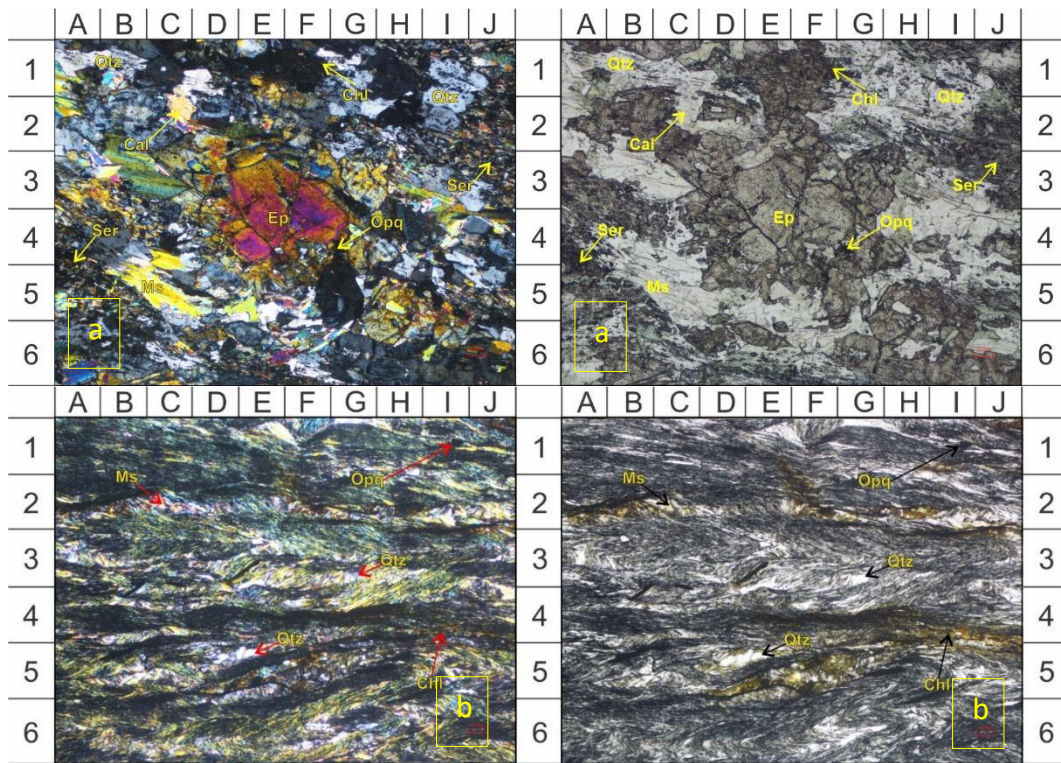
Tipe alterasi diidentifikasi berdasarkan pengamatan petrografi dari lima sampel sayatan tipis batuan. Analisis alterasi dan mineral hidrotermal berdasarkan pengamatan petrografi dilakukan pada sampel AGK 03, AGK 08, AGK 09, AGK 12. Tipe alterasi ditentukan berdasarkan mineral-mineral penciri alterasi dan himpunan mineral alterasi yang hadir. Secara keseluruhan dari semua sampel alterasi yang dapat diidentifikasi meliputi: kuarsa, muskovit, epidote, dan mineral lempung. Berdasarkan himpunan mineral alterasi ini dengan menggunakan klasifikasi dan terminology alterasi hidrothermal [10], maka tipe alterasi mineralisasi hidrothermal di daerah Kolaka Utara adalah tipe propilitik dan tipe argilik ditampilkan pada Tabel 1 berikut ini:.

