

ALTERASI DAN MINERALISASI BIJIH PADA BATUAN DIORIT DI DAERAH WOMBO, SULAWESI TENGAH

ALTERATION AND ORE MINERALIZATION IN DIORITE AT WOMBO AREA, CENTRAL SULAWESI

A. Nurul Novia Rahmaningrum¹, Asrafil, A^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako; Palu Sulawesi Tengah

Received: 2021, May 5th
Accepted: 2021, July 12th

Keyword:
Alteration;
Chalcopyrite;
Covelite;
Ore Mineralization;
Pyrite.

Correspondent Email:
asrafil@untad.ac.id

How to cite this article:

Rahmaningrum, A.N.N. & A.,
Asrafil. (2021). Alterasi dan
Mineralisasi Bijih Pada
Batuan Diorit di Daerah
Wombo, Sulawesi Tengah.
Jurnal Geofisika Eksplorasi,
7(2), 138-149.

Abstrak. Daerah Wombo Kecamatan Tanantovea Kabupaten Donggala Provinsi Sulawesi Tengah merupakan salah satu daerah yang diduga mempunyai potensi mineralisasi bijih. Hal ini diindikasikan dengan adanya kenampakan permukaan berupa batuan diorit yang telah mengalami alterasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik alterasi hidrotermal dan mineralisasi bijih dengan metode penelitian lapangan dan analisis laboratorium berupa petrografi, XRD dan mineragrafi. Berdasarkan analisis petrografi dan XRD, alterasi hidrotermal dicirikan oleh alterasi propilitik (klorit-zeolit-kalsit) dan alterasi argilik (illit-kuarsa-kalsit). Berdasarkan analisis mineragrafi, mineralisasi bijih di daerah penelitian dicirikan oleh kehadiran pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2) dan kovelit (CuS). Hasil interpretasi menunjukkan bahwa urutan pembentukan mineral bijih berdasarkan pengamatan tekstur yaitu diawali dengan pirit yang hadir mengisi rekahan-rekahan pada batuan, kalkopirit *intergrowth* dengan pirit yang menandakan kalkopirit hadir bersamaan dengan pirit, *replacement* kovelit terhadap kalkopirit dan pirit menunjukkan kehadiran kovelit setelah pirit dan kalkopirit.

Abstract. Wombo area, Tanantovea District, Donggala Regency, Central Sulawesi Province is one of the areas suspected have ore mineralization indication. It is characterized by the surface appearance of altered diorite rocks. This research aims to identify the characteristics of hydrothermal alteration and ore mineralization by using integrated methods which are field research and laboratory work including petrography, XRD and mineragraphy. Based on petrographic and XRD analysis, the hydrothermal alteration is characterized by propylitic alteration (chlorite-zeolite-calcite) and argillic alteration (illite-quartz-calcite). According to mineragraphy analysis, mineralization in the study area is characterized by the presence of pyrite (FeS_2), chalcopyrite (CuFeS_2) and covelite (CuS). The interpretation results show that paragenesis of ore mineral based on

1. PENDAHULUAN

Pulau Sulawesi memiliki kondisi geologi yang kompleks, membuat daerah ini kaya akan sumberdaya geologi termasuk mineral logam (Idrus dkk., 2011; Leeuwen & Pieters, 2012; Maulana dkk., 2020). Pulau ini seakan dirobek oleh berbagi sesar seperti; sesar Palu-Koro, sesar Poso, sesar Matano, sesar Walanopo, sesar Walanae, sesar Gorontalo, sesar batui, sesar Tolo, sesar Makassar dan lain-lain (Bachri & Sidarto, 2013).

Wombo sebagai daerah studi dalam penelitian ini merupakan salah satu daerah yang dilewati oleh sesar aktif Palu-Koro. Adanya sesar Palu-Koro yang aktif berperan penting dalam pembentukan sesar-sesar *minor* di sekitarnya yang kemudian menjadi jalur mobilitas fluida hidrotermal menuju ke permukaan dan menjadi tempat terbentuknya mineralisasi (Leeuwen & Pieters, 2012). Hasil pengukuran orientasi *vein* baik dipermukaan maupun di bawah permukaan untuk wilayah sekitar sesar Palu-Koro, umunya diperoleh arah *vein* yang sejajar dengan pola tegangan regional sesar Palu-Koro (Leeuwen & Pieters, 2012; Marliani, M, dan Asrafil, 2021; Wajdi et al., 2011).

Indikasi mineralisasi di daerah studi ditandai oleh adanya kenampakan alterasi di permukaan pada batuan diorit. Berdasarkan latar belakang kondisi tersebut, dilakukanlah studi terkait karakteristik mineralisasi pada batuan diorit di daerah Wombo. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteritik alterasi hidrotermal dan keterdapatan mineral bijih dalam rangka mengungkap mineralisasi yang terjadi pada batuan diorit di daerah Wombo.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Alterasi Hidrotermal

Alterasi hidrotermal merupakan proses yang kompleks meliputi perubahan secara mineralogi, kimia dan tekstur yang dihasilkan dari interaksi larutan hidrotermal dengan batuan yang dilaluinya pada kondisi kimia-fisika tertentu. Proses alterasi akan menyebabkan terubahnya mineral primer menjadi mineral sekunder yang kemudian disebut dengan mineral yang teralterasi (Pirajno, 2009). Hal yang sangat penting dalam mengenali endapan bijih terutama endapan magmatik dan hidrotermal adalah kehadiran kumpulan mineral tertentu pada batuan yang dilalui oleh larutan hidrotermal sebagai respons akibat adanya reaksi antara larutan hidrotermal dengan batuan sampling. Kumpulan mineral tersebut hadir dalam bentuk zona dan antara zona yang satu dengan yang lainnya dibatasi dengan adanya kehadiran mineral-mineral khas (Maulana, 2017).

