

HUBUNGAN KETERDAPATAN BATUAN KALK SILIKAT PADA ENDAPAN PORFIRI CU-AU BATU HIJAU, SUMBAWA, NUSA TENGGARA BARAT

Dian Agus Widiarso¹, Rachdian Eko Suprpto¹, Tri Winarno¹, Arie Noor Rakhman²
Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro¹, Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Sains dan Teknologi AKPRIND²
E-mail: dianagusgeo@gmail.com

ABSTRACT

The potential of copper (Cu) and gold (Au) resources in Batu Hijau, West Nusa Tenggara is very abundant. The rocks in Batu Hijau have a Cu-Au porphyry type of mineral deposit system and a secondary potential deposit of the scarn type. The presence of the scarn is shown by the silicate calc rock interval on the results of core drilling in Batu Hijau. The research method used in the study is the description of silicate calc rock (recording of core rock megascopic and petrographic analysis) and physicochemical secondary data analysis. The observed silicate calc rock consisted of variations of hornfels and scarn with the composition of calc silicate minerals, sulfide minerals and oxide minerals. Spatially, the silicate calc rocks are seating in the zone of proximal porphyry deposits, localized distribution due to control of geological structure, variations in the shallowest depths of silicate calc rock in the west area of 147.93 m and in the east area of 205 m in which the deepest intervals in the western area 540.4 m and the eastern area 571.84 m. Genetically, the scarification of gradation and retrogradation is equivalent to the potassic-phylum alteration zone (320°-280°C) and the initial phase of prophyllitic (~ 280°C) of the porphyry sediment alteration zone. The silicate calc rocks have spatial and genetic correlations with Cu-Au porphyry deposits.

Keywords: content, formatting, article.

INTISARI

Potensi sumber daya tembaga (Cu) dan Emas (Au) di Area Batu Hijau, Nusa Tenggara barat sangat melimpah. Batuan di Batu Hijau memiliki sistem endapan mineral berjenis porfiri Cu-Au dan potensi endapan penyerta berjenis skarn. Keterdapatan skarn ditunjukkan oleh interval batuan kalk silikat pada hasil pemboran batuan inti di Batu Hijau. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian adalah deskripsi batuan kalk silikat (pendataan megaskopis batuan inti dan analisis petrografi) dan analisis data sekunder fisikokimia. Batuan kalk silikat area penelitian terdiri dari variasi hornfels dan skarn dengan komposisi mineral kalk silikat, mineral sulfida dan mineral oksida. Secara spasial, batuan kalk silikat berada di zona proksimal endapan porfiri, persebaran setempat akibat kontrol struktur geologi, variasi kedalaman terdangkal batuan kalk silikat di area Barat 147,93 m dan di area Timur 205 m dengan interval terdalam di area barat -540,4 m dan area Timur -571,84 m. Secara genetik, skarnifikasi progradasi dan retrogradasi ekuivalen dengan zona alterasi potasik-filik (320° - 280°C) dan fase awal profilitik (~280°C) dari zona alterasi endapan porfiri. Batuan kalk silikat memiliki korelasi spasial dan genetik dengan endapan porfiri Cu-Au.

Kata Kunci: isi, format, artikel.

PENDAHULUAN

Pulau Sumbawa, Nusa Tenggara Barat, termasuk dalam busur kepulauan gunungapi utama di Indonesia yaitu Area Timur Paparan Sunda dalam Sistem Busur Kepulauan Sunda-Banda. Kondisi tersebut menjadi salah satu alasan keterdapatan zona alterasi-mineralisasi di Pulau Sumbawa, contoh zona yang ekonomis adalah Endapan Porfiri Cu-Au Batu Hijau. Lokasi Batu Hijau dikelola oleh PT Amman Mineral Nusa Tenggara (AMNT) menggunakan sistem tambang terbuka (*open pit*). Menurut, nilai cadangan terbukti dan terduga di Batu Hijau sebesar 913 juta ton dengan nilai rata-rata 0,53% Cu (4,84 juta ton)

dan 0,41 *part per milion (ppm)* atau gram/ton (g/t) Au (375 ton) (Ali, 1997).

