



Bulletin of Scientific Contribution GEOLOGY

Fakultas Teknik Geologi
UNIVERSITAS PADJADJARAN

homepage: <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc>
p-ISSN: 1693-4873; e-ISSN: 2541-514X



Volume 19, No.2
Agustus 2021

KARAKTERISTIK BATUAN INDUK DAN MINERALISASI SKARN DAERAH DMLZ BARAT, DISTRIK ERTSBERG, KABUPATEN MIMIKA, PROVINSI PAPUA

Nabila Al Adawiah¹, Euis Tintin Yuningsih¹, Kurnia Arfiansyah F.¹, Benny Bensaman²

1) Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran

2) Politeknik Energi dan Pertambangan, Bandung

nabila17040@mail.unpad.ac.id

ABSTRACT

The deposit type in Ertsberg District, consist of porphyry and skarn type. Ertsberg skarn associated with Ertsberg diorite intrusion was developed in DOM and East Ertsberg Skarn System (EESS). Deep Mill Level Zone (DMLZ) is the lowest mining zone and the part of EESS. Megascopis and microscopic analysis, such as petrography analysis method on core sampel from West DMLZ were carried out to determine the characteristics of host rock and mineralization occurred in study area, also became preliminary study for copper-gold deposits type identification. Based on mineral association and alteration mineral, metallic minerals formed on limestone, calcareous shales, and igneous rock as its host rock. Those host rock was altered on weak to strong intensity. According to characteristic of litology, lithological unit were divided into units, namely : Hornfels Unit, Marble Unit, Altered Limestone Unit, and Intrusion Igneous Rock Unit. Mineralization can be identified as pyrite, chalcopyrite, sphalerite, bornite, magnetite, hematite, and malachite. It formed as disseminated, scattered, patches, and as a veinlet. Ertsberg intrusion intrude carbonates and siliciclastic sediment wall rock in study area and metamorphism occurred. Metamorphic rock appeared in recent sample from study area. Magmatic fluid from magma differentiation interacted with wall rock caused metasomatism and hydrothermal alteration process. Furthermore, metallic minerals that carried away by magmatic fluid precipitated as temperature dropped.

Keywords : Deep Mill Level Zone (DMLZ), host rock, mineralization, skarn

ABSTRAK

Tipe endapan yang terdapat di Distrik Ertsberg, meliputi tipe porfiri dan skarn. Skarn Ertsberg berasosiasi dengan intrusi diorit Ertsberg pada endapan skarn DOM dan *East Ertsberg Skarn System* (EESS). *Deep Mill Level Zone* (DMLZ) merupakan tambang terbawah dan bagian dari EESS. Metode analisis megaskopis dan mikroskopis, berupa analisis petrografi pada sampel inti dari DMLZ Barat digunakan untuk tujuan mengetahui karakteristik batuan induk dan mineralisasi yang menjadi identifikasi awal jenis endapan mineral bijih emas dan tembaga di daerah penelitian. Ditinjau dari mineral penyusun dan mineral ubahannya, mineral bijih terbentuk pada batuan induk, berupa batugamping, batuserpih karbonatan, dan batuan beku. Batuan induk tersebut secara umum sudah mengalami ubahan dengan intensitas lemah hingga kuat jika dilihat dari banyaknya kehadiran mineral ubahan. Berdasarkan karakteristik litologinya, batuan dibagi menjadi satuan litologi, yaitu Satuan Hornfels, Satuan Marmer, Satuan Batugamping Terubah, dan Satuan Batuan Beku Intrusi. Mineralisasi yang hadir meliputi pirit, kalkopirit, sfalerit, bornit, magnetit, hematit, dan malakit. Kehadirannya dapat tersebar merata, tersebar tidak merata, *patches*, maupun sebagai urat. Intrusi Ertsberg menerobos batuan sampling berupa batuan karbonat dan batuan sedimen silisiklastik di daerah penelitian, sehingga batuan sampling mengalami metamorfisme. Batuan metamorf tampak pada sampel batuan saat ini. Fluida magmatik hasil diferensiasi magma yang kemudian berinteraksi dengan batuan sampling menyebabkan metasomatisme dan proses alterasi hidrotermal terjadi. Selanjutnya, mineral bijih yang terbawa oleh fluida magmatik terpresipitasi seiring menurunnya suhu.

Kata Kunci : Deep Mill Level Zone (DMLZ), batuan induk, mineralisasi, skarn

nanoplankton. Formasi ini terendapkan di lingkungan laut dangkal hingga paparan laut.

Formasi Faumai

Formasi Faumai diendapkan selaras di atas Formasi Waripi dengan ketebalan 200-300 m. Formasi ini terdiri atas batugamping dolomitan pembawa kuarsa, *packstone* yang mengandung pasir kuarsa dan foraminifera bentonik dengan komposisi kuarsa yang semakin berkurang di bagian atas. Formasi ini diinterpretasikan berumur Eosen Awal hingga Akhir serta diindikasikan lingkungan laut dangkal, seperti *lagoon* dan lingkungan neritik atas sebagai lingkungan pengendapannya.

Magmatisme Daerah Penelitian

Magmatisme pada Distrik Ertsberg dipengaruhi oleh proses *collisional delamination* pada Miosen Akhir (Cloos, 2005). Proses ini menghasilkan ± 16 intrusi di daerah ini dengan intrusi terbesar adalah Komplek Intrusi Grasberg dan Komplek Intrusi Ertsberg yang terpisah sejauh ± 2 km. Kedua intrusi tersebut berasal dari sumber magma yang sama namun memiliki evolusi magma yang berbeda, sehingga menghasilkan perbedaan komposisi dan karakteristik. Menurut Mac Donald & Arnold, (1994), Komplek Batuan Beku Grasberg dibentuk oleh 3 tahap intrusi, meliputi Intrusi Dalam (Andesit, Diorit, Fragmental), Intrusi Utama Grasberg, dan Intrusi Kali. Berdasarkan penentuan umur menggunakan metode radiometri unsur Ar/Ar, batuan beku pada Komplek Batuan Beku Grasberg berumur 3.33 ± 0.12 Ma sampai 3.01 ± 0.06 Ma (Pollard et al., 2005). Sementara Intrusi Ertsberg terdiri dari empat jenis batuan beku yang teridentifikasi sebagai fase *hybrid*, diorit Ertsberg, rangkaian porfiri korok, dan beberapa tambahan korok aplit minor. Selain itu, ditemukan tujuh tipe urat dalam zona alterasi potasik, filik, propilitik, dan endoskarn pada intrusi Ertsberg. Berdasarkan metode Ar-Ar, diketahui bahwa batuan ini berumur $2,67 \pm 0,03$ juta tahun lalu (Pollard et al., 2005).

Mineralisasi

Mineralisasi merupakan suatu proses masuknya mineral bijih ke dalam batuan yang kemudian terendapkan dalam jumlah banyak sehingga memiliki sifat ekonomis (Bateman &

Jansen, 1981). Gifkin et.al dalam Pirajno, (2009) menjelaskan hubungan himpunan mineral alterasi dan sistem *ore*. Sistem *ore* yang terjadi di daerah penelitian, yaitu tipe porfiri-skarn (Sunyoto et al., 2012). Skarn merupakan batuan yang tersusun atas unsur Ca-Fe-Mg-Mn silikat yang terbentuk dari hasil penggantian batuan kaya karbonat melalui proses metamorfisme dan/atau metasomatisme yang berhubungan dengan intrusi batuan beku (Einaudi, et.al., 1981 dalam (Corbett & Leach, 1997). Skarn dapat berkembang pada hampir semua jenis litologi, termasuk serpih, batupasir, granit, basalt, dan komatit (Meinert, 1992).