Klasifikasi tipe alterasi hidrotermal berdasarkan kumpulan mineralnya, menurut Corbett dan Leach (1998) sebagai berikut.

1. Tipe Argilik lanjut

Dicirikan dengan mineral kunci mineral silika, alunit dan kaolinit. Pada temperatur tinggi dikit dan pirofilit terbentuk pada pH rendah (≤ 4).

2. Tipe Argilik (argilik intermedit)

Dicirikan dengan mineral kunci smektit, montmorillonit, illit-smektit dan kaolinit. Tipe alterasi jenis ini terbentuk pada temperatur rendah, berikisar 100 hingga 250°C dan umumnya mempunyai pH rendah (sekitar 4-5).

3. Tipe Filik

Alterasi jenis ini ditandai dengan kehadiran mineral serisit atau muskovit, pirofilit, andalusit serisit/muskovit. terbentuk pada temperatur ($>200-250^{\circ}\text{C}$). Tipe ini memiliki pH yang sama dengan tipe argilik.

4. Tipe Propilitik

Alterasi ini ditandai oleh kehadiran mineral epidot dan/atau klorit, albit sekunder dan/atau K-feldspar. Terbentuk pada temperatur relatif rendah ($200-300^{\circ}\text{C}$), pH netral-basa. Dominasi kumpulan mineral alterasi berupa zeolit tergantikan oleh epidot yang dikenal sebagai tipe subpropilitik.

5. Tipe Potasik

Alterasi potasik ditandai dengan kehadiran mineral biotit dan/atau K-feldspar \pm magnetit \pm aktinolit \pm klinopiroksin. Alterasi ini terbentuk pada temperatur yang tinggi, dalam kondisi pH netral-basa.

2.2. Tekstur Mineral Bijih

Pengertian tekstur adalah suatu bentuk yang memperlihatkan hubungan antara mineral yang satu terhadap mineral lainnya, hubungan antara mineral inklusi terhadap *host mineral*, dan hubungan antara mineral-mineral terhadap massa dasarnya (Magdalena, 2010).

2.2.1. Tekstur Pengisian (*Open Space Filling*)

Tekstur pengisian umumnya terbentuk pada batuan yang pecah, pada daerah yang umumnya memiliki tekanan yang relatif rendah, sehingga rekahan atau kekar cenderung bertahan (Hartusuwarno, 2005).

2.2.2. Tekstur Penggantian (*Replacement*)

Tekstur penggantian adalah tekstur yang menunjukkan penggantian sebagian mineral atau seluruhnya oleh mineral lain tanpa adanya perubahan volume (Ramdohr, 1969).

2.2.3. Tekstur Tumbuh Bersama (*Intergrowth*)

Menurut Ramdohr (1969), tekstur *intergrowth* terbentuk oleh perubahan temperatur yang tinggi serta dipengaruhi jenis

mineral yang menyebabkan terjadinya penyimpangan struktur kristalografi sehingga susunannya tidak beraturan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan melalui pendekatan studi lapangan dan analisis laboratorium. Studi lapangan meliputi pengambilan data lapangan yang terdiri dari pengamatan kondisi geologi, alterasi dan pengambilan sampel batuan. Setelah pengumpulan data lapangan selesai, sampel yang telah dipilih kemudian dipreparasi untuk kemudian dianalisis di laboratorium.

Analisis laboratorium meliputi analisis petrografi, mineragrafi dan XRD (*X-Ray Diffraction*). Analisis laboratorium yang dilaksanakan, diuraikan sebagai berikut.

3.1. Analisis Petrografi

Analisis petrografi menggunakan mikroskop polarisasi. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi tekstur, mineral penyusun batuan, dan indikasi kehadiran mineral alterasi serta penamaan batuan pada daerah penelitian. Analisis ini dilakukan pada tiga sampel batuan di lokasi penelitian.

3.2. Analisis Mineragrafi

Analisis mineragrafi menggunakan mikroskop bijih dilakukan terhadap empat sampel batuan yang dipreparasi dalam bentuk sayatan poles. Analisis ini bertujuan untuk menentukan jenis mineral bijih, deskripsi tekstur yang nantinya dapat membantu untuk interpretasi paragenesanya.

3.3. Analisis XRD (*X-Ray Diffraction*)

Analisis kimia batuan menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral yang tidak dapat dideterminasi secara megaskopis dan mikroskopis. Analisis XRD dilakukan terhadap tiga sampel batuan teralterasi dari lokasi studi untuk mengidentifikasi kehadiran mineral

alterasi yang menjadi kunci dalam penentuan tipe alterasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Alterasi Hidrotermal

Mineral alterasi hidrotermal di daerah penelitian yang diperoleh dari analisis XRD pada tiga sampel batuan representatif yang menunjukkan kehadiran mineral-mineral ubahan (teralterasi) (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil Analisis XRD Sampel Batuan Teralterasi