Endapan skarn Cu-Au umumnya terkait dengan endapan porfiri Cu-Au dan banyak memberikan tambahan bijih bermutu tinggi di sekitar endapan porfiri (Einaudi, 1982) Endapan Skarn Cu-Au adalah jenis skarn yang paling melimpah di dunia, terutama terbentuk di zona orogenik terkait subduksi pada lempeng samudra/lempeng benua (Einaudi, et al., 1981). Batuan Kalk Silikat Batu Hijau termasuk jenis eksoskarn kalsik yang terdiri atas skarn kaya unsur besi (Fe) teroksidasi serta dikontrol oleh zona struktur patahan dan rekahan tanpa berasosiasi dengan batugamping (Aye, 2012) Produk Cu-

Au Batu Hijau terkenal berasal dari sistem endapan porfiri, sementara endapan skarn terkenal berasosiasi dengan mayoritas batugamping. Fakta lapangan menjelaskan bahwa Batu Hijau memiliki indikasi keterdapatannya endapan skarn pada sistem endapan porfiri dengan mayoritas litologi piroklastik. Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan penelitian mengenai korelasi keterdapatannya skarn pada Endapan Porfiri Cu-Au Batu Hijau. Lokasi penelitian berada di area pusat tambang terbuka Batu Hijau (UTM zonasi 50 S: 485200-48600 mE; 9008400-9009600 mN) dengan luas area penelitian $\pm 1,6 \times 1,6 \text{ km}^2$

Bahan yang diperlukan dalam penelitian adalah Peta Geologi Batu Hijau Kuartir 3 Tahun 2015, Peta Sebaran Alterasi Batu Hijau Kuartir 3 Tahun 2015, Peta Sebaran Mineralisasi Batu Hijau Kuartir 3 Tahun 2015, Data penelitian terdahulu terkait endapan porfiri dan endapan skarn dan sampel batuan untuk analisis laboratorium. Metode dalam penelitian antara lain analisis data sekunder fisikokimia, deskripsi batuan kalk silikat (pendataan batuan inti, petrografi dan mineragrafi), analisis tahapan skarnifikasi korelasi batuan kalk silikat dengan endapan porfiri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Korelasi Genetik

Asosiasi litologi area penelitian diawali dengan terendapkannya material piroklastik berupa satuan breksi andesit vulkanik (V_{xa}) selama Miosen Awal hingga Miosen Tengah. Satuan V_{xa} memiliki persebaran yang sangat luas dengan orientasi kemiringan perlapisan landai. Satuan V_{xa} mengalami proses intrusi secara berurutan oleh intrusi diorit kuarsa (Miosen Akhir-Pliosen Tengah) dan seri intrusi tonalit muda dan tonalit intermediet (Pliosen Awal-Pliosen Tengah). Berdasarkan kondisi fisikokimia dan kadar mineral ekonomis, intrusi tonalit intermediet adalah intrusi pengontrol utama alterasi dan mineralisasi di area penelitian.

Zona alterasi di area penelitian terbagi menjadi 4, yaitu zona alterasi potasik, zona alterasi filik, zona alterasi profilitik dan zona alterasi argilik. Keempat zona alterasi ini menunjukkan adanya kontrol perubahan kondisi suhu dan pH dari fluida hidrotermal. Fase awal intrusi, dapur magma mengalami kondisi jenuh air (H₂O) dan komponen volatil lain seperti H₂S, CO₂, HCl, HF, H₂O dan SO₂ (Burnham, 1979 dalam (Aye, 2012) Kejenuhan terhadap unsur volatil menyebabkan

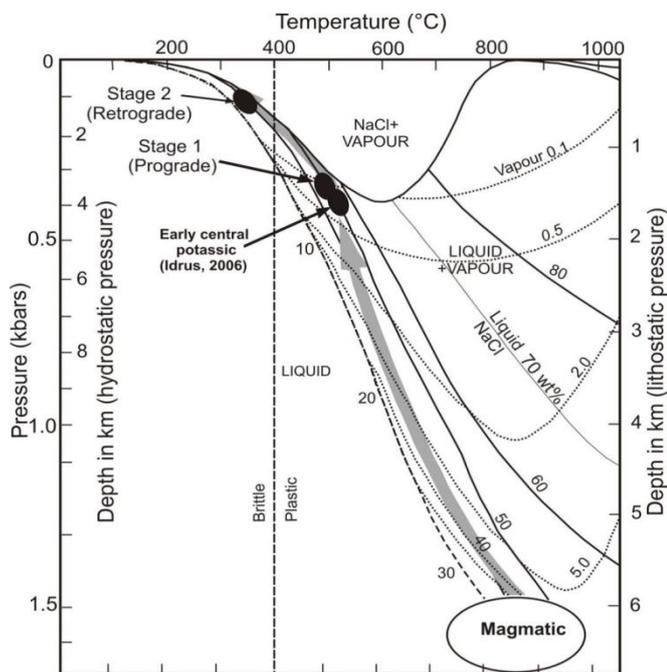
kristalisasi selama magma naik ke permukaan. Pematangan fluida magmatik terakumulasi pada bagian atas magma sekaligus menghasilkan tekanan yang menginisiasi peretakan hidrolik (*hydraulic fracturing*). Retakan bertindak sebagai jalur migrasi ke magma tonalit dan fluida hidrotermal menuju permukaan ataupun area dengan gradien tekanan yang lebih rendah. Dapur magma penghasil intrusi tonalit berada sekitar 5,5 km di bawah *paleosurface* di Batu Hijau dan memiliki volume sekitar 35 km³ berdasarkan analisis mineral hornblenda magmatik (Garwin, 2000)