Metode Penelitian

Penelitian melibatkan deskripsi megaskopis dan deskripsi mikroskopis berupa analisis petrografi pada 23 sampel inti dari 3 sumur bor di DMLZ Barat, Distrik Ertsberg dengan rentang kedalaman 600 m – 825 m yang diambil dari elevasi 3400 mdpl. Penamaan batuan berdasarkan klasifikasi Streckeisen (1976) untuk batuan beku dan klasifikasi O'Dunn & Sill (1988) untuk batuan metamorf. Deskripsi sifat fisik secara megaskopis pada mineral bijih, digunakan untuk mengidentifikasi nama batuan dan mengetahui kenampakan serta hubungan antar mineral bijih yang hadir pada sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Stratigrafi Daerah Penelitian

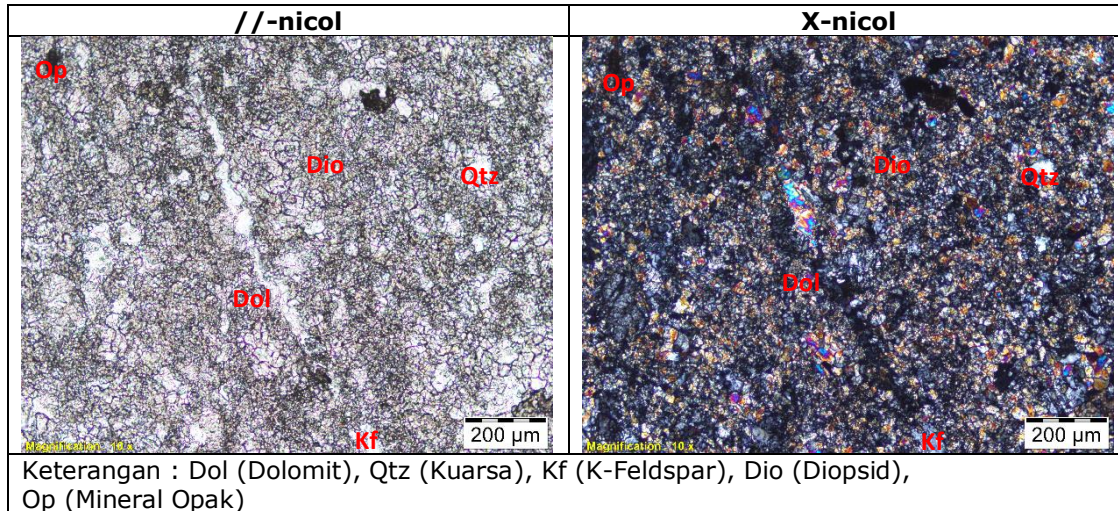
Berdasarkan analisis mineral penyusun batuan dan mineral ubahan yang hadir, daerah penelitian tersusun atas 3 jenis batuan dan dibagi kedalam 4 satuan litologi, dari yang tua ke muda, sebagai berikut :

1. Satuan Hornfels

Secara megaskopis, batuan pada sampel ini berwarna abu kehijauan dengan mineral yang hadir meliputi kuarsa, diopsid, karbonat, dan sedikit kehadiran epidot. Mineralisasi yang tampak, yaitu pirit, dengan kalkopirit dan sfalerit yang sangat sedikit (Gambar 2). Batuan ini telah mengalami alterasi dengan intensitas sedang. Pada pengamatan mikroskopis, tampak mineral kuarsa, dolomit, K-feldspar, diopsid, anhidrit, dan sedikit epidot (Gambar 3).



Gambar 2. Kenampakan megaskopis batuan hornfels pada Satuan Hornfels



Gambar 3. Kenampakan fotomikrografi yang merupakan bagian dari Satuan Hornfels

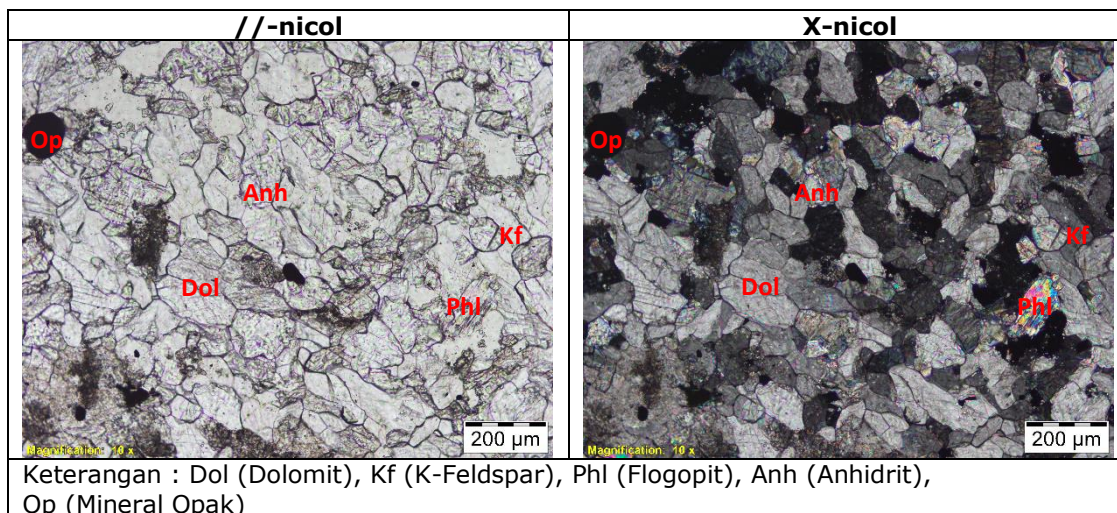
Ditinjau dari tekstur asalnya dan mineral penyusunnya berupa kuarsa primer bertekstur halus disertai sifat batuan yang karbonatan, menunjukkan bahwa protolith batuan pada satuan ini merupakan batuserpih karbonatan. Saat ini batuan telah mengalami metamorfisme menjadi hornfels (O'Dunn & Sill, 1988). Umur satuan ditentukan oleh kesebandingan regional dengan Formasi Ekmai Anggota Batuserpih yang berumur Kapur Akhir – Paleosen (van Ufford & Ian, 1996). Kesebandingan ditentukan berdasarkan kesamaan karakteristik tekstur batuan asal dengan jenis litologi batuserpih yang ditemukan oleh peneliti terdahulu.

Secara megaskopis, batuan pada sampel ini berwarna putih keabuan hingga abu kehitaman dengan batuan pada kedalaman yang dalam menunjukkan warna kehijauan. Mineral yang hadir, meliputi dolomit, beberapa sampel terdapat forsterit, diopsid, epidot, anhidrit, dan kuarsa. (Gambar 4). Mineralisasi yang hadir, yaitu pirit, kalkopirit, dengan kehadiran sfalerit, bornit, hematit, dan magnetit yang lebih sedikit. Sampel pada satuan ini telah mengalami alterasi dengan intensitas lemah-sedang. Pada pengamatan mikroskopis, tampak mineral dolomit, K-feldspar, forsterit, anhidrit, diopsid, serta sedikit kehadiran kuarsa, epidot, dan flogopit. (Gambar 5).