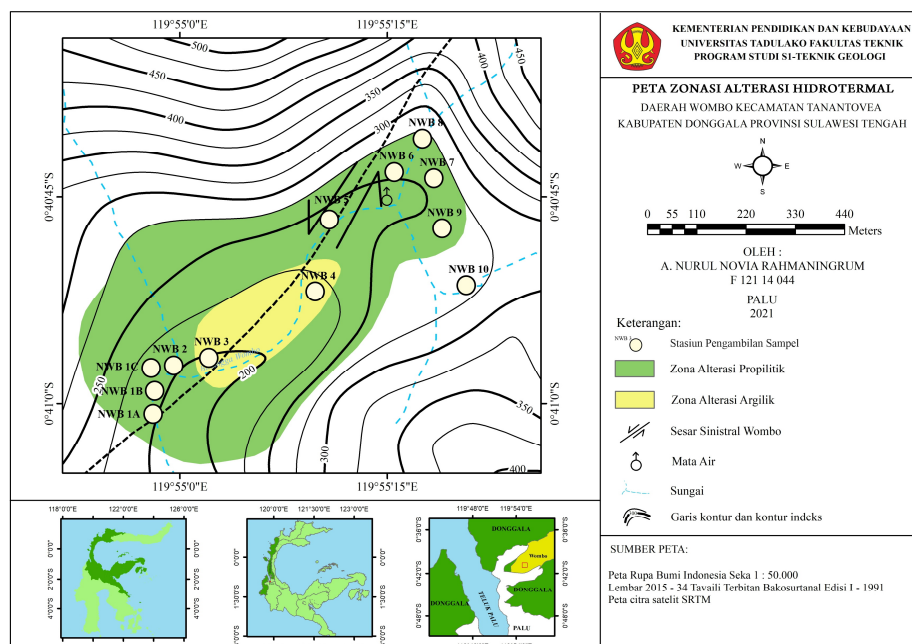
Sampel	Mineral	Tipe
NWB 1B	Kuarsa, Muskovit, Klorit, Sodalit,	Propilitik
NWB 7	Rutil, Lepidolit Kalsit,	Propilitik
NWB 3	Klinoklorit, Kuarsa, Leumontit (grup Zeolit), Albit Kuarsa, Illit, Kalsit, Magnetite, Montmorilonit	Argilik

Alterasi hidrotermal yang tersingkap pada daerah penelitian seluas 32% dari luas keseluruhan daerah penelitian, sedangkan 68% dari luas keseluruhan daerah penelitian merupakan daerah yang tidak mengalami alterasi (Gambar 1). Kumpulan mineral hasil analisis XRD menunjukkan bahwa alterasi hidrotermal pada daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi dua tipe alterasi hidrotermal (Gambar 2) dengan mengacu pada klasifikasi Corbett dan Leach (1998), yaitu:

1. Alterasi Propilitik (klorit-zeolit-kalsit)
2. Alterasi Argilik (ilit-kuarsa-kalsit)

4.1.1. Alterasi Propilitik

Tipe alterasi ini hadir paling luas pada batuan yang ada yakni sekitar 31% dari luas keseluruhan daerah penelitian. Alterasi propilitik terbentuk oleh campuran dan evolusi fluida pada sistem hidrotermal antara fluida juvenil dan meteorik (Ruppel dkk., 2018). Pada singkapan di lapangan, tipe alterasi ini dicirikan dengan warna batuan abu-abu kehijauan dan berwarna kecoklatan pada kondisi lapuk.