Tabel 1. Himpunan mineral, tipe, dan zona alterasi hidrotermal

No	Sampel	Himpunan Mineral Alterasi	Tipe Alterasi
1	AGK 03	Epidot, Klorit, Kuarsa	Propilitik
2	AGK 08	Klorite, Muskovit, Kuarsa	Propilitik
3	AGK 09	Kalsit, Serisit, Kuarsa	Argilik
4	AGK 12	Kalsit, Serisit, Mineral lempung	Argilik



Tipe alterasi propilitik dijumpai pada sampel AGK 03 dan AGK 08. Mineral penciri alterasi propilitik berupa mineral klorit, epidote dan mineral karbonat berupa kalsit (Klorit-Kalsit-Kuarsa). Selain mineral klorit dan kalsit juga dijumpai mineral bijih berupa kalkopirit. Mineral klorit dan karbonat menggantikan mineral-mineral plagioklas, hornblende dan biotit [11]. Mineral klorit pada proses alterasi propilitik terbentuk pada suhu 145-240<sup>0</sup>. Mineral kalsit terbentuk pada suhu 135-216<sup>0</sup>. Sedangkan, mineral pirit dan kalkopirit terbentuk pada suhu 214-292<sup>0</sup> (Gambar 3).



**Gambar 3.** Fotomikrograf sayatan batuan AGK 03 (a) dan sayatan batuan AGK 08 (b) yang memperlihatkan mineral-mineral penciri alterasi propilitik berupa kalsit (Ca), epidot (Ep), kuarsa (Qtz) dan klorit (Chl).

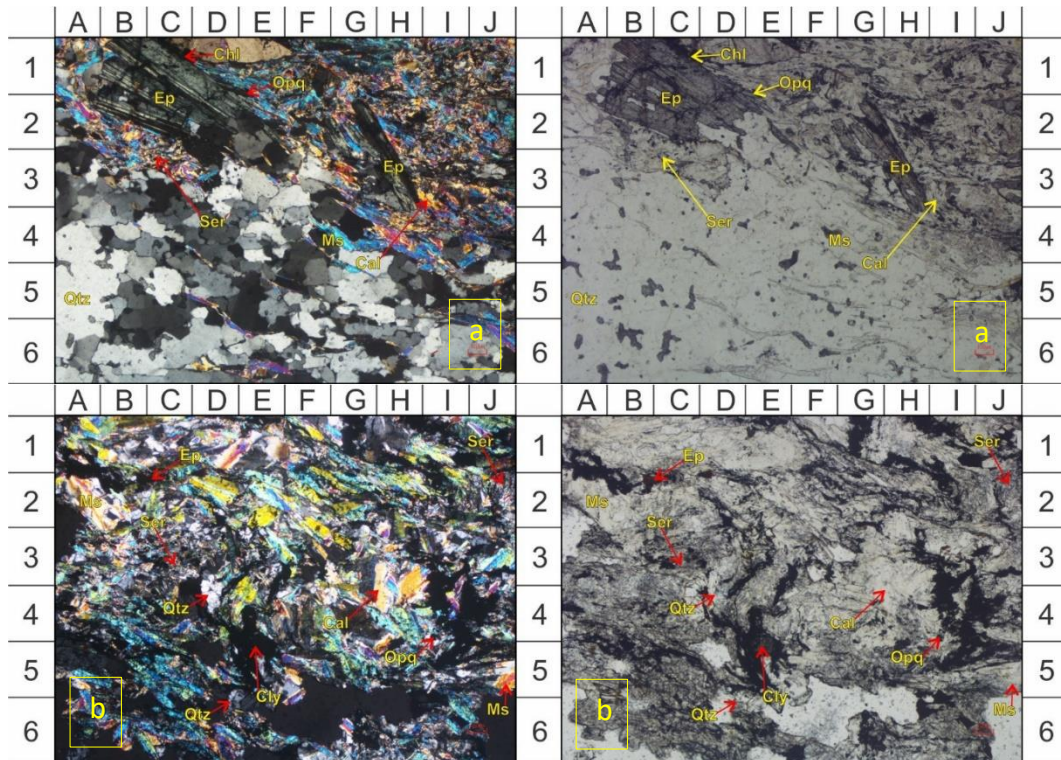
Alterasi propilitik ditandai dengan adanya penambahan H<sub>2</sub>O dan CO<sub>2</sub> tanpa proses metasomatisme yang besar. Kondisi pH fluida pembentuk alterasi propilitik berkisar antara 5-6. Alterasi propilitik cenderung dekat dengan sistem hidrothermal atau dekat dengan sumber fluida [11]. Pada daerah penelitian alterasi propilitik dijumpai di batuan Sekis Muskovit-Kuarsa (Gambar 4).