2. Satuan Marmer



Gambar 4. Kenampakan megaskopis batuan hornfels pada Satuan Marmer

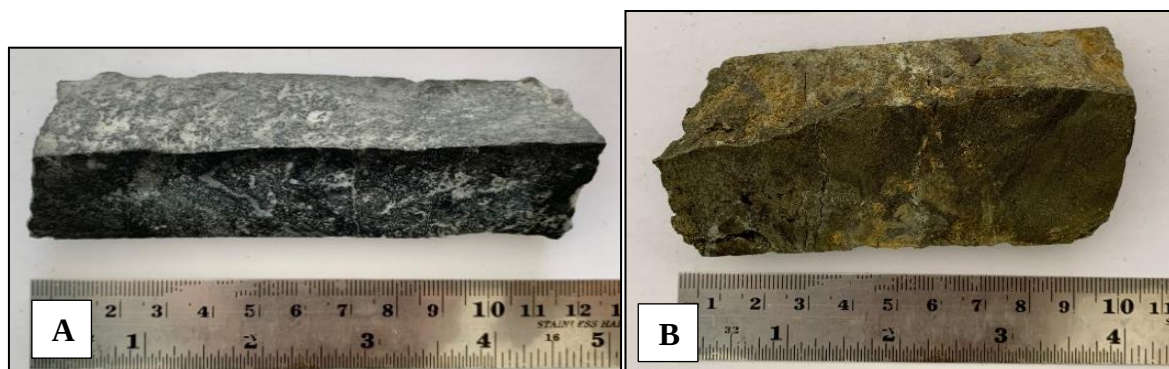


Gambar 5. Kenampakan fotomikrografi yang merupakan bagian dari Satuan Marmer

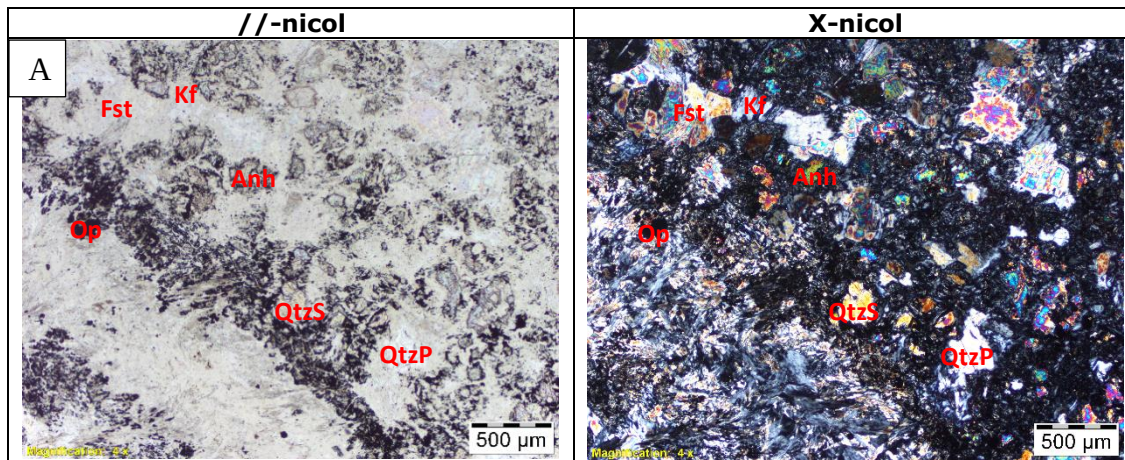
Ditinjau dari tekstur dan kehadiran mineral penyusunnya berupa dolomit, dengan mineral ubahannya berupa forsterit, maka litologi pada satuan ini tersusun atas batugamping dolomitan yang telah mengalami metamorfisme menjadi marmer. Umur satuan ditentukan oleh kesebandingan regional dengan batugamping dolomitan Formasi Waripi yang beumur Paleosen - Eosen Awal (van Ufford & Ian, 1996). Kesebandingan ditentukan berdasarkan kesamaan mineral penyusun dan karakteristik litologi batugamping dolomitan dengan yang ditemukan oleh peneliti terdahulu.

3. Satuan Batugamping Terubah

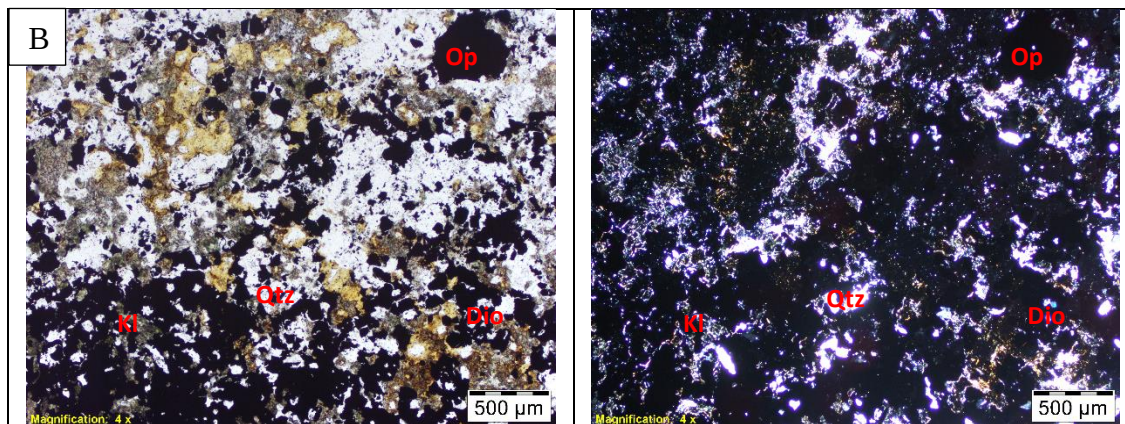
Secara megaskopis, batuan pada satuan ini berwarna hitam dan keabuan hingga kecokelatan. Tekstur asal dari batuan sulit diidentifikasi karena batuan sudah mengalami alterasi yang intensitasnya sedang-kuat. Mineral yang tampak, yaitu kuarsa dan karbonat dengan kehadiran mineral bijih berupa pirit pada batuan *massive sulfide*, dan kalkopirit, sfalerit, magnetit, hematit, pada sampel batuan eksoskarn (Gambar 6). Pada pengamatan mikroskopis, mineral yang hadir, yaitu kuarsa, K-Feldspar, diopsid, forsterit, anhidrit, dan klorit (Gambar 7).



Gambar 6. a) Kenampakan megaskopis batuan eksoskarn b) Sampel megaskopis yang merupakan *massive sulfide* pada Satuan Batugamping Terubah



Gambar 7. Kenampakan fotomikrografi sayatan a) batuan eksoskarn



Keterangan : Kf (K-Feldspar), Fst (Forsterit), Anh (Anhidrit), Dio (Diopsid), Kl (Klorit), QtzP (Kuarsa Primer), QtzS (Kuarsa Sekunder), Op (Mineral Opak)