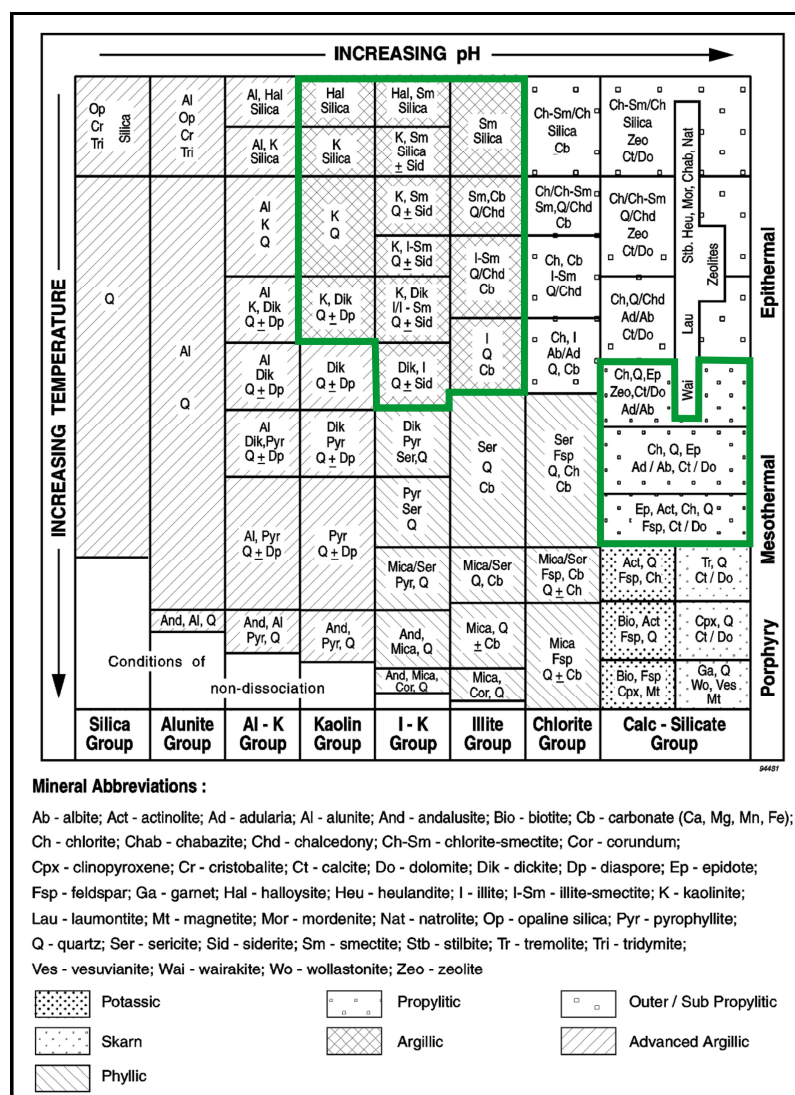


Gambar 1. Peta Zonasi Alterasi Hidrotermal

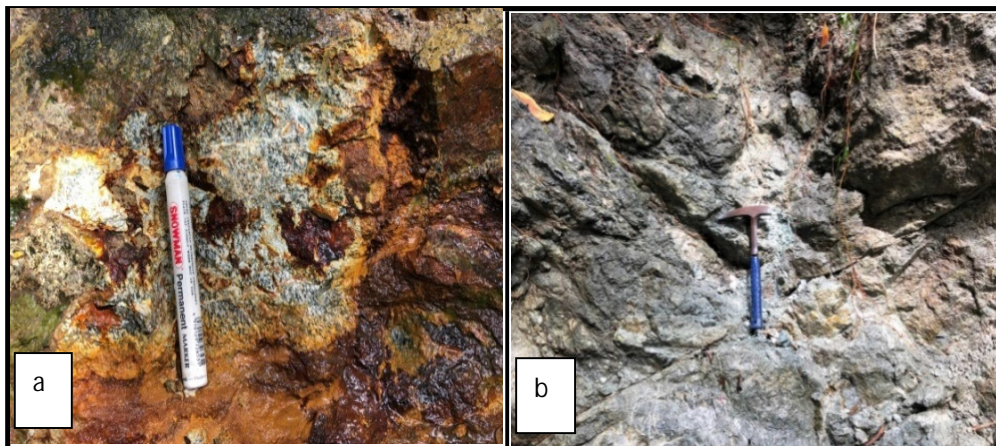
Warna hijau tersebut disebabkan kehadiran mineral ubahan klorit (Gambar 3). Mineral ubahan lain yang hadir adalah zeolit, karbonat, kuarsa, adularia, albit dan mineral lempung.

Berdasarkan pengamatan petrografi, klorit hadir berserabut dan sebagai agregat halus, berukuran 0.5-2.5 mm. Klorit merupakan ubahan mineral yang mengandung Mg/Fe seperti plagioklas dan biotit, hal ini ditunjukkan oleh bentuk awal dari mineral plagioklas (Gambar 4a) dan mineral biotit

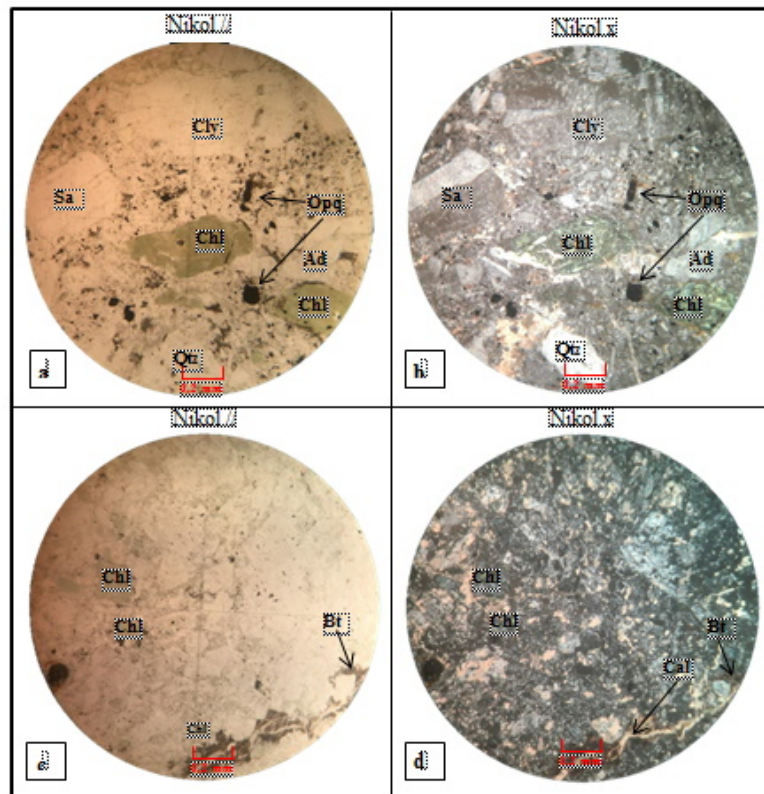
(Gambar 4c) terlihat jelas mineral plagioklas dan biotit tersebut telah mengalami alterasi menjadi klorit. Mineral klorit ini terbentuk karena reaksi antara mineral plagioklas maupun biotit dengan larutan hidrotermal. Kalsit hadir sebagai urat. Kalsit merupakan mineral alterasi dari mineral yang mengandung unsur Ca. Adapun mineral lempung merupakan hasil alterasi dari mineral-mineral feldspar.



Gambar 2. Himpunan mineral ubahan pada sistem hidrotermal (Corbett & Leach, 1998). Tipe alterasi argilik dan propilitik yang dijumpai pada daerah penelitian (garis hijau).



Gambar 3. Kenampakan singkapan batuan yang mengalami alterasi propilitik pada stasiun 01 (a) dan stasiun 07 (b).



Gambar 4. Sayatan petrografi sampel batuan NWB 1C dari stasiun 01. Pada kenampakan nikol sejajar (a) dan nikol silang (b) yang tersusun atas mineral klorit (Chl), kuarsa (Qtz), adularia (Ad), sanidin (Sa), mineral lempung (Cly) dan mineral opak (Opq). Sayatan petrografi sampel batuan pada stasiun 08. Kenampakan nikol sejajar (c) dan nikol silang (d) yang tersusun atas mineral klorit (Chl), biotit (Bt) dan urat kalsit (Cal).