**Gambar 4.** Kenampakan singkapan batuan metamorf Sekis Muskovit-Kuarsa di stasiun AGK 03 daerah Penelitian.



Tipe alterasi argilik dijumpai pada sampel AGK 09 dan AGK 12. Mineral penciri alterasi argilik berupa mineral epidote, kalsit dan kuarsa sekunder dengan mineral aksesoris berupa mineral serisit. Selain mineral kalsit dan lempung juga dijumpai mineral sulfida berupa Kalkopirit dan Sferit. Mineral lempung pada alterasi argilik menggantikan mineral plagioklas, muskovit dan biotit (Gambar 5).



**Gambar 5.** Fotomikrograf sayatan batuan AGK 09 (a) dan sayatan batuan AGK 12 (b) yang memperlihatkan kehadiran mineral-mineral penciri alterasi argilik berupa mineral kalsit (Ca), mineral lempung (Cly), kuarsa (Qtz) dan klorit (Chl).

Mineral kalsit pada tipe alterasi argilik terbentuk disuhu 214-245<sup>0</sup> dan mineral lempung terbentuk pada suhu 214-292<sup>0</sup>. Sedangkan mineral sulfide berupa kalkopirit terbentuk pada suhu 255-393<sup>0</sup>. Alterasi argilik terbentuk akibat proses metasomatisme unsur H<sup>+</sup> dengan suhu antara 100-300<sup>0</sup>C dengan pelindihan unsur-unsur alkali [11]. Kondisi pH fluida pembentuk alterasi argilik berkisar antara 5-6 [2]. Pada daerah penelitian tipe alterasi ini dijumpai pada batuan Sekis Kuarsa-Muskovit (Gambar 6).