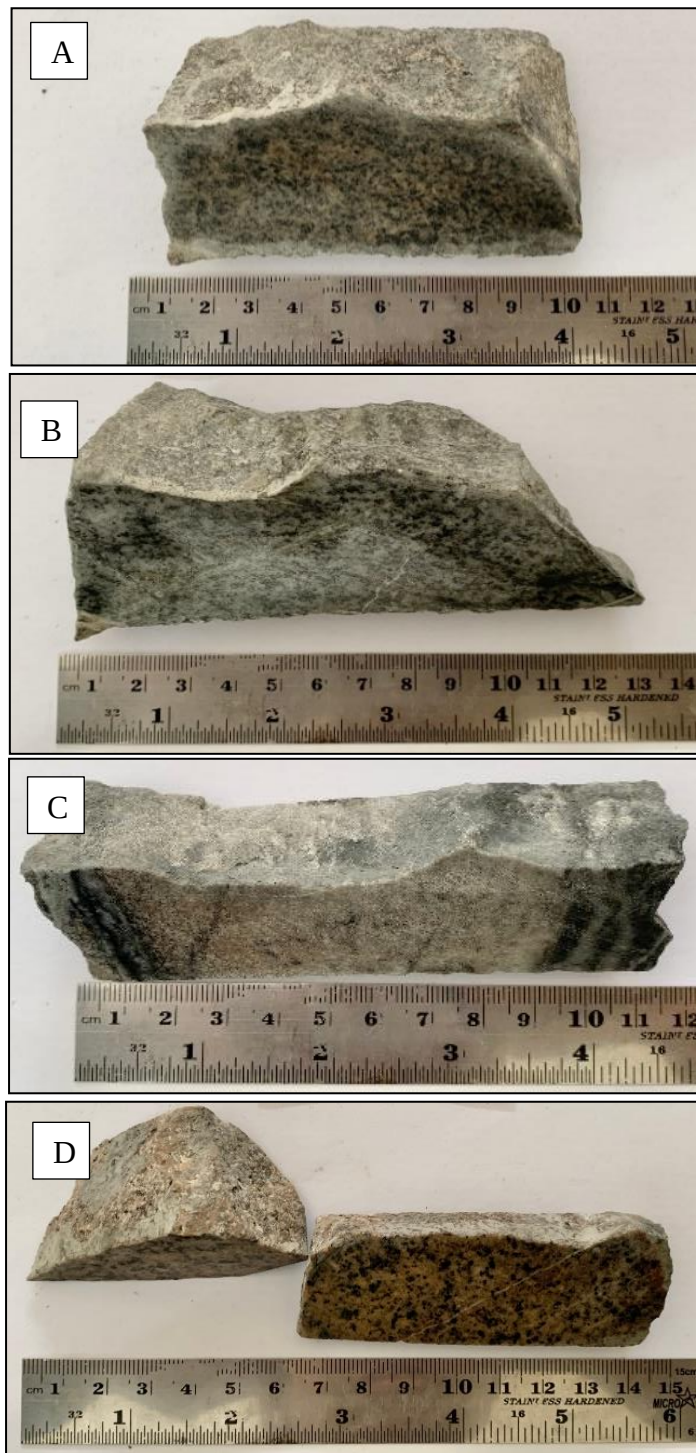
Gambar 7.(Lanjutan) Kenampakan fotomikrografi sayatan b) batuan *massive sulfide* yang merupakan bagian dari Satuan Batugamping Terubah

Menurut Prendergast (2003), intrusi Ertsberg mengubah batuan sampling berupa Formasi Waripi dan Formasi Faumai menjadi sistem skarn Ertsberg. Kehadiran mineral forsterit dan diopsid merupakan mineral ubahan dari dolomit yang menunjukkan bahwa batuan asal dari satuan ini, yaitu batugamping dolomit. Namun saat ini batuan telah mengalami ubahan hingga tekstur asalnya tidak teramati lagi. Sehingga, satuan ini dibandingkan dengan batugamping Formasi Waripi yang berumur Paleosen – Eosen Awal (van Ufford & Ian, 1996) karena kesamaan karakteristik litologi penyusunnya.