Tonalit porfiri mengalami pembekuan sepanjang kontak breksi andesit vulkanik dan diorit kuarsa sebagai batuan dinding. Batas kontak menjadi zona yang mengalami deformasi *brittle* dan menghasilkan *vein/veinlet* kuarsa. Tahap awal intrusi dicirikan oleh pembentukan zona alterasi potasik. Proses pendinginan berjalan relatif cepat sehingga persebaran alterasi potasik tidak terlalu luas berbanding lurus dengan kecepatan fase awal pendinginan tubuh intrusi. Berdasarkan aspek fisikokimia, alterasi potasik (260°->300° C) ekuivalen dengan alterasi skarn tahap progradasi (440°-480° C). Alterasi potasik tahap awal mulai terjadi pada kisaran suhu 450°-500° C dengan tekanan $\pm 0,4$ kbar dan kedalaman 1,5 km berdasarkan tekanan litostatik. Zona ini menandai adanya transfer panas dari proses pelelehan magma yang menyebabkan kondisi suhu dan tekanan sistem hidrotermal akan naik dan menunjukkan tahap progradasi. Perkembangan intrusi tonalit menuju permukaan secara bertahap menghasilkan tahap progradasi dalam proses skarnifikasi dengan kondisi sedikit lebih rendah dibandingkan kondisi alterasi potasik awal.

Berdasarkan kondisi fisikokimia batuan kalk silikat, pada tahapan progradasi dan alterasi potasik akan dikontrol oleh deformasi *ductile* yang lebih luas sementara pada tahap retrogradasi akan menunjukkan deformasi *brittle* (retakan) yang lebih luas (Gambar 1).

Alterasi potasik menghasilkan *partial* biotit dan biotit sekunder sementara alterasi skarn menghasilkan kelompok mineral kalk silikat anhidrat. Metamorfisme kontak berhubungan dengan fase intrusi yang terjadi beberapa fase (*multiple stage intrusion*) dan menyebabkan persebaran karakter hornfelsik secara tetap bereaksi dengan batuan magmatik pada kondisi kedalaman yang dangkal (Meinert, 2000).

Batuan kalk silikat berjenis hornfels merupakan produk tahap awal metamorfisme kontak (Rosen, et al., 2007) ; (Gillen, 1982). Dinamika komponen kimiawi batuan breksi andesit vulkanik mengalami perubahan sebanding dengan proses metamorfisme yang dialami. Dominasi fluida magmatik intrusi tonalit membawa senyawa baru yang bereaksi dengan senyawa yang sudah ada. Pembentukan hornfels mengakibatkan oksida utama seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , MgO dan MnO mengalami peningkatan, sementara TiO_2 dan FeO mengalami penurunan.



Gambar 1. Diagram P-T untuk sistem H_2O dan NaCl di Endapan Porfiri Batu Hijau.