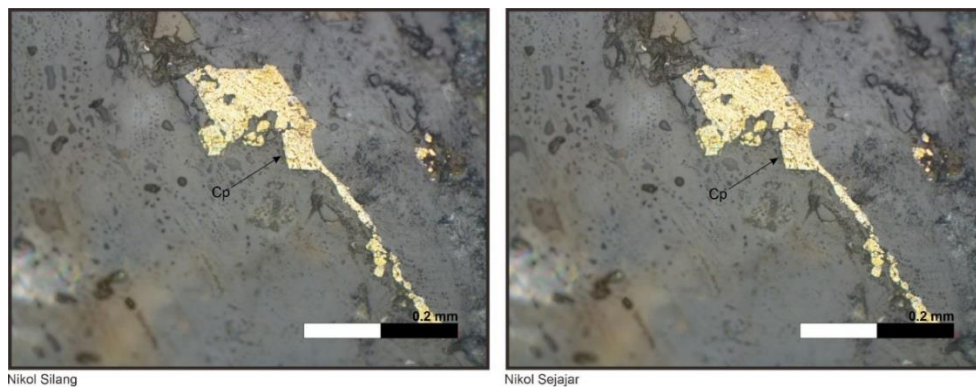


**Gambar 6.** Kenampakan singkapan batuan metamorf Sekis Kuarsa-Muskovit di stasiun AGK 12 daerah penelitian.

### c. Mineralisasi

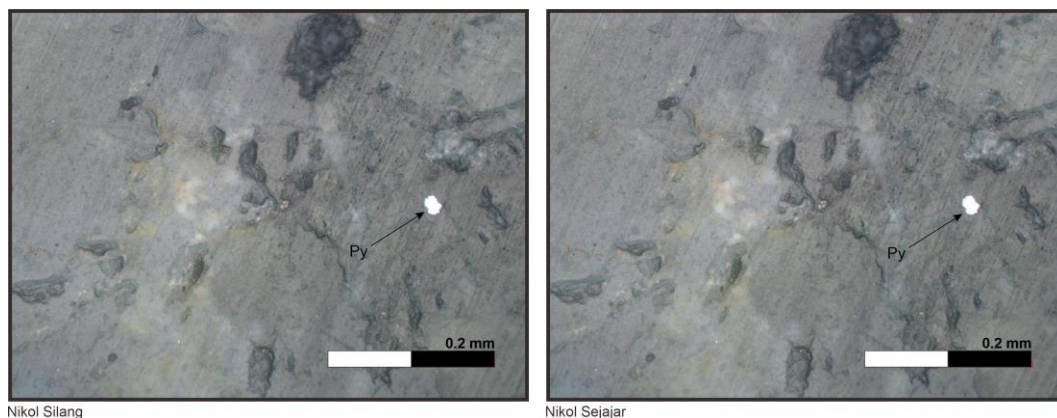
Analisis mineragrafi pada enam sampel yang mengalami mineralisasi. Analisis ini dilakukan untuk mengidentifikasi mineral bijih yang terdapat pada daerah penelitian. Secara mikroskopis mineral bijih yang dijumpai yaitu pirit, kalkopirit, spalerit.

Kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ), Sayatan poles ini merupakan batuan metamorf berupa batuan sekis, mineral ini dijumpai berbutir halus,  $>0,1$  mm, berwarna kuning terang, berbentuk subhedral sampai anhedral, tidak dijumpai pleokroisme, anisotropik. Kenampakan pada sayatan poles ini memperlihatkan kehadiran mineral kalkopirit. Mineral bijih yang dijumpai (5%) dalam bentuk *disseminated* dalam batuan (Gambar 7).



**Gambar 7.** Fotomikrograf sayatan poles yang memperlihatkan kehadiran mineral kalkopirit (Cp)

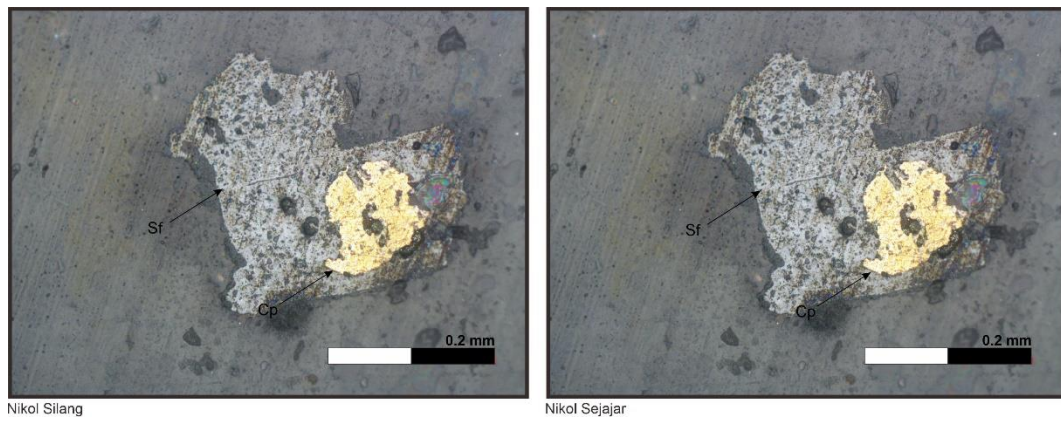
Pirit ( $\text{FeS}_2$ ), sayatan poles ini merupakan batuan metamorf berupa batuan gneiss, kenampakan pada sayatan poles ini memperlihatkan warna kuning pucat, bentuk subhedral-euhedral, tidak dijumpai pleokroisme, isotropik, ukuran mineral  $>0,1$  mm, mineral bijih yang dijumpai (1%) dalam bentuk *disseminated* dalam batuan (Gambar 8).