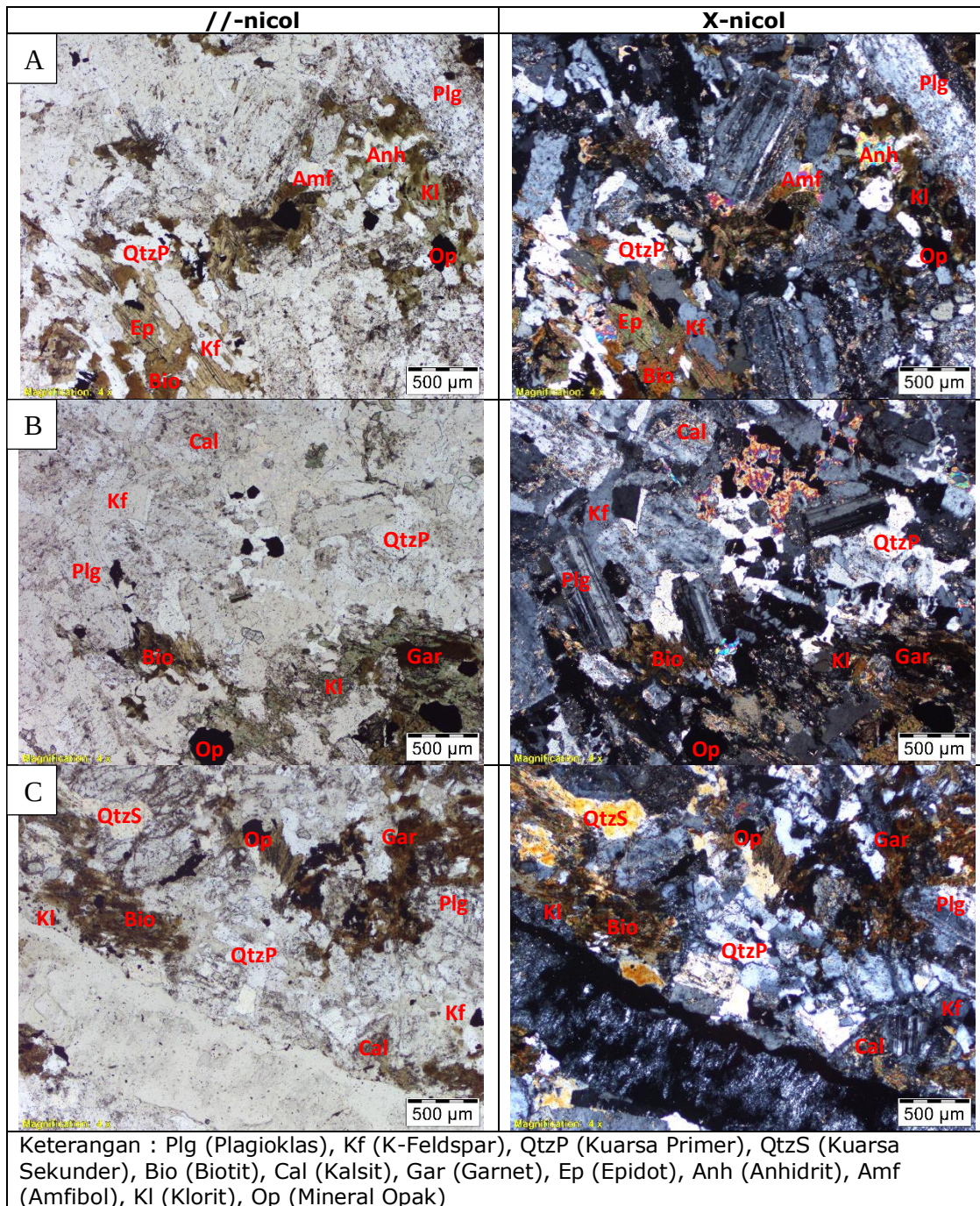
4. Satuan Batuan Beku Intrusi

Secara megaskopis, batuan pada satuan ini berwarna abu kehitaman dengan beberapa

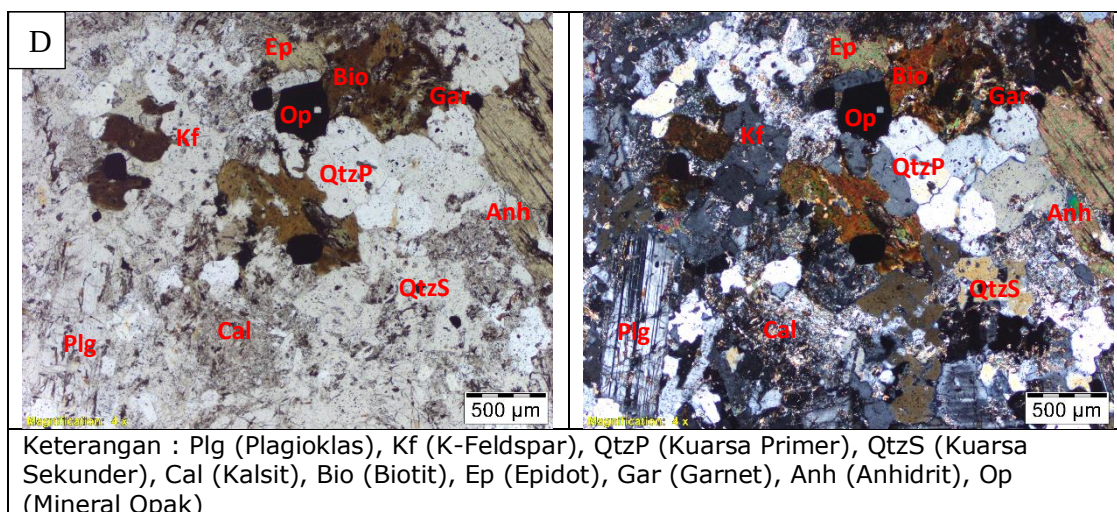
sampel yang mengandung K-feldspar tinggi menunjukkan warna merah muda. Mineral yang tampak, yaitu kuarsa, plagioklas, K-feldspar, karbonat berupa kalsit, biotit, klorit, epidot, amfibol, dan garnet. Mineral bijih yang teramati, meliputi pirit, kalkopirit, sfalerit, magnetit, dan kehadiran hematit dan malakit dalam jumlah sedikit. Satuan ini tersusun atas monzodiorit kuarsa, monzonit kuarsa, granodiorit, dan syenogranit (Streckeisen, 1976) yang telah teralterasi dengan intensitas lemah-sedang (Gambar 8). Pada pengamatan mikroskopis, mineral yang hadir, yaitu plagioklas, kuarsa, K-feldspar, biotit, anhidrit, klorit, kalsit, garnet, epidot, kuarsa sekunder, dan sedikit kehadiran amfibol (Gambar 9).



Gambar 8. Sampel megaskopis yang merupakan bagian dari Satuan Batuan Beku Intrusi a) monzodiorit kuarsa, b) granodiorit, c) monzonit kuarsa d) syenogranit



Gambar 9. Kenampakan fotomikrografi a) monzodiorit kuarsa, b) monzonit kuarsa, c) granodiorit yang merupakan bagian dari Satuan Batuan Beku Intrusi



Gambar 9. (Lanjutan) Kenampakan fotomikrografi c) syenogranit dan bagian dari Satuan Batuan Beku Intrusi

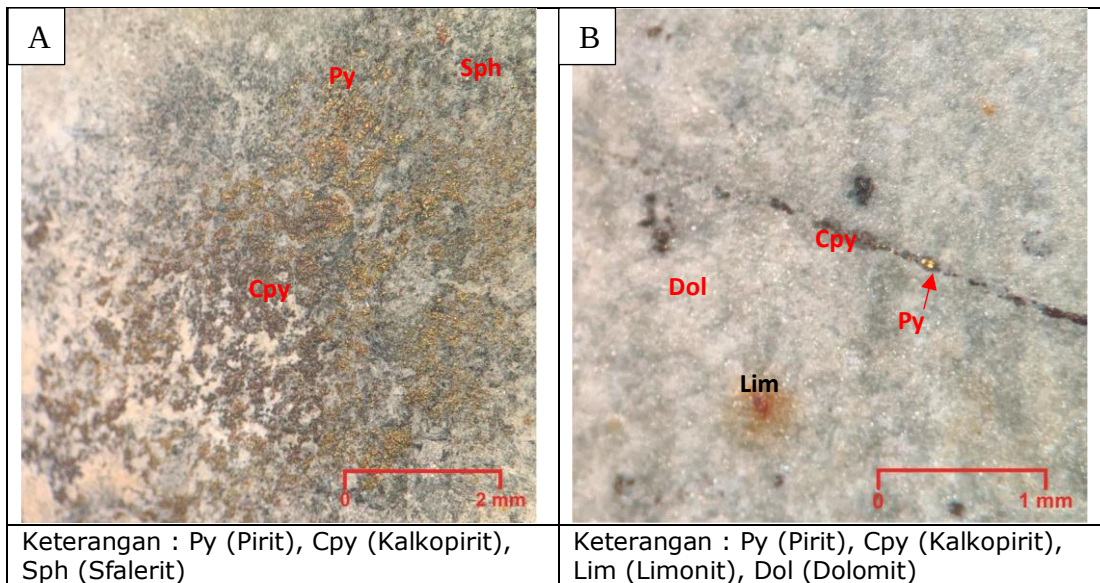
Satuan ini dibandingkan secara regional dengan Komplek Intrusi Ertzberg (Cloos, 2005) yang berumur Tersier Akhir (Pollard et al., 2005). Kesamaan karakteristik litologi yang dilihat dari persentase mineral primernya menjadikan dasar dari kesebandingan regional.

Mineralisasi Daerah Penelitian

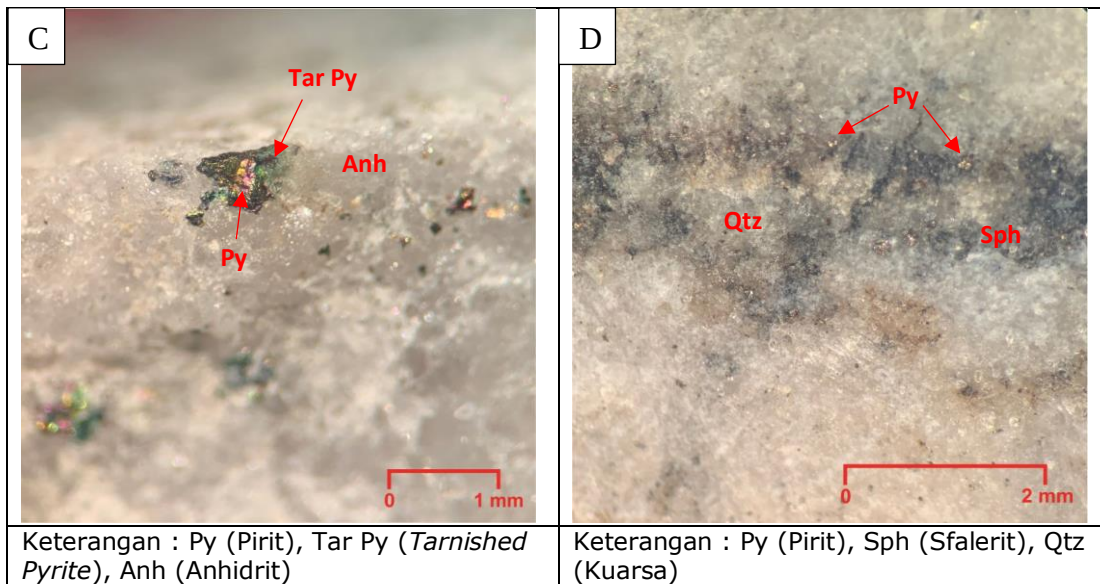
Pengamatan megaskopis pada sampel inti batuan menunjukkan mineralisasi bijih yang terbentuk di daerah penelitian, meliputi pirit, kalkopirit, sfalerit, bornit, magnetit, hematit, dan malakit. Litologi batugamping Formasi Waripi, batuserpih karbonatan Formasi Ekmai, dan batuan beku intrusi Ertzberg menjadi *host rock* mineralisasi.