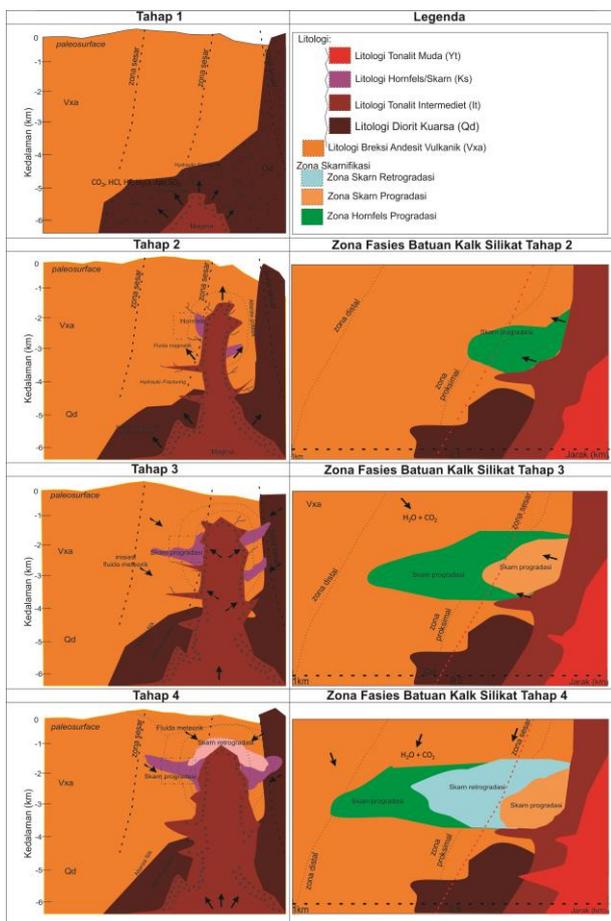
Alterasi potasik tahap akhir terjadi pada kisaran suhu 300°C - 320°C diikuti oleh perkembangan tahap skarnifikasi progradasi yaitu subtahap 2. Kondisi deformasi yang dihasilkan adalah zona rekahan dan mineralisasi mineral opak. Mineralisasi pada sistem porfiri menghasilkan bornit, kalkopirit dan pirit dengan pola *stockwork* kuarsa di zona alterasi potasik. Mineralisasi pada subtahap 2 menghasilkan kalkopirit dan magnetit. Perkembangan sistem skarn sangat dipengaruhi oleh ketersediaan batuan sumber (*protolith*) kaya unsur Ca sehingga menghasilkan jumlah mineral kalk silikat yang signifikan dari proses skarn progradasi. Tahap ini dikontrol dominan oleh komposisi fluida magmatik yang mengalami sirkulasi konvektif pada sistem hidrotermal. Mineralogi yang

terbentuk selama tahap progradasi dicirikan dengan variasi ukuran butir halus hingga kasar. Secara bertahap, garnet dan piroksen akan mengalami pengayaan unsur besi (Fe) dan penurunan unsur magnesium (Mg). Mineralisasi magnetit menjadi dominan dari sulfida lainnya, terbentuk selama proses penggantian garnet/piroksen pada kontak tubuh intrusi dan skarn serta kontak skarn dengan breksi andesit vulkanik.

Penurunan suhu intrusi berkembang seiring waktu dan menghasilkan zona alterasi berbeda pada area yang lebih jauh dari tubuh intrusi. Pembentukan zona alterasi filik terbentuk pada kisaran suhu 280°C - 320°C dan menandakan terjadinya proses pendinginan suhu. Zona alterasi filik memiliki korelasi dengan tahap retrogradasi pada proses skarnifikasi. Proses skarnifikasi tahap retrogradasi terjadi pada suhu kisaran 300°C - 350°C dengan tekanan $\pm 0,1$ kbar dan kedalaman 0,5 km berdasarkan tekanan litostatik (Idrus, 2006). Porfiri tembaga yang berhubungan dengan skarn memiliki kondisi fluida penyebab alterasi potasik dan filik/profilitik juga mempengaruhi alterasi progradasi dan retrogradasi di zona skarn (Einaudi, 1982); (Meinert, 2000). Skarn retrogradasi terbentuk di lingkungan porfiri dangkal ketika suhu menurun dan komposisi fluida dominan berubah dari fluida magmatik menjadi fluida meteorik. Proses ini ditandai dengan penggantian mineralogi anhidrat progradasi oleh mineral hidrat pada skarnifikasi tahap akhir yang mencerminkan penurunan konsentrasi kalsium (Ca). Pengayaan sulfida sebagai reaksi terhadap fluida meteorik menjadi sangat dominan terwakili oleh presentase pirit yang lebih dominan dari kalkopirit. Pembentukan mineral sulfida dan oksida terjadi pada perkembangan akhir skarn metasomatisme. Magnetit dominan dibandingkan sulfida terjadi pada penggantian garnet atau piroksen sepanjang kontak intrusi tonalit. Penambahan fluida asam memicu penggantian pirit dan sulfida ketika proses silisifikasi mulai menutupi skarn progradasi.