Dari hasil analisis XRD (*X-ray Diffraction*), dijumpai mineral klorit (Gambar 5), mineral

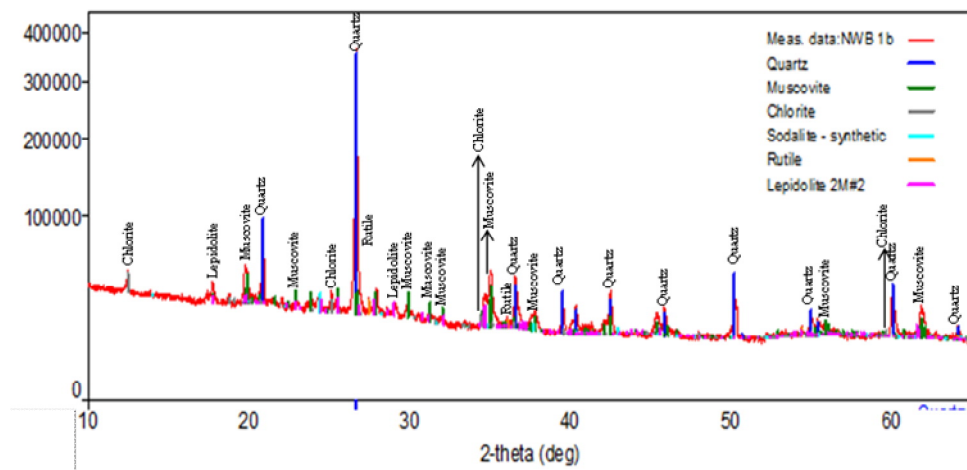
albit, mineral laumontit yang termasuk dalam grup zeolit (Gambar 6). Mineral laumontit

terbentuk pada pH netral dengan temperatur berkisar 150-200°C (Corbett & Leach, 1998). Kestabilan temperatur dan tekanan yang dimiliki zeolit membuat mineral ini memiliki peranan yang sangat penting pada endapan epitermal (Pirajno, 2009).

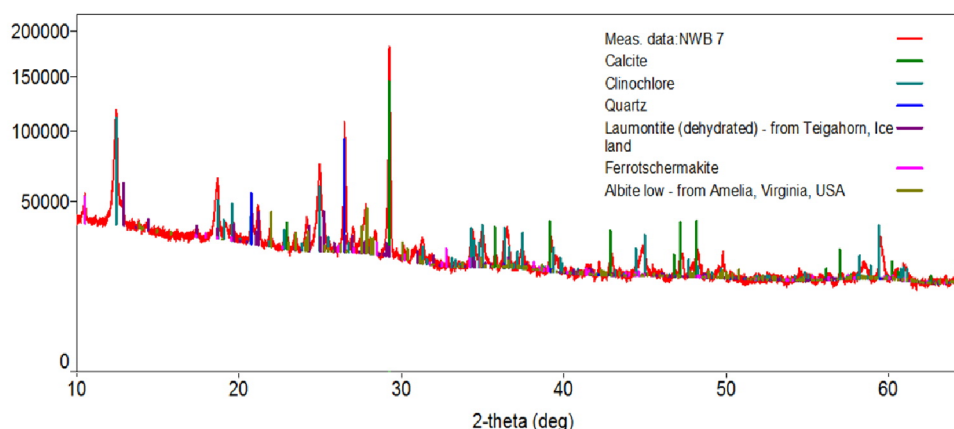
Berdasarkan kumpulan mineral alterasi yang didominasi oleh mineral klorit, zeolit, kalsit, adularia dan mineral lempung maka kumpulan mineral alterasi ini dapat dimasukkan dalam jenis alterasi propilitik sesuai dengan klasifikasi dari Corbett dan Leach (1998). Berdasarkan kehadiran kumpulan mineral alterasi menurut pH fluida hidrotermal menunjukkan indikasi alterasi fluida yang mendekati pH Normal pada suhu relatif 200 hingga 300°C (Corbett & Leach,

1998; Pirajno, 2009; White & Hedenquist, 1995; Winter, 2014). Hal yang sama ditemukan di area sebelah selatan lokasi studi (Poboya), dimana kumpulan mineral pada alterasi propilitik dalam sebagai produk dari interaksi batuan dan fluida hidrotermal yang hampir netral dan asam (Syafrizal dkk., 2017).

Beberapa bagian alterasi propilitik kemungkinan juga telah terbentuk sebelum pengendapan bijih dan mungkin secara genetika tidak berhubungan dengan proses hidrotermal pembentuk bijih (Evans, 2009). Hal ini menjadi alasan mengapa pada zona alterasi propilitik yang ditemui umumnya mempertahankan beberapa tekstur utama dari batuan induk (Zar dkk., 2018).



Gambar 5. Grafik hasil analisis XRD sampel NWB 1B.



Gambar 6. Grafik hasil analisis XRD sampel NWB 7.

4.1.2. Alterasi Argilik

Alterasi argilik dijumpai tersingkap di daerah penelitian dengan luasan yang sangat kecil, hanya sekitar 1% dari luas keseluruhan daerah penelitian. Singkapan di lapangan menunjukkan kenampakan dengan warna batuan abu-abu keputih-putihan dan cenderung lunak (Gambar 7). Mineral alterasi yang dapat diidentifikasi secara petrografi adalah mineral lempung, kuarsa dan karbonat. Sedangkan untuk jenis mineral lempung yang muncul berdasarkan analisis XRD (*X-ray Diffraction*) adalah ilit dan montmorilonit (Gambar 8).

Berdasarkan pengamatan petrografi (Gambar 9), tekstur dari batuan asal sudah tidak dapat dilihat lagi pada zona ini dan mineral-mineral primer juga sudah sepenuhnya tergantikan oleh kuarsa dan mineral lempung. Mineral lempung hadir sebagai hasil ubahan dari massa dasar, kuarsa hadir mengisi rongga-rongga batuan yang menggantikan fenokris dan massa dasar. Kuarsa terbentuk dari penurunan temperatur larutan hidrotermal yang cepat. Kalsit hadir sebagai urat, terbentuk dari proses pendidihan fluida yang memiliki unsur CO_2 yang cukup

tinggi (Corbett & Leach, 1998). Berdasarkan dominasi kumpulan mineral alterasi oleh mineral lempung, kuarsa dan karbonat maka dikelompokkan ke dalam jenis alterasi argilik sesuai dengan klasifikasi dari Corbett dan Leach (1998). Alterasi argilik ini terbentuk pada suhu rendah berkisar 100 hingga 250°C dan secara umum mempunyai pH rendah (sekitar 4-5) (Corbett & Leach, 1998).