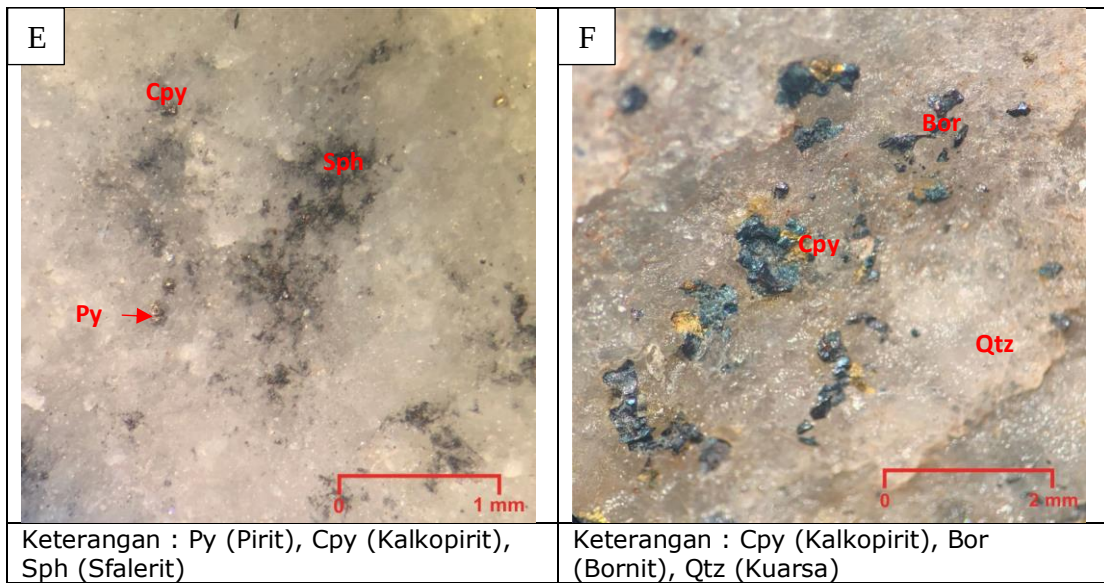
Pirit dan kalkopirit umumnya hadir dengan ukuran yang sangat halus dan *disseminated* (Gambar 10a). Asosiasi ini dapat dijumpai pula pada *veinlet* (Gambar 10b). Mineral pirit pada beberapa sampel sudah mengalami oksidasi

dan *tarnished* menjadi berwarna kemerahan atau kehijauan (Gambar 10c). Asosiasi pirit-sfalerit dapat dijumpai membentuk *veinlet* bersamaan dengan kuarsa (Gambar 10d). Pada beberapa sampel, sfalerit hadir sebagai *patches* terutama jika berkembang pada *host rock* batugamping (Gambar 10e). Bornit hadir berasosiasi dengan mineral bijih lain dan *scattered* pada beberapa sampel. Adapun sampel lain menunjukkan bornit yang *disseminated* (Gambar 10f). Magnetit menunjukkan kehadiran yang *patches* bersamaan dengan hematit (Gambar 10g), bertekstur striated, dan mengisi rekahan. Mineral malakit jarang dijumpai namun hadir pada sampel batuan granodiorit dan tampak mengisi *veinlet* bersama kuarsa dan kalkopirit (Gambar 10h). Mineral malakit terbentuk setelah pembentukan endapan dan merupakan hasil oksidasi sulfida tembaga yang terbentuk sebelumnya.

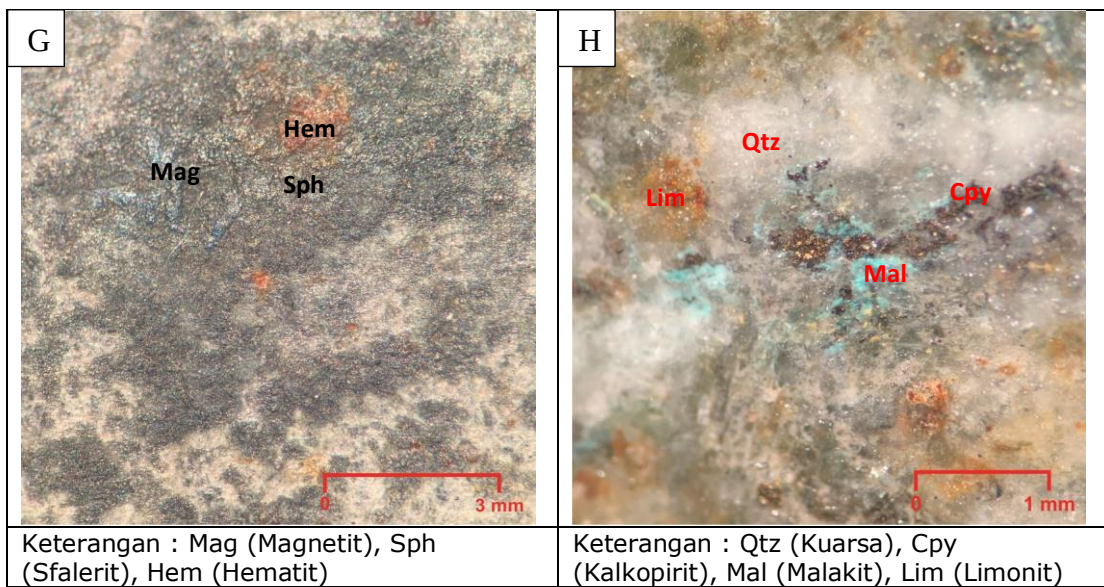


Gambar 10. Kenampakan megaskopis a) asosiasi pirit-kalkopirit-sfalerit yang hadir tersebar, b) pirit-kalkopirit sebagai *veinlet*





Gambar 10. (Lanjutan) Kenampakan megaskopis c) *tarnished pyrite*, d) asosiasi pirit-sfalerit-kuarsa sebagai *veinlet*, e) *patches* sfalerit pada *host rock* batugamping, f) *disseminated bornite*