**Gambar 8.** Fotomikrograf sayatan poles yang memperlihatkan kehadiran mineral pirit (Py)

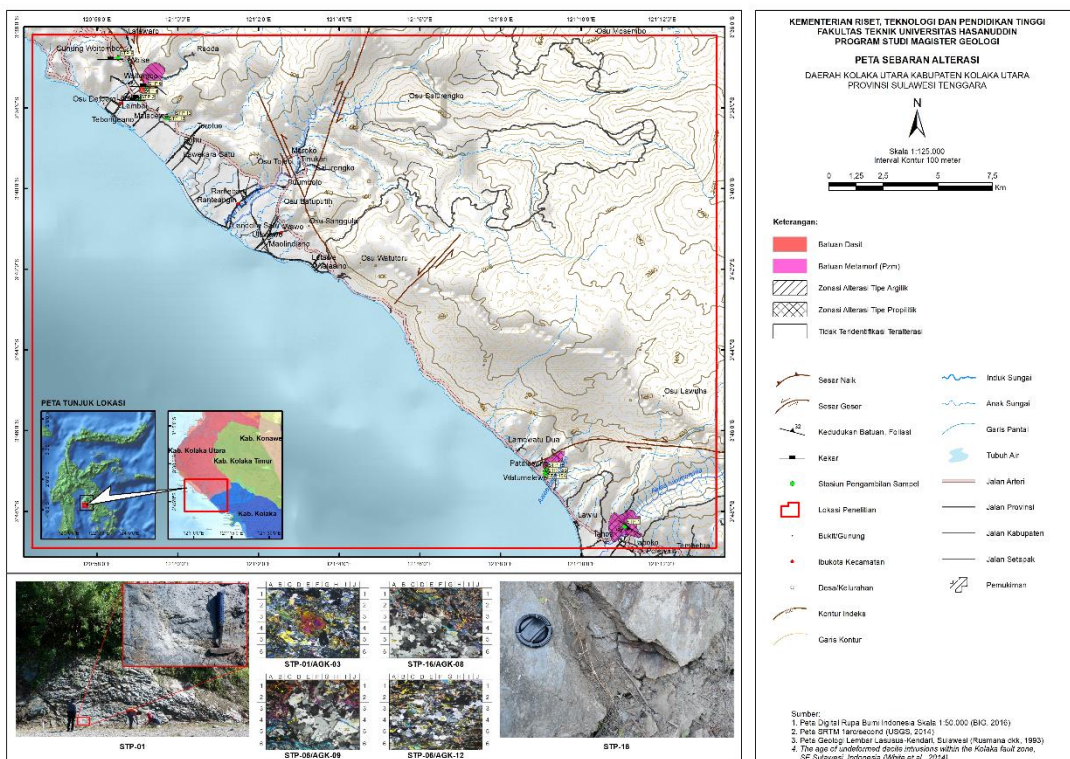
Sfalerit ( $\text{Zn,FeS}$ ), berwarna abu-abu, isotropik, ukuran butir (0,02-0,8) mm, bentuk subhedral-anhedral, berikatan dengan mineral bijih yang lain (pirit), sebagian mengelompok (berbutir kasar, anhedral, 0,5-0,8 mm) dan sebagian menyebar (berbutir halus, subhedral, 0,02-0,06 mm). Mineral sfalerit hadir menggantikan mineral kalkopirit. Mineral bijih yang dijumpai dalam bentuk *disseminated* dalam batuan (Gambar 9).





**Gambar 9.** Fotomikrograf sayatan poles yang memperlihatkan kehadiran mineral pyrit (Py)

Mineralisasi di daerah Kolaka Utara terbentuk dalam satu tipe, yaitu tipe tersebar (*disseminated*), dimana mineral bijih sulfida tersebar dalam pada host rock yang mengalami alterasi. Mineral-mineral bijih hipogen yang teridentifikasi secara mikroskopis adalah kalkopirit dan pirit. Mineral supergen juga teramati berupa sfalerit. Tahap pembentukan mineral hipogen ditandai dengan kehadiran mineral kalkopirit dan pirit terbentuk pada kisaran temperatur 214-292<sup>0</sup>C [12]. Tahap Supergen ditandai dengan pembentukan sfalerit dan oksida besi berupa mineral goetit. Sfalerit diperkirakan terbentuk pada suhu 150-230<sup>0</sup>C [13].