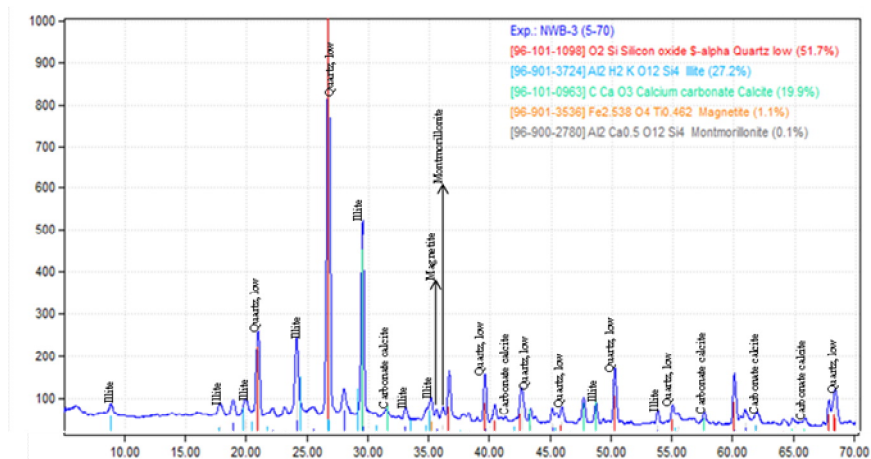
4.2. Mineralisasi Bijih

Pengamatan mineral bijih dilakukan terhadap empat sampel batuan yang diduga sebagai batuan pembawa mineral bijih dengan analisis mikroskopis bijih (mineragrafi). Umumnya mineralisasi bijih yang dijumpai di daerah penelitian merupakan mineral-mineral sulfida, antara lain: pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2) dan kovelit (CuS).

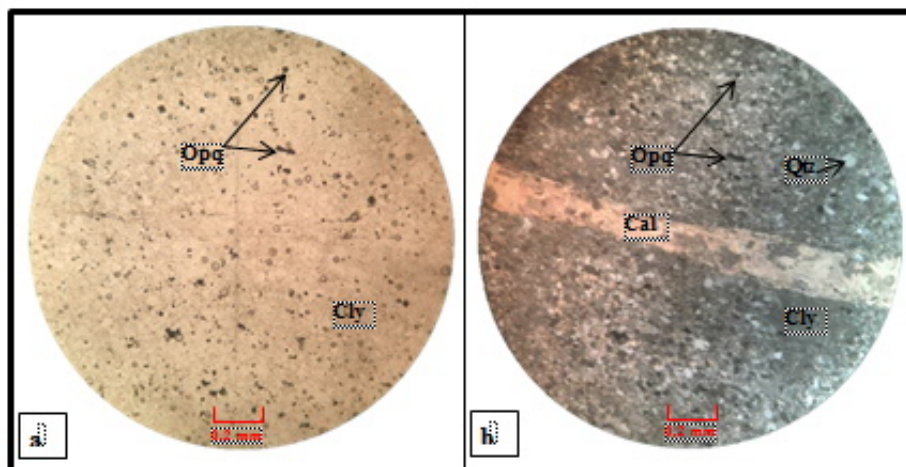
Mineralisasi yang terdapat di daerah penelitian dijumpai dalam bentuk menyebar (*disseminated*) pada batuan dan urat kuarsa-kalsit. Urat kuarsa dan kalsit hadir dengan tekstur berlapis (*crustiform banding*) (Gambar 10). Tekstur mineral bijih yang diperoleh dari daerah penelitian terdiri dari tekstur pengisian (*open space filling*), tekstur *intergrowth* dan tekstur penggantian (*replacement*).



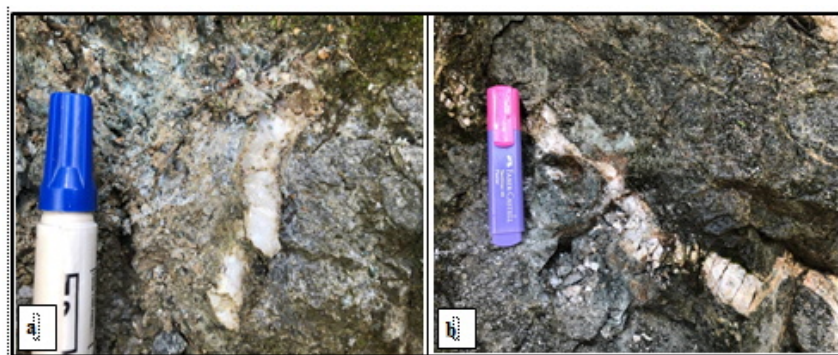
Gambar 7. Kenampakan singkapan batuan yang mengalami alterasi argilik pada stasiun 03.



Gambar 8. Grafik XRD NWB 3



Gambar 9. Sayatan petrografi sampel batuan dari stasiun 03. Pada kenampakan nikol sejajar (a) dan nikol silang (b) yang tersusun atas mineral lempung (Clt), urat kalsit (Cal), mineral kuarsa (Qtz) dan mineral opak (Opq).

Gambar 10. Urat kalsit (a) dan urat kuarsa (b) dengan tekstur *crustiform*.

4.2.1. Jenis Mineral Bijih

Berdasarkan analisis mikroskopis bijih (mineragrafi) pada empat sampel batuan, jenis mineral bijih yang dijumpai di daerah penelitian merupakan mineral-mineral golongan sulfida, antara lain: pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2) dan kovelit (CuS).