Tahapan zona alterasi sistem porfiri dilanjutkan oleh pembentukan zona profilitik pada suhu 240°C - 320°C , menandakan adanya proses pendinginan sistem yang progresif dan dipengaruhi oleh metasomatisme K dan Na. Infiltrasi air meteorik semakin baik dan mengakibatkan pH larutan akan menjadi asam. Proses alterasi profilitik ekuivalen dengan tahap akhir retrogradasi. Subtahap 2 retrogradasi dicirikan oleh hematit yang

dominan menggantikan magnetit dan pembentukan mineral kalsit±kuarsa. Kontak antar *vein* sulfida banyak ditemukan sebagai hasil proses retrogradasi. Kalkopirit, pirit, sfalerit dan galena adalah mineral sulfida dominan. Keterdapatannya emas (Au) terkait dengan mineral Bi-Te pada tahap akhir retrogradasi. Adanya fluida asam menghambat proses pembentukan skarn dengan munculnya pirit masif yang menggantikan mineral sulfida lain dengan pola breksiasi. Alterasi metasomatisme, dari profilitik lemah hingga skarn masif, dikontrol sangat kuat oleh permeabilitas batuan sumber yang berkembang sepanjang kontak, rekahan dan sesar. Mineralisasi skarn di Batu Hijau sangat berhubungan dengan alterasi profilitik (Garwin, 2000).



Gambar 2. Model tentatif proses intrusi dan zona fasies batuan kalk silikat (Diadaptasi dari (Forster, 2009), (Garwin, 2000) dan (Aye, 2012))

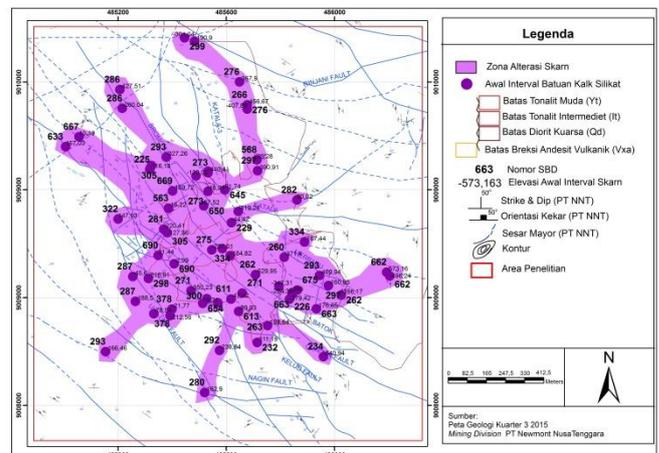
Pembentukan variasi skarn mengakibatkan oksida utama seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , TiO_2 dan FeO mengalami peningkatan. Konsentrasi MnO mengalami fluktuasi berupa peningkatan

seiring perkembangan klinopiroksen dan berkurang dalam tahap skarn retrogradasi. Persentase K_2O , MgO mengalami penurunan pada batuan kalk silikat berjenis skarn. Korelasi genetik keterdapatannya skarn dengan perkembangan endapan porfiri di Batu Hijau ditunjukkan oleh Gambar 2.

Korelasi Spasial

Secara spasial, pola persebaran batuan kalk silikat memiliki karakteristik tersendiri dalam sistem endapan porfiri. Tahap progradasi didominasi fluida magmatik yang terdistribusi pada zona kontak breksi andesit vulkanik dengan tonalit intermediet, rekahan dan patahan. Kontrol batuan asal (protolith) dan struktur geologi menghasilkan zona batuan kalk silikat dengan variasi yang beragam. Berdasarkan analisis lokasi interval batuan kalk silikat pada data orientasi 46 SBD, didapatkan pola persebaran batuan kalk silikat di area penelitian.

Persebaran batuan kalk silikat menghasilkan zona batuan kalk silikat yang memiliki keterkaitan dengan pola struktur di area penelitian (Gambar 3). Secara dominan, persebaran interval batuan kalk silikat berada di sekitar tubuh intrusi tonalit intermediet dengan dominasi persebaran berarah NW-SE. Pola persebaran NW-SE searah dengan struktur mayor di Batu Hijau seperti Sesar Tongoloka-Puna, Sesar Nagin, Sesar Kelud, Sesar Batok, Sesar Bromo, Sesar Kataala dan Sesar Merbabu.



Gambar 3. Zonasi Batuan Kalk Silikat

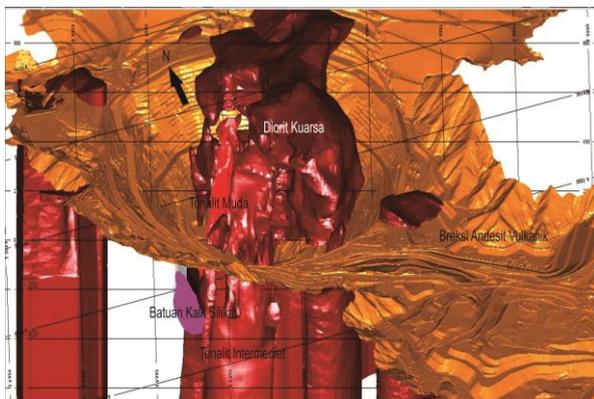
Kontrol struktur geologi yang sangat intensif menghasilkan karakteristik khusus pada persebaran batuan kalk silikat terutama dalam hal identifikasi berskala *corebox*. Alterasi-mineralisasi skarn menghasilkan batuan kalk silikat dengan tingkat kompaksi

tinggi hingga sedang yang berasal dari batuan asal breksi andesit vulkanik. Breksi andesit vulkanik adalah jenis batuan lunak yang dominan mengalami deformasi *brittle*. Hal itu dibuktikan dengan interval batuan kalk silikat tahap progradasi yang umumnya dikelilingi oleh breksi andesit vulkanik dengan nilai RQD rendah (Gambar 4).



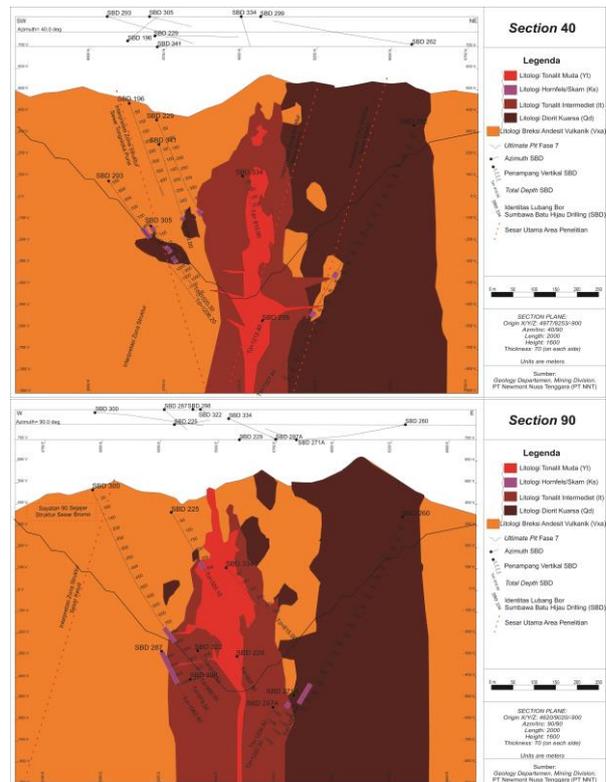
Gambar 4. Interval batuan kalk silikat diantara breksi andesit vulkanik dengan kategori RQD buruk

Kontrol struktur pada persebaran batuan kalk silikat memiliki pengaruh yang sangat besar. Batuan kalk silikat tahap retrogradasi umumnya memiliki nilai RQD rendah karena mineralisasi bijih magnetit dan hematit menurunkan kompaksi litologi dan terbentuk pada kondisi jenuh air. Korelasi interval batuan kalk silikat pada permodelan 3D akan cukup sulit karena karakteristik persebaran setempat dan pelamparan tidak jelas (Gambar 5).



Gambar 5. Model 3D persebaran skarn bawah permukaan berdasarkan orientasi lubang bor sekitar tubuh intrusi tonalit

Hal ini menjadi tantangan yang cukup menarik untuk mengetahui sisipan batugamping pada satuan breksi andesit vulkanik. Berdasarkan penelitian, interval batuan kalk silikat dihasilkan oleh litologi piroklastik dengan komposisi karbonatan yang terkontrol oleh proses skarnifikasi dan struktur geologi. Karakteristik spasial batuan kalk silikat terkait sistem endapan porfiri terdapat pada lokasi kedalaman dan persebaran lateral batuan kalk silikat.



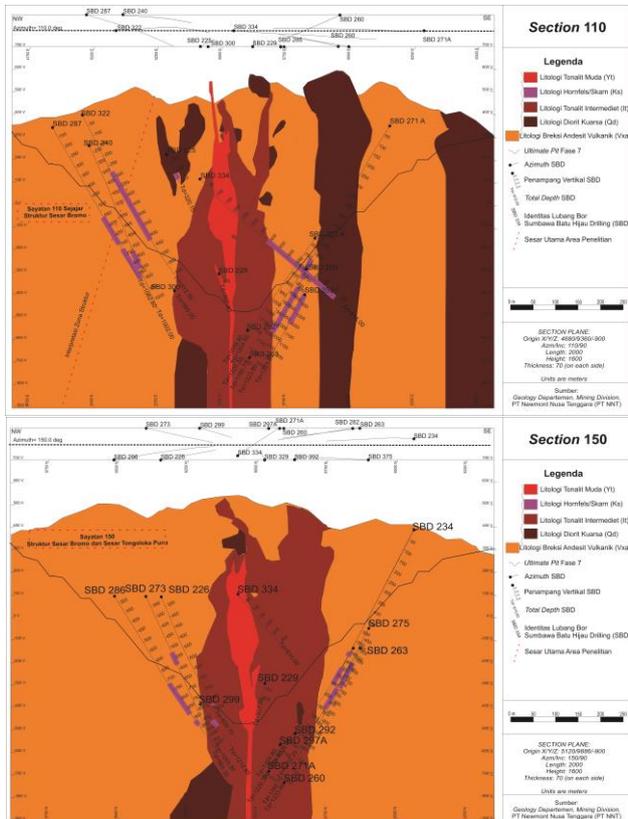
Gambar 6. Penampang vertikal kondisi bawah permukaan batuan kalk silikat Section 40° dan 90°.

Bagian Timur area penelitian memiliki keterdapatn interval batuan kalk silikat pada posisi lebih dalam dibandingkan di sisi Barat dengan kedalaman relatif lebih dangkal (Gambar 6 & 7). Hal itu disebabkan oleh intrusi tonalit di sisi Timur mengintrusi batuan samping berjenis diorit kuarsa lebih dominan. Variasi kedalaman terdangkal di area Barat 147,93 m dan Timur 205 m. Interval terdalam di area barat -540,4 m dan Timur -571,84 m, pola persebaran batuan kalk silikat di permukaan berbentuk sirkular asimetris.

Selain keterkaitan dengan asosiasi litologi dan struktur geologi, pola persebaran zona batuan kalk silikat juga memiliki hubungan

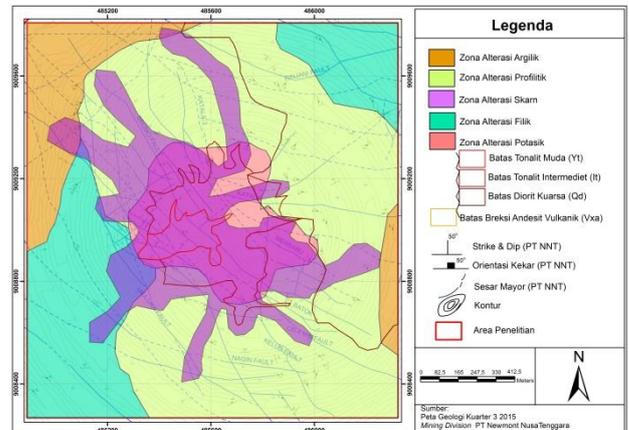
spasial dengan zona alterasi endapan porfiri. Zona alterasi skarn memiliki hubungan spasial dengan zona alterasi potasik, zona alterasi filik dan zona alterasi profilitik (Gambar 8). Secara spasial zona alterasi hidrotermal area penelitian dibagi menjadi alterasi potasik-skarnifikasi progradasi; alterasi potasik-skarnifikasi retrogradasi, alterasi filik/profilitik-progradasi-retrogradasi.

penelitian tidak ditemukan indikasi batuan kalk silikat berjenis endoskarn. Fasies proksimal didominasi oleh skarn garnet. Garnet berwarna coklat merah biasanya berwarna gelap di zona proksimal intrusi atau pusat kegiatan hidrotermal dan berkembang menjadi coklat muda pada zona distal hingga berwarna hijau pucat pada kontak dengan *protolith* (Murakami, 2005); (Atkinson & Einaudi, 1978).



Gambar 7. Penampang vertikal kondisi bawah permukaan batuan kalk silikat section 110° dan 150°.

Proses mineralisasi sulfida meliputi kalkopirit±bornit atau zona pirit dengan galena dan sfalerit. Dalam tahap pengambilan data, mineralisasi bornit pada batuan kalk silikat di area penelitian sangat sulit bahkan tidak ditemukan. Hal itu diinterpretasi sebagai kondisi mineral bornit tidak stabil pada proses skarnifikasi. Korelasi spasial batuan kalk silikat dengan endapan porfiri menghasilkan zonasi batuan kalk silikat berdasarkan fasies intrusi yaitu fasies pusat, proksimal dan distal. Fasies ini membantu dalam memahami karakteristik setiap zonasi yang dibuat dalam parameter porfiri ataupun batuan kalk silikat. Fasies pusat merupakan litologi tonalit intermediet dan tonalit muda. Selama tahap



Gambar 8. Korelasi Zona Alterasi Skarn dan Alterasi Porfiri

Perubahan warna piroksen kurang jelas, tetapi biasanya mencerminkan peningkatan progresif besi (Fe) dan mangan (Mn) ke arah fasies distal dan zona kontak dengan *protolith* (Murakami, 2005) (Harris & Einaudi, 1982).



Gambar 9. Variasi skarn pada data lubang bor yang melewati fasies proksimal hingga distal

Persebaran spasial zona batuan kalk silikat dan variasinya dihasilkan oleh proses genetik yang melibatkan kondisi dan proses tertentu. Zona skarn dominan garnet ditandai dengan zona rekahan intensif dan breksiasi yang luas

dan pola tidak teratur. Persebaran mineral progradasi dominan oleh skarn garnet berwarna coklat kemerahan di fasies proksimal, skarn piroksen-epidot berwarna hijau di fasies distal dan varietas skarn piroksen-garnet kaya kuarsa berwarna hijau terang di fasies distal (Gambar 9).

KESIMPULAN

Korelasi batuan kalk silikat dengan sistem porfiri diidentifikasi dari parameter spasial dan genetik. Secara genetik, batuan kalk silikat terbentuk akibat proses metamorfisme kontak karena intrusi tonalit intermediet menerobos breksi andesit vulkanik. Mineralisasi sulfida-oksida endapan porfiri merupakan produk yang dihasilkan oleh alterasi-mineralisasi skarn pada tahap retrogradasi. Secara spasial, batuan kalk silikat berada di zona proksimal-distal tubuh intrusi tonalit. Secara sederhana pola persebaran batuan kalk silikat membentuk pola tapal kuda atau sirkular asimetris dengan kondisi berasosiasi diorit kuarsa di sisi Timur serta berada lebih dalam dan sedikit intervalnya dibandingkan sisi SW area penelitian. Model tentatif fasies kalk silikat skarn terbagi menjadi zona proksimal skarn piroksen-garnet, zona distal skarn piroksen-garnet-epidot, zona hornfels kalk silikat dan zona pengayaan mineral sulfida-oksida-wollastonit hingga breksi andesit vulkanik yang tidak terpengaruh skarnifikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada PT Amman Mineral Nusa Tenggara (AMNT) atas kerjasamanya dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ali, E., 1997. *Batu Hijau Porphyry Copper Gold Deposit Exploration and Evaluation*. Jakarta: PIT IAGI ke XXVI.

Atkinson, W. W. & Einaudi, M. T., 1978. *Skarn Formation And Mineralization In The Contact Aureole At Carr Fork*, Bingham, Utah: Economic Geology.

Aye, M. T., 2012. *Mineralogy, Geochemistry And Origin Of Skarn Mineralization Associated With The Batu Hijau Porphyry Copper-Gold Deposit*, Sumabawa Island, Indonesia. Yogyakarta: UGM.

Einaudi, 1982. *General Features And Origin Of Skarns Associated With Porphyry Copper Plutons*, Southwestern North America, In Titley, S.R. Tucson: University of Arizona Press.

Einaudi, M. T., Meinert, L. D. & Newberry, R. J., 1981. *Skarn Deposit*. Economic Geology Publishing Company.

Forster, D., 2009. *Pathways between skarns and porphyry deposits-A New South Wales Perspective*: NSW Parliament House Theatre.

Garwin, S., 2000. *The Setting, Geometry And Timing Of Intrusion-Related Hydrothermal Systems In The Vicinity Of The Batu Hijau Porphyry Copper-Gold Deposit, Sumbawa, Indonesia*. Perth: The University of Western Australia.

Gillen, C., 1982. *Metamorphic Geology: An Introduction To Tectonic And Metamorphic Processes*: Springer.

Harris, N. B. & Einaudi, M. T., 1982. *Skarn Deposits In The Yerington District, Nevada; Metasomatic Skarn Evolution Near Ludwig*: Economic Geology.

Meinert, L. D., 2000. *Gold in Skarns Related to Epizonal Intrusions*: GeoScience World.

Murakami, H., 2005. *How to Study skarn type Deposits*: Remote Sensing Center, MTA.

Rosen, O., Desmons, J. & Fettes, D., 2007. *Metacarbonate and related rocks*: IUGS.