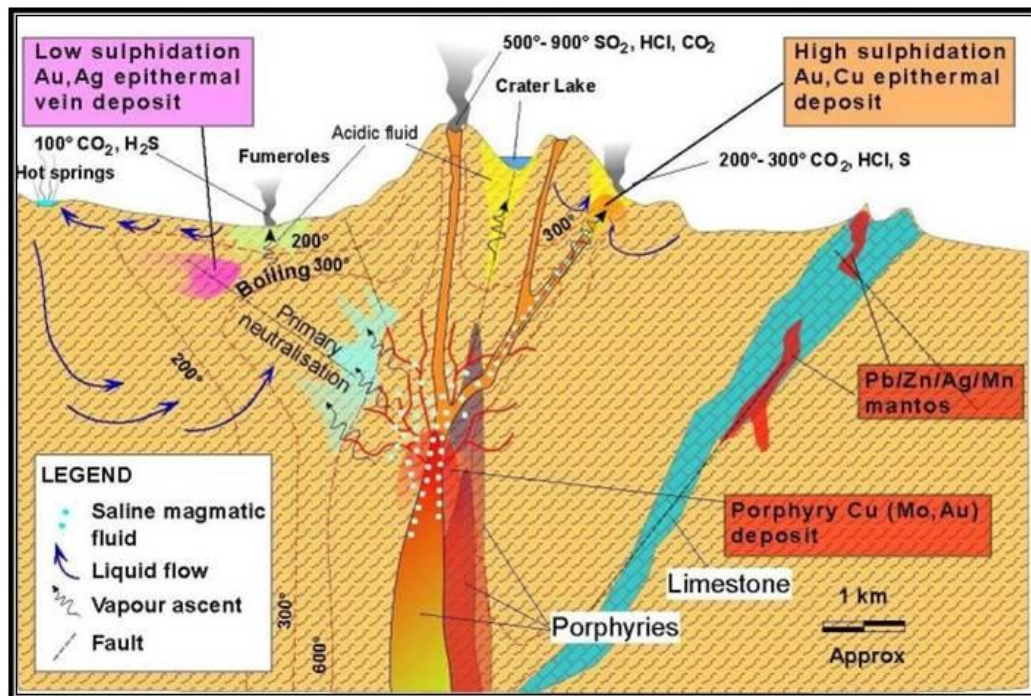


**Gambar 10.** Peta Sebaran Alterasi daerah penelitian

**d. Tipe Endapan**

Himpunan mineral alterasi hidrotermal dan mineral bijih sulfida yang terbentuk memberikan informasi penting tentang lingkungan pembentukan endapan mineral bijih. Berdasarkan keberadaan mineral alterasi, temperatur dan pH fluida hidrotermal ditafsirkan tipe endapan mineral bijih yang dijumpai daerah Kolaka Utara adalah tipe epithermal. Berdasarkan suhu pembentukan endapan yang 150-300<sup>0</sup>C serta fluida hidrotermal ber-pH hampir netral dapat diklasifikasikan sebagai tipe epitermal sulfida rendah.





Gambar 11. Model geologi endapan epitermal sulfidasi rendah [14].

#### 4. Kesimpulan

Alterasi dan mineralisasi yang terjadi di daerah Kolaka Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara dapat disimpulkan seperti berikut:

Tipe alterasi yang berkembang di daerah penelitian yaitu tipe alterasi Propilitik dan Argilik. Mineral penciri alterasi propilitik yang dijumpai pada daerah penelitian yaitu berupa mineral klorit, epidote dan mineral karbonat berupa kalsit (Klorit-Kalsit-Kuarsa). Sedangkan mineral penciri alterasi argilik yaitu berupa mineral kalsit dan mineral lempung dengan mineral aksesoris berupa mineral muskovit. Tahap pembentukan mineral alterasi dimulai dari tahap isokimia, tahap metasomatisme dan tahap retrograde. Sedangkan mineralisasi di daerah Kolaka Utara terbentuk dalam satu tipe, yaitu tipe tersebar (*disseminated*), dimana mineral bijih sulfida tersebar dalam pada host rock yang mengalami alterasi. Mineral-mineral bijih hipogen yang teridentifikasi secara mikroskopis adalah kalkopirit dan pirit. Mineral supergen juga teramati berupa sfalerit. Berdasarkan keberadaan mineral alterasi, temperatur dan pH fluida hidrotermal ditafsirkan tipe endapan mineral bijih yang dijumpai daerah Kolaka Utara adalah tipe epithermal sulfidasi rendah.

#### 5. Referensi

- [1] Pirajno, F. "Hydrothermal Mineral Deposits: Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist". Afrika Selatan: Springer-Verlag, 1992.
- [2] Corbett, G. J. & Leach, T. M. "Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems Australia, Society of Economic Geologists". <https://doi.org/10.5382/SP.06>, 1998.
- [3] Qodri, R. R., & Putra, A. "Studi alterasi hidrotermal dan mineralisasi batuan di sekitar mata air panas Garara Bukit Kili, Kabupaten Solok, Sumatera Barat". *Jurnal Fisika Unand*, 7(3), 246-252. 2018.
- [4] Rusmana, E. Sukido, D. Sukarna, E. Haryono dan T.O. Simandjuntak, "memetakan geologi lembar Lasusua – Kendari". 1984.
- [5] White, L.T., Hall, R., Armstrong, R.A., "The age of undeformed dacite intrusions within the Kolaka fault zone, SE Sulawesi, Indonesia". *Journal of Asian Earth Sciences*. 2014.
- [6] Mawaleda, M., Suparka, E., Abdullah, C.I., Basuki, N.I., Jamal, Kaharuddin & Forster M. A. "Hydrothermal alteration and timing of gold mineralisation in the Rumbia Complex, Southeast Arm of Sulawesi, Indonesia", *Proceeding of 2nd International Conference of Transdisciplinary Research on Environmental Problems in Southeast Asia (TREPSEA)* 2016.

- [7] Surono, “Geologi Lengan Tenggara Sulawesi”, Pusat Survei Geologi Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dan LIPI Press, Menteng, Jakarta. 2013
- [8] Travis, R.B, “*Classification of Rocks*”, The Colorado School of Mines, Golden Colorado, USA, p. 1 – 12. 1955.
- [9] Schmid, R., Fettes, D., Harte, B., Davis, E., Desmons, J., “*IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks*”. Cambridge University Press. United Kingdom. 2007.
- [10] Thompson, A.J.B. dan Thompson, JF.H., “*Atlas of Alteration. A Field and Petrographic Guide to Hydrothermal Alteration Minerals*”. Geological Association of Canada, Canada. 1996.
- [11] Pirajno, F. “*Hydrothermal Processes and Mineral System*”, Springer–Verlag Berlin Heidelberg, Germany. 2009.
- [12] Rahmaningrum, A. Nurul Novia, and Asrafil Asrafil. "ALTERASI DAN MINERALISASI BIJIH PADA BATUAN DIORIT DI DAERAH WOMBO, SULAWESI TENGAH." *Jurnal Geofisika Eksplorasi* 7.2 (2021): 138-149.
- [13] Idrus, Arifudin, and Wahyu Hermansyah. "KARAKTERISTIK MINERALISASI BIJIH EMAS PADA PROSPEK HARGOSARI, KECAMATAN TIRTOMOYO, KABUPATEN WONOGIRI, PROVINSI JAWA TENGAH." *KURVATEK* 6.1 (2021): 31-40.
- [14] Hedenquist, J.W., Arribas, A. R., dan Urien E. G. “*Exploration for Epithermal Gold Deposits*”. *Economic Geology*. Vol. 13 p. 245-227. 2000.