Pirit pada kenampakan mikroskopis secara umum berwarna putih kekuningan dengan bentuk subhedral-anhedral. Mempunyai ukuran yang bervariasi yaitu 0.01-0.7 mm, tidak dijumpai adanya pleokroisme dan bersifat isotropik. Semua sampel batuan yang dianalisis dijumpai mineral pirit dalam bentuk *disseminated* mengisi rekahan-rekahan pada batuan (Gambar 11).

Kalkopirit pada kenampakan mikroskopis berwarna kuning dengan bentuk *subhedral-anhedral*. Mempunyai ukuran <0.01 mm, tidak dijumpai adanya pleokroisme dan bersifat isotropik. Kalkopirit dijumpai bersama pirit dalam bentuk *disseminated* mengisi rekahan pada sampel batuan NWB 1C (Gambar 11a).

Kovelit pada kenampakan mikroskopis berwarna biru tua dengan bentuk subhedral-anhedral. Berukuran 0.01-0.02 mm, tidak dijumpai adanya pleokroisme dan bersifat anisotropik. Kovelit dijumpai bersama pirit pada sampel batuan NWB 1C dan NWB 6 (Gambar 11a dan 11b).

4.2.2. Tekstur Mineral Bijih

Berdasarkan analisis mineragrafi pada empat sayatan poles batuan, diketahui tekstur mineral bijih pada daerah penelitian terdiri dari tekstur pengisian (*cavity filling*), tekstur tumbuh bersama (*intergrowth*) dan tekstur penggantian (*replacement*).

Tekstur pengisian teramati pada mineral pirit yang hadir mengisi rekahan-rekahan pada batuan pada keempat sampel yang dianalisis mineragrafi (Gambar 11). Tekstur pengisian terjadi akibat adanya mineral lain yang mengisi pori atau rekahan pada mineral yang terbentuk sebelumnya (Craig & Vaughan, 1994).

Tekstur *intergrowth* (tumbuh bersama) hadir pada sebagian pirit dan kalkopirit (Gambar 11a). Hal ini menunjukkan suatu saat, pirit dan kalkopirit terbentuk bersamaan (Craig & Vaughan, 1994; Ramdohr, 1969).

Tekstur penggantian (*replacement*) pada analisis mineragrafi ditunjukkan oleh mineral kovelit yang hadir menggantikan mineral kalkopirit pada sampel batuan NWB 1C (Gambar 11a) dan mineral kovelit yang hadir menggantikan sebagian dari tubuh pirit, yaitu pada sayatan poles sampel batuan NWB 6 (Gambar 11b).

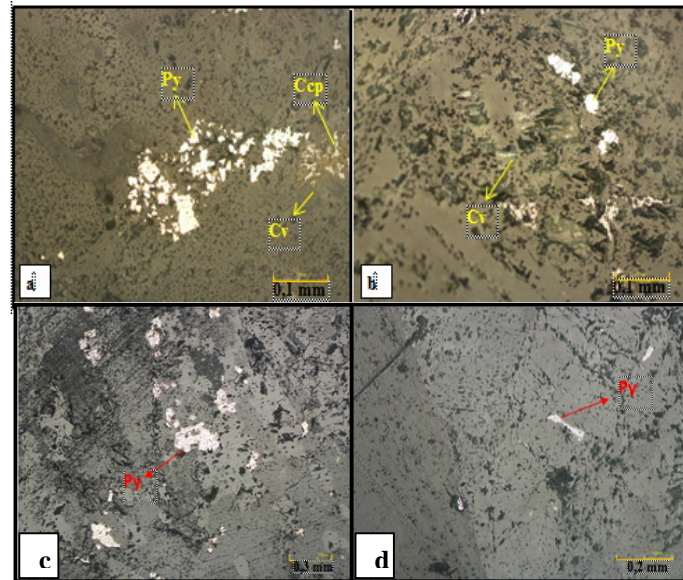
4.3. Paragenesa Mineral Bijih

Mineral bijih yang hadir dari analisis mineragrafi adalah kalkopirit, pirit dan kovelit. Urutan pembentukan mineral bijih berdasarkan pengamatan tekstur yaitu diawali dengan pirit yang hadir mengisi rekahan-rekahan pada batuan. Kehadiran pirit ini dijumpai pada keempat sampel yang dianalisis mineragrafi, baik sebagai mineral tunggal atau berasosiasi dengan mineral lain. Pada Gambar 11a terlihat adanya kehadiran kalkopirit (berwarna kuning) *intergrowth* dengan pirit. Hal ini menandakan kalkopirit hadir bersamaan dengan pirit. Pada Gambar 11a terlihat tekstur *replacement* kovelit terhadap kalkopirit, pada Gambar 11b terlihat *replacement* pirit oleh kovelit menunjukkan kehadiran kovelit setelah pirit dan kalkopirit.

Endapan hidrotermal di Daerah Wombo terjadi dalam dua tahap mineralisasi, pembentukan pirit yang mengisi rekahan-rekahan pada batuan merupakan awal mineralisasi hipogen. Kemudian diikuti pembentukan mineralisasi pirit dan kalkopirit secara simultan. Mineral-mineral bijih tersebut terbentuk pada zona primer atau zona hipogen dibawah muka air tanah (Jensen & Bateman, 1981), pada kisaran temperatur 200-300°C (Lawless dkk., 1998).

Kemudian terjadi pengkayaan supergen yang ditandai dengan hadirnya kovelit yang mengganti (*replacement*) sebagian kalkopirit dan pirit. Penggantian kalkopirit dan pirit (sulfida primer) oleh kovelit (sulfida supergen)

ini terjadi di bawah muka air tanah yaitu pada zona supergen (Jensen & Bateman, 1981). Kisaran temperatur mineralisasi supergen, kurang dari 150°C (Lawless dkk., 1998).