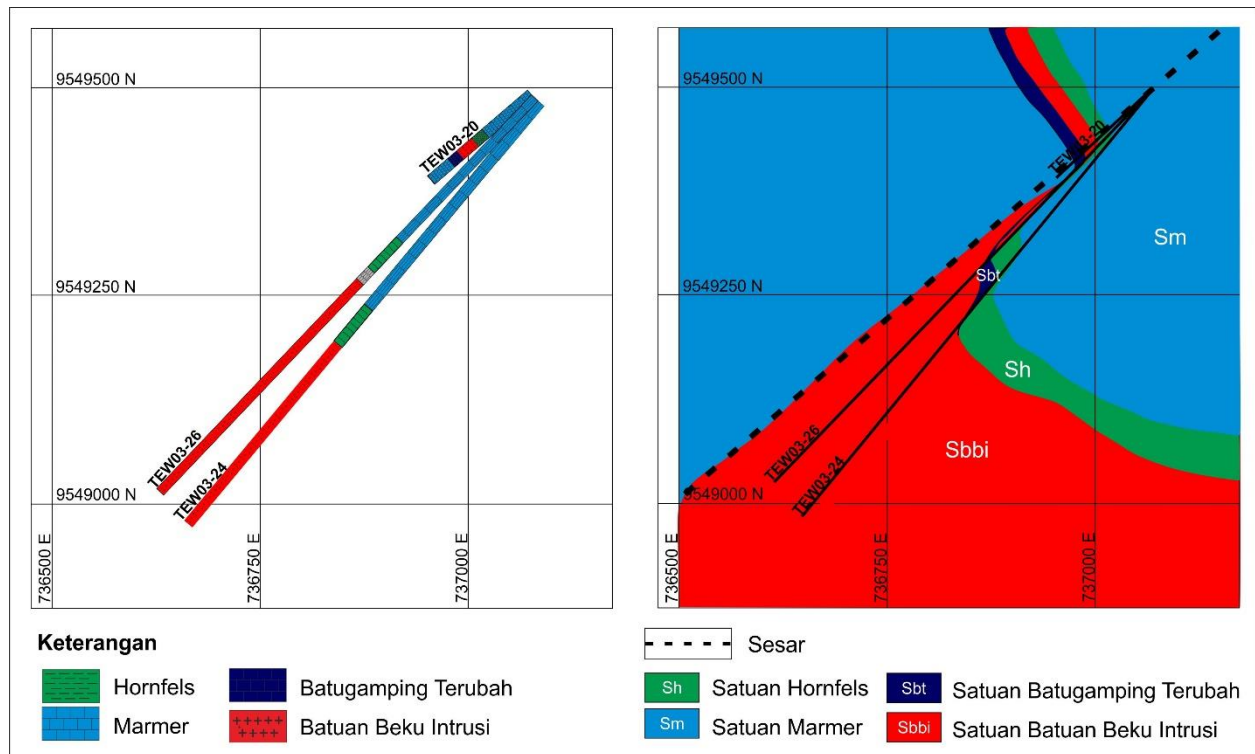


Gambar 10. (Lanjutan) Kenampakan megaskopis f) Asosiasi magnetit-hematit-sfalerit, dan g) asosiasi malakit-kalkopirit-kuarsa sebagai *veinlet*

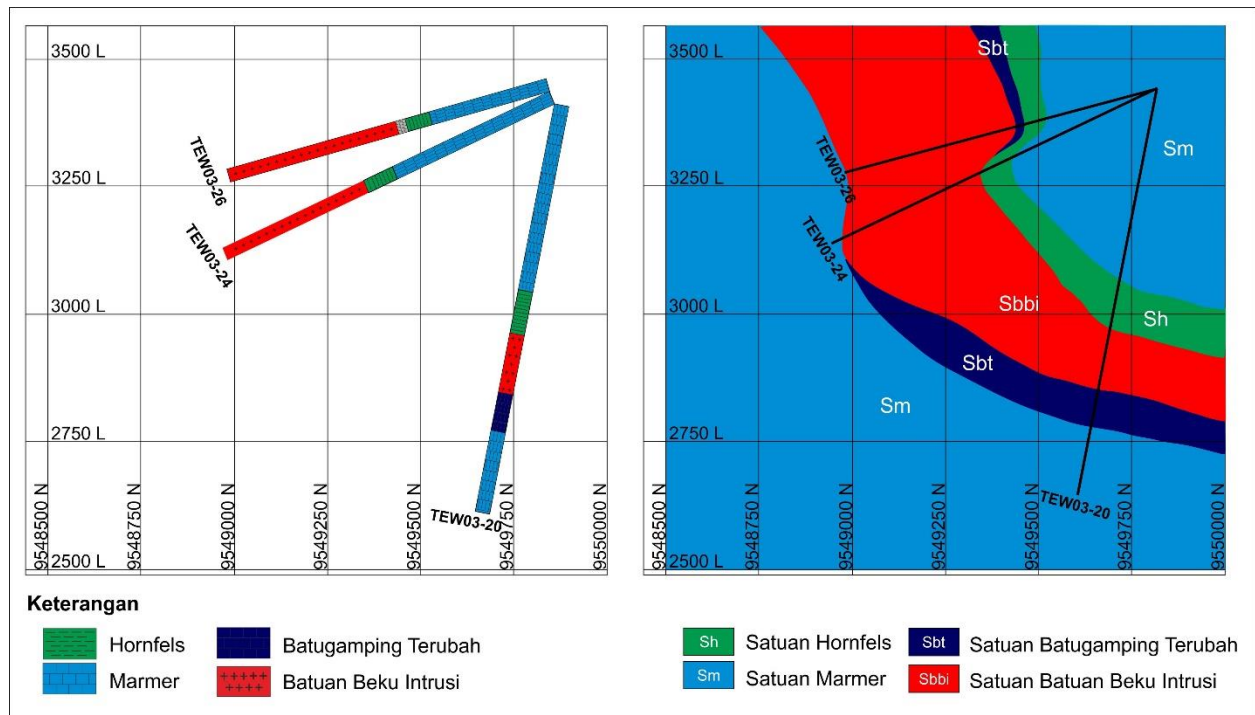
Pembahasan

Batuan yang menyusun daerah penelitian meliputi batugamping, batuserpih karbonatan, dan batuan beku. Persebaran litologi

ditunjukkan oleh peta geologi *map view* (Gambar 11) dan *vertical view* (Gambar 12) berikut.



Gambar 11. Peta Geologi DMLZ Barat elevasi 3400 mdpl yang menunjukkan kenampakan *map view* daerah penelitian



Gambar 12. . Peta Geologi DMLZ Barat elevasi 3400 mdpl yang menunjukkan kenampakan *vertical view* daerah penelitian

Proses magmatisme intrusi Ertsberg menyebabkan terjadinya metamorfisme

kontak pada batuan, dengan dicirikan oleh kehadiran hornfels yang merupakan hasil

metamorfisme batuserpih karbonatan, dan marmer yang merupakan hasil metamorfisme batugamping. Sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 11 dan Gambar 12, yang menampilkan hornfels dan batugamping terubah terbentuk di sekitar tubuh batuan beku intrusi yang menandakan proses metamorfisme yang disebabkan oleh intrusi tersebut. Proses ini juga menyebabkan terjadinya alterasi hidrotermal yang mengubah beberapa mineral pada batuan.

Alterasi hidrotermal di daerah penelitian ditunjukkan dengan hadirnya mineral ubahan, seperti forsterit, diopsid, epidot, klorit, anhidrit dan garnet. Asosiasi mineral ubahan forsterit, diopsid, dan garnet merupakan penciri dari sistem endapan porfiri-skarn (Meinert, 1992). Forsterit dan diopsid yang mengubah mineral pada batuan sampling merupakan tipe eksoskarn. Sedangkan, garnet yang hadir mengubah mineral pada batuan intrusi merupakan tipe endoskarn. Endoskarn terbentuk akibat adanya larutan hidrotermal yang lebih dominan masuk ke dalam tubuh intrusi plutonik di sepanjang kontakannya dengan marmer dibandingkan dengan aliran yang keluar dari tubuh intrusi (Einaudi and Burt, 1982 dalam Evans, 1993). Alterasi dari sistem porfiri yang terbentuk di daerah penelitian, didominasi oleh tipe propilitik (Corbett & Leach, 1997) dengan dicirikan oleh kehadiran klorit, epidot, dan karbonat sekunder berupa kalsit. Intensitas alterasi berkisar dari lemah hingga kuat yang ditentukan berdasarkan persentase mineral ubahan hidrotermal terhadap mineral primernya (Morisson, 1997). Intensitas lemah terjadi pada litologi batugamping dan batuan beku, intensitas sedang terjadi pada semua jenis batuan, serta intensitas kuat terjadi hanya pada batugamping. Hal ini menunjukkan, bahwa batuan reaktif di daerah penelitian merupakan batugamping. Selain menyebabkan alterasi hidrotermal, diferensiasi magma secara lokal berperan dalam variasi perbandingan komposisi kuarsa, plagioklas, dan alkali feldspar pada batuan intrusi. Sehingga adanya variasi litologi batuan beku yang ditunjukkan sampel pada saat ini.

Seiring dengan menurunnya suhu pembentukan pada sistem, terjadi presipitasi mineral bijih yang terbawa oleh fluida magmatik hasil diferensiasi magma. Asosiasi mineral tersebut, yaitu pirit, kalkopirit, sfalerit, bornit, magnetit, dan hematit. Jika dihubungkan dengan tabel hubungan himpunan mineral alterasi dan sistem *ore* (after Gifkin et al. dalam Pirajno, 2009), asosiasi mineral ini berhubungan dengan

sistem *ore* porfiri-skarn. Namun di daerah penelitian, utamanya terbentuk endapan skarn berdasarkan himpunan mineral yang terbentuk jika mengacu pada komposisi mineral endapan skarn (Meinert, 1992).

KESIMPULAN

Intrusi Ertzberg yang menerobos batuan sampling berupa batugamping dan batuan silisiklastik menyebabkan terbentuknya metamorfisme kontak pada batuan sampling tersebut. Sehingga saat ini, batuserpih karbonatan Formasi Ekmai tampak sebagai hornfels dan batugamping dolomitan Formasi Waripi menjadi marmer. Selanjutnya, fluida magmatik hasil diferensiasi magma yang kemudian berinteraksi dengan batuan sampling menyebabkan terjadinya proses alterasi hidrotermal sehingga mineral pada batuan sampling mengalami ubahan. Hal ini ditunjukkan dengan kehadiran mineral ubahan skarn, seperti forsterit, anhidrit, dan diopsid sebagai mineral yang menggantikan magnesium pada batuan dolomitan. Seiring dengan penurunan suhu, mineral bijih yang terbawa oleh fluida magmatik mengalami presipitasi sehingga tampak pada sampel batuan saat ini. Mineral bijih tersebut berupa pirit, kalkopirit, sfalerit, bornit, magnetit, dan hematit yang hadir tersebar merata, tersebar tidak merata, *patches*, maupun sebagai urat bersamaan dengan kuarsa atau kalsit. Malakit juga hadir sebagai hasil oksidasi dari sulfida tembaga yang terbentuk sebelumnya. Asosiasi mineral ini, menunjukkan sistem *ore* porfiri-skarn (after Gifkin et al. dalam Pirajno, 2009), namun utamanya, di daerah penelitian menunjukkan terbentuknya endapan skarn.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Euis Tintin Yuningsih, S.T., M.T., Ph.D, dan Pak Kurnia Arfiansyah F. S.T., M.T., yang telah membimbing serta memberikan saran kepada penulis selama berjalannya penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pak Ir. Benny Bensaman, M.T. yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menggunakan sampel inti dari daerah penelitian dan memberikan wawasan baru sehingga penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bateman, A. M., & Jansen, M. L. (1981). *Economic Mineral Deposits* 2nd Edition, Sliman Professor of Geology Yale University Editor. *Economic Geology, John Willey and*

- Sons, Inc. New York.*
- Budirumatyo, Silalahi, P., Meiriyanto, F., Antoro, B., Sunyoto, W., Soebari, L., de Jong, G., Ruswanto, Siahaan, M., & Wibowo, E. (2015). Deep Mill Level Zone (DMLZ) of East Ertsberg Skarn System (EESS), Papua; Geology Factors of Disking Core in DMLZ Mine. *PROSIDING TPT XXIV DAN KONGRES IX PERHAPI 2015, January*, 90–98.
- Cloos, M. (2005). *Collisional delamination in New Guinea: The geotectonics of subducting slab breakoff* (Vol. 400). Geological Society of America.
- Corbett, G. J., & Leach, T. M. (1997). *Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralization* (Issue 6). Society of Economic Geologists Littleton, Colorado.
- Dow, D. B., Robinson, G. P., Hartono, U., & Ratman, N. (1988). Geology of Irian Jaya: Irian Jaya Geological Mapping Project. *Geological Research and Development Center, Indonesia, in Cooperation with the Bureau of Mineral Resources, Australia, on Behalf of the Department of Mines and Energy, Indonesia, and the Australian Development Assistance Bureau*, 298pp.
- Evans, A. M. (1993). *Ore geology and industrial minerals: an introduction*. John Wiley & Sons.
- Fauzan, A. (2019). *Karakteristik Alterasi dan Mineralisasi Tambang Bawah Tanah Big Gossan Kedalaman 2600 mdpl dan 260 mdpl, Distrik Ertsberg, Kecamatan Tembagapura, Kabupaten Mimika, Provinsi Papua*. Tidak Dipublikasikan.
- Mac Donald, G. D., & Arnold, L. C. (1994). Geological and geochemical zoning of the Grasberg igneous complex, Irian Jaya, Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, 50(1–3), 143–178.
- Meinert, L. D. (1992). Skarns and skarn deposits. *Geoscience Canada*.
- Morisson, K. (1997). Important Hydrothermal Minerals and Their Significance. *Geothermal and Mineral Services Division, 7th editio*.
- O'Dunn, S., & Sill, W. D. (1988). *Exploring Geology: Introductory Laboratory Activities*. TH Peek.
- Pirajno, F. (2009). Hydrothermal processes and mineral systems. In *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8613-7>
- Pollard, P. J., Taylor, R. G., & Peters, L. (2005). Ages of intrusion, alteration, and mineralization at the Grasberg Cu-Au deposit, Papua, Indonesia. *Economic Geology*, 100(5), 1005–1020.
- Prendergast, K. (2003). *Porphyry-related hydrothermal systems in the Estberg District, Papua, Indonesia*. James Cook University.
- Rusmana, E. (1995). *Peta geologi lembar Timika, Irian Jaya*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Streckeisen, A. (1976). *Classification of The Common Igneous Rocks by Means of Their Chemical Composition. A Provisional Attempt*.
- Sunyoto, W., De Jong, G., & Soebari, L. (2012). Porphyry and Skarn Cu-Au Deposits and its Associated Cu-Au Bearing Intrusions of the Ertsberg District, Papua, Indonesia. *Proceeding Of Banda And Eastern Sunda Arcs*, 279–281.
- van Ufford, Q., & Ian, A. (1996). *Stratigraphy, structural geology, and tectonics of a young forearc-continent collision, western Central Range, Irian Jaya (western New Guinea), Indonesia*. University of Texas–Austin.