Gambar 11. (a) Sayatan poles sampel batuan NWB 1C menunjukkan tekstur *intergrowth* pirit dan kalkopirit juga tekstur *replacement* kalkopirit oleh kovelit. (b) Sayatan poles batuan NWB 6 menunjukkan mineral pirit hadir mengisi pori dan rekahan pada batuan yang memperlihatkan tekstur pengisian, juga terlihat tekstur *replacement* kovelit yang mengganti sebagian tubuh pirit. (c) Sayatan poles batuan NWB 4 menunjukkan tekstur pengisian oleh pirit. (d) Sayatan poles batuan NWB 7 menunjukkan tekstur pengisian oleh pirit.

Tahapan pembentukan mineral bijih sebagai paragenesa mineral bijih daerah penelitian dapat ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Paragenesa mineral bijih pada daerah penelitian.

Mineral Bijih	Tahapan Mineralisasi	
	Hipogen	Supergen
Pirit	—	—
Kalkopirit	—	—
Kovelit	—	—

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan beberapa hal berikut.

- Alterasi hidrotermal di daerah penelitian terdiri dari dua tipe, yaitu: alterasi propilitik (klorit-zeolit-karbonat) dan alterasi argilik (ilit-kuarsa-karbonat).
- Mineralisasi bijih di daerah penelitian ditandai dengan kehadiran mineral pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2) dan kovelit (CuS). Urutan pembentukan mineral bijih berdasarkan pengamatan tekstur yaitu diawali dengan pirit yang hadir mengisi rekahan-rekahan pada batuan, kalkopirit *intergrowth* dengan pirit yang menandakan kalkopirit hadir bersamaan dengan pirit, *replacement* kovelit terhadap kalkopirit dan

pirit menunjukkan kehadiran kovelit setelah pirit dan kalkopirit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak terkait yang telah berkontribusi terhadap terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachri, S., & Sidarto. (2013). *Tektonik Sulawesi dalam: Geologi Sulawesi*.
- Corbett, G. J., & Leach, T. M. (1998). *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization*. Society of Economic Geologists.
<https://doi.org/10.5382/SP.06>
- Craig, J. R., & Vaughan, D. J. (1994). *Ore Microscopy and Ore Petrography*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Evans, A. M. (2009). *An Introduction to Economic Geology and Its Environmental Impact*. John Wiley & Sons.
- Hartusuwarno, S. (2005). *Endapan Mineral*. Laboratorium Petrologi dan Bahan Galian FTM UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Idrus, A., Sufriadin, S., & Nur, I. (2011). *HYDROTHERMAL ORE MINERALIZATION IN SULAWESI: A VIEW POINT OF TECTONIC SETTING AND METALLOGENESIS*.
- Jensen, M. L., & Bateman, A. M. (1981). *Economic Mineral Deposits*. John Wiley & Sons, Inc.
- Lawless, J. V., White, P. J., Bogie, I., Paterson, L. A., & Cartwright, A. J. (1998). *Hydrothermal Models., Mineral Deposits in The Arc Setting: Exploration Based on Mineralization Service*. Kingston Morrison Mineral.
- Leeuwen, v. T., & Pieters, P. E. (2012). *Mineral Deposits of Sulawesi*. Geological Agency.
- Magdalena, M. (2010). *Studi Alterasi dan Mineralisasi Tembaga pada Area Tambang Batu Hijau*. Institut Teknologi Bandung.
- Marliani, M, dan Asrafil, A. (2021). (2021). Indication of Ore Mineralization in Bora Area, Sigi Regency, Central Sulawesi. *In Journal of Physics: Conference Series Vol. 1763, No. 1, p. 012082*.
- Maulana, A. (2017). *Endapan Mineral*. Penerbit Ombak.
- Maulana, A., Bröcker, M., & Dan, W. (2020). Petrogenesis and geochronology of Cenozoic intrusions in the Poboya and Sassak gold and copper districts in Western Sulawesi, Indonesia: Implications for the mineralization processes and magma sources. *Journal of Asian Earth Sciences*, 193, 104303.
- Pirajno, F. (2009). *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer - Geological Survey of Western Australia.
- Ramdohr, P. (1969). *The Ore Minerals and Their Intergrowths*. Pergamon Press.
- Ruppel, K. M. V., Dani, N., Remus, M. V. D., Ronchi, L. H., Gomes, M. E. B., & Senhorinho, E. (2018). Temperature and Pressure in The Environment of Epithermal Alteration: A Case Study at Ibaré Lineament, Rio Grande do Sul, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 48, 685–702.
- Syafrizal, Rivai, T. A., Yonezu, K., Kusumanto, D., Watanabe, K., & Hede, A. N. H. (2017). Characteristics of a Low-Sulfidation Epithermal Deposit in the River Reef Zone and the Watuputih Hill, the Poboya Gold Prospect, Central Sulawesi, Indonesia: Host Rocks and Hydrothermal Alteration. *Minerals*, 7(7), 124.
- Wajdi, M. F., Santoso, S. T. J., Kusumanto, D., & Digidowirogo, S. (2011). Metamorphic Hosted Low Sulphidation Epithermal Gold System at Poboya, Central Sulawesi: A General Descriptive Review. *In Proceedings of The Sulawesi Mineral Seminar, Manado*, 201–210.
- White, N. C., & Hedenquist, J. W. (1995). Epithermal gold deposits. Styles, characteristics and exploration. *SEG Newsletter*, 27, 1–13.
- Winter, J. D. (2014). *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology (Vol. 2)*. Pearson Education.
- Zar, A. T., Warmada, I. W., Setijadji, L. D., & Watanabe, K. (2018). Alteration, vein textures and fluid inclusion petrography of metamorphic rock-hosted gold deposit at Onzonkanbani area, central Myanmar: Implication for its genesis. *ASEAN Engineering Journal*, 8(2), 48